

El paisaje fronterizo: una visión satelital Caso San Antonio del Táchira (Venezuela) – Cúcuta (Colombia)

Heriberto Gómez, Rosalba Linares de Gómez, Roy Bradshaw*

Resumen

En este trabajo se describe una metodología para realizar estudios comparativos del paisaje fronterizo usando data originada desde sensores remotos e información documental y la cual ha sido aplicada al caso Venezuela-Colombia. El análisis de las componentes principales y la clasificación supervisada son técnicas útiles para efectuar este tipo de estudio. Así, las interpretaciones visuales y digitales de la imagen Landsat TM producen con precisión una gran cantidad de información acerca de las zonas de fronteras. El estudio comparativo de las 5 clases de cobertura superficial sugiere diferencias espaciales entre ambos países. La metodología tiene potenciales aplicaciones para análisis multitemporales, además pudiera ser utilizada en investigaciones a ser desarrolladas en aquellos paisajes fronterizos con escasa información y ambientes hostiles.

Palabras claves: paisaje fronterizo, sensores remotos, frontera, Venezuela, Colombia.

Boundary and border policies of Venezuela and Colombia in the last four decades

ABSTRACT: *A methodology for performing comparative studies of the border landscape using remotely sensed data and documentary information is described. This methodology has been applied to the case Venezuela-Colombia. Principal components analysis and supervised classifications are useful techniques for carrying out this type of study. Thus, digital analysis and visual interpretation of the Landsat TM image produces a large amount of accurate information about frontier zones. The comparative study of the 5 selected land cover classes suggests broad spatial differences between both countries. The methodology has widespread potential application for the multi-temporal analysis of borderland zones. Furthermore, this methodology could be used for researching into those border landscapes which have a scarcity of information and/or hostile environments.*

Key words: border landscape, remote sensing, frontier, Venezuela, Colombia.



Introducción

El uso del término paisaje ha sido ampliamente debatido y utilizado para explicar la expresión espacial resultante de la relación hombre-ambiente (Duncan, 1997). El desarrollo de este término tiene sus bases a mediados del Siglo XIX asociado al estudio de la morfología de una porción de tierra o territorio (Rose, 1997). Posteriormente Carl Sauer (1925) define en su publicación "La morfología del paisaje" el contenido y naturaleza del concepto paisaje a partir de la asociación de los aspectos físicos y culturales interpretados desde el con-

cepto "Landschaft". Más tarde en 1938 el geógrafo alemán Carl Troll introduce el término paisaje ecológico, conocido luego como geo-ecología, aplicando en su metodología la interpretación aerofotográfica como herramienta base con fines de planificación del uso de la tierra (Vink, 1983).

Desde el punto de vista fronterizo el término paisaje fronterizo -como se conoce en la literatura anglosajona- no se ha discutido muy ampliamente (Rumley y Minghi, 1991), entre otras razones por las asunciones tradicionales de los asuntos fronterizos como materia de seguridad y defensa del Estado-nación, más orientada hacia el estudio de las relaciones internacionales entre estados contiguos (Newman y Passi, 1998).

Tradicionalmente, y bajo el enfoque de la geografía política, las fronteras son vistas como una resultante de la manifestación espacial del poder o control político desplegado por los estados nacionales (Taylor, 1997). Pero, por otro lado, la cambiante naturaleza de las funciones fronterizas de conflicto y hostilidades a cooperación y armonía, particularmente dentro de los procesos de globalización y de cooperación transfronteriza, viene acelerando la integración económica y comercial regional entre naciones vecinas influenciando el paisaje fronterizo (Rumley y Minghi, 1991).

Al respecto House (1981) señala la necesidad de abordar el estudio del paisaje fronterizo como una resultante de las interacciones y procesos culturales, económicos y políticos que ocurren en esos espacios. En tal sentido Prescott (1987) identificó cuatro áreas a considerar desde el punto de vista geográfico en los estudios del paisaje fronterizo internacional: 1) la política fronteriza como un elemento del paisaje cultural; 2) el efecto de lo fronterizo sobre el paisaje y en las actividades económicas; 3) cualquier impacto de lo fronterizo que pueda afectar las actitudes de los habitantes fronterizos; y por último 4) el efecto de lo fronterizo sobre las políticas del Estado (Prescott, 1987: 159-174). Se puede, entonces, asumir que hay la necesidad hoy en día de abordar los estudios de fronteras ya no sólo desde la óptica de la geografía política sino también desde el punto de vista del paisaje cultural, como elementos básicos para la interpretación del paisaje fronterizo.

Visto así el estudio del paisaje de estas áreas geográficas puede ser abordado a partir del uso de una serie de técnicas satelitales, cartográficas, estadísticas y computacionales con el apoyo de referencias bibliográficas y documentos históricos básicos para el análisis y en donde la evaluación del componente social debe recibir un tratamiento especial (Parker, 1997; Rumley y Minghi, 1997). Hasta ahora una de las dificultades en los estudios del paisaje

fronterizo ha sido el momento de separar las causas y efectos que diferencian los usos de la tierra a ambos lados del límite, pues es bien cierto que todo los espacios fronterizos son totalmente asimétricos y siempre un lado está más influenciado e impactado en menor o mayor grado que el otro (Gibbins, 1989; Rumley y Minghi, 1991).

Dentro de este enfoque se propone el uso de la imagen satelital y de algunas técnicas y procesamiento de análisis, como una herramienta adicional al estudio del paisaje fronterizo venezolano-colombiano. En efecto, las imágenes de satélites han demostrado ser una herramienta útil en el análisis del paisaje (Ulbricht y Heckendorff, 1998). Su capacidad para reconocer sinópticamente los distintos patrones y elementos que componen la superficie del suelo permite paliar los inconvenientes asociados con los exhaustivos trabajos de campo, sobre todo en áreas inaccesibles y/o carentes de infor-

mación. Por otro lado, los sensores remotos constituyen una opción al momento de recolectar información en situaciones adversas tales como resultan ser algunas fronteras por sus ambientes hostiles. Por último, la data grabada por los satélites que pasan sobre un mismo lugar cada cierto período de tiempo, facilita los estudios evolutivos o multitemporales de espacios tan activos como suelen ser aquellos que componen el paisaje fronterizo. En este sentido la imagen generada por el sensor remoto Landsat TM fue usada aquí, junto con información documental, como elementos básicos para proponer el desarrollo de una metodología a ser utilizada en los estudios de este paisaje fronterizo.

Area de estudio

El área sujeta a estudio abarca una porción del territorio fronterizo entre Venezuela y Colombia.

ver Figura N° 1

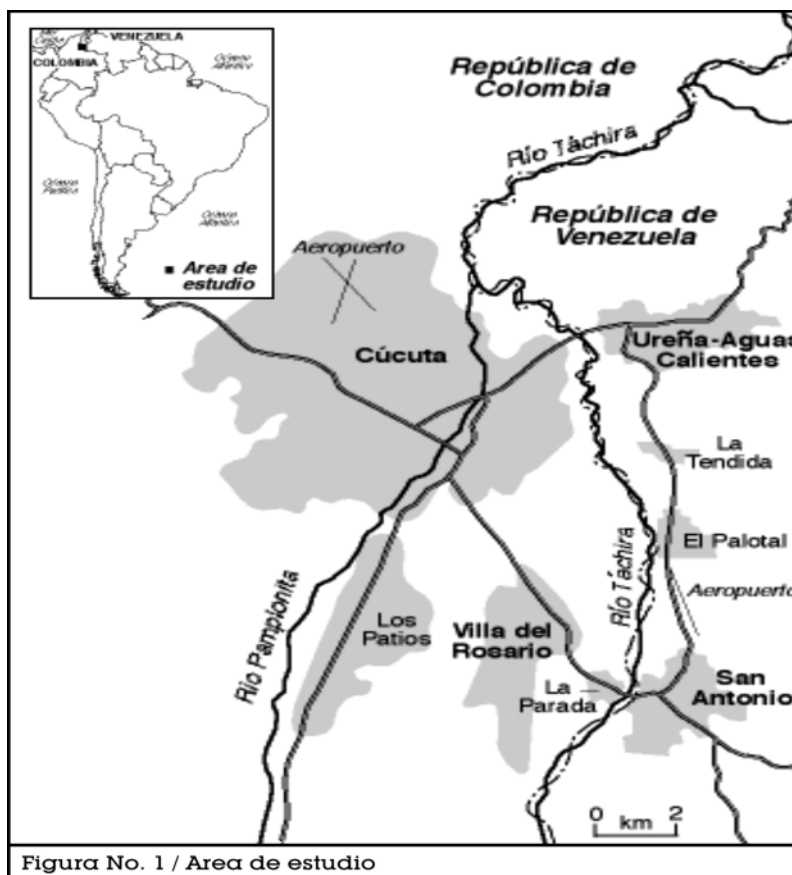


Figura No. 1 / Área de estudio

Aquí sólo se consideraron los centros poblados de mayor rango, y su periferia más cercana, localizados en el eje fronterizo estudiado. Particularmente comprende San Antonio, Ureña-Aguas Calientes (Estado Táchira-Venezuela) y Cúcuta, Villa del Rosario (Norte de Santander-Colombia). Es por ello que el territorio colombiano aparecerá dentro de la subimagen en mayor proporción que el territorio venezolano, pues es obvia la masiva presencia de centros poblados en el sector fronterizo colombiano, cuestión ésta que debe ser considerada en el análisis de la data y para efectos de estudios más específicos.

Esta área se ubica entre las coordenadas 72°32'47"- 72°24'58" Long W y 8°00'53"-7°46'50" Lat N y abarca una superficie de 38.577 hectáreas con un perímetro de 81 km.

Desde el punto de vista fisiográfico el área se localiza inmediata al oeste de la Depresión de Táchira. Esto le confiere una gran importancia geoestratégica lo cual beneficia a las dos naciones, pues ha favorecido históricamente el asentamiento de centros urbanos y el intercambio de bienes y productos a ambos lados de la frontera (CVS, 1998; Gobernación del estado Táchira, 1996).

Presenta dos tipos de relieves bien diferenciados: uno de montañas y colinas y otro de planicie aluvial con alturas que varían entre 200 a 650 m.s.n.m. Posee un clima semiárido con promedios de precipitación de 200 mm anuales y temperaturas medias anuales superiores a los 28 °C (CVS, 1998).

El paisaje de ambos países está atravesado por los ríos Táchira, límite natural internacional, y el río Pamplonita. Estos drenan sus aguas de sur a norte con dirección hacia la Hoya del Lago de Maracaibo (Venezuela) y constituyen los recursos hídricos más importantes del lugar.

El área fue seleccionada por las características físico-geográficas, socioeconómicas y geopolíticas presentes. Este constituye uno de los pasos fronterizos donde se registra el mayor intercambio comercial terrestre en comparación con el resto

de los países miembros de la Comunidad Andina de Naciones (CAN). De hecho en la actualidad se registra en el área más del 80% del intercambio de bienes y productos dentro del contexto de la integración andina (Otero, 1998a). Pero además de constituir el paso fronterizo natural más activo para ambos países, es también el área de frontera con la mayor presencia poblacional y con fuertes nexos históricos y socio-culturales (COPAF, 1992).

Metodología

Utilizando técnicas y métodos tales como los sensores remotes, conocimiento de campo y otros recursos bibliográficos y cartográficos, se procedió a llevar a cabo un estudio comparativo del paisaje fronterizo venezolano-colombiano (**ver Gráfico N° 1 Flujograma metodológico**). Así, se determinó la morfología del área, se identificaron los distintos patrones de ocupación del espacio, se hicieron medidas de superficie a efectos de comparar los espacios ocupados por los distintos tipos de cobertura del suelo y finalmente se obtuvieron las proporciones de las distintas clases para cada país.

La información antes obtenida permitió entonces definir la complejidad del área de estudio, pudiéndose discriminar las tendencias ocupacionales y los diferentes tipos de cobertura superficial que tipifican el paisaje a ambos lados del límite internacional.

1.- Características y procesamiento de la imagen de satélite

La imagen utilizada en este estudio corresponde a una escena tomada sobre el estado Táchira y parte del Departamento Norte de Santander el 02 de Septiembre de 1992 por el sensor Thematic Mapper (TM) transportado por el satélite Landsat 4 (**ver Figura N° 2 Imagen Landsat TM**).

Este aparato fue lanzado al espacio por la NASA (National Aeronautics and Space Administration) el 16 de Julio de 1982 y está localizado a una altura de vuelo de 705 km. Su ciclo de repetición sobre este mismo lugar es de cada 16 días

aproximadamente. La resolución espacial de la imagen obtenida es de 30 x 30 metros para las bandas 1,2,3,4,5 y 7 y de 120 x 120 metros para la banda 6.

Debido a las distorsiones introducidas en la imagen, tanto por la curvatura de la tierra como por el tipo de satélite utilizado, fue necesario aplicar algunas correcciones de tipo geométrico. Este trabajo permitió, al mismo tiempo, poder representar dicha imagen en una superficie plana, con una escala y proyección cartográfica específica, tal como un mapa. Las técnicas aplicadas en este caso incluyeron la localización de puntos de control, transformación y interpolación de intensidad. Estas fueron desarrolladas usando los programas ERDAS IMAGINE y TOSCA.

Utilizando el procedimiento antes señalado la imagen original fue transformada y geo-referenciada a UTM (Universal Transversal Mercator) en SSI (Spheroid System International 1909), usando para ello el datum PSAD56 para Venezuela.

A partir de la imagen total ya corregida y geo-referenciada, fue seleccionada una nueva imagen más pequeña o subimagen, la cual se acopla al área de estudio que contiene el sector limítrofe venezolano-colombiano aquí considerado.

2.- Análisis de la imagen de satélite

A efectos de obtener los mayores beneficios desde la imagen satelital fueron llevados a cabo dos tipos de análisis, los cuales más que excluyentes fueron complementarios. Así, las distintas imágenes generadas desde la escena original fueron procesadas visual y digitalmente. En este sentido, se mejoró la calidad visual de la imagen usando distintas combinaciones de bandas y aplicando filtros y pases.

El proceso arriba mencionado arrojó como resultado una imagen en infrarrojo que destaca los cultivos del área, una imagen resultado de aplicar el análisis de las componentes principales y la cual fue usada para aplicar la clasificación no supervisada y supervisada y, final-

mente una imagen conteniendo las distintas clases del área de estudio. Todas estas imágenes fueron luego usadas para generar un mapa del área.

También se aplicaron mediciones directas sobre las distintas imágenes entre las que se incluyen cálculo de superficie total y de las distintas clases seleccionadas, longitudes de cursos de aguas y vías de comunicación.

A efectos de analizar visualmente la imagen TM y hacer las mediciones respectivas, sobre todo del sector urbano, fue necesario mejorar la calidad visual de la misma. En este sentido se aplicó un filtro de paso alto. El método consiste en remover los componentes de lenta variación y mejorar las variaciones locales de alta frecuencia (Jensen, 1996). Es decir, lo que se persigue es realzar los contrastes dentro de la imagen.

Como resultado del proceso anterior se obtuvo una nueva imagen donde destacan los detalles de la morfología urbana (**ver Figura N° 3 Imagen filtro paso alto**). Así, en comparación con la imagen original, son más identificables patrones espaciales como la vialidad, aeropuertos, extensión de los planos urbanos e incluso algunos elementos no urbanos como los parcelamientos agrícolas.

La selección y manipulación de distintas bandas coadyuvó a mejorar cualitativamente el análisis de los patrones de ocupamiento. Así, por Ej., bandas 4, 5 y 2 resultaron ser útiles para discriminar la vialidad interna de los centros poblados. Por el contrario, y aunque no fue del todo satisfactorio, la combinación de las bandas 3, 2 y 1 resultó adecuada para la visualización de elementos biofísicos como vegetación cultivada y relieve.

Resultados

1. ANÁLISIS DE LAS COMPONENTES PRINCIPALES

El análisis de las componentes principales, debe su origen a Hotelling (1933), es ampliamente utilizada en distintos campos del conocimiento (Legendre y Legendre, 1998; King y Jackson, 1999). En particular ha sido muy útil su aplicación en el análisis de sensores remotos (ver por ejemplo Dunker y

Mulder, 1976; Byrne, 1980; Foster, 1985; Wang, 1993; Li y Yeh, 1998; Hernández y Olmo, 1999; Moisan et al, 1999). Su valor se debe a la capacidad del método para analizar data multiespectral (Press et al., 1992) y poder transformar la data original del sensor remoto en una nueva data contentiva de las componentes principales de más fácil interpretación.

El análisis de las componentes principales ha sido aquí usada para comprimir la información de seis bandas en una imagen de tres componentes principales con data no correlacionada e independiente (**ver Figura N° 4 Imagen de los tres componentes principales**).). Esto se hizo debido a que por lo general las bandas adyacentes en una imagen multiespectral tienden a estar correlacionadas; esta correlación entre bandas implica la presencia de una redundancia de data, es decir, que parte de la información puede ser repetida (Mather, 1987) implicando un uso innecesario de recursos. También porque fue observado que la relación entre diferentes grupos de píxeles que representaban diferentes tipos de cobertura podía ser más nítida en una imagen de tres componentes principales en comparación con la imagen original.

Para seleccionar las distintas clases de cobertura superficial capturadas en la imagen, se procedió con el mismo programa ERDAS IMAGINE y un editor de clases. Usando un cursor en pantalla sobre la imagen, una distancia espectral euclidiana de 20 y el criterio estadístico de vecindad, fueron seleccionadas cinco posibles clases básicas, las cuales serían luego usadas para la clasificación supervisada.

Las distintas clases seleccionadas fueron evaluadas. La idea con esta evaluación fue determinar si las clases elegidas representaban verazmente los píxeles escogidos para las diferentes clases. Existen varios posibles métodos para llevar a cabo la mencionada evaluación. Entre otros se pueden mencionar alarma, elipse, matriz de contingencia, divergencia y estadística e histogramas.

En este caso en particular diver-

gencia fue aplicada como método estadístico para medir la separabilidad de las clases a ser evaluadas. Este método es ampliamente usado para seleccionar las separabilidad de data originada desde sensores remotos (Jensen, 1996). El mismo permite seleccionar cuantitativamente aquel subconjunto de bandas que provee el mayor grado de separabilidad entre dos clases. Sin embargo, en este particular caso se trabajó con cinco diferentes clases por lo que fue necesario determinar el average de divergencia del total de las clases. Para ello se utilizó entonces el método de la divergencia transformada.

Algunas clases tales como los arbustos y árboles fueron seleccionadas de manera confusa por el programa; de allí que muestren el valor más bajo de separabilidad. Tal confusión puede estar justificada por el hecho que estas clases son relativamente relacionadas. No obstante, tomando en cuenta el rango sugerido por Jensen (1996), el average de 1.996 arrojado por la evaluación sugiere, en general, una buena separación entre las clases.

2. CLASIFICACIÓN NO SUPERVISADA

El análisis de las componentes principales originó una nueva imagen la cual fue utilizada en la aplicación de la clasificación no supervisada. En principio este tipo de clasificación fue seleccionada en vista de la carencia de data de campo para la fecha de la imagen. Sin embargo, este tipo de clasificación fue considerada valiosa por la información primaria originada. Tal información fue usada como input suplementario para llevar a cabo posteriormente la evaluación de la clasificación supervisada.

Para proceder con la clasificación no supervisada se utilizó el programa ERDAS IMAGINE. La imagen de las tres componentes principales sirvió como input para desarrollar la clasificación. De este modo 20 clases fueron automáticamente seleccionadas al azar (muestreo por conglomerados) y computadas aplicando el algoritmo ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis

Technique) y un umbral de convergencia de 0,950. El programa ejecutó 10 iteraciones para reclasificar y seleccionar las clases definitivas. Simultáneamente fue generada una imagen contentiva de 20 clases no supervisadas (**ver Figura N° 5 Imagen clasificación no supervisada**).

3. CLASIFICACIÓN SUPERVISADA

Con los resultados anteriores, se procedió a elaborar la clasificación supervisada. Para ello se consideraron la imagen con la clasificación obtenida en el análisis de las componentes principales, la estadística asociada a dicho procesamiento, el conocimiento del área, la cartografía y fotografías. La data así obtenida se utilizó como input para ejecutar la clasificación definitiva.

Una de las primeras tareas fue seleccionar el adecuado algoritmo para efectuar la clasificación. De acuerdo con Mather (1987) y Jensen (1996) existen varios algoritmos para asignar a cada pixel desconocido el valor o número de una clase. Entre los algoritmos más conocidos se encuentran el paralelepípedo o caja clasificadora, mínima distancia y máxima probabilidad.

El método de la máxima probabilidad fue seleccionado para efectuar la clasificación debido a que toma en cuenta la mayor cantidad de variables posibles, además es el clasificador más preciso usado por el programa ERDAS IMAGINE. Bajo este criterio fueron introducidos dentro del modelo las cinco clases previamente escogidas por medio de la selección anterior en la imagen de las tres componentes principales. De este modo se produjo una nueva imagen y estadística clasificada para el área fronteriza bajo estudio (**ver Figura N° 6 Imagen Clasificación supervisada**).

La clasificación supervisada obtenida fue evaluada. En este caso se procedió a realizar una selección aleatoria de píxeles referenciados. Aquí el software empleado utiliza una ventana cuadrada para hacer la selección de unos 256 puntos sobre la escena. Cada punto en cuestión es debidamente georeferenciado y pre-

sentada su localización a través de una matriz de datos. Utilizando la imagen originada mediante la clasificación no supervisada fueron escogidos, a su vez, muestras de puntos a efectos de compararlos con la imagen clasificada y supervisada.

El procedimiento anterior descrito arrojó como resultado una matriz de error, un reporte de la precisión de la clasificación supervisada aplicada (86%) y el coeficiente Kappa (81%). Los valores obtenidos de este modo demuestran que la clasificación llevada a cabo puede ser considerada como aceptable.

4.- DESCRIPCIÓN DE LAS CLASES

Como resultado de los métodos y técnicas aplicados se obtuvo una imagen que contiene las cinco clases en las cuales fueron agrupadas los distintos elementos que componen, a grandes rasgos, el paisaje de este sector fronterizo venezolano-colombiano. Las clases seleccionadas mediante el procedimiento antes descrito son: suelos descubiertos, cultivos, arbustos, árboles y residencial.

Tal como puede ser apreciado en la imagen de la clasificación supervisada (**ver Figura N° 6**) el color rojo es utilizado para destacar la presencia de suelos sin cubierta vegetal. La presencia de esta clase a través de toda la imagen es indicativo de áreas descubiertas lo cual puede estar asociado a diversas causas que incluyen entre otras: condiciones climáticas, erosión, tierras en barbechos o en preparación para nuevos cultivos, carreteras de tierra o sectores aledaños a vías de comunicación y aeropuertos los cuales son sometidos a clareo para mantenimiento de los mismos, canchas deportivas sin grama, plazas, almacenadoras, estacionamientos y actividades mineras de extracción de arcillas.

El área de cultivos está identificada con el color verde oscuro. En este caso, el análisis de la imagen estuvo centrado en sólo discriminar las grandes clases. Es por ello que se generaliza con el área cultivada sin llegar a diferenciar los distintos tipos de cultivos allí presente. No obstante, como será indicado más ade-

lante, por conocimiento del área y otras referencias se hará mención a los rubros tradicionalmente presentes en el área de estudio. Tal tratamiento se hará de forma similar para otras clases.

El color verde claro sirve para destacar la presencia de vegetación arborea. De similar modo, el verde olivo identifica la existencia de arbustales sobre estos terrenos. En la mayoría de los casos ambas clases se encuentran muy relacionadas, lo cual queda en evidencia por la presencia casi simultánea de las mismas en todos los sectores donde se detecta su existencia.

Por último, el color amarillo es usado en este caso para representar el área residencial. Por lo general bajo esta clase se incluyen, sin diferenciar, áreas urbanas, aeropuertos y en general espacios sometidos a algún tipo de construcción.

5.- ESTUDIO COMPARATIVO

Tradicionalmente los estudios fronterizos han estado basados sobre los análisis de datos históricos, estadísticos, información de campo, entre otros (ver por ejemplo Nweihed, 1992; Blanco, 1996; Linares, 1996; Bustamante, 1997; Alvarez y Pacheco, 1998; Simancas, 1998). Esto significa que tales investigaciones están referidas al análisis de la realidad fronteriza visualizada desde un plano horizontal, más que vertical. La idea con esta interpretación satelital es darle un enfoque al análisis de fronteras desde una referencia mixta, incorporando un componente vertical en otras palabras, observaciones sinópticas desde el espacio.

Aunque la intención primaria de este artículo es proponer una metodología para la interpretación de la realidad fronteriza venezolana-colombiana, apoyado en el uso sensores remotos, a continuación se darán a conocer los resultados de la interpretación de algunos datos obtenidos desde la imagen de satélite y los cuales fueron brevemente analizados, a manera de demostración, en adición con algunas referencias de campo y documentales.

5.1.- FISIOGRAFÍA E HIDROGRAFÍA

El aspecto fisiográfico pudo ser visualmente interpretado usando en este caso la imagen de las tres componentes principales (ver Figura N° 4). Desde esta imagen se pudieron determinar, en términos de superficie, unas 25.316 has de relieve montañoso y de colinas. El 73% de estos relieves están en área colombiana (20.097 has) y apenas un 27% (5.219 has) se localizan en territorio venezolano. Por otro lado 13.261 has ocupan el fondo de valle o planicie aluvial de las cuales 8.405 has están en territorio de Colombia y 4.856 has en Venezuela. En este sector se ha concentrado buena parte de las actividades agrícolas y pecuarias, además de los asentamientos humanos.

La red hidrográfica puede ser bien identificada en la imagen. Aquí destacan los ríos Táchira y Pamplonita. El primero con una longitud dentro del área de 36 Kms y el segundo con 16 Kms. De acuerdo con Rodríguez (1997) ambos cursos se encuentran en constante deterioro y amenazas de contaminación por la incontrolada descarga de residuos de origen urbano, industrial, agrícola y de desechos sólidos en sus márgenes. Algunos autores (Otero, 1998b; Rodríguez, 1997) señalan además la marcada reducción del caudal de las aguas debido, entre otras causas, a la intervención indiscriminada en las áreas de captación y al gran número de tomas clandestinas

5.2.- COBERTURA SUPERFICIAL: ANÁLISIS DE LAS CLASES

La Tabla N° 1 muestra los resultados de la data capturada digitalmente desde la sub-imagen Landsat TM luego de haber sido procesada (ver Figura N° 6). En total fueron considerados para el análisis unos 428.641 píxeles, es decir, aproximadamente unas 38.577 hectáreas. **Tabla N° 1. Píxeles y superficies por clases y países.**

De los datos se puede interpretar que el programa ha seleccionado el 41% de los píxeles dentro de la categoría de suelos descubiertos. Estos se encuentran dispersos en todo el área de estudio, sin embargo se

puede observar una mayor concentración de ellos en los sectores aledaños a los centros poblados y de cultivos. Aunque, como se señaló con anterioridad, dentro de estas clases se incluyen áreas no necesariamente erosionadas, llama poderosamente la atención que este paisaje presente tan alto grado de suelo desnudo.

Las razones que justifican la presencia de estos suelos desprotegidos en este sector fronterizo venezolano-colombiano son, entre otras, las condiciones climáticas de semi-aridez e intervención antrópica (CVS, 1998). Descriminados por países, en términos de superficie, se tiene que del total de las 15.780 has de suelos descubiertos, 1.402 has (9%) se localizan en territorio venezolano y están en su mayoría al sur y este de San Antonio y al norte de Ureña-Aguas Caliente. En Colombia 14.378 has (91%) están bajo esta condición y, en general, se ubican al noroeste de Cúcuta, al oeste de Los Patios y al oeste y al sur de Villa del Rosario.

La cantidad de píxeles representativos de las áreas de cultivos ocupan un 13% del total de la imagen. Tal como se indicó anteriormente, en este trabajo no se describieron los distintos tipos de cultivos presentes en la escena. El porcentaje de píxeles aquí abarcados significan una superficie aproximada de 5.132 has, de las cuales 2.811 has (54%) están en territorio venezolano y 2.321 has (46%) en territorio colombiano. Estas áreas de cultivos pueden ser muy bien identificados desde la imagen, y están localizados en su mayoría en la planicie de inundación o fondo de valle, por lo general cercanos a los ríos Táchira y Pamplonita. No obstante, también se puede apreciar cierta diferencia en los patrones que siguen los parcela-mientos agrícolas en ambos países. En efecto, las áreas de cultivos en el territorio venezolano tienden a presentar una mejor organización que del lado colombiano. Esto lo demuestra lo regular de las parcelas agrícolas del lado venezolano, las cuales tienden a ser rectangulares, cuestión que no se aprecia en las parcelas colombianas. Este hecho puede estar intrínse-

camente asociado a cambios en el uso de la tierra, como por ejemplo la utilización de estos espacios para desarrollos habitacionales. También por el abandono de estas áreas agrícolas, entre otras causas.

De la revisión documental se desprende que en el área se ha desarrollado una limitada actividad agropecuaria de carácter semi-intensiva y de subsistencia, orientada al cultivo de la caña de azúcar -principalmente-, de arroz, plátano, plantas aromáticas y a la actividad ganadera. Durante la estación húmeda se presentan problemas de exceso de agua hacia las áreas bajo cultivo, (CVS, 1998; Villa del Rosario Actual, 1998). La producción de caña de azúcar del área, así como la de los alrededores, ha estado dirigida al abastecimiento del Central Azucarero de Ureña (Venezuela), el cual tiene la capacidad de procesar 300.000 toneladas al año (Venfrontera, 1998).

La vegetación interpretada desde la imagen destaca principalmente con una cubierta compuesta por arbustos y árboles, no llegándose a discriminar en este estudio las gramíneas. Los primeros están representados en un 22% de los píxeles lo cual equivale a unas 8.502 has, mientras que los árboles ocupan una porción menor en la imagen con un total que representa el 5% de los píxeles, es decir, 1.864 has.

Además de las condiciones biofísicas del área de estudio, la predominancia de la vegetación arbustiva puede ser de consecuencia antrópica por el corte de árboles y la introducción de especies arbustivas. Del total de superficie ocupada por ambos tipos de cubierta vegetal se observa una predominancia de vegetación arbustiva en territorio colombiano ocupando unas 6.806 has (80%) en contraste con 1.696 has (20%) de esta vegetación en suelo venezolano. Por el contrario, los árboles aparecen mejor distribuidos en Venezuela abarcando 1.371 has (74%) mientras que en Colombia apenas 493 has (26%) están protegidas por estos tipos forestales. La mayor tendencia de ambas

clases es a concentrarse en los relieves altos y/o dispersos en los centros poblados. Tal comportamiento es válido para ambos países.

El 17% de los píxeles de la imagen caen dentro de la categoría de residencial y ocupa la tercera posición entre las clases seleccionadas. Como se mencionó con anterioridad, esta clase incluye un conjunto de variables asociadas a los impactos de la acción humana. Tal como se aprecia en las imágenes (ver figuras Nos. 3, 4 y 6) esta categoría se observa principalmente en el sector del fondo de valle y de colinas. En total son 6.499 has ocupadas. De éstas el 83% se localizan en territorio colombiano (5.421 has) y el resto, es decir, 17% se concentran en territorio venezolano (1.078 has).

La presencia de este desarrollo poblacional y la desproporción de esta clase entre ambos países tiene su fundamento en diferentes causas. En efecto, a mediados de 1554 se funda la ciudad de Pamplona y más tarde la Villa de San Cristóbal entre 1564 y 1566 (Menéndez - Pidal, 1944). Es a partir del asentamiento de estos centros poblados que se establece toda una serie de nexos espaciales y territoriales históricos en el área. En 1733 se funda la aldea de Cúcuta (Cúcuta, 1998) y Villa del Rosario en 1760 (Villa del Rosario Actual, 1998). Para ese mismo período se inicia el poblamiento de San Antonio, la cual se funda a mediados de los 1850's, junto con la aparición de Ureña, como parroquia eclesiástica (Fundacite-Gobernación Táchira, 1998 a y b).

Este histórico poblamiento de la frontera es en parte resultado de la constante migración rural-urbana interna en ambos países y de una importante emigración colombiana hacia el eje fronterizo San Antonio-Ureña (Alvarez y Pacheco, 1998). Como consecuencia se originó un destacado desbalance poblacional que favoreció la mayor ocupación del espacio colombiano: Cúcuta, Los Patios y Villa de Rosario, concentran el 80 % de la población urbana del Departamento Norte del Santander (Colombia), registrando

para 1993 una población cercana a los 600.000 habitantes (Cúcuta, 1998). Mientras, hacia San Antonio y Ureña se localizan 80.000 habitantes, según estimaciones de la CVS para 1998. Ello corresponde a un 9% de la población urbana del Estado Táchira (Venezuela). Es de destacar, no obstante, que casi el 80% de la población asentada entre San Antonio y Ureña es de origen colombiano, y en adición, hay un considerable porcentaje de población flotante, la cual cruza la frontera diariamente por motivos laborales (Alvarez y Pacheco, 1998).

Esta mayor cantidad de población hacia el lado fronterizo colombiano queda de manifiesto por la dimensión de los centros poblados y los sistemas de comunicación que allí existen. Como ejemplo, si se toman las principales ciudades de ambos lados, Cúcuta tiene una extensión aproximada de 4.765 has y un perímetro de 48 Kms, mientras que San Antonio abarca apenas unas 397 has en un perímetro de 11 Kms (**ver Tabla N° 2 Centros poblados**). De igual modo se detectan en las imágenes que las vías localizadas en territorio colombiano tienden a ser más amplias. Se observan, además, dos pistas de aterrizaje en el aeropuerto de Cúcuta en comparación con el venezolano el cual posee sólo una.

Deducido desde las imágenes, en la mayoría de los casos los asentamientos venezolanos tienden a tener un patrón de ocupación un tanto anárquico, si se le compara con el lado colombiano. De hecho se detecta en las escenas un patrón irregular de las calles y manzanas que conforman los planos de los centros poblados. Al contrario, del lado colombiano se observa que éstos presentan una cuadrícula bien regular, la cual sin embargo tiende a ser anárquica hacia las periferias de estos centros.

Este patrón de ocupación está bien asociado a las actividades económicas predominantes. Por su misma condición fronteriza la economía local esta basada en actividades comerciales, industriales y de intercambio de bienes elaborados y semi-elaborados provenientes del sector textil,

calzado, marroquinería, fábricas de colchones, muebles, mecánica automotriz, ladrillos baldosas, dulces, artesanía, entre otras (CVS, 1998; Venfrontera, 1998; Cúcuta, 1998; Villa del Rosario Actual, 1998). Estas actividades están distribuidas espacialmente en forma irregular a ambos lados del límite y localizadas bien hacia el centro de las ciudades, o aledañas a las principales vías de comunicación y en los parcelamientos industriales existentes.

Más recientemente el paisaje de ambos lados viene sufriendo algunas modificaciones producto del impacto espacial que ha provocado el desarrollo y fortalecimiento de la actividad portuaria terrestre, asociadas con el establecimiento de almacenadoras, estacionamientos y depósitos, como mecanismo de apoyo al sistema aduanero y de transporte internacional existente (Otero, 1998a). Estas se encuentran emplazadas hacia las afueras de los centros poblados San Antonio-Ureña y La Parada.

Conclusiones

En este trabajo se desarrolló una metodología para analizar comparativamente el paisaje fronterizo venezolano-colombiano usando un método mixto de imágenes de satélite e información documental. Aquí se demostró como puede ser mejorado el inventario del ambiente de frontera usando como principal recurso de apoyo una visión desde el espacio de los diferentes elementos que lo constituyen.

En efecto con la visión general, o al detalle, de las imágenes de satélite hay una rápida adquisición de variables visuales que pueden ser usados luego con diferentes propósitos. Además puede también obtenerse información no percibida por el ojo humano, pero capturada por el satélite, y que luego de procesos digitales se transforma data útil para el análisis. Finalmente, permite reducir el exigente y a veces riesgoso trabajo de campo.

Al aplicar sobre la imagen de satélite técnicas como la clasificación supervisada puede obtenerse una

sectorización general de los distintos elementos que cubren el paisaje de esta área fronteriza. Los resultados aquí obtenidos demuestran la capacidad de estos recursos para generar valiosa información en corto tiempo y con buena precisión para las zonas de fronteras.

Finalmente la visión con satélites de las áreas fronterizas, junto con la información documental, representan una opción para el análisis de estos paisajes permitiendo hacer estudios tanto actuales como retrospectivos. Es por ello que se sugiere, a objeto de analizar la evolución y mantener vigente el conocimiento de estos espacios, la utilización de imágenes de satélite con distintas fechas de toma, obviamente recientes imágenes aportarán datos con los cuales se pueden hacer los análisis más actualizados. Visto en su conjunto la expresión espacial de la dinámica de la frontera venezolana-colombiana puede muy bien ser auscultada y monitoreada usando esta metodología.

Agradecimiento

La imagen de satélite utilizada en este trabajo fue gentilmente facilitada por Petróleos de Venezuela.

Bibliografía

- ALVAREZ R. y PACHECO M. (1998) "Las migraciones laborales colombo-venezolanas en la frontera Táchira-Norte de Santander". En *Aldea Mundo*, Vol. 2, N° 4, 51-58.
- BLANCO R. (1996) "El Táchira en la integración colombo-venezolana". En *Aldea Mundo*, Vol. 1, N° 1, 51-58.
- BUSTAMANTE M. (1997) "La integración regional: una aproximación necesaria". En *Aldea Mundo*, Vol. 2, N° 3, 5-9.
- BYRNE G., et al (1980) "Monitoring land-cover change by principal component analysis of multitemporal landsat data". En *Remote Sensing of Environment*, N°10, 175-184.
- COMISION PRESIDENCIAL PARA ASUNTOS FRONTERIZOS (COPAF) (1992) La frontera occidental venezolana. Propuestas de política. COPAF, Caracas, Venezuela.
- CORPORACION VENEZOLANA DEL SUROESTE (CVS) (1998) Perfiles municipales y oportunidades de inversión en la región suroeste, Gerencia de Planificación, San Cristóbal, Venezuela.
- CUCUTA (1998): <http://www.cucuta.com/historia/general.htm>
- DUNCAN J. (1997) "Landscape". En JOHNSTON R. (ed.) The dictionary of human geography, third edition. Blackwell, Oxford, UK. 316-317.
- DUNKER N. y MULDER N. (1976) "Analysing M.S.S. digital imagery with aid of principal component

- transformation". En *Proceedings, Comm. VII Congress I.S.P.*, Helsinki, Swiderland.
- FOSTER B. (1985) "Principle and rotated component analysis of urban surface reflectances". En *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 51, N° 4, 475-477.
- FUNDACITE-GOBERNACION DEL TACHIRA (1998a) Alcaldía del municipio Bolívar: <http://www.funtha.gov.ve/tachira/alcaldias/anto.htm>
- FUNDACITE-GOBERNACION DEL TACHIRA (1998b) Alcaldía del municipio Pedro María Ureña: <http://www.funtha.gov.ve/tachira/alcaldias/pedro.htm>
- GIBBINS R. (1989) Canada as a borderlands society, The borderland monograph series 2, The Canadian-American Center, University of Maine, Orono, ME 04469, USA.
- GOBERNACION DEL ESTADO TACHIRA (1996) III Plan de desarrollo del Estado Táchira 1997-1999. San Cristóbal, Venezuela.
- HERNANDEZ A. y OLMO C. (1999) "Evaluation of geostatistical measures of radiometric spatial variability for lithologic discrimination in Landsat TM images". En *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 65, N° 6, 705-711.
- HOTELLING H. (1933) "Analysis of a complex of statistical variables into principal components". En *J. Educ. Psychol.* Vol. 24, N° xii, 391, 417-441.
- HOUSE J. (1981) "Frontier studies: an applied approach". En BURNETT A. y TAYLOR P. (eds) Political studies from spatial perspectives, Wiley, New York, USA. 291-312.
- JENSEN J. (1996) Introductory digital image processing, a remote sensing perspective, Prentice Hall, New Jersey, U.S.A.
- KING J. y JACKSON D. (1999) "Variable detection in large environmental data sets using principal components analysis". En *Environmetrics*, Vol. 10, N°1, 67-77.
- LEGENDRE P. y LEGENDRE L. (1998) Numerical ecology, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- LI X. y YEH A. (1998) "Principal component analysis of stacked multi-temporal images for monitoring of rapid urban expansion in the Pearl River Delta". En *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 19, N° 8, 1501-1518.
- LINARES R. (1996) "Posibilidades y obstáculos para el desarrollo fronterizo en el proceso de descentralización". En *Aldea Mundo*, Vol. 1, N° 1, 10-11.
- MATHER P. (1987) Computer processing of remotely-sensed images. An introduction, John Wiley & Sons, Chichester, U.K.
- Menéndez-Pidal G. (1944) Imagen del mundo hacia 1570. Según noticias del Consejo de Indias y de los tratadistas españoles. Consejo de la Hispanidad, Madrid, España.
- MOISAN Y. et al (1999) "Detection of changes in a series of multitemporal ERS-1 images by principal components analysis". En *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 20, N° 6, 1149-1167.
- NWEIHED K. (1992) Frontera y límite en su marco mundial. Una aproximación a la "fronterología", IDEAEAL - Simón Bolívar. Caracas, Venezuela.
- NEWMAN D. y PASSI A. (1998) "Fences and neighbours in the postmodern world: boundary narratives in political geography". En *Progress in Human Geography* Vol. 22, N° 2, 186-207.
- OTERO M. (1998a) "Cooperación internacional: CAF respalda consolidación vial en la frontera colombo-venezolana". En *Aldea Mundo*, Vol. 2, N° 4, 82-83.
- OTERO M. (1998b) "Normativa: Ley orgánica de ordenamiento territorial dedica capítulo especial a la frontera". En *Aldea Mundo*, Vol. 2, N° 4, 80-81.
- PARKER S. (1997) "Landscape evaluation". En JOHNSTON R. (ed.) The dictionary of physical geography, second

- edition. Blackwell, Oxford, UK. 301.
- PRESOTT J. (1987) Political Frontiers and Boundaries, Allen & Unwin, London UK.
- PRESS W., et al (1992) Numerical recipes in FORTRAN: the art of scientific computing, 2nd ed., Cambridge, London, U.K.
- RODRIGUEZ J. (1997) "Situación ambiental en el eje fronterizo San Antonio-Ureña-Aguas Calientes (SANURAC), Estado Táchira, Venezuela". En *Aldea Mundo*, Vol. 2, N° 3, 13-16.
- ROSE G. (1997) "Geography as a science of observation: the landscape, the gaze and masculinity". En AGNEW J. (eds.) Human geography. An essential anthology, Blackwell, Oxford, UK. 341-350.
- RUMLEY D. y MINGHI J. (eds.) (1991) The geography of border landscapes, Routledge, London, UK.
- SAUER C. (1925) "The morphology of landscape". En University of California Publications in Geography Vol. 2, N° 2, 19-54.
- SIMANCAS F. (1998) "Globalización, integración regional e incidencia en las fronteras estatales". En *Mundo Nuevo*, Vol. 21, N° 4, 609-624.
- TAYLOR P. (1997) "Political geography". En JOHNSTON R. (ed.) The dictionary of human geography, third edition. Blackwell, Oxford, UK. 447-451.
- ULBRICHT K. y HECKENDORFF W. (1998) "Satellite images for recognition of landscape and landuse changes". En *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol. 53, N° 4, 235-243.
- VENFRONTERA (1998) La página de la frontera Ureña-San Antonio: <http://www.venfrontera.com>
- Villa del Rosario Actual (1998): <http://www.geocities.com/BourbonStreet/Quarter/1954/actual/actual.html>
- VINK A. (1983) Landscape ecology and land use, Longman, London, UK.
- WANG F. (1993) "A knowledge-based vision system for detecting land changes at urban fringes". En *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 31, N° 1, 136-145.

Heriberto Gómez. *Geógrafo. Estudiante de PhD Universidad de Nottingham, Inglaterra. Profesor Agregado NUTULA*

Rosalba Linares de Gómez. *Geógrafa. Estudiante de PhD Universidad de Nottingham, Inglaterra. Profesora Asistente del CEFI, NUTULA.*

Roy Bradshaw. *PhD. Senior Lecturer de la Escuela de Geografía Universidad de Nottingham, Inglaterra. School of Geography, University of Nottingham, NG7 2RD, UK.*

gomez@geography.nottingham.ac.uk

linares@geography.nottingham.ac.uk

roy.bradshaw@nottingham.ac.uk

Fecha de recepción: **abril 2001**

Fecha de aprobación definitiva: **junio 2001**