

Extracción de áreas construidas a partir del análisis de imágenes satelitales SPOT

Ackermann, Gabriela¹; Mering, Catherine²

- 1 Laboratorio de Ecología Marina, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, U.B.A.
I. Guirades y Costanera Norte. Ciudad Universitaria. Pabellón 2. Piso 4. CABsAs (1428)
ARGENTINA. - gabiack@yahoo.com
- 2 PPF Pôle Image, U.F.R. G.H.S.S. Univ. Paris 7 - Denis Diderot,
Case courrier 7001. 2, place Jussieu, 75251 Paris Cedex 05, FRANCIA. mering@ccr.jussieu.fr

RESUMEN

Este trabajo analiza los asentamientos urbanos de la *Petite Côte*, en el litoral senegalés. El objetivo es extraer las superficies construidas mediante tratamiento de imágenes satelitales SPOT. La metodología propuesta se basa en una secuencia de tratamientos espectrales y espaciales. Entre los primeros utilizamos un ACP y una clasificación. Los segundos incluyen el estudio de la textura con un índice de entropía y el uso de las herramientas de la morfología matemática. Dos fechas fueron analizadas: 1988 y 1999, obteniéndose una imagen binaria de los asentamientos para cada fecha.

Palabras clave: análisis espacial - áreas construidas - SPOT

ABSTRACT

In this study we present the analysis of urban settlement on the *Petite Côte* region of the Senegal littoral. The aim of this study is to extract the built-up areas by remote sensing treatments from SPOT images. The proposed methodology is based on the use of a sequence of both spectral and spatial treatments. Within the first ones a PCA and an unsupervised classification were explored. The second ones included the use of an entropy index for a textural analysis and the use of mathematical morphology tools. Two dates were analyzed: 1988 and 1999. A binary image representing urban settlements was obtained for each date.

Keywords: built-up - spatial analysis - SPOT

Introducción

En las últimas décadas la ocupación del espacio se ha visto fuertemente modificada por el proceso de urbanización. En particular, las zonas litorales han adquirido un interés creciente relacionado con el desarrollo de la actividad turística. Ambos procesos implican la transformación del paisaje, particularmente la extensión de las áreas urbanizadas. Este trabajo aborda el estudio de los espacios construidos, los cuales pueden ser reconocidos en una imagen satélite como entidades particulares pertenecientes a un mosaico de paisajes. Preferimos el término de áreas o superficies construidas al de áreas urbanas, ya que éstas

están intrínsecamente asociadas a una dimensión social que no puede ser aprendida por las imágenes satelitales.

Sobre una imagen satelital, como SPOT, los píxeles correspondientes a las áreas construidas presentan una respuesta espectral similar a las superficies minerales. Sin embargo, dado la resolución espacial decamétrica de estas imágenes varios elementos pueden estar simultáneamente presentes en un píxel (construcciones, vegetación, agua, etc.), lo que dificulta la discriminación de una superficie construida basándose solamente en las propiedades espectrales (De Keersmaecker y Lambin, 1987). En

consecuencia, las áreas construidas presentan sobre estas imágenes una gran varianza inter e intrapixel (Forster, 1985). La variabilidad interpixel puede explotarse para caracterizar la textura, cualquiera sea la resolución del sensor utilizado. Las áreas construidas se identifican entonces por la variabilidad de valores de los píxeles vecinos.

Proponemos aquí un método para extraer las áreas construidas presentes en la *Petite Côte* senegalesa de forma semi-automática a partir de imágenes SPOT-3 y 4.

Zona de estudio. La región de la *Petite Côte* corresponde a una franja del litoral senegalés de 150km de largo, al sur de Dakar. La actividad económica principal es la pesca artesanal. Sin embargo, desde inicio de los '90 el turismo balneario se impone en la economía y fisonomía de este litoral.

Las superficies construidas son pequeñas respecto al área estudiada y con una distribución dispersa. Se observan poblados inmersos en la matriz rural y asentamientos pesqueros o turísticos y pequeñas ciudades costeras. Los poblados rurales presentan construcciones en materiales vegetales y un tejido laxo, en tanto los espacios más urbanos son densos y constituidos por construcciones en cemento y zinc. Esta variabilidad de situaciones -dimensión, dispersión y diversidad fisonómica- constituye una dificultad importante para la extracción de la totalidad de las superficies construidas.

Otro obstáculo es la falta de imágenes de calidad para la zona del Sahel. Durante la época de lluvias, donde los contrastes entre superficies se ven maximizados, las nubes impiden la explotación de las imágenes. Las imágenes que se disponían son de estaciones diferentes, lo que permitió ver la sensibilidad del método a dichas situaciones (tabla 1).

Tabla 1. Imágenes SPOT utilizadas (1A).

Imagen SPOT	XS (20m)	P (10m)
1988	24/10	10/04
1999		11/11
2000	02/03	

Secuencia de tratamientos

La metodología que se propone para la extracción de las superficies construidas está organizada en tres etapas (Fig. 1). La primera busca eliminar las partes de la imagen que no son consideradas por el estudio (agua, vegeta-

ción, etc.), siguiendo un enfoque multispectral. La segunda etapa permite diferenciar las superficies construidas de otras superficies minerales, basándose en un análisis de textura. Finalmente, para la extracción de las zonas construidas se apeló a la morfología matemática (MM), que remite a criterios de continuidad del espacio.

La secuencia propuesta sigue un razonamiento según criterios esenciales a la identificación del espacio construido sobre una imagen, aunque cabe señalar que no es la única posible. Este esquema resulta de la simplificación progresiva de diferentes métodos estudiados (Ackermann *et al.*, 2003). Vale la pena resaltar que la secuencia se basa en tratamientos ampliamente conocidos y presentes en los *softwares* comerciales. La secuencia de tratamientos se ilustra con la imagen satelital de 1988

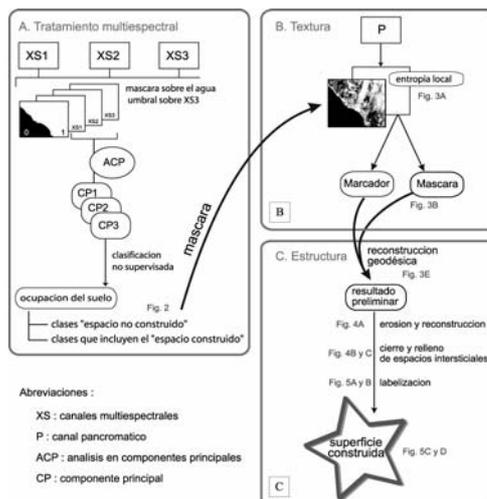


Fig.1. Secuencia de tratamientos empleados para la extracción de las superficies construidas: tratamientos multispectrales (A); análisis de textura (B); análisis de estructura (C).

El análisis multispectral

A fin de maximizar los contrastes entre los elementos de la superficie terrestre se eliminó el océano atlántico. Las propiedades espectrales del agua permiten aislarla fácilmente de las demás superficies, en el canal correspondiente al infrarrojo cercano (XS3), a partir de un umbral determinado.

Una de las estrategias para aislar las superficies construidas es por contraste a las superfi-

cies vegetales, ya que éstas poseen características espectrales específicas. Se realizaron los contrastes radiométricos de la superficie terrestre por medio de un análisis en componentes principales (ACP) y luego se delimitaron las diferentes superficies a partir de una clasificación no supervisada. Esta clasificación permitió la elaboración de una máscara sobre las superficies vegetales de mayor extensión (Fig. 2). El uso de máscaras para eliminar las regiones que presentan fuerte contraste con las zonas de interés parece apropiado al estudio de regiones con poco contraste interno, como es el caso de los espacios construidos en un medio árido.

Las clases resultantes no han sido identificadas en detalle dado que el objetivo era agrupar aquellas que no correspondiesen a las superficies

construidas, y no el de realizar un mapa de la cobertura del suelo. Por ello se partió de una clasificación en gran número de categorías (30), para luego identificar y reagrupar todas las clases en las cuales no se encontraban superficies construidas, fundamentalmente las vegetales. Las clases que se prestaban a confusión (por ejemplo, las correspondientes a la presencia de vegetación intra-urbana) fueron agrupadas con el «espacio construido» para evitar fragmentar las superficies construidas desde un inicio y poder, así, obtener algo más próximo del contorno urbano.

La máscara realizada sobre la escena del año 2000 elimina menos objetos de la imagen, dado que dicha toma corresponde a plena estación seca, en la cual la vegetación es casi inexistente (Fig. 2D).

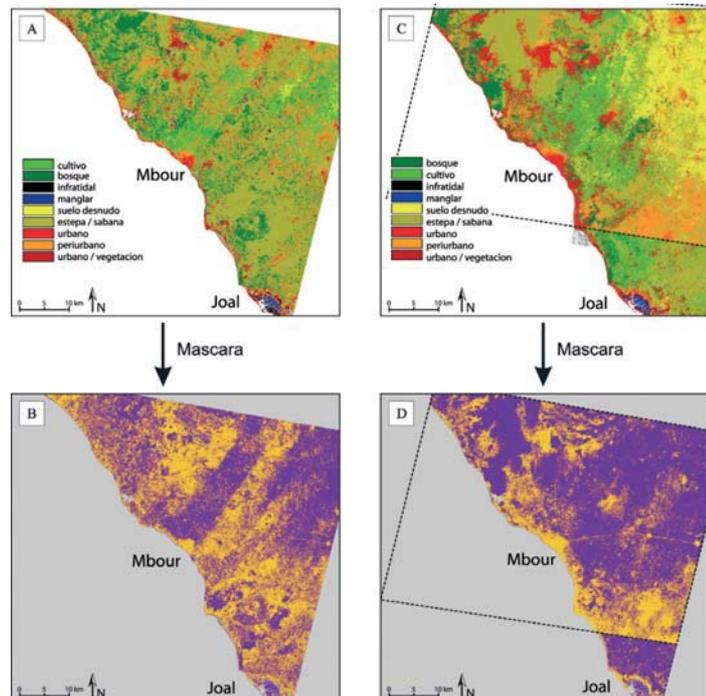


Fig. 2. Máscaras sobre las superficies no construidas. A: clasificación de las imágenes SPOT de 1988. B: máscara de las áreas no construidas en 1988. C: clasificación de las imágenes SPOT de 1999 (centrada en Mbour, arriba) y 2000 (centrada en Joal, abajo). D: máscara de las áreas no construidas en 1999 y 2000. La diferencia entre las máscaras se debe a las diferencias estacionales de las tomas.

El análisis de la textura

Las superficies construidas no pueden ser caracterizadas por una única firma espectral, dado la variedad de materiales que las componen (aluminio, tejas, cemento, tierra, etc.). Además, la reducida dimensión de los elementos que la conforman, respecto al tamaño del píxel (100m² para SPOT-P), explica que la textura de estas superficies se caracterice por una elevada heterogeneidad local, comparada con otras superficies, como cultivos o suelo desnudo. La textura se define aquí como la organización lo-

cal de los valores radiométricos. Utilizamos así el criterio de textura para cuantificar los tipos de distribuciones de valores radiométricos en un entorno dado.

La máscara multispectral creada fue superpuesta con la imagen pancromática para restringir la región estudiada (Fig. 3A). El canal pancromático resulta más adaptado para traducir la heterogeneidad local de las superficies construidas, dado su menor resolución espacial (10m).

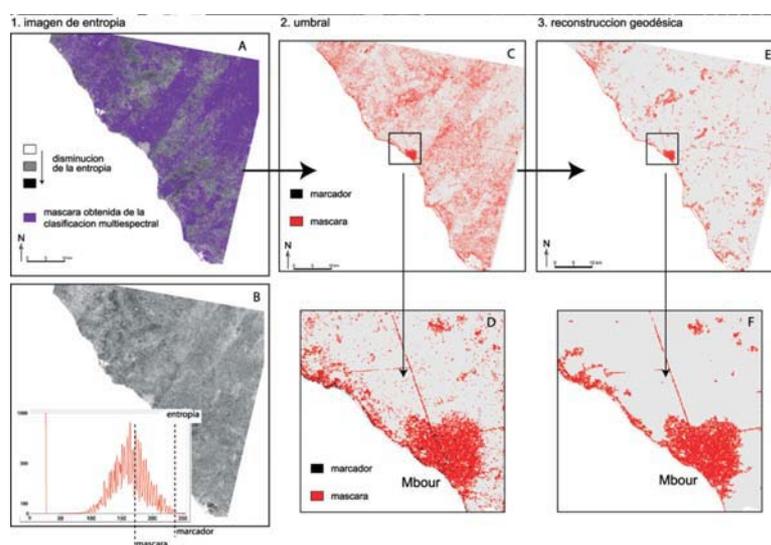


Fig. 3. Índice de entropía y herramientas de la morfología matemática. Superposición de la máscara multispectral obtenida y de la imagen del índice de entropía (B). Un umbral bajo y uno alto (A) permitieron definir respectivamente la imagen máscara y marcador (C) necesarias para realizar la reconstrucción geodésica (E). Las figuras C y E corresponden a zooms de D y de F.

Las superficies construidas presentan una fuerte variabilidad entre píxeles vecinos, lo que se traduce por valores elevados del índice de entropía. Esta textura heterogénea aparece sobre la imagen como zonas claras, oponiéndose a las zonas oscuras que traducen la homogeneidad de la textura. Para pasar de esta imagen en tonos de gris a una imagen binaria, que represente las superficies construidas, se debe determinar un valor de corte del histograma de valores de entropía que aisle los píxeles correspondientes a la presencia de superficies construidas. El punto de corte se seleccionó según un procedimiento iterativo, de ensayo y error, permitiendo el ajuste progresivo del umbral hasta obtener un resultado visual satisfactorio (Fig. 3B). Otros métodos recurren a medidas esta-

dísticas para definir el punto de corte, pero los métodos manuales son más frecuentemente utilizados, dado su simplicidad, a pesar de que comportan una carga subjetiva y que dependen de cada imagen (Lu *et al.*, 2004). Ninguno de los puntos de corte ensayados permitió la extracción completa de las superficies construidas; los umbrales altos excluían parte importante de las superficies construidas, mientras que los umbrales bajos sobreestimaban demasiado estas superficies.

El análisis de la estructura

La tercera etapa de la metodología propuesta recurre a las herramientas de la morfología matemática (MM) para el estudio de imágenes binarias, la cual se basa en la combinación de

la teoría de conjuntos con nociones de topología (continuidad o límites de una fase). El principio general de la MM es la comparación de los objetos estudiados con un objeto de forma conocida, denominado un *elemento estructurante* (Serra, 1982; Coster y Chermant, 1989). Varios algoritmos de la MM han sido explorados

para la extracción de superficies construidas a partir de imágenes SPOT (Davie y Drouot, 2000), así como para obtener el contorno urbano a partir de datos binarios obtenidos de cartas topográficas (Bailly, 1996; Weber, 2001) o imágenes CORINE Landcover (Guerois, 2003).

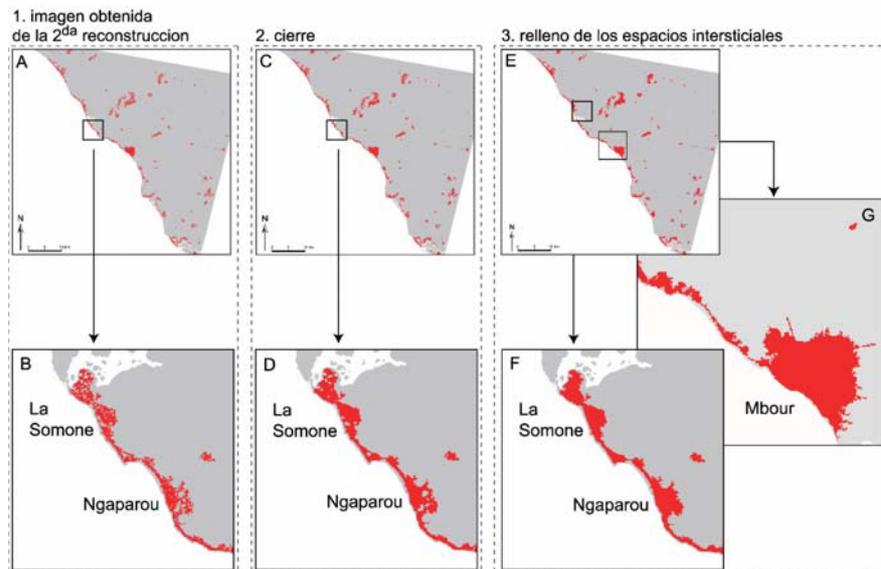


Fig. 4. Extracción de las superficies construidas sobre la escena SPOT de 1988 gracias a las herramientas de la morfología matemática.

El primer operador utilizado fue una *reconstrucción geodésica por dilatación*, el cual permitió mejorar los resultados anteriores, gracias a la combinación de las imágenes obtenidas con los diferentes umbrales (Fig. 3). Esta reconstrucción consiste en una secuencia de dilataciones de una imagen, llamada *marcador*, con un *elemento estructurante* de forma creciente, en el interior de un espacio geodésico, delimitado por una *imagen máscara* (Coster y Chermant, 1989). Los objetos a ser reconstruidos deben estar representados en la *imagen marcador* (*Im*) al menos por un pixel y deben estar incluidos en la *imagen máscara* (*IM*).

Un umbral bajo sobre la imagen de entropía local permitió realizar la *IM*, la cual incluía y sobreestimaba la totalidad de las superficies construidas a extraer. La *Im* se obtuvo aquí de un umbral que aisló los valores máximos de la imagen de entropía, representando los núcleos de los asentamientos. La selección de este umbral es una etapa clave del análisis, ya que determina las entidades que serán retenidas en el re-

sultado final. La *reconstrucción geodésica* determinó la primera imagen binaria de las áreas construidas de la *Petite Côte* (Fig. 3E).

Para validar este primer resultado se superpuso la imagen binaria obtenida con la imagen en falso color compuesto. La imagen resultante revela la presencia de infinitas «manchas» cuyas tonalidades, rojas y marrones, remiten a la presencia de superficies vegetales. Estas superficies no fueron eliminadas en la clasificación ya que las clases que las incluían aparecían también en el seno de los espacios construidos, correspondiendo probablemente a sectores de arbolado.

La eliminación de las «manchas» correspondientes a áreas inferiores a 50m de lado (0,25ha) se logró por medio de una *erosión*. Una nueva reconstrucción se realizó a fin de recuperar las formas de las superficies construidas retenidas antes de la aplicación de la *erosión*. La imagen erosionada sirvió de *Im* y la original de *IM* (Fig. 4).

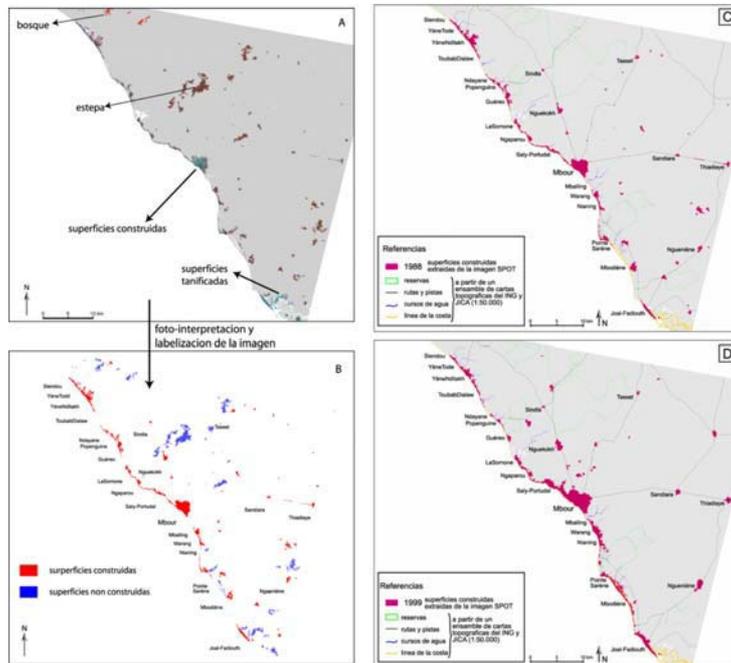


Fig. 5. Evaluación y extracción de las superficies construidas. Superposición de la imagen binaria proveniente de los tratamientos basados en la morfología matemática y de la composición en color de la escena SPOT de 1988 (A). Las superficies construidas aparecen en cian. Discriminación de las superficies por foto-interpretación de la composición en color (B). Superficies construidas extraídas de las imágenes SPOT de 1988 (C) y 1999 (D).

Para eliminar las «manchas» de mayor tamaño se necesitaría apelar a otros marcadores más específicos. Dado que los pocos objetos que quedaban poseían características diversas, se prefirió desecharlos manualmente para no alargar la secuencia. Se identificaron todos los objetos de la imagen por medio de una labelización y se eliminaron aquellos que no correspondían a zonas construidas (Fig. 5A Y B), siguiendo la respuesta espectral y el conocimiento del terreno. Si bien este post-tratamiento consume un tiempo considerable y se funda en una interpretación visual, a veces es necesario para mejorar los resultados y así evitar arrastrar errores (Ji *et al.*, 2001).

Los espacios intersticiales en el interior de las superficies construidas han sido rellenados para obtener superficies continuas y homogéneas (Fig. 4E). El resultado final son dos imágenes binarias, una para cada fecha, donde puede observarse la distribución de las superficies construidas (Fig. 5 C y D). Este método permiti

ó la extracción de un gran número de asentamientos.

La distribución espacial de las superficies construidas sigue la línea de la costa y su abundancia disminuye al alejarse de la misma. Los asentamientos en el interior, básicamente agrícolas, son menores y están más dispersos que los costeros. La parte norte y noroeste de la región, dominada por reservas y con suelos poco propicios a la agricultura, presenta una baja densidad de poblados. Una serie de asentamientos se han registrado sobre la ruta principal y en los cruces con las pistas que conducen a la playa y al interior del país (Fig. 5). Estos se benefician de una actividad comercial creciente. La presencia de asentamientos costeros, formando un cordón continuo, está esencialmente relacionada con la actividad haliéutica y el turismo.

Validación de los resultados

A fin de validar y comentar los resultados obtenidos, las imágenes binarias mostrando las

superficies construidas fueron confrontadas con dos fuentes auxiliares de datos: cartas topográficas y datos de campo. La superposición de las imágenes con las cartas topográficas (1:200.000) y los censos fue posible por la georreferenciación de los datos.

Los asentamientos extraídos de las imágenes satelitales parecen coincidir con los representados sobre las cartas topográficas, lo cual indica que el algoritmo desarrollado se presta a la detección del fenómeno urbano a escala regional (Fig. 6). Asimismo, las zonas extraídas sobre las imágenes corresponden a la localiza-

ción de los puntos de muestreo relevados en el trabajo de campo, que revelaron la presencia de construcciones. Sin embargo, este muestreo también indicó una sub-estimación de las pequeñas poblaciones, que no siempre aparecieron en la extracción mediante el tratamiento imágenes. Los límites de los resultados merecen así ser comentados.

Varios de los asentamientos de menor tamaño, principalmente en el interior, han sido eliminados en la tercera etapa de la secuencia propuesta.



Fig. 6. Superposición de las superficies construidas extraídas por tratamiento de las imágenes SPOT 1988 (A) y de 1999 (B) y de las cartas topográficas del IGN (1: 200.000, actualizadas en 1989).

En efecto, las herramientas de la morfología matemática permitieron eliminar numerosas zonas minerales no construidas, pero se perdieron simultáneamente varios asentamientos, ya sea por su bajo contraste con el entorno inmediato (dado por la simplicidad de las construcciones en materiales vegetales) o por su reducido tamaño.

Al contrario, las superficies construidas de mayor tamaño se encuentran por sectores sobre-estimadas. Esto puede deberse a la confusión existente entre la construcción lineal del frente costero y la línea de costa propiamente dicha. Ambas presentan una alta heterogeneidad y se encuentran conectadas, por lo que la línea de costa es recuperada en las reconstruc-

reservas contiguas a las zonas construidas, son recuperadas en esta etapa, prolongándolas y dándoles un aspecto de «fileteado». Así, línea de costa y reservas, si bien no estaban representadas por ningún píxel en la *Im*, no han sido eliminadas por estar conectadas con superficies construidas en las *IM*. La reconstrucción geodésica sólo permite eliminar los elementos con textura heterogénea cuando éstos se encuentran desconectados del espacio construido.

Conclusión

Se ha explorado, a partir del tratamiento de imágenes satelitales de larga difusión, los espacios urbanos en un sector de litoral senegalés. Un razonamiento en tres etapas ha sido propuesto combinando métodos de análisis es-

pectral y espacial. Se constata que la identificación de las superficies construidas sobre la imagen depende más de los contrastes de textura con el medio que de las características intrínsecas de las superficies. Dichos contrastes están maximizados en las imágenes de la época de lluvias. Sin embargo, dado la rareza de las mismas para la zona saheliana, cuando se busque comparar diferentes años, será más pertinente utilizar imágenes de la época seca, mismo si la extracción de las superficies construidas resulta más ardua.

Por otro lado, dado que las características físicas de los pequeños poblados del interior y de los asentamientos costeros son muy diferentes, convendría preguntarse sobre la pertinencia de un método único de extracción para las dos categorías. Así, una mejora de los resultados sería esperable si se separa el análisis de los asentamientos del interior de los de la costa.

Por último, la búsqueda de la automatización de la secuencia de tratamientos propuesta sería deseable. En el método propuesto varios parámetros son librados a la decisión del analista, como el número y la selección de las clases para la máscara multispectral, la elección del valor umbral en la imagen de textura o la determinación de la ventana utilizada para los operadores de la morfología matemática.

La resolución del canal pancromático de SPOT resultó suficiente para extraer superficies construidas importantes; pero ella es insuficiente para extraer pequeñas zonas construidas o formas lineales y aisladas de urbanización. El uso de captosres de muy alta resolución sería conveniente, pero esto supone un cambio del objeto de estudio y por lo tanto de la temática: si a escala decamétrica (SPOT 4) podemos afirmar que son identificadas superficies urbanizadas, a escala métrica (IKONOS o Quickbird) la extracción concierne a las construcciones propiamente dichas.

Si bien es posible mejorar este resultado, las cartas obtenidas constituyeron una primera aproximación de la extensión de las superficies construidas sobre la *Petite Côte*.

ciones realizadas. Otras superficies, como las

Bibliografía

- Ackermann G. ; Mering C. et Quensiere J., 2003 : «Analysis of built-up areas extension on the Petite Côte region (Senegal) by remote sensing». *Cybergeo*, N° 249: 15. (<http://www.cybergeo.presse.fr>)
- Bailly, E. 1996 : «Position de recherche sur une méthode de détermination d'un contour urbain». *Cybergeo* : N°10, <http://www.cybergeo.presse.fr>
- Coster, M. et Chermant, J-L., 1989 : *Précis d'analyse d'image*. Paris, Presses du CNRS. 560 p.
- Davie M.F. et Drouot, J-L., 2000 : «La périphérie urbaine et les extensions de la ville de Beyrouth (Liban): étude par traitement d'une image SPOT». *Cybergeo: Revue Européenne de Géographie*, N°157, 25/04/00.
- De Keersmaecker, M-L. et Lambin, E., 1987 : «Réflexion sur l'utilisation à des fins thématiques de l'imagerie satellitaire». *Inter. J. of Remote Sensing*. vol.8 9: 1277-1287.
- Forster, B.C., 1985 : «An examination of some problems and solutions in monitoring urban areas from satellite platforms». *International Journal of Remote Sensing*. vol. 6 1: 139-151.
- Guerois, M., 2003: *Les formes des villes européennes vues du ciel. Une contribution de l'image CORINE à la comparaison morphologique des grandes villes d'Europe occidentale*. Tesis, Univ. Paris I Panthéon – Sorbonne, UFR de Géographie. 206 p.
- Ji, C.Y. ; Liu, Q. ; Sun, D. ; Wangs, S. ; Lin, P. et Li, X., 2001: «Monitoring urban expansion with remote sensing in China». *International J. of Remote Sensing*, vol. 22, 8: 1441-1455.
- Lu, D.; Mausel, P.; Brondizio, E. et Moran, E., 2004 : «Change detection techniques». *Intern. J. of Remote Sensing*. vol. 25 12: 2365-2407.
- Serra, J., 1982 : *Image Analysis and Mathematical morphology*. London, Ac. Presses. 620 p.
- Weber, C., 2001 : «Remote sensing data used for urban agglomeration delimitation» in *Remote Sensing and Urban Analysis*. Donnay, J-P., Barnsley, M.J., et Longley, P.A. (Éds.). London, Taylor & Francis. Chapitre 7: 155-172.