

LAND USE DISCRIMINATION FROM MULTISPECTRAL IMAGES
DISCRIMINACIÓN DE USOS DEL SUELO A PARTIR DE IMÁGENES
MULTIESPECTRALES

Ing. John Jairo Sanabria Sarmiento, MSc. John Faber Archila Díaz,
Ing. Luis Eduardo Bautista Rojas

Universidad Industrial de Santander, UIS
Grupo de Investigación en Robótica y Diseño GIROD
E-mail: john_jairos@hotmail.com, johnjairos@gmail.com, jfarchid@uis.edu.co,
laguado86@yahoo.com

Abstract: Satellite systems allow continuous monitoring about environmental issues, the advanced image processing techniques can extract features based on multispectral analysis of the different components present in satellite images. This paper describe results about different techniques used for obtain soil characteristics features which is important for rural and urban planning.

Keywords: Satellite Images, Multispectral features, remote sensing, artificial intelligence, PCA, artificial intelligence, wavelet transform, signal processing.

Resumen: Mediante los sistemas satelitales ubicados en orbita alrededor del planeta es posible realizar el seguimiento de gran cantidad de sucesos ocurridos en la superficie de este. Haciendo uso de técnicas de procesamiento de imágenes multiespectrales combinadas con técnicas de análisis estadístico es posible realizar la clasificación de parámetros del suelo de acuerdo a características propias del mismo. En el presente artículo se presenta la metodología relacionada con dicha clasificación del suelo utilizando redes neuronales artificiales multicapas como mecanismo clasificador.

Palabras clave: Imágenes satelitales, comportamiento multiespectral, sensado remoto, componentes principales, inteligencia artificial, transformada wavelet, tratamiento de señales.

1. INTRODUCCIÓN

Conforme la población mundial crece cada día es mas difícil acceder a los productos agrícolas componentes de la canasta básica familiar y a terrenos aptos para la construcción de soluciones de vivienda estando ellos ligados a la disponibilidad de terrenos con dichas finalidades, siendo esta la razón de la entrada en vigor de los procesos de planeación tanto urbana como rural orientados a lograr un mayor aprovechamiento de los terrenos de acuerdo a sus características.

Considerando dichas características se define el **Plan de Ordenamiento Territorial (POT)** siendo este la base para la viabilización de los diversos proyectos, sean estos de construcción o disposición de productos alimenticios u otro tipo (Parody, 2007; Vargas, 1992). A fin de determinar dichas características se usan técnicas tanto invasivas como no invasivas, siendo estas ultimas materia de revisión del presente artículo, las técnicas a revisar se basan en el tratamiento y determinación de las mismas a partir de la información contenida en las bandas componentes de las imágenes satelitales.

El trabajo ha considerado a lo largo de sus diversas etapas diferentes técnicas encargadas de reconocer patrones y detectar bordes, el análisis de la información mediante la transformada *Wavelet* durante la fase I, el análisis de componentes principales (*eigenvalores*) en la fase II, siendo la orientación actual (fase III), la realización de las tareas de clasificación y discriminación mediante inteligencia artificial.

2. CONCEPTOS GENERALES

2.1 Concepto de suelo

El concepto de terreno o suelo, adquiere una definición diferente de acuerdo a la disciplina desde la cual se analiza, en el presente caso el suelo esta compuesto por los factores modificantes del paisaje y los atributos propios del mismo, siendo estos de tipo temporal, climático y humano por mencionar los más sobresalientes. Asociado a este se determinan los tipos de cobertura y uso. (Vargas, 1992; Lombo, 2008)

2.2 Uso del suelo

“El uso del suelo es un determinante en lo relacionado con el desarrollo de políticas ambientales en los países de economías primarias¹ (Lombo, 2008). Siendo el término uso definido como “la finalidad dada por el hombre a los diversos tipos de cobertura”².

En su afán por homogenizar los criterios alrededor del mundo respecto a los usos, la Unión Geográfica Internacional (UGI) establece nueve (9) categorías claramente definidas a saber (Vargas, 1992), los cuales son de amplia utilización en zonas rurales:

1. Centros poblados o tierras no agrícolas.
2. Tierras Horticultoras.
3. Árboles frutales y otros cultivos perennes.
4. Tierras de cultivo.
5. Pastos permanentemente mojados.
6. Praderas no mejoradas.
7. Tierras de bosques.
8. Pantanos y ciénagas.
9. Tierras improductivas.

¹ Las economías primarias se relacionan con aquellas con alta dependencia del sector agropecuario.

² La consideración de las formas de vegetación (fisonómico estructural), las características taxonómicas (florística), la relación entre terreno y cobertura (fisiográfica) por mencionar los más sobresalientes (Lombo, 2008).

Para el caso urbano, la caracterización se basa en las estructuras presentes en el área en estudio.

2.3 Planes de ordenamiento territorial

Como se anota en las secciones anteriores el concepto suelo está integrado por componentes, los cuales forman el territorio siendo este un ente dinámico el cual debe organizarse de acuerdo al desarrollo económico, social, cultural y ambiental tal como esta planteando en la ley 388 de 1997 (Parody, 2007; Vargas, 1992) donde se dictan los lineamientos de los POTs mediante los cuales se pretende cubrir las necesidades sociales, políticas, económicas y culturales de la sociedad.

2.4 Recolección de información

Los pasos involucrados en la recolección de información de fenómenos del tipo ambiental se puede observar en la figura 1

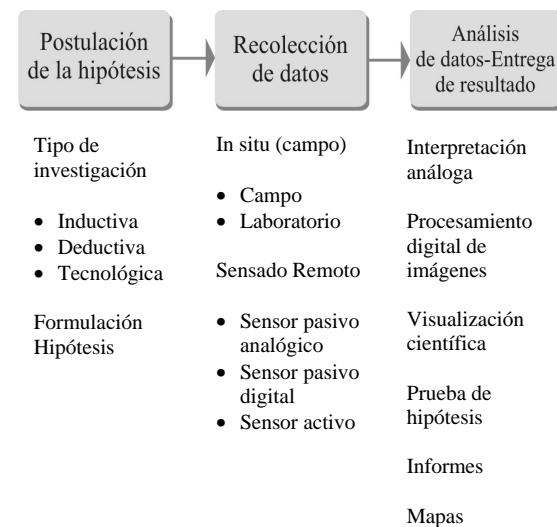


Fig. 1: Adaptación de procesos asociados al *sensado remoto*

Fuente: John Jensen, *Introductory Digital Image Processing: A remote sensing perspective*. Edición 2. USA. Upper Saddle River, 1996. 318p.

La recolección de información en campo, se basa en la medición de las variables mediante sensores en contacto con la muestra. Siendo acondicionada dicha señal para realizar su análisis con posterioridad (Jensen, 1996; Kuehn, 2000).

Al momento de realizar estudios de cobertura del suelo mediante sensado remoto la imagen satelital (o fotográfica) es una herramienta fundamental, siendo posible en la misma observar elementos útiles para la clasificación como son: el tono, la

textura, patrón, forma, tamaño y ubicación geográfica, entre otros. La factibilidad de extraer información depende del tipo de registro realizado, la información espectral del mismo y la escala, entre otros.

2.5 Sensores remotos

El sensado remoto se basa en la determinación de las características de objetos distantes a través de las ondas electromagnéticas provenientes de ellos. Los orígenes de tal concepto se remontan a finales del siglo XX estando ligadas a los inicios de la fotografía en blanco y negro, siendo usada esta inicialmente como herramienta para la toma de decisiones bélicas logrando un papel de importancia en los conflictos ocurridos desde el momento (Jensen, 1996; Kuehn, 2000; Gibson et al., 2000).

En cuanto al análisis de fenómenos de naturaleza ambiental es notable el trabajo realizado mediante los satélites artificiales manejados por la misión *Earth Resources Technology Satellite*, los cuales iniciaron operaciones en 1972 con la puesta en órbita del ERTS I (denominado posteriormente Landsat^{*} I), siendo en la actualidad el satélite Landsat 7 y las imágenes provenientes de él, la fuente primaria de información por excelencia para dichos fenómenos (Vincent, 1997; Gibson et al., 2000).

3. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES

3.1 Conceptos generales

Una considerable cantidad de trabajos de interpretación e identificación en sensado remoto se realizan de manera manual mediante la intervención de un operario, el cual realiza la revisión visual de las imágenes estando estas en formato digital o análogo.

Cuando la información se encuentra en formato digital, las tareas relacionadas con la clasificación pueden realizarse mediante análisis estadístico basado en herramientas computacionales, siendo ellas las encargadas de la extracción e

identificación de las características presentes en la imagen.

A pesar de las ventajas de una metodología sobre la otra, no son excluyentes. Por lo regular el análisis de dicha información se realiza utilizando una mezcla de ambas metodologías siendo el operario el encargado de la decisión final acerca de la utilidad y relevancia de la información extraída.

La imagen satelital es una representación en píxeles del comportamiento de la superficie terrestre siendo esta información sensible a la manipulación a fin de extraer de ella información relevante. Debido a la naturaleza digital de los sensores, la radiancia³ para cada banda espectral debe discretizarse asignándole un valor entero denominado Valor de Numero Digital (DN, por su acrónimo americano) el cual es una relación de la radiancia espectral y una constante de proporcionalidad. (Vincent, 1997) El DN para cada banda espectral se halla comprendido en el rango de valores de 0 a 255

$$DN(i) = q(i)L(i)$$

Donde L(i) corresponde a la radiancia espectral, la cual esta relacionada con la longitud de onda de la banda ith y q(i) es una constante de proporcionalidad

3.2 Procesamiento de la imagen

Antes de analizar cualquier información proveniente de un satélite se deben considerar los defectos entre los cuales es posible encontrar:

- La corrupción de información en los medios de distribución
- Las distorsiones de escala en las imágenes
- Defectos en el sistema de sensado lo cual originará imágenes defectuosas
- La pérdida de datos durante la transmisión desde el satélite a la estación terrestre

Dichas fallas no son comunes en las imágenes satelitales disponibles comercialmente, sin embargo dicha labor se ubica entre las tareas necesarias previas a la clasificación y discriminación, siendo denominadas pre procesamiento o acondicionamiento. Por otro lado,

* La denominación Landsat corresponde a la serie de satélites artificiales manejados por la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) actualmente se han desarrollado siete versiones siendo señaladas las imágenes como Landsat x; siendo x el número del satélite del cual provienen.

³ Se define como el flujo radiante por unidad de ángulo sólido, que sale de una superficie emisora en una dirección dada, por unidad de área en esa dirección

la pérdida de información es un evento posible debido a las condiciones climáticas presentes al instante de realizar la toma. (Araki, 2005; Medina, 2004)

Posteriormente a las correcciones realizadas durante el pre-procesamiento y considerando el objetivo del estudio se establece los criterios a resaltar, dichos criterios se pueden resaltar mediante técnicas de mejoramiento o transformación siendo considerados los dos procesos a continuación.

El mejoramiento comúnmente considera la combinación de una o varias de las opciones relacionadas a continuación:

- Redistribución de la información estadística de la imagen.
- La manipulación de las características del espacio de color (Intensidad, Saturación y Pureza o Hue).
- Filtrado.

La transformación involucra la manipulación de múltiples bandas mediante operaciones matemáticas con las cuales se obtiene una nueva imagen con características resaltadas. (Araki, 2005; Donnay, 2001; González, 2004)

Dentro del concepto de transformación, una de las operaciones más comunes es la substracción de bandas a fin de examinar cambios, siendo esta la técnica por excelencia en estudios de deforestación en los cuales se emplean imágenes tomadas en diferentes puntos temporales a fin de realizar con ellas un estudio multitemporal⁴. (Vargas, 1992; Araki, 2005; Richards, 1993).

Una de las técnicas más empleada radica en la reducción de la información redundante presente en la imagen sin que ello implique pérdidas importantes de información, dicho objetivo se logra mediante el uso del análisis de componentes principales (ACP)⁵. Siendo dichos componentes una combinación lineal de las variables originales, al emplear el ACP se observa como el noventa (90) por ciento de la información presente en la imagen se ubica en los tres (3) primeros componentes.

⁴ Se designa de tal manera el estudio comparativo basado en información proveniente del mismo punto, tomadas con periodos de tiempo entre ellas.

⁵ Se plantea una nueva relación entre las variables con la cual se reduce la cantidad de estas transformándose la información en componentes

3.3 Métodos de clasificación

Durante la clasificación, el operario usa elementos visuales similares para agrupar los píxeles representativos de cada cobertura o uso de interés. Para la clasificación digital la información espectral consignada en los DN's es la clave de la agrupación (Vincent, 1997; Gibson, 2000; Richards, 1993).

El objetivo de la tarea es, lograr la obtención de una imagen donde los píxeles⁶ vinculados por un tema en particular se hallen agrupados por categorías. Para ello se usa la clasificación supervisada ó la no supervisada; durante la supervisada el operario entrega al sistema información acerca de ciertas categorías a manera de criterio de comparación (valores de entrenamiento en el argot de la inteligencia artificial). La definición de dichas áreas se basa en el conocimiento previo por parte del operario de la zona. Por otro lado la clasificación no supervisada recibe los datos y mediante agrupación por características comunes genera las diversas clases presentes en la imagen.

3.3 Técnicas de procesamiento en frecuencia

Al momento de realizar procesamiento de imágenes es muy común la utilización de técnicas basadas en la transformada de Fourier, no obstante hace aproximadamente veinte años aparece un concepto matemático originado en funciones planteadas a partir de pequeñas ondas de frecuencia variable y duración limitada denominadas *wavelets* (ondeletas).

Las técnicas de análisis *Wavelet* emplean regiones de tamaño variable, siendo funciones matemáticas encargadas de dividir los datos en sus diversas componentes en frecuencia y analizar cada componente de acuerdo a una escala definida en el momento de iniciación del análisis. Dicho concepto presenta grandes fortalezas en situaciones en las cuales la señal incluye discontinuidades importantes.

El análisis con la transformada *wavelet* consiste en comparar la señal con ciertas funciones *wavelet*, las cuales se obtienen a partir de una función básica, denominada *wavelet* madre. La comparación permite obtener unos coeficientes susceptibles de interpretación y posterior manipulación.

⁶ Corresponde a la menor unidad de información presente en una imagen digital

Desde el momento de su planteamiento dicho concepto ha demostrado su versatilidad al momento de realizar la codificación de señales (versión discreta) y en el análisis de señales (versión continua) reemplazando a menudo a la Transformada de Fourier. Entre sus aplicaciones mas comunes es posible encontrar; la dinámica molecular, la astrofísica, la óptica, el procesamiento digital de imágenes, el análisis de electrocardiogramas y algunos conceptos de biometría (Walker, 1999; Vega, 2004; Mallat, 1999; Vega, 2004).

4. DESARROLLO DEL TRABAJO

El trabajo se dividió en tres fases siendo ellas definidas por sus productos:

- Fase I Revisión conceptual y desarrollo de pruebas mediante el uso de la *toolbox wavelet* del Matlab.
- Fase II Desarrollo de la metodología y diseño de un aplicativo basado en Java usando el análisis ACP.
- Fase III Discriminación de usos del suelo mediante Inteligencia Artificial, en desarrollo.

A continuación se revisaran los resultados obtenidos en cada una de las fases.

El aplicativo es desarrollado considerando los principios de la fundación para el software libre (FSL) siendo elaborado mediante la IDE Eclipse para Java al cual se lleva la imagen satelital para realizar el pre-procesamiento y la clasificación correspondiente. Como técnica de desarrollo se utiliza la metodología estructurada orientada al proceso, implementada mediante el ciclo de trabajo de tipo espiral donde cada iteración del proceso entrega un producto más maduro y completo

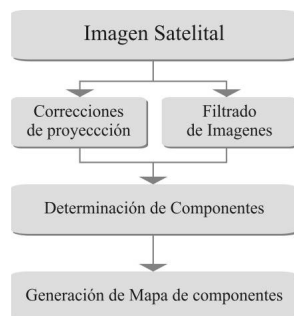


Fig. 2: Procesos desarrollados
Fuente: Desarrollo del proyecto

4.1 Descripción de la metodología

- Discriminación de las bandas componentes de la imagen para su posterior pre-procesamiento
- Preparación de la imagen por componente, la imagen se somete al proceso de filtrado siendo realizado mediante filtros basados en la transformada *wavelet*.
- Creación del patrón de comprobación para el proceso de clasificación basado en los lineamientos del POT.
- Segmentación y determinación de las clases obtenidas a partir de las componentes obtenidas empleando IA.
- Reconstrucción de la imagen a partir de sus componentes.
- Comparación de los resultados obtenidos con las clasificaciones definidas en el patrón de comprobación.

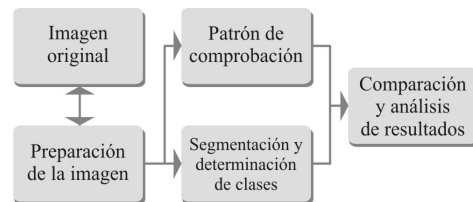


Fig. 3: Metodología utilizada

4.2 Clasificadores de la imagen basados en IA

La Inteligencia Artificial (IA) se encuentra implícita en gran cantidad de actividades, siendo la visión artificial uno de ellas teniendo por objetivo la identificación de objetos o personas, determinación de posiciones, establecimiento de relaciones espaciales entre objetos.

Durante la utilización de la visión artificial se consideran tres etapas básicas:

1. *Procesamiento*: se constituye en la extracción de las características de bordes, gradientes y colores.
2. *Análisis*: Los componentes antes extraídos se agrupan a fin de realizar las tareas de segmentación.
3. *Aplicación*: Se orienta a la interpretación de la información obtenida en las etapas previas, generalmente considerando conocimiento obtenido a priori.

Concentrándonos en la etapa concerniente al análisis, esta es posible realizarla mediante técnicas

de clasificación basadas en redes neuronales artificiales (RNA⁷) del tipo multicapa.

Dichas RNAs se componen de unidades básicas denominadas neuronas, las cuales reciben como entrada una señal obteniendo a su salida una respuesta determinada por las características propias de la red a la cual pertenecen. Dichas RNAs emplean unos patrones de referencia los cuales se denominan conjunto de datos de entrenamiento, a partir del cual el sistema plantea una regla/modelo generalizado en base al cual generara las salidas al momento de recibir la entrada de la información a analizar.

Para el caso en estudio el conjunto de datos de entrenamiento corresponde a zonas con características espectrales particulares, como son los depósitos de agua, vegetación en estado vegetativo⁸ y vegetación en estado generativo⁹.

Dichos patrones de referencia sirven para ajustar el comportamiento de la red, procurando obtener el menor valor en la función error correspondiente a la red en cuestión, logrado esto se entregan los datos a analizar para obtener los resultados.

Al respecto es posible encontrar trabajos en diversas áreas del conocimiento (Betancor, 2008; Berbel, 1989; Tadeo et al., 2002).

4.3 Área de estudio

Se utilizan imágenes del área metropolitana de Bucaramanga (AMB).¹⁰ De dicha área se seleccionan doce (12) imágenes pertenecientes al componente urbano haciendo énfasis en aquellas en las cuales es posible observar comportamientos espectrales diversos. Las doce (12) escenas¹¹ se listan a continuación:

Bucaramanga:

1. Sector comprendido entre la calle 7 y 12 con carreras 21 y 23.
2. Campus Universitario UIS sede Central.
3. Sector calle 45 con carrera 1 y carrera 3 Occ.

4. Sector Estadio Alfonso López.
5. Sector carrera 17 y carrera 20 con calle 16 y calle 18.
6. Sector Calle 18 y calle 32 con carrera 27.
7. Sector Polideportivo Las Américas.

Girón:

1. Sector Girón entrada palenque Zona industrial.
2. Sector Cárcel de mujeres.

Floridablanca:

1. Sector Anillo vial a la altura de Papi quiero piña.
2. Sector Floridablanca Planta de tratamiento Aguas residuales Petar.
3. Sector anillo vial Floridablanca-Girón Barrios.

4.4 Resultados

A continuación se revisa la respuesta obtenida al realizar el análisis de una zona correspondiente al casco urbano de Floridablanca usada durante el trabajo realizado en la fase I y la fase II siendo esta una zona con gran presencia de vegetación en sus diversos estadios.¹²



Fig. 6: Imagen sector barrios anillo vial Floridablanca

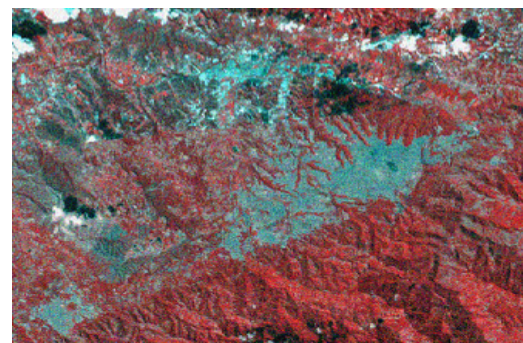


Fig. 7: Resultado de la clasificación Fase I

⁷ Constituyen un paradigma de aprendizaje y procesamiento automático de información inspirado en el funcionamiento del sistema nervioso de los animales

⁸ Estado juvenil de crecimiento y desarrollo

⁹ La planta entra en un estado de reproducción o la muerte

¹⁰ Conformada esta por los municipios de Bucaramanga, Girón, Floridablanca y recientemente Piedecuesta, creada mediante ordenanza No 20 de 1981.

¹¹ Porciones de una imagen de mayor tamaño

¹² Siendo estos sus etapas de desarrollo: plántula, arbusto



Fig. 8: Resultado de la clasificación Fase II

De las gráficas se infiere la superioridad del ACP como elemento clasificador respecto a la transformada *wavelet*, obteniendo zonas definidas de acuerdo al comportamiento espectral de los diversos componentes presentes, los cuales se listan a continuación:

1. Amarillo. Calles, edificaciones - Cuerpos poco reflectivos.
2. Cian. Vegetación en estado vegetativo.
3. Negro. Nubes, agua.
4. Rojo. Suelos desnudos.
5. Blanco. Vegetación en estado generativo.

Clasificación

Como resultado de la fase II se resalta la obtención de perfiles de uso más definidos respecto a los resultados obtenidos en la fase I siendo ellos de carácter aceptable para un análisis de tipo exploratorio, sin embargo para el caso de la tesis considerada se concluye que para una correcta clasificación basada en los usos del suelo deben involucrarse técnicas de análisis automático como mecanismos de discriminación, lo cual corresponde al trabajo en curso definido dentro de la fase III.

Pre-procesamiento

Como técnica de pre-procesamiento la transformada *wavelet* juega un papel de importancia al momento de preparar la información para su introducción al mecanismo de clasificación, convirtiéndose en pieza clave de la fase II y III.

5. CONCLUSIONES

El uso de imágenes satelitales como fuente de información para el análisis de comportamientos presenta notables ventajas debido a su naturaleza multiespectral, siendo la técnica empleada muy específica de acuerdo a la temática del estudio.

El uso de la técnica basada en el análisis de componentes principales arroja resultados notablemente superiores a los obtenidos durante la realización de la fase I, en la cual se empleó la transformada *wavelet* como elemento clasificador.

Durante la elaboración de las pruebas se observa la eficiencia de la técnica ACP respecto a la transformada *wavelet* en términos de la gestión de recursos de la herramienta computacional (Araki, 2005; Walker, 1999; Vega, 2004; Daubechies, 1992; Mallat, 1999; Tadeo et al., 2002; Tang, 2000; Medina, 2004) Sin embargo considerando el comportamiento sobresaliente de la transformada *wavelet* al momento de realizar la remoción de ruido presente en la imagen se constituye en pilar constitutivo de la aplicación en sus etapas posteriores a nivel del preprocesamiento de información.

La transformada *wavelet* se constituye en una poderosa herramienta al momento de manejar imágenes debido a sus propiedades, siendo las *wavelets* de tipo biortogonal las de mejor comportamiento. A pesar de tratarse de un concepto con grandes ventajas tanto para el análisis, como la compresión de imágenes es reducida su utilización a nivel de pregrado.

Como recomendación para trabajos relacionados con la clasificación y parametrización de características sean estas provenientes de imágenes o sensores se hace necesario involucrar técnicas diseñadas con tal fin como pueden ser los algoritmos matemáticos o técnicas de inteligencia artificial, lo cual se constituye en el objetivo del trabajo de la fase III. (Addinson, 2002; Tang, 2000; Medina, 2004).

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la VIE de la UIS, por el apoyo y financiación brindado al proyecto titulado "estudio y diseño conceptual de una ayuda técnica exoesqueleto" código 5546, de donde surge el presente artículo de investigación.

REFERENCIAS

- E, Vargas. Análisis y clasificación del uso y cobertura de la tierra con interpretación de Imágenes: Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1992, pp. 120.

- R Lombo: Ecología y Usos del Suelo [revisado mayo 10 2008] disponible en internet URL:<http://www.sogeocol.edu.co/documentos/Ecologia.pdf>
- Jensen R. Introductory Digital Image Processing Second edition: USA: Prentice Hall, 1996.
- F. Kuehn. *Remote sensing for site characterization*, USA: Editorial Springer, 2000.
- R. Vincent Fundamentals of geological and environmental remote sensing USA: Prentice Hall, 1997.
- H. Araki. Fusão de informações espectrais, altimétricas e de dados auxiliares na classificação de imagens de alta resolução espacial. Universidade Federal do Paraná, Curitiba 2005. Tesis doctoral Facultad de Geodesia y ciencias de la información.
- J Donnay. *Remote Sensing and Urban Analysis*, Premier edition. London: Taylor y Francis, 2001. 268P
- P. Gibson, C. Power., Introductory Remote Sensing Principles and Concepts V.2: Routledge. London, 2000.
- J. Richards Remote Sensing Digital Image Analysis: An introduction, Berlin: Ed Springer Verlag, 1993.
- J Walker. *A primer on wavelets and their Scientific applications*. USA: Editorial CRC, 1999.
- V. Vega. Aplicación de la Transformada Wavelet discreta (TWD) en la detección e identificación de eventos de la calidad de la energía eléctrica, Bucaramanga. UIS, 2004 Tesis de Pregrado Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones.
- R Gonzalez, R. Woods. *Digital Image Processing using Matlab*. Upper Saddle River: Pearson - Prentice Hall, 2004, pp. 954.
- I. Daubechies. Teen Lectures on Wavelets, USA, SIAM, 1992.
- S. Mallat. A wavelet tour of signal processing. Second edition, USA Prentice Hall, 1999.
- P. Addison. The illustrated Wavelet transform Handbook. Second Edition. London Institute of Physics, 2002.
- F. Tadeo, T., Álvarez, S. González. Seguimiento de la cristalización de azúcar mediante procesado de imagen con wavelets Valladolid, Universidad de Valladolid 2002 Tesis de pregrado Departamento de Sistemas y Automática.
- Sistema de reconocimiento de matriculas basado en vision artificial para control de acceso, [online], 2008 [citado: Octubre de 2009] Betancor Antonio Ignacio, Disponible en: <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/725/1/pfm21.pdf>
- La inteligencia artificial en la agricultura: Perspectivas de los sistemas expertos [online], 1989 [citado: Octubre de 2009], Berbel Vecino Julio, Disponible en: http://www.mapa.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_reas/r149_02.pdf
- Y. Tang, I Yang. Wavelet theory and its application to pattern recognition, USA: World Scientific, 2000.
- R Medina, I. Lizarazo. *Fusión de imágenes satelitales usando la transformadora de wavelet*. Bogotá, Universidad Francisco José de Caldas, 2004.
- Wavelet smoothing of fMRI activation images” [online], 2002 [citado: Agosto de 2008]. University College, London. Disponible en: www.fil.ion.ucl.ac.uk/~wpenny/publications/wave.pdf. (<http://bioinfo.uib.es/~joemiro/aenui/procJenui/Demosweb/PDFs/cajav14.pdf>).