

## INTEGRACIÓN ESPACIAL Y ESPECTRAL DE IMÁGENES FOTOGRÁFICAS: EL CASO DE OROSI, PARAÍSO, CARTAGO – COSTA RICA

*Julio César Moraga Peralta\**

*Manuel Antonio Solano Mayorga\*\**

*Bepsy Cristina Cedeño Montoya\*\*\**

### RESUMEN

Los sensores remotos proveen imágenes que según sus características permiten determinar cambios en el uso de la tierra. Se han desarrollado sensores con alto potencial para llevar a cabo este tipo de trabajo, aunque en ocasiones es difícil tener todos los elementos para discriminar los objetos en una misma imagen, por ello recurrimos a transformaciones para la consecución de los objetivos. Este artículo constituye un subproducto del proyecto “Análisis de los cambios del uso de la tierra en el distrito de Orosi, utilizando datos teledetectados de los proyectos CENIGA<sup>1</sup> (TERRA 97) y CARTA<sup>2</sup> 2003: período 1997-2003”. En el caso de Carta 2003 y Spot se presenta una coincidencia temporal pero no espacial ni espectral. El objetivo es ofrecer técnicas de transformación de imágenes fotográficas y multispectrales del proyecto Carta 2003, así como una imagen de la plataforma del Spot. Las transformaciones de las imágenes permitieron cambiar la resolución

---

\* Investigador en el Programa de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional. [jmoraga@una.ac.cr](mailto:jmoraga@una.ac.cr)

\*\* Investigador en el Programa de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional. [msolano@una.ac.cr](mailto:msolano@una.ac.cr)

\*\*\* Investigadora en el Programa de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional. [bcedeno@una.ac.cr](mailto:bcedeno@una.ac.cr)

Fecha de recepción: 27 de junio del 2010.  
Fecha de aceptación: 22 de octubre del 2010.

- 1 Centro Nacional de Información Geoambiental.
- 2 Costa Rica Airborne Research and Technology Applications.

espacial y espectral, las cuales variaban de 2 a 30 metros espacialmente y de 1 a 50 en su espectro. Para los objetivos de la investigación se seleccionaron 9 bandas a las cuales fue posible aplicarles las transformaciones. Se obtuvo resultante de 2 metros de resolución espacial y 9 bandas espectrales. Utilizando las resultantes se realizó la clasificación supervisada, con lo cual se obtuvo un mayor nivel de detalle en la delimitación de los diferentes usos presentes en el área de estudio.

**Palabras claves:** Sensores remotos, imágenes fotográficas, imágenes multispectrales, resolución espacial, resolución espectral.

#### **ABSTRACT**

Remote sensors supply images that, according to their characteristics, allow for determining changes in land use. Sensors have been developed with a high potential to carry out this type of work, although on occasion it is difficult to have all of the elements to distinguish the objects in the same image, and for that we resort to transformations to attain the objectives. This article constitutes a byproduct of the project: "Analysis of Land Use Changes in the District of Orosi, Using Remote Sensing Data of the Projects CENIGA (TERRA 97) and CARTA 2003: Period 1997-2003". CARTA 2003 and Spot present temporary coincidence but not spatial or spectral. The objective is to offer techniques of transforming photographic images and multispectral images of the CARTA 2003 project, such as an image of the Spot platform. Transformation of the images allowed for changing the spatial and spectral resolution, which varied from 2 to 30 meters spatially and from 1 to 50 in their spectrum. For the objectives of the investigation, nine bands were selected to which it was possible to apply the transformations, and with them managed to obtain results of 2 meters of spatial resolution and 9 spectral bands. Utilizing the results, the supervised classification was realized, obtaining a greater level of detail in defining the different uses present in the area of study.

**Key words:** Remote sensing, photographic images, multispectral images, spatial resolution, spectral resolution.

## **1. Introducción**

En los últimos años, una de las regiones más afectadas por sismos, inundaciones, deslizamientos, lluvias intensas y avalanchas, ha sido el distrito de Orosi del cantón de Paraíso, provincia de Cartago, afectando en forma muy severa a las comunidades que ahí habitan. Entre las localidades más afectadas están: Jucó, Navarro y Orosi Centro, las cuales han tenido que aprender a vivir con los eventos que les afectan año con año, situación que ha ido modificando el uso de la tierra.

Dadas las características geográficas del área de estudio se han construido diversas obras de infraestructura que han beneficiado a una gran parte del territorio nacional, sobresaliendo entre ellas: Tubería madre del proyecto de Orosi, el Proyecto hidroeléctrico Río Macho y otros puentes y beneficios de impacto regional.

La obra de mayor trascendencia la constituye el acueducto Orosi, desarrollado por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA); es la inversión económica más cuantiosa y la principal que ha desarrollado dicho instituto en Costa Rica.

Este acueducto posee varias características, entre ellas sobresalen las siguientes:

- Abastece a más de medio millón de habitantes.
- Una tubería que atraviesa áreas de alto riesgo sísmico y de deslizamientos.
- Atraviesa tres ríos que están expuestos a inundación y a socavación.

Estudios realizados desde 1993 (Geomatrix Consultans Inc., 1995) identificaron vulnerabilidad en las siguientes áreas:

- Sísmica.
- Geofísica.
- Hidrológica, hidráulica y estructural.

El 31 de agosto del 2002 se presentó una de las mayores emergencias vividas en Orosi. Un deslizamiento de tierra de gran magnitud en la Quebrada Alto Loaiza, localizada en los cerros ubicados al suroeste de la ciudad de Orosi, dejó como secuela la muerte de siete personas, la destrucción de trece viviendas y la evacuación de 50 personas de sus respectivas viviendas. Aunado a lo anterior, se dio una gran pérdida en aspectos materiales valorados en millones de dólares (Bolaños et al., 2002).

Los factores mencionados anteriormente han provocado diferentes cambios en el paisaje del área, de igual forma que han sido los causantes de que diversas familias hayan salido del área en busca de mayor tranquilidad. Una situación similar se ha identificado en otras localidades de Orosi que están expuestas a las consecuencias de estos eventos, ellas son: Quebrada Quelital, Taus, urbanización Murray, Jucó, Río Macho y Purisil.

El distrito de Orosi ha estado en los últimos años sujeto a varias investigaciones por parte de instituciones nacionales que buscan mitigar los efectos que han causado todos estos eventos. La Comisión Nacional de Emergencias, el Instituto Costarricense de Electricidad, el Instituto

Costarricense de Acueductos y Alcantarillados y la Municipalidad de Paraíso, entre otras, han realizado diversos estudios para conocer y monitorear el área en busca de que todos estos fenómenos afecten de la menor manera posible a Orosi.

Actualmente, Costa Rica cuenta con una serie de datos analógicos y digitales con los cuales es posible crear bases geoespaciales, útiles para llevar la toma de decisión a diferentes localidades. Entre estos datos digitales es necesario mencionar los obtenidos por los proyectos TERRA 97, como también los que pertenecen a CARTA 2003. La utilización de los mismos, a través de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y las técnicas de teledetección, permite realizar un análisis comparativo, con el objetivo de estudiar los diversos cambios sucedidos en el Valle de Orosi.

Este estudio tiene como objetivos, utilizar tecnologías de información geográfica y teledetección para realizar un estudio comparativo en el distrito de Orosi, Cartago, y determinar los cambios de uso de la tierra ocurridos en el período comprendido entre 1997 y 2003. Se estableció un período de análisis de cinco años (1997 a 2003), fundamentalmente por la existencia de datos en los proyectos en mención. En ambos se disponen de imágenes fotográficas y multiespectrales, las cuales bajo procesos semiautomáticos pueden extraer información importante para nuestro caso de estudio.

## **2. La resolución de un sistema sensor y su importancia en la investigación**

Las mediciones realizadas por un sensor (reflectancia electromagnética) son almacenadas en un elemento llamado píxel (unidad espacial mínima de observación en percepción remota), representado por un valor digital. Una imagen digital se concibe como una representación gráfica, en la cual se han grabado a través de niveles digitales, los rasgos de superficie terrestre o acuática. De esta forma, se constituye un arreglo matricial con valores que van de 0 a 255 tonos de gris. Además, en ellos se representa la reflectancia electromagnética de los objetos.

Un sistema sensor posee diferentes grados de discriminación de los objetos, a esta particularidad se le conoce como resolución y pueden ser de tipo espacial, espectral, radiométrica, temporal o angular. Estas particularidades caracterizan las imágenes para diferentes aplicaciones. A continuación se ofrece una breve definición para cada tipo.

La **resolución espacial** está asociada al tamaño del objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre una imagen. En los sensores óptico-electrónicos, se prefiere utilizar el concepto de tamaño de la mínima unidad de información incluida en la imagen, que se denomina píxel.

La **resolución espectral** indica el número y la anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor.

La **resolución radiométrica** hace mención a la sensibilidad del sensor, es decir, a su capacidad para detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe. El número de valores que incluye ese rango -esto es, el número máximo de niveles digitales de la imagen- suele identificarse con la resolución radiométrica del sensor.

La **resolución temporal** alude a la frecuencia de cobertura que proporciona el sensor, es decir, se refiere a la periodicidad con la que éste adquiere imágenes de la misma porción de la superficie terrestre.

La **resolución angular** es un término relativamente reciente y se refiere a la capacidad de un sensor para observar la misma zona desde distintos ángulos.

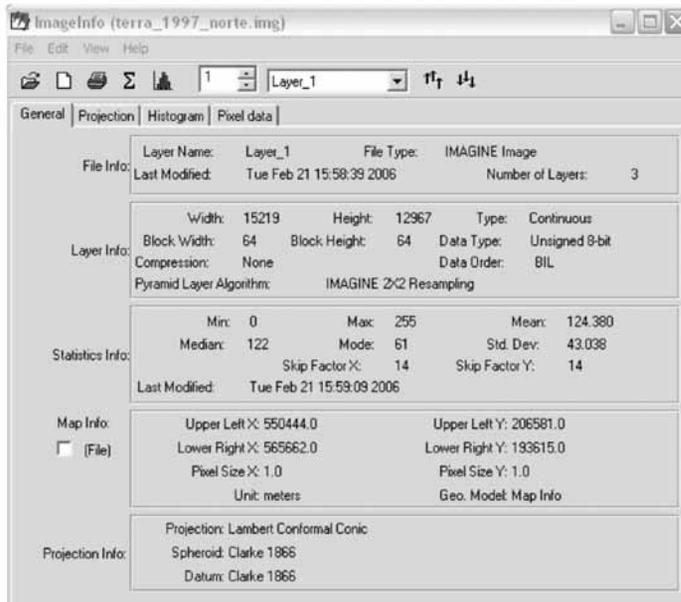
Conocidos los diferentes tipos de resolución, presentamos a continuación las fuentes de datos con las que se cuenta para la consecución de los objetivos en esta investigación.

### **3. Fuentes de datos**

Para realizar el proyecto se tuvo como punto de partida la valoración de los datos teledetectados existentes en los proyectos TERRA 97 y CARTA 2003. Ambas fuentes, a pesar de presentar características distintas en cuanto al tipo de imagen, son de vital importancia, ya que nos permiten abordar los objetivos planteados.

Los datos de TERRA 97 se obtienen en imágenes fotográficas en color natural, las cuales fueron escaneadas y están disponibles en formato digital. Tienen una resolución espacial de 1 metro y su resolución espectral es de 3 bandas. La figura 1 muestra algunos metadatos de la imagen, en formato img y en coordenadas métricas.

**Figura 1:** Metadatos de la imagen fotográfica TERRA 97.



En la figura 2 se muestra un ejemplo de la imagen fotográfica TERRA 97 en color verdadero, resolución espacial de 1 metro.

Por su parte, los datos del proyecto CARTA 2003 están disponibles en imágenes fotográficas infrarrojas y multiespectrales; las primeras tienen una resolución espacial de 2 metros y su espectro es de 3 bandas, mientras que en las segundas la resolución espacial es de 30 metros y su espectro es de 50 bandas.

En la figura 3 se presentan los metadatos de la fotografía infrarroja CARTA, en formato img y en coordenadas métricas.

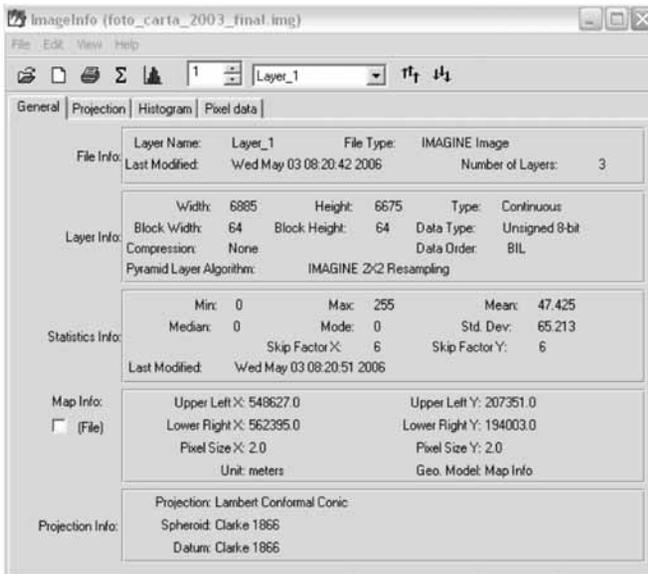
Un ejemplo de este tipo de imagen se da en la figura 4.

Comparando ambos productos fotográficos, se pueden apreciar las diferencias en resolución espacial, aunque no es tan significativo cuantitativamente, si se nota menor definición de los objetos. Además, es importante resaltar que el producto CARTA 2003 está dirigido para usuarios avanzados en interpretación de imágenes, pues las tonalidades del falso color no permiten que usuarios principiantes diferencien los usos existentes.

**Figura 2:** Fotografía TERRA 97.



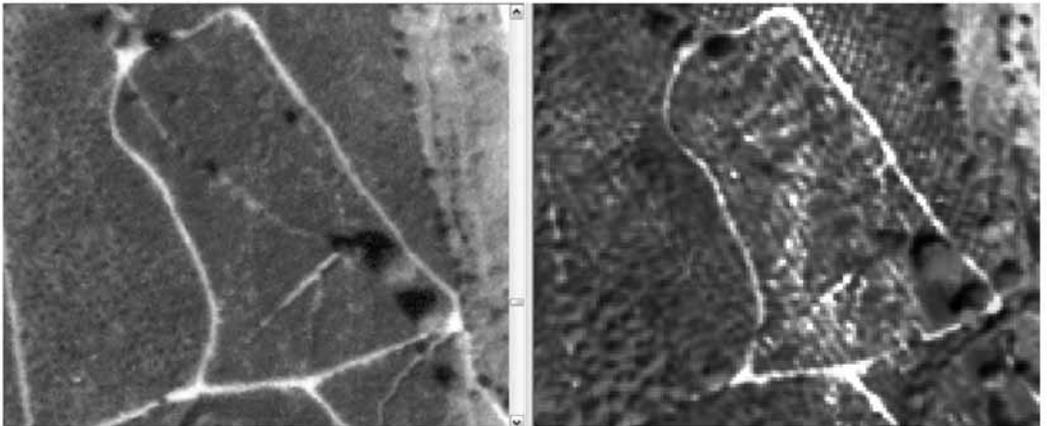
**Figura 3:** Metadatos de la imagen fotográfica CARTA 2003.



**Figura 4:** Fotografía CARTA 2003.



**Figura 5:** Fotografía TERRA 97 y CARTA 2003.



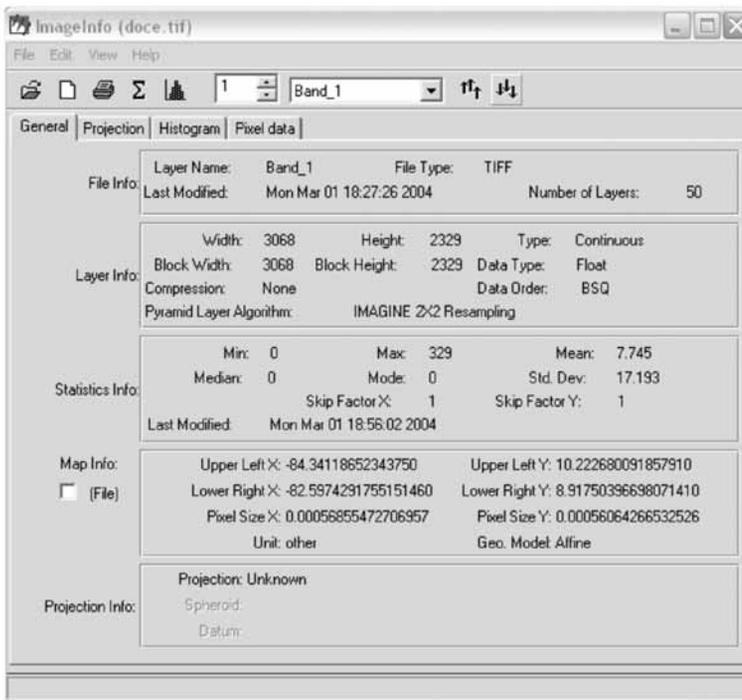
**TERRA 97**

**CARTA 2003**

Un ejemplo de la imagen TERRA 97 con resolución espacial de 1 metro y CARTA con resolución espacial de 2 metros, se muestra en la figura 5.

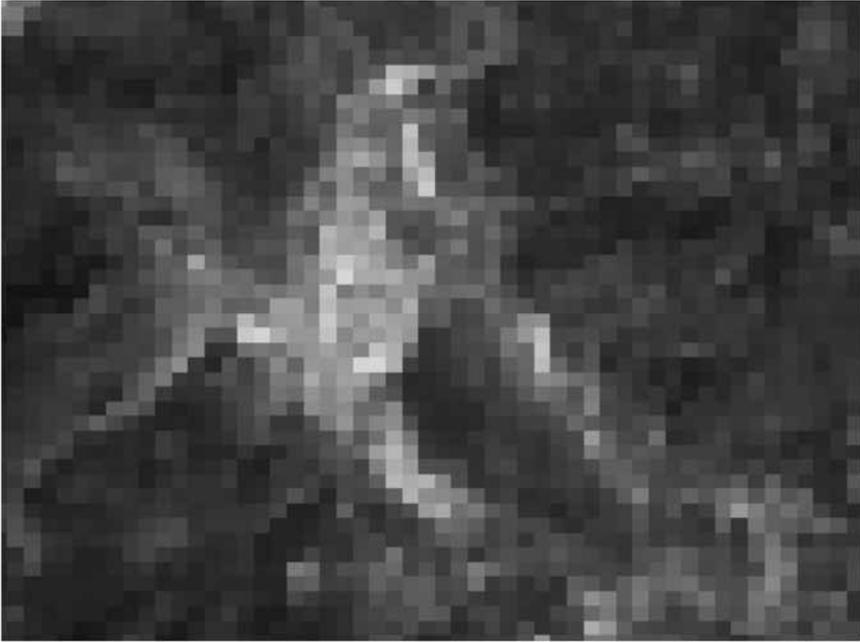
La segunda fuente de datos CARTA 2003 está constituida por imágenes multiespectrales, en la figura 6 se muestran los metadatos de este tipo de imagen, que se encuentra en formato Tiff y en coordenadas geográficas.

**Figura 6:** Metadatos de la imagen multiespectral.



La figura 7 muestra un ejemplo de la imagen multiespectral CARTA 2003, su resolución espacial dificulta la identificación de objetos menores a 30 metros.

**Figura 7:** Imagen multiespectral CARTA 2003.



**Imagen multiespectral CARTA 2003, compuesto 5,4,1**

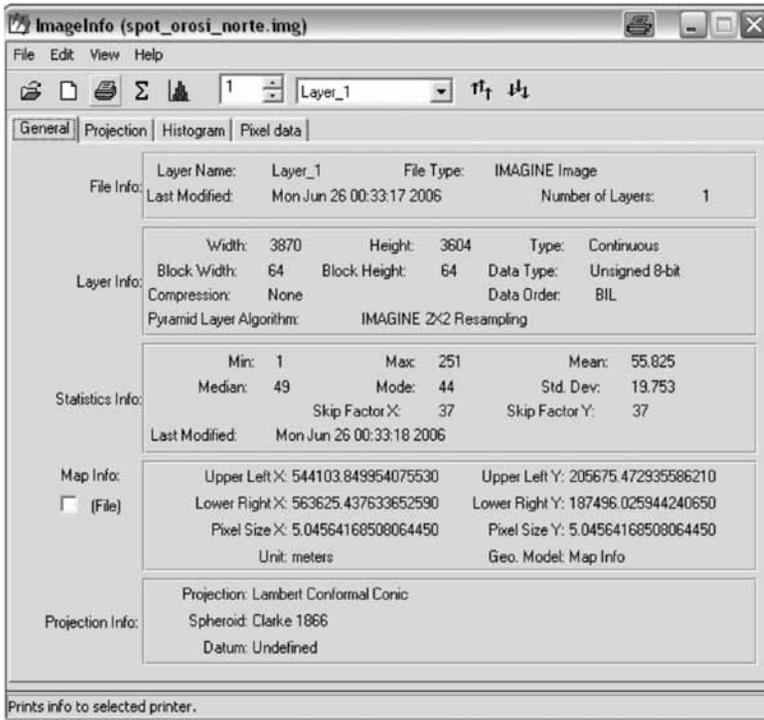
Al comparar las imágenes fotográficas de TERRA 97 y CARTA 2003 con las imágenes multiespectrales CARTA 2003, se deduce que las primeras poseen mayor resolución espacial y menor resolución espectral, mientras que las segundas poseen características inversas a las primeras.

El componente de alta resolución espacial y espectral no se encuentra en una misma imagen, usualmente está presente una de ellas, situación que en ocasiones dificulta la interpretación de imágenes. Por esta razón, nuestro objetivo es obtener una imagen con las características antes mencionadas para facilitar la interpretación y, de esta forma, poder determinar la mayor cantidad de usos posibles.

Además de los datos de TERRA 97 y CARTA 2003, se tuvo acceso a una imagen pancromática del año 2003 de la plataforma del SPOT, ésta tiene una resolución espacial de 5 metros y permite visualizar con mayor detalle algunos elementos que son omitidos por la multiespectral.

La siguiente figura ilustra los metadatos de la imagen.

**Figura 8:** Metadatos de la imagen spot pancromática, 2003.



Un ejemplo de imagen spot pancromática, con resolución espacial de 5 metros, se muestra en la figura 9.

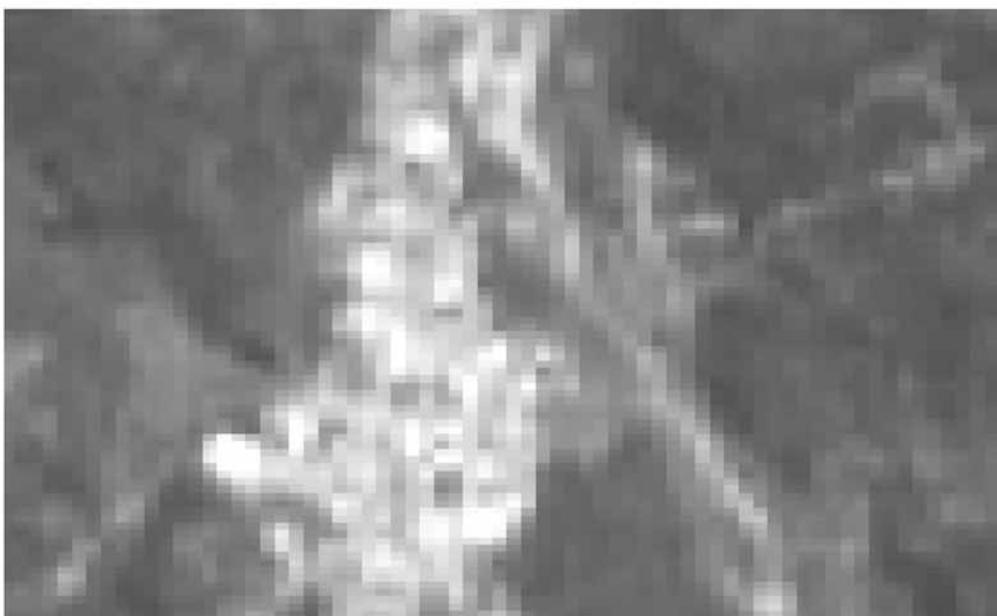
También se tiene acceso a una imagen de la plataforma LANDSAT-7 del año 2001, esta se utiliza como referencia para notar ciertos cambios en el uso de la tierra que son omitidos por cualquiera de las fuentes antes descritas. Un ejemplo de este tipo se muestra en la figura 10. Esta imagen tiene una resolución espacial de 15 metros.

En síntesis, se dispone de 5 fuentes de datos tipo imagen, en ellas pueden apreciarse claramente las diferencias de resolución espacial y espectral, sin embargo, la última imagen no se consideró para realizar los procesos de integración espacial y espectral, ya que no constituye parte de los objetivos de la investigación, por lo que se utilizó como referencia para visualizar ciertos cambios en el uso de la tierra.

**Figura 9:** Spot Pancromática, 2003.



**Figura 10:** Imagen Landsat, 2001.



#### **4. Metodología de integración**

El objetivo principal del tratamiento digital de las imágenes en esta investigación consiste en destacar los principales cambios en el uso de la tierra, por ello se pretende mejorar la visualización para precisar su delimitación. Se analizan todas las composiciones de color posibles y se ensayan diferentes técnicas de modificación del contraste.

El empleo del color en el procesamiento está fundamentado en la mayor capacidad del ojo humano para distinguir variaciones que en muchos casos no es posible realizar en tonos o niveles de gris. La aplicación del color consiste en formar una nueva imagen empleando tres bandas, según criterios particulares, a cada una de ellas se le asigna uno de los tres tonos primarios (azul, verde o rojo). Son las llamadas composiciones en color verdadero o en falso color.

Sin embargo, para la detección de cambios de uso no basta con tratar las composiciones del color, sino que se deben adquirir compromisos para enfrentar los errores por omisión, es decir, desechar un cambio que realmente existe o detectar un cambio que no ha ocurrido. En el primer caso tendríamos una carencia de datos y en el segundo una falsa alarma. En la investigación se pretende evitar esta situación, por lo que se hace necesario tener imágenes bien dotadas en resolución espacial y espectral.

Otro aspecto fundamental y que metodológicamente no se puede obviar hace referencia a la cantidad de categorías que se desean obtener de la imagen, ello es posible si se transforman los rasgos espectrales y espaciales. Es decir, se pueden detectar nuevos usos en una misma exploración manteniendo la estructura espacial, pero alterando la respuesta espectral. Estos cambios espaciales implican la realización de transformaciones a través de métodos controlados en el espectro. Para efectos de la investigación se aplican los siguientes métodos:

- Multiplicativo.
- Análisis de Componentes Principales.
- Transformación de Brovey.

El método multiplicativo aplica un algoritmo simple que integra las dos imágenes, es el más sencillo de los métodos citados, su automatización es rápida y requiere los menores recursos del sistema computacional.

Sin embargo, la imagen resultante no conserva la resolución radiométrica que posee la imagen multiespectral de entrada. Con este método se logra aumentar la intensidad y es muy útil para resaltar rasgos urbanos.

El análisis de componentes principales integra imágenes considerando el componente principal. Este método se usa cuando se requiere mantener un equilibrio en el color, o sea, en aquellas imágenes en las que se necesita que la resolución radiométrica sea semejante a la de la escena original. Al realizar el proceso de automatización es el más lento de los métodos mencionados y requiere la mayor cantidad de los recursos del sistema.

La transformación de Brovey permite aumentar el contraste visual en los extremos bajos y altos de un histograma de las imágenes (es decir, proporciona contrastes en sombras, agua y áreas de reflectancias altas como rasgos urbanos). Por consiguiente, Brovey no debe usarse si se desea conservar la radiometría de la escena original. En imágenes RGB produce un grado más alto de contraste en el histograma, por lo que su visualización mejora sustancialmente. Este método permite unir tres bandas de la escena multiespectral, como por ejemplo: 3,2,1; 4,3,2 o 5,4,1. La imagen resultante se debe desplegar con un RGB, ya sea 3,2,1 o con la composición que se decida seleccionar.

Brovey aplica la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \left[ \frac{DN_{B1}}{DN_{B1} + DN_{B2} + DN_{Bn}} \right] \times [DN_{high\ res.\ image}] &= DN_{B1\_new} \\ \left[ \frac{DN_{B2}}{DN_{B1} + DN_{B2} + DN_{Bn}} \right] \times [DN_{high\ res.\ image}] &= DN_{B2\_new} \\ \text{etc.} \end{aligned}$$

Para aplicar los métodos anteriores se definió la resolución temporal como criterio fundamental para la transformación, ya que solo CARTA 2003 y SPOT 2003 presentan coincidencias. También es importante destacar que lo que se pretende es obtener una imagen de alta resolución espacial y espectral con simetría temporal, aunque los insumos de entrada sean asimétricos (1, 2, 5, 15, 30 metros espacialmente y desde el punto de vista espectral van desde una banda en el caso de la pancromática del SPOT y hasta 50 bandas en el caso de la multiespectral de CARTA).

## **5. Productos obtenidos a partir de las transformaciones aplicadas**

Aplicando los métodos antes señalados se obtuvieron imágenes integradas de alta resolución espacial y espectral, lo que nos permitió interpretar con mayor precisión las diferencias en el mosaico de usos.

La figura 11 es un ejemplo ilustrativo de la aplicación del método multiplicativo para una fotografía CARTA con la multiespectral 2003, el resultado es una imagen con resolución espacial de 2 metros y 9 bandas en el espectro. Compuesto 5,4,1.

**Figura 11:** Transformación de imagen fotográfica CARTA 2003 (Método Multiplicativo).



Otro ejemplo de aplicación, el método de componentes principales a la fotografía CARTA con la multiespectral 2003, se muestra en la siguiente figura. Compuesto 5,4,1.

**Figura 12:** Transformación de imagen fotográfica CARTA 2003 (Método de componentes principales).



El último ejemplo basado en la aplicación del método de Transformación de Brovey para la misma imagen es el siguiente de la figura 13. Compuesto 5,4,1.

**Figura 13:** Transformación de imagen fotográfica CARTA 2003 (Método de Transformación de Brovey).



De igual forma, se le aplicó el método de componentes principales a la imagen spot pancromática, con ellos se amplió el espectro a 9 bandas.

Un ejemplo de Spot Pancromática a la multiespectral CARTA 2003 en color verdadero 3,2,1 aplicando el método de componentes principales, se muestra en la figura 14.

**Figura 14:** Transformación de imagen Spot Pancromática 2003 (Método de Componentes Principales).



Una vez aplicadas las respectivas transformaciones puede notarse que el método que brinda mejores resultados es el de componentes principales, ya que permite conservar la resolución radiométrica, la cual es semejante a la observada en la imagen multiespectral, situación que nos ayuda a evitar algunos de los errores por omisión, debido fundamentalmente a la carencia de datos en las imágenes.

En la figura 14a se muestran algunos ejemplos comparativos de la imagen fotográfica infrarroja original versus la resultante, una vez aplicado el método de componentes principales integrando el espectro de 9 bandas de la imagen multiespectral CARTA 2003.

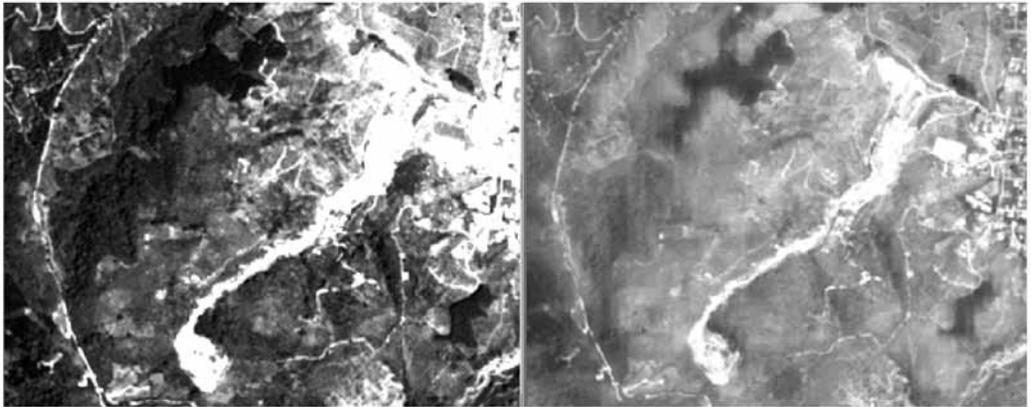
**Figura 14a:** Área de cultivos en infrarrojo vs. resultante espectral.



Imagen de infrarrojo 2003 (Original)

Imagen de espectral 2003 (Resultante)

**Figura 15:** Área con cultivos y movimientos de tierra en la pancromática vs. resultante espectral.



Spot pancromática

Spot multiespectral

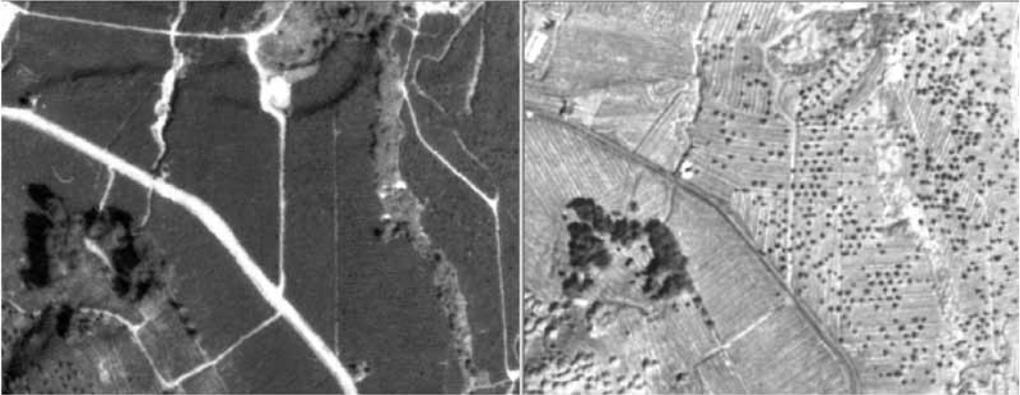
La imagen Spot pancromática versus la imagen resultante una vez aplicado el método de componentes principales integrando el espectro de 9 bandas de la multispectral CARTA 2003 se muestra en la figura 15.

En este ejemplo se nota claramente la diferencia espectral entre ambas imágenes con simetría temporal.

## 6. Cambios en el paisaje

A continuación en la figura 16 se presentan algunos ejemplos para ilustrar áreas que presentan cambios en el paisaje desde el año 1997 al 2003.

**Figura 16:** Cambios en el paisaje.



Cambios de uso

TERRA 97

CARTA 2003

Se pueden apreciar variaciones en las áreas con cultivo de café en diferentes estados de desarrollo (véase la figura 17).

**Figura 17:** Cambios en el paisaje. Deslizamiento de Jucó en el año 2002.



Cambios en el paisaje

TERRA 97

SPOT (Espectral)

En la siguiente figura se evidencian errores por omisión asociados a la resolución espacial. Nótese la poca definición en los arbustos presentes en las áreas de café, según la imagen spot y la imagen fotográfica de CARTA 2003.

**Figura 18:** Poca definición de los arbustos en la imagen spot 2003, con respecto a la fotografía CARTA 2003.



Spot 2003

CARTA 2003

Aplicadas las transformaciones a la imagen, se destaca la importancia que estas tienen para los objetivos planteados, es notorio que los niveles de resolución cambian significativamente, lo que facilita la interpretación visual de los diferentes usos existentes en el área de estudio.

## **7. Limitantes**

A pesar de querer dejar de lado algunos errores en la adquisición de las imágenes, que probablemente obedecen a fallos en el sensor, es importante destacar que las fotografías de CARTA 2003 carecen de elementos para llevar a cabo procesos de ortorrectificación, de allí que se trabajará con métodos aproximados para su corrección.

Otra limitante se debe a que las imágenes fotográficas presentan buena resolución espacial pero no así espectral, esto repercute en la discriminación de categorías de usos.

Las imágenes multiespectrales, desde el punto de vista técnico, presentan dificultades para su procesamiento, ya que su resolución espacial dificulta una adecuada corrección geométrica.

## **8. Conclusiones**

Las fuentes de datos disponibles tienen un alto potencial para el desarrollo de este tipo de trabajo.

Para usuarios de los productos de los proyectos TERRA 97 y CARTA 2003 se requieren un mayor entrenamiento en el tratamiento de imágenes digitales y su integración con los resultados obtenidos de distintas plataformas de teledetección.

En el caso de CARTA, existen dos productos del tipo de imagen: uno fotográfico y otro multiespectral. Ambos pueden integrarse para lograr ampliar el espectro del primero y, de esta forma, obtener fotografías en color natural o falso color con buena resolución espacial.

De los métodos utilizados para la integración de imágenes, puede recomendarse el de componentes principales, ya que conserva buena parte de su resolución radiométrica, permitiendo con ello una mejor interpretación visual de los objetos presentes en ellas.

A partir de la integración de las imágenes, la delimitación del mosaico de usos presentó mayor precisión geométrica.

Finalmente se pretende motivar a distintos investigadores que utilicen imágenes teledetectadas a aplicar estos métodos para mejorar la utilidad de las fuentes de datos.

## 9. Referencias

- Bolaños, Miguel et al. (2002). *Inestabilidad en las laderas de Orosi*. Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), Costa Rica.
- Centro Nacional de Información Geoambiental (CENIGA). (2007). TERRA. Costa Rica Airborne Research and Technology Applications (2003). CARTA: período 1997-2003.
- Chuvieco, Emilio (2002). *Teledetección Ambiental*. España: Ed. ARIEL.
- Geomatrix Consultans Inc. (1995). *Estudio de vulnerabilidad sísmica del acueducto de Orosi*. San Francisco, California, USA.
- Plataforma LANDSAT-7 del año 2001.