

INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales desempeñan un papel fundamental en la transformación de los paisajes, la sucesión de la vegetación, la degradación del suelo y calidad de aire (E. Chuvieco, *et al.*, 2009). Las prácticas sobre el manejo de incendios forestales son altamente dependientes de la adecuada supervisión de la distribución espacial de los complejos naturales y artificiales de combustible a nivel del paisaje. Los patrones espaciales de tipos de combustibles así como la estructura tridimensional y el estado de la vegetación son esenciales para la evaluación y predicción del riesgo de incendios forestales y su comportamiento (B. Koetz, *et al.*, 2008). Se utilizaron imágenes Landsat ETM+ de julio de 2001 y enero de 2003 que abarcan la zona de estudio dentro del municipio de Melgar, departamento de Tolima, ambas imágenes con una resolución espacial de 30 metros. El software ERDAS IMAGINE®, fue utilizado para el procesamiento de las imágenes, generando como resultado mapas de los Índices de Susceptibilidad de Incendio en la zona de estudio.

ÁREA DE ESTUDIO

El Municipio de Melgar se ubica sobre los 4°12' de latitud Norte y 74°39' de Longitud Oeste, a 323 m.s.n.m. La zona de estudio comprende el rectángulo entre las coordenadas superior izquierda 486780E, 562140N, e inferior derecha 569310E, 408240N, una zona caracterizada por ser un sitio donde se presentan numerosos incendios forestales según reporte de los Bomberos de Bogotá.

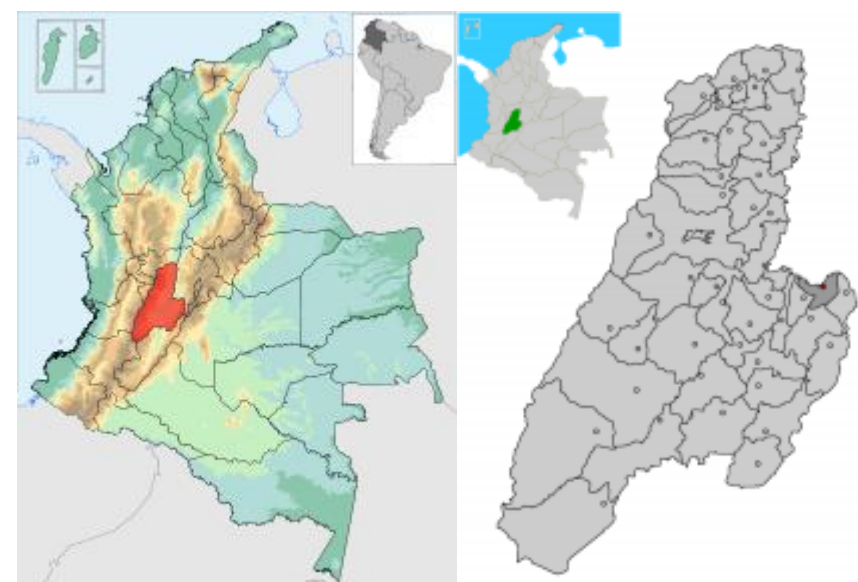


Figura 1. A la izquierda, la ubicación del departamento del Tolima, a la derecha, el municipio de Melgar.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología base de este estudio se realizó por medio de la implementación de imágenes ASTER, dichas imágenes cuentan con una constante de calibración que no pudo ser determinada para las imágenes Landsat ETM+, lo cual, puede afectar el resultado final del estudio.

Algunas de las constantes utilizadas durante el proceso, fueron cambiadas según artículos relacionados con el tema central del proyecto, de esta manera, debido a la falta de validación del proyecto, no son 100% confiables.

La implementación de un sistema de control que permita la disminución de fenómenos como los incendios forestales es de gran importancia, ya que permite obtener ganancias no solo de tipo ambiental como la preservación de cuencas hidrográficas, la calidad del aire, la disminución en la degradación del suelo y la conservación de nuestros paisajes, sino también ganancias de tipo económico a las entidades encargadas de su extinción. Se obtuvieron imágenes Landsat ETM+ para las fechas de julio de 2001 y enero de 2003 que cubren la zona de estudio con una resolución espacial de 30 metros, la corrección atmosférica se llevó a cabo por medio de la implementación del método de Chávez (1995), el cual permite realizar un ajuste en el histograma banda por banda.

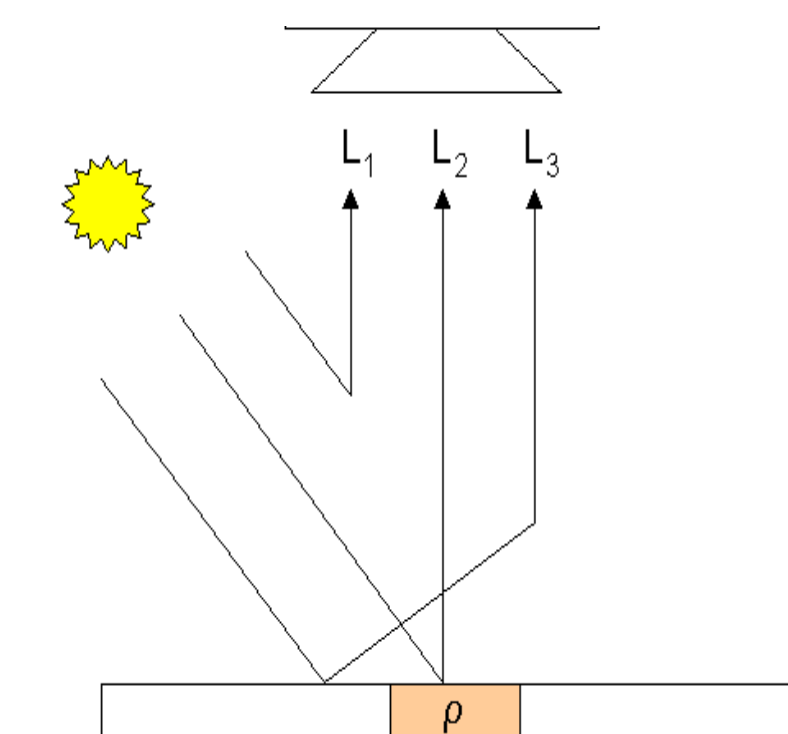


Figura 2. Tipos de reflectancia captadas por los sensores, donde L1 es ocasionada por efectos atmosféricos, L2 es la reflectancia generada por el pixel y L3 es atribuida a reflectancia emitida por pixeles adyacentes debido a morfología del terreno.

Por ser una metodología basada en elementos estáticos para facilitar su medición, se excluyeron factores como los humanos y los vientos, debido a su alta complejidad de medición, nos centramos así, en factores predecibles como el calor y la humedad, los cuales en cantidades adecuadas serán potencialmente generadores de incendios forestales. La estimación de los combustibles, se llevó a cabo por medio del Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI), realizando una razón entre este y la temperatura superficial del terreno (LST) según lo propuesto por P. Guang-xiong, *et al.*, (2006), determinando de esta manera la humedad del combustible. Para la estimación de la temperatura, se utilizó la ecuación de Planck.

$$T = \frac{c_2}{\lambda_i \ln\left(\frac{\epsilon_m c_1}{\pi L_m \lambda_m^5} + 1\right)} \quad (1)$$

Donde T es la temperatura de la superficie terrestre, ϵ_m el valor máximo de ϵ_i , L_i la radianza de las bandas cuya emisividad es el valor máximo, λ_i la longitud de onda de la banda cuya emisividad es el valor máximo, $c_1 = 3.74151 \times 10^{-4} W \cdot \mu m^2$ y $c_2 = 1.43879 \times 10^{-4} \mu m \cdot K$.

Se realizó además, el cálculo la energía térmica de pre-ignición, el cual mide tres índices de peligro de incendio meteorológico que indican la energía térmica requerida para traer un combustible desde su actual temperatura a una temperatura de ignición dichos factores se ven como la suma del calor requerido para elevar la temperatura de humedad contenida en el punto de ebullición (373 K bajo la presión atmosférica estándar), el calor requerido en evaporar el contenido de humedad y el calor requerido para elevar la temperatura del combustible seco resultante a la temperatura de ignición.

$$Q_{ig} = M_f [C_{pw}(373-T_f)] + M_f V + C_{pd}(T_{ig} - T_f) \quad (2)$$

Donde Q_{ig} es la energía térmica de pre-ignición, C_{pw} y C_{pd} son los calores específicos del agua y la madera seca respectivamente, mientras T_{ig} y T_f son las temperaturas de ignición de la madera y la temperatura del combustible, M_f es el contenido fraccional de humedad y V es el calor latente de vaporización.

Por último, se calculó el Índice de Susceptibilidad de Incendio se realizó para la generación de los mapas de susceptibilidad, los cuales muestran las zonas de mayor riesgo de incendio.

RESULTADOS

Las imágenes de temperatura calculadas por medio de la ecuación de Planck, mostraron una mayor correlación en la banda 6(1) de las imágenes Landsat ETM+, por lo cual fueron utilizadas para el estudio.

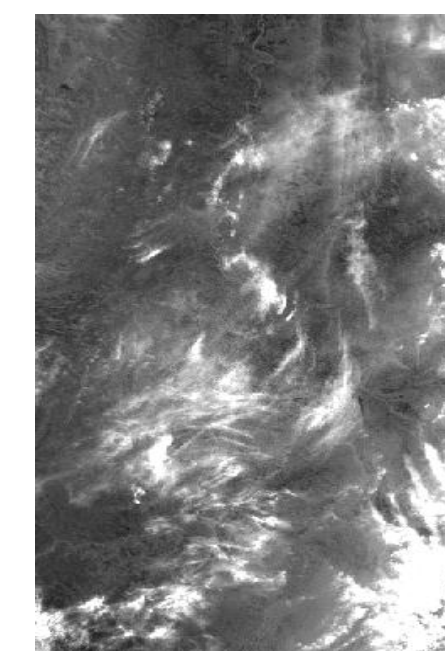


Figura 3. Temperatura obtenida para la banda 6(1) de julio de 2001

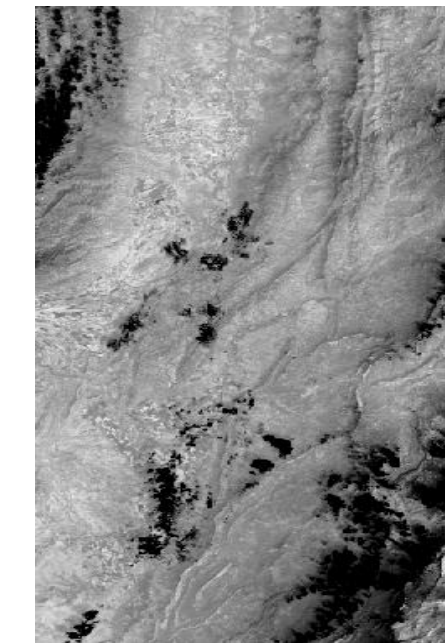


Figura 4. Temperatura de la superficie, imagen Landsat ETM+ Banda 6(1) enero 2003

Los resultados del índice de susceptibilidad de incendio (FSI) fueron clasificados por medio del algoritmo ISODATA establecido por el Software ERDAS IMAGINE®, en general se clasificaron 3 tipos de zonas de susceptibilidad (alta, media y baja). Al realizar una comparación visual entre las zonas de mayor riesgo y la clasificación del combustible, observamos que las zonas que generalmente tienen menor riesgo de incendio, corresponden a zonas sin vegetación o ríos.

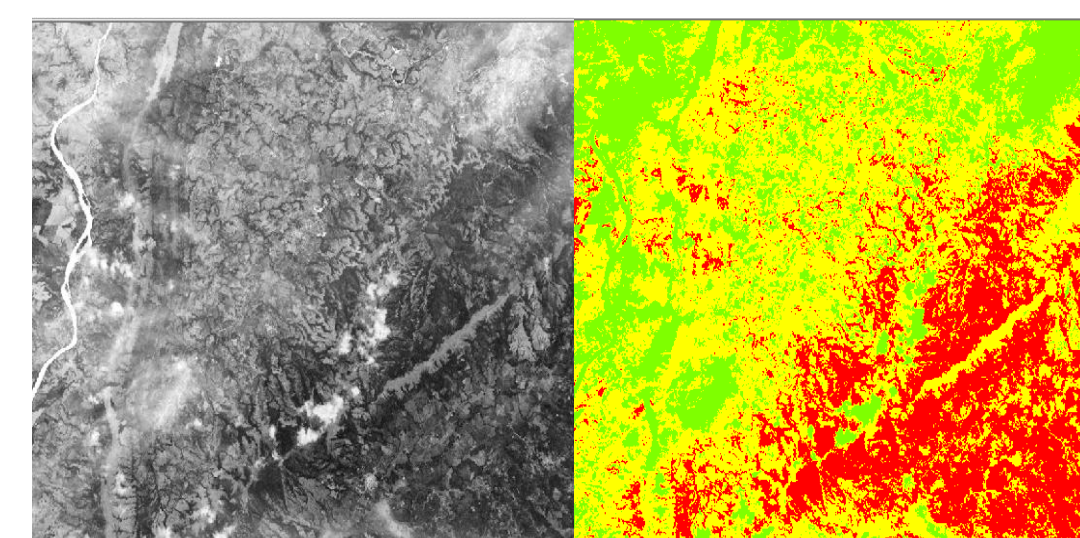


Figura 5. NDVI vs. índice de susceptibilidad de incendio para la fecha julio de 2001

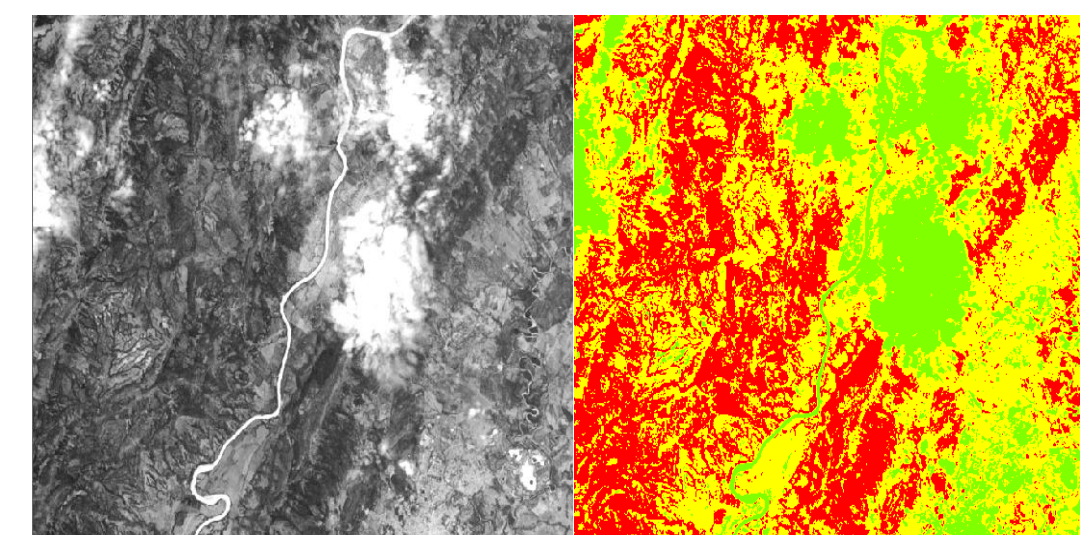


Figura 6. NDVI vs. índice de susceptibilidad de incendio para la fecha enero de 2003

Se realizaron finalmente los mapas de índice de susceptibilidad para ambas fechas, a una escala de 1:200.000 para la misma zona, los cuales se muestran a continuación.

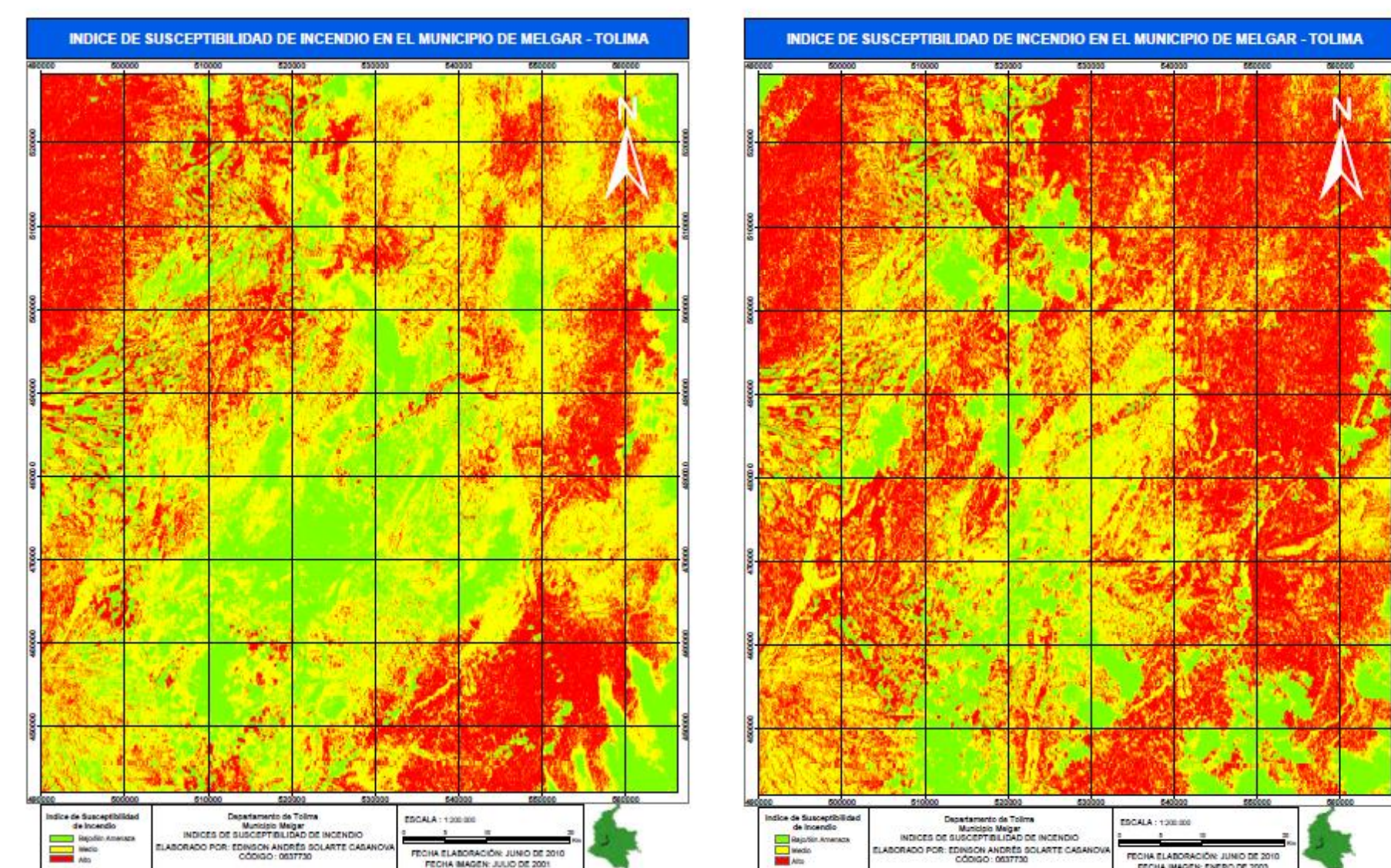


Figura 7. Índice de susceptibilidad de incendio forestal para las fechas de julio de 2001 y enero de 2003 respectivamente.

CONCLUSIONES

- La comparación entre las imágenes clasificadas por medio del algoritmo NDVI y el índice de susceptibilidad de incendio (FSI), muestra un resultado esperado con respecto de lo que pueden ser zonas de incendio, esto, debido a que sus mayores índices se situaron en zonas boscosas, en contraste con lo encontrado en las áreas con valores bajos, que muestran en su mayoría, los sitios donde existe presencia de nubes o ríos.
- Para un mejor manejo de los rangos, se recomienda la implementación de máscaras que permitan eliminar la presencia de zonas sin vegetación, como lo son nubes, ríos y casco urbano.

BIBLIOGRAFIA

- E. Chuvieco, et al., "Development of a framework for fire risk assessment using remote sensing and geographic information system technologies," *Ecological Modelling*, vol. 221, p. 13, 2009.
- P. Guang-xiong, et al., "A Forest Fire Risk Assessment Using ASTER Images in Peninsular Malaysia," *Journal of China University of Mining & Technology*, vol. 17, p. 6, 2006.
- E. Chuvieco, et al., "Combining NDVI and surface temperature for the estimation of live fuel moisture content in forest fire danger rating," *Remote Sensing of Environment*, vol. 92, pp. 322-331, Aug 2004.
- M. Mutlu, et al., "Mapping surface fuel models using LIDAR and multispectral data fusion for fire behavior," *Remote Sensing of Environment*, vol. 112, pp. 274-285, Jan 2008.
- FAC, "Fuerza Aérea Colombiana participa en extinción de incendios forestales en Cundinamarca y Tolima," *Boletines de Prensa*, Sep. 2009. http://www.fac.mil.co/index.php?idcategoria=42352&facmil_2009=669398b5cf6e3738864773b5897b657e
- X. J. Hao and J. J. Qu, "Retrieval of real-time live fuel moisture content using MODIS measurements," *Remote Sensing of Environment*, vol. 108, pp. 130-137, May 2007.
- J. Clevers, et al., "Using spectral information from the NIR water absorption features for the retrieval of canopy water content," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 10, pp. 388-397, Sep 2008.
- M. García, et al., "Combining AVHRR and meteorological data for estimating live fuel moisture content," *Remote Sensing of Environment*, vol. 112, pp. 3618-3627, Sep 2008.
- M. Yebra, et al., "Estimation of live fuel moisture content from MODIS images for fire risk assessment," *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 148, pp. 523-536, Apr 2008.

AGRADECIMIENTOS

Al docente Francisco Luis Hernández Torres, por su colaboración y apoyo durante la realización del proyecto, y a los integrantes del centro de estudios Azimuth 3740.