

## A QUIEN INTERESE

LA SUSCRITA PRESIDENTE CERTIFICO QUE:

**Chuvieco, E.; Opazo, S.; del Valle, H.; Sione, W.; Anaya, J.;  
González, F.; López, G.; Di Bella, C.; Mari, N.; Setzer, A.;  
Csiszar, I.; Manzo, L.; Morelli, F.; Acevedo, P.; Bastarrika, A.,**

CARTOGRAFÍA GLOBAL DE ÁREAS QUEMADAS EN AMÉRICA LATINA:  
EXPERIENCIAS DEL PROYECTO AQL2004, en el XII Simposio Internacional en  
Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica que se llevo a  
cabo en Cartagena-Colombia durante los días 24 al 29 de Septiembre de  
2006.

Bogotá, 8 de Noviembre de 2006.



-----  
Myriam Ardila Torres  
Presidente

## Cartografía global de áreas quemadas en América Latina: experiencias del proyecto AQL2004

Emilio Chuvieco<sup>1</sup>, Sergio Opazo<sup>9</sup>, Héctor del Valle<sup>2</sup>, Walter Sione<sup>3</sup>, Jesús Anaya<sup>6</sup>,  
Federico González<sup>4</sup>, Gerardo López<sup>5</sup>, Carlos Di Bella<sup>7</sup>, Nicolas Mari<sup>7</sup>, Alberto Setzer<sup>8</sup>, Ivan  
Csiszar<sup>10</sup>, Lilia Manzo<sup>11</sup>, Fabio Morelli<sup>8</sup>, Patricio Acevedo<sup>12</sup> y Aitor Bastarrika<sup>13</sup>

- (1) Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá (España), [emilio.chuvieco@uah.es](mailto:emilio.chuvieco@uah.es)
- (2) CENPAT - CONICET (Argentina), [delvalle@cenpat.edu.ar](mailto:delvalle@cenpat.edu.ar)
- (3) UNLU - Depto. de Ciencias Básicas. PRODITEL. e-mail: [sione@selper.org](mailto:sione@selper.org)
- (4) Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA, España),  
[alonso@inia.es](mailto:alonso@inia.es)
- (5) CONABIO - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (México),  
[glopez@xolo.conabio.gob.mx](mailto:glopez@xolo.conabio.gob.mx)
- (6) Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad de Medellín (Colombia)  
[janaya@udem.edu.co](mailto:janaya@udem.edu.co)
- (7) Instituto de Clima y Agua, INTA-Castelar (Argentina), [cdibella@cni.inta.gov.ar](mailto:cdibella@cni.inta.gov.ar)
- (8) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, [asetzer@cptec.inpe.br](mailto:asetzer@cptec.inpe.br)
- (9) Escuela de Ciencia y Tecnologías Agropecuarias, Universidad de Magallanes, Punta Arenas, (Chile), [sergio.opazo@umag.cl](mailto:sergio.opazo@umag.cl)
- (10) University of Maryland, Department of Geography (USA), [icsiszar@hermes.geog.umd.edu](mailto:icsiszar@hermes.geog.umd.edu)
- (11) Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México,  
[lmanzo@igiris.igeograf.unam.mx](mailto:lmanzo@igiris.igeograf.unam.mx)
- (12) Departamento de Ciencias Físicas, Universidad de La Frontera, [pacevedo@ufro.cl](mailto:pacevedo@ufro.cl)
- (13) Dpto. de Ingeniería Topográfica, Universidad del País Vasco, [aitor.bastarrika@ehu.es](mailto:aitor.bastarrika@ehu.es)

### RESUMEN

Se presentan en este trabajo los resultados preliminares del proyecto AQL2004, desarrollado en el marco de la red latinoamericana de incendios forestales (Redlatif), que forma parte del programa internacional GOF-C-GOLD. El proyecto pretendía realizar una cartografía mensual de áreas quemadas para todo el subcontinente, desde México hasta Tierra del Fuego, empleando datos del sensor MODIS a bordo de la plataforma Terra. Dada la ingente área abarcada y el escaso presupuesto disponible para el proyecto, se ha partido de información gratuita, disponible en los servidores de NASA y de la Universidad de Maryland. Para la validación, se ha contado con imágenes SAC-C MMRS, SPOT, CBERS y Landsat-ETM/TM, facilitadas por la agencia argentina CONAE, la brasileña INPE y la mexicana ERMEXS.

El proyecto se ha desarrollado en tres fases metodológicas: adquisición de la información de partida, extracción de las áreas quemadas y validación de resultados. En la primera se han empleado como datos fuente los compuestos de 32 días de imágenes de reflectividad MODIS (500 m de resolución espacial con las 7 primeras bandas). Para la extracción de la información de áreas quemadas, se han empleado índices espectrales ajustados a la señal del carbón, así como técnicas de detección de cambios. Finalmente se han aplicado criterios de contexto para refinar la delimitación de los perímetros quemados.

Los resultados preliminares indican una fiabilidad global del proceso que se sitúa entre el 30 y el 60%, con una amplia variedad entre los ecosistemas tropicales y los templados, así como en función del tipo de vegetación quemada. La superficie total quemada en el año 2004 en América del Sur puede estimarse entre 800.000 y 1.800.000 Km<sup>2</sup>, basada en la verificación de 4 de las 12 ventanas en que se dividió el área de estudio.

Palabras clave: Área quemada, Teledetección, Latinoamérica, MODIS

### ABSTRACT

This paper presents the first results of the AQL2004 project, which has been developed within the Latinamerican network of remote sensing and forest fires (RedLatif), part of the GOF-C-GOLD network. The project intended to obtain a monthly burned land mapping of the whole continent, from Mexico to Patagonia, using the MODIS reflectance data. All the input images

have been obtained freely, both the MODIS input images, as well as the Landsat and CBERS validation data.

The project has been organized around 3 different phases. The acquisition and pre-processing of satellite data; the discrimination of burned pixels, and the validation of results. In the first phase, the input data have been the 32 day composites of MODIS 500 m reflectance data generated by the GLFC of University of Maryland. The discrimination of burned areas was addressed in two phases: seeding of burned core pixels using post-fire spectral indices and multitemporal comparison, and mapping of burned scars using contextual techniques. The validation is not yet finished. Preliminary results show a ranging accuracy from 30 to 60%, depending of ecosystems and vegetation species. The total burned area can be preliminary estimated between 800.000 and 1.800.000 sq km, based on the validation of 4 out of 12 study zones.

Keywords: Burned Area, Remote Sensing, Latin America, MODIS

## 1. Teledetección de áreas quemadas

Según el reciente informe de la FAO sobre la evolución de los bosques en el mundo durante el período 2000-2005 (FRA-2005), Latinoamérica fue la región del Planeta con una mayor tasa anual de deforestación (en torno a 4.884.000 ha /año), lo que representa el 66,74% de la deforestación en el mundo. El principal medio utilizado para la deforestación es el fuego, que muchas veces escapa el control y causa incendios forestales en áreas con bosques todavía naturales. De ahí la importancia de estudiar con más detalle este fenómeno.

Una de las cuestiones más importantes que afectan a la gestión de los incendios forestales es la falta de una cartografía sistemática del área quemada, que dificulta la evaluación del impacto medioambiental así como la introducción de medidas apropiadas para prevenir la erosión del suelo y ayudar a la regeneración de la vegetación. La mayor parte de los países en desarrollo afectados por incendios forestales no cartografían de forma sistemática las áreas quemadas, lo que dificulta conocer los patrones espaciales de ocurrencia. En este contexto, la teledetección ha mostrado ser muy eficaz en la cartografía del área quemada ya que permiten cubrir grandes extensiones con una alta frecuencia temporal y además proporciona información en regiones espectrales no visibles que diversos autores han mostrado ser las más interesantes para su discriminación (Martín et al., 2005; Pereira, 1999).

En la última década se han desarrollado numerosos proyectos para cartografiar áreas quemadas, tanto a escala local, con imágenes de resolución media-alta (Cocke et al., 2005; Epting et al., 2005; Heredia et al., 2003), como a escala global, con sensores de resolución espacial baja, como NOAA-AVHRR, SPOT-Vegetation y Terra-MODIS (Silva et al., 2005; Stroppiana et al., 2002). De especial relieve para nuestro trabajo son los dos proyectos para cartografiar globalmente áreas quemadas en el año 2000 que se desarrollaron por al centro común de investigación europeo (JRC) y la Agencia Espacial Europa (ESA). El primero, denominado GBA2000, se basó en datos del SPOT-VEGETATION (Grégoire et al., 2003; Tansey et al., 2004), mientras el segundo se abordó a partir de datos ATSR instalado en el satélite europeo ERS-2, y se denominó Globscar (Simon et al., 2004). Ambos produjeron resultados muy relevantes, aunque no validados consistentemente, lo que llevó a divergencias considerables en distintas regiones del mundo.

Por su parte, la división de aplicaciones terrestres del programa MODIS prepara un producto estándar de áreas quemadas, basada en la comparación temporal de imágenes corregidas de los efectos direccionales (Roy et al., 2005b; Roy et al., 2002).

## 2. Objetivos

El objetivo de este proyecto, que denominamos AQL2004, era proponer un método semi-operativo y de bajo coste para cartografiar áreas quemadas en grandes incendios en Latinoamérica, de cara a la evaluación espacio-temporal más detallada de los efectos de las quemadas en el continente. Se planteó como una actividad de la red latinoamericana de incendios forestales (RedLatif: <http://www.conae.gov.ar/redlatif/>), creada en el marco del programa internacional GOF-C-GOLD (<http://www.fao.org/gtos/gofc-gold/index.html>).

## 3. Metodología

### 3.1. Adquisición de imágenes y pre-tratamiento de los datos

El proyecto se basaba en una red de laboratorios muy diversos en cuanto a recursos y experiencia previa en el área, además de no contar con financiación específica. En consecuencia, parecía oportuno basarse en datos de entrada bastante accesibles. Entre los sensores disponibles para la escala regional-global que se pretendía abarcar en el proyecto, optamos por utilizar como datos de entrada los compuestos temporales de 32 días que venía produciendo la Universidad de Maryland para su proyecto de cartografía global de la cobertura del suelo (Townshend et al., 2003). Estos compuestos no son productos estándar del programa MODIS, pero se obtienen a partir de cuatro compuestos estándar de reflectividad, MOD09A1, que incluyen para periodos de 8 días las bandas de mayor resolución del MODIS (ver tabla 1). Para obtener el producto de 32 días se seleccionó para cada píxel los valores correspondientes al compuesto de 8 días que tuviera el segundo albedo más bajo de los cuatro que forman el periodo de 32 días. Este criterio se empleó con objeto de eliminar nubes y sombras de nubes, según los autores). Los datos se ofrecen escalados en tantos por 10.000 (esto es, la reflectividad se ha multiplicado por 10000). Una vez realizado el compuesto, en la Universidad de Maryland se realizaron los mosaicos de todo el continente, re proyectándose del sistema sinusoidal estándar del MODIS a la proyección Goode Homolosena interrumpida, manteniendo la resolución de 500x500 m. El área de estudio se dividió en 12 regiones, con una superficie promedio cercana a los dos millones de Km<sup>2</sup>, y cada zona se asignó a alguno de los grupos participantes.

Tabla 1: Bandas del sensor MODIS utilizadas en el proyecto

Número	Longitud de onda(nm)	Descripción
1	620-670	Rojo
2	841-876	Infrarrojo cercano
3	459-479	Azul
4	545-565	Verde
5	1230-1250	SWIR
6	1628-1652	SWIR
7	2105-2155	SWIR

Pese a los filtros de nubes que incluyen tanto el compuesto estándar MOD09A1 como el de 32 días, observamos que todavía se mantenían restos de nubes en algunas regiones donde la frecuencia convectiva es especialmente alta. En consecuencia, optamos por aplicar algún filtro adicional, basado en datos de reflectividad de las bandas infrarrojo cercano, rojo y SWIR. Los valores resultantes, tras diversos ensayos fueron: nube = (banda 2>2500 y banda3>600 y banda5/banda3>0,7) si bien en el sur del continente, se mostró que el último criterio era muy restrictivo, sugiriéndose cambiarlo por su contrario: banda5/banda3<0,7.

Frecuentemente en los proyectos para cartografiar áreas quemadas se reconoce el problema que plantean otras superficies de baja reflectividad, que tienen muy poca o nula probabilidad de quemarse, como es el caso del agua o los suelos muy oscuros. Para evitar errores de comisión, se optó, en consecuencia por aplicar una máscara de zonas no combustibles, construida a partir del producto VCF (Vegetation Continuous Fields), que desarrolla la Universidad de Maryland para el seguimiento global de las cubiertas vegetales (Hansen et al., 2002). En este producto se dispone de tres capas temáticas: suelo, herbáceo y árboles, clasificados entre 0 y 100, mediante un criterio similar al desmezclado espectral. En nuestro caso, para aislar las zonas no combustibles, se optó por la siguiente opción:

No combustible = si suelo>80 o (herbáceo<70 y árboles<10)

Ante la posibilidad de que en algunos sectores ese criterio pudiera eliminar algunas zonas de hecho quemadas, se planteó codificar los valores resultantes de la máscara anterior con una etiqueta y cruzarlo al final del proceso con las áreas quemadas resultantes, para validar si estaba funcionando adecuadamente en las distintas regiones de estudio.

Finalmente, se planteó la posibilidad de abordar algunas correcciones del efecto de iluminación, que podrían causar problemas de confusión entre incendios y sombras topográficas en los sectores más agrestes. Ante la dificultad para obtener parámetros de posición solar que fueran aplicables a regiones grandes, se decidió restringir este algoritmo a las pendientes mayores al 5% solo en las proximidades de los Andes. Los datos de partida para esta corrección se basaron en el modelo digital del planeta que se generó a partir del radar interferométrico SRTM (<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>).

### 3.2. Generación de índices espectrales

La cartografía de áreas quemadas se ha basado comúnmente en el desarrollo de índices espectrales que realcen la señal del carbón sobre otras cubiertas. Se han propuesto numerosos índices en los últimos años, si bien el más difundido es el Normalized Burn Ratio (NBR), propuesto inicialmente por Hunt y Rock (1989) para detectar contenidos de agua en la vegetación, pero que se propuso para evaluación de áreas quemadas por otros autores (Key y Benson, 2002; López García y Caselles, 1991), y se ha popularizado bastante en los últimos años en el marco del proyecto Firemon (Key y Benson, 2004). El índice lo hemos definido como:

$$NBR = \frac{\rho_{SWIR} - \rho_{NIR}}{\rho_{NIR} + \rho_{SWIR}} \quad (1)$$

donde  $\rho_{SWIR}$  es la reflectividad en la región del SWIR (habitualmente 2 a 2.2  $\mu\text{m}$ ) y  $\rho_{NIR}$  es la reflectividad del infrarrojo cercano. Para el caso del MODIS, las bandas seleccionadas fueron la 7 y la 2, respectivamente.

Además de este índice, también empleamos otro que desarrollamos en el marco de la cartografía de áreas quemadas con sensores de baja resolución (Martín, 1998). Se trata del Burned Area Index (BAI), que mide la distancia cuadrática entre cada píxel de la imagen y un valor de convergencia del quemado. Este índice ha mostrado buenos niveles de separabilidad con imágenes NOAA y Landsat (Chuvieco et al., 2002). Para imágenes MODIS, se propuso una variante del BAI que tenía en cuenta las bandas del NIR y el SWIR (Martín et al., 2005).

$$BAI = \frac{1}{(Pc_{SWIR} - \rho_{SWIR})^2 + (Pc_{NIR} - \rho_{NIR})^2} \quad (2)$$

donde los valores de convergencia se calcularon como  $p_{C_{SWIR}} = 0,2$  y  $p_{C_{NIR}} = 0,08$ .

### 3.3. Establecimiento de umbrales y semillado

La metodología que se propuso para este proyecto parte de dos fases. En la primera, se pretendía detectar dentro de cada área quemada aquellos píxeles que estuvieran más claramente quemados (fase de semillado), para centrar la segunda en cartografiar más detalladamente el conjunto del perímetro quemado a partir de esos píxeles semilla empleando criterios de contexto. En la primera fase de trata de reducir al máximo los errores de comisión, para centrarse en la segunda en minimizar los de omisión.

A partir de los índices previamente indicados, y teniendo en cuenta valores de reflectividad extraídos para áreas quemadas de distintas regiones de estudio, se calcularon los umbrales de corte para establecer las semillas. Se pretendía utilizar valores que pudieran ser generalizables al conjunto del territorio, aunque éramos conscientes de la dificultad de establecer puntos de corte singulares, por lo que también se decidió que cada equipo utilizara aquellos que estimara más adaptados a su ventana de trabajo. En la tabla 2 se resumen los criterios y los valores de corte propuestos. Se indica como criterio1 al conjunto de valores que se acordó inicialmente para todo el continente, tras una primera evaluación de áreas potencialmente quemadas, y con criterio2 el que se presenta en este trabajo, fruto de refinar algunos umbrales ante el elevado error de omisión encontrado. Este segundo grupo de umbrales se ha generado a partir de la extracción de 480 píxeles de zonas quemadas en distintas ventanas del continente, señalándose como límite el valor de cada índice que supusiera el percentil del 45% de todos los píxeles de la muestra. Este valor garantizaba seleccionar píxeles quemados en cada tipo de vegetación estudiado y ventana geográfica.

Tabla 2: Umbrales de corte para determinar semillas de área quemada

	Criterio 1	Criterio 2 (percentil 45%)
Imagen post-incendio:		
BAI MODIS	> 100	> 99
NBR	> 0,15	> 0
Comparación multitemporal:		
BAI MODIS <sub>t</sub> - BAI MODIS <sub>t-1</sub>	> 160	> 1,74
NBR <sub>t</sub> - NBR <sub>t-1</sub>	> 0,6	> 0,05

Teniendo en cuenta que habíamos fijado como mínimo incendio a cartografiar una superficie de 250 ha, la fase de semillado terminó eliminando aquellas semillas correspondientes a incendios muy pequeños (<5 píxeles = 125 has), de cara a evitar errores de comisión debidos a áreas fronterizas.

### 3.4. Análisis de contexto

Para la segunda fase del proyecto, orientada a la delimitación mas precisa del perímetro quemado, se pretendían aplicar técnicas de contexto a partir de los píxeles semilla. Optamos por seleccionar un criterio sencillo, ya que no teníamos disponibles programas de segmentación o crecimiento de regiones suficientemente accesibles y contrastados. Inicialmente planteamos como radio de búsqueda en torno a las semillas un corredor de 3 Km. Dentro de esa zona, se añadía un píxel a la semilla si su valor de BAI en la imagen post-incendio superaba el promedio de la ventana de 15x15 píxeles mas un factor de corrección (que se fijó en 1,3). En resumen, un píxel se consideraba parte del área quemada si su BAI superaba 1,3 veces el BAI medio de la zona inmediata de 15x15 píxeles y estaba a menos de 3 Km de un píxel identificado como semilla. Este criterio no funcionó correctamente en algunas zonas de estudio, por lo que se decidió aplicar otros con el semillado menos restrictivo (Criterio 2, tabla 2), que suponía una distancia máxima de 3 píxeles y considerar como límite para la inclusión un BAI superior a 0,5 del promedio de la ventana.

### 3.5. Validación

Teniendo en cuenta la dificultad de acceder a la información de campo sobre áreas quemadas en un territorio tan extenso, se decidió utilizar como base para la validación la interpretación visual de imágenes de mayor resolución, principalmente Landsat y CBERS. Para la interpretación visual de las áreas quemadas, y siguiendo la experiencia de otros autores, se optó por utilizar la composición en color SWIR-IRC-Visible (Koutsias y Karteris, 1998), que en el caso del sensor Landsat-TM/ETM+ supone seleccionar las bandas 7-4-1 respectivamente. El criterio de interpretación visual ha sido utilizado por diversos autores para validar productos de área quemada a escala regional y global (Roy et al., 2005a), ya que la señal quemada es bastante evidente visualmente (color, textura, emplazamiento), sobre todo cuando se dispone

de una imagen previa al incendio. El límite de las áreas quemadas interpretado visualmente se convirtió a formato Arcview Shape y se comparó con las áreas detectadas con MODIS. Se calcularon los índices de fiabilidad estándar: del usuario (proporción entre la superficie bien identificada y el total de la detectada como quemada por nuestro algoritmo) y del productor (proporción entre la superficie bien identificada y el total realmente quemado). Estas dos medidas son las complementarias de los errores de comisión y omisión, respectivamente, asumiendo como verdad terreno la imagen de mayor resolución. La figura 1 recoge un gráfico con las ventanas que se están procesando para la validación del producto AQL2004 en América del Sur.

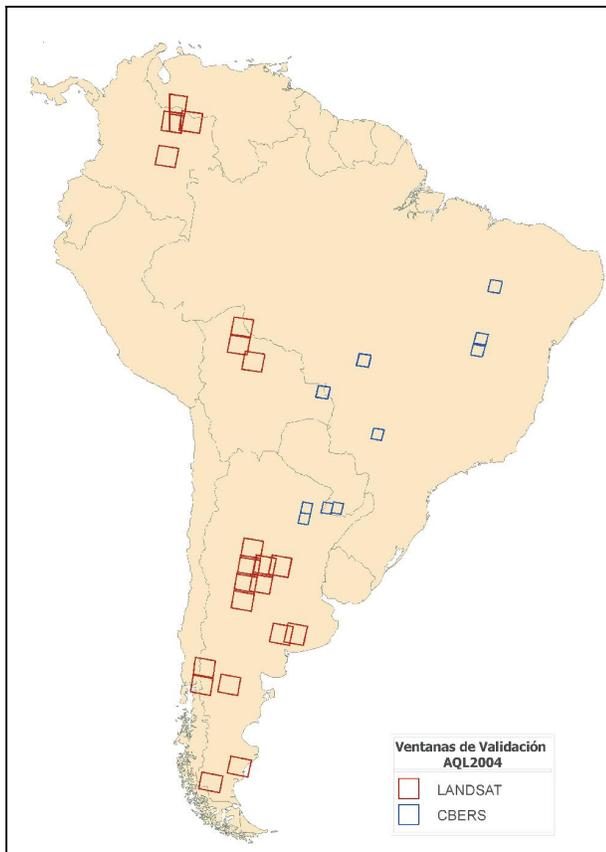


Figura 1: Ventanas utilizadas para la validación del producto AQL2004

#### 4. Resultados preliminares

La figura 2 recoge un ejemplo de la serie temporal de imágenes MODIS utilizada en el proyecto. Se trata de una ventana en el centro-sur de Brasil, afectada por diversos incendios a inicios del mes de agosto. La figura recoge la imagen previa y posterior al incendio, así como las zonas detectadas como quemadas por el algoritmo propuesto en el proyecto y en las imágenes de alta resolución. Como puede observarse, la señal quemada en algunos casos no es muy perceptible visualmente, ya que probablemente se trata de incendios de vegetación herbácea que no dejan una señal muy persistente en el territorio.

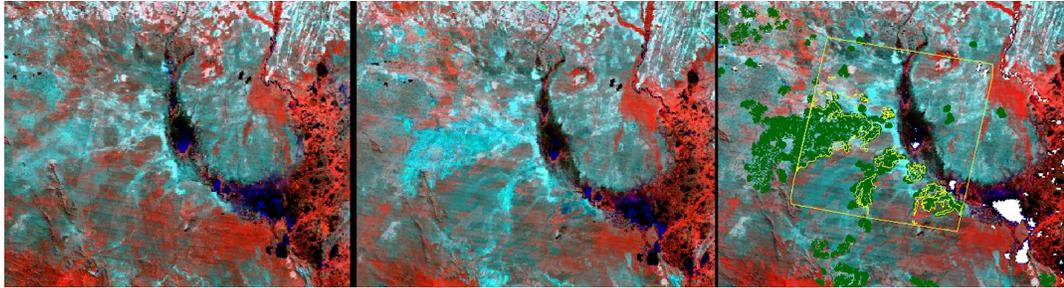


Figura 2: De izquierda a derecha, imagen de julio 2004, imagen de agosto de 2004 y la misma imagen con los límites detectados como quemados en las imágenes CBERS (en amarillo), y los píxeles discriminados como quemados por la algoritmo AQL (en verde).

Desafortunadamente, no ha sido posible completar en las fechas previstas el proceso completo de validación de todas las ventanas, por lo no podemos todavía facilitar datos definitivos sobre los resultados del proyecto. A modo de ejemplo, se incluyen en la figura 3 dos imágenes de validación, situadas en el centro-sur de Brasil (la misma zona de la figura 2) y en Paraguay. Se muestran los errores de omisión y comisión del proceso. En ambos casos, las imágenes originales fueron adquiridas por el satélite CBERS.

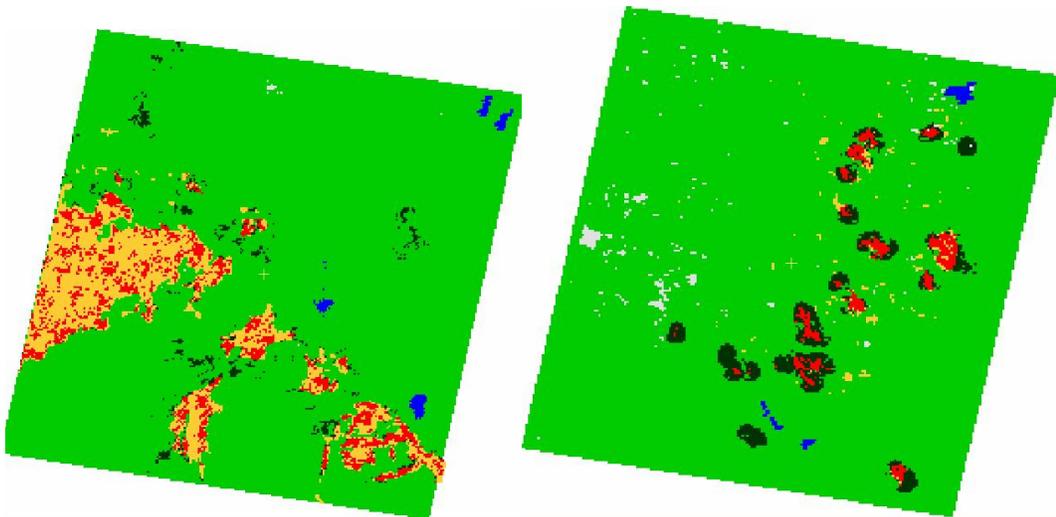


Figura 2: Ejemplo de imágenes del proceso de validación. A la derecha, centro-sur de Brasil, y a la izquierda, sur de Paraguay. En rojo, áreas correctamente clasificadas; en naranja, errores de comisión; en negro, errores de omisión; en blanco y azul, zonas no observadas y no combustibles, respectivamente.

La tabla 3 muestra las fiabilidades para la categoría área quemada de las ventanas validadas hasta el momento. La del usuario es la complementaria de los errores de comisión,

que como vemos son bastante altos en la franja de Perú-Bolivia, principalmente por la confusión con suelos oscuros con escasa vegetación. Por su parte, la fiabilidad del productor es complementaria de los errores de omisión, que también son altos en casi todos los casos, aunque es la discriminación fue más precisa en las ventanas del centro de Brasil y Paraguay-N.Argentina. Parte de los errores pueden ser debidos al difícil ajuste entre la imagen de alta resolución y la MODIS, tanto geoméricamente, como temporalmente, ya que los periodos tan largos dificultan saber exactamente a qué periodo se refiere el píxel que finalmente se extrae de la imagen.

Tabla 3: Resultados de la validación preliminar del proyecto AQL2004. Todos los datos corresponden al criterio 2 de la tabla 2.

	Sector geográfico	Fecha de validación	Fiabilidad usuario	Fiabilidad productor
Ventana2	Colombia	Marzo	21,87	50,56
Ventana4	Perú - Bolivia	Agosto	7,82	28,33
Ventana5	Brasil	Agosto	75,90	33,17
Ventana6	Paraguay-Argentina	Julio	29,82	67,47

Utilizando el criterio 1 de la tabla 2, se observaron errores más altos de omisión en los incendios de sabana, en donde prácticamente no se distinguía casi ningún píxel como quemado. Para zonas templadas, esos umbrales mas restrictivos funcionaron mejor, evitando errores de comisión. En la validación con el criterio 1 que realizó INPE, los errores promedio son de 44% para la omisión y 34% para la comisión. Más altos fueron los valores del sector central de Chile y Argentina: 56% de omisión y 71% de comisión; y del 62% y 71%, respectivamente, para México. Sin embargo, los resultados parecen mejores en el sur del continente, en donde el criterio 1 arroja una fiabilidad bastante alta en lo que se refiere a perímetros quemados frente a imágenes Landsat (17.188 ha, frente a 13334 ha con MODIS).

En la figura 4 se incluye el área discriminada como quemada utilizando el criterio 2 para el conjunto del continente (excluyendo México y Centroamérica). Hemos corregido las estimaciones de superficie considerando los errores promedio de omisión y comisión de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Superficie corregida} = \text{Superficie original} * \text{Fu}/\text{Fp}^1 \quad (3)$$

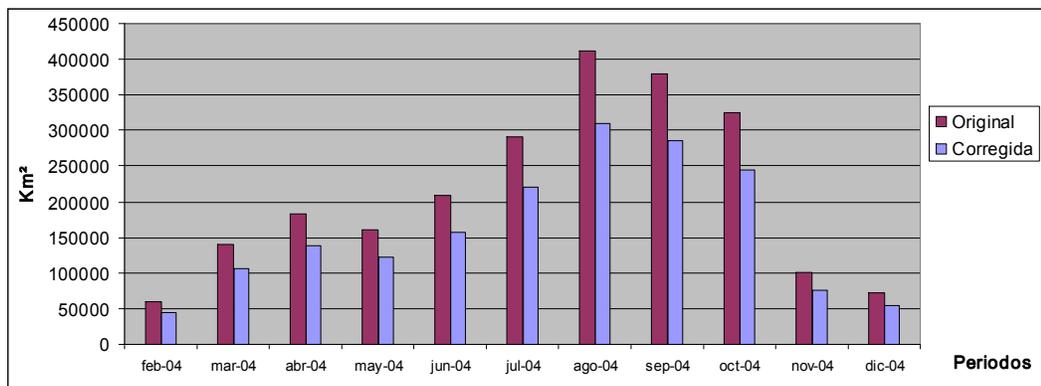
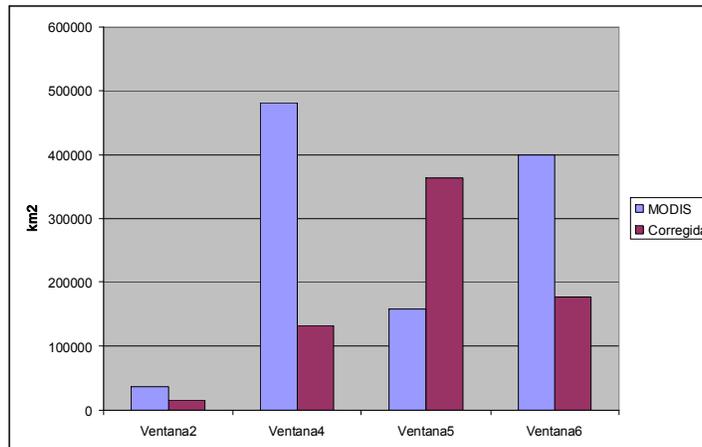


Figura 4: Variación mensual de áreas quemadas de acuerdo a la superficie detectada en el proyecto AQL2004 y la corrección con la fiabilidad promedio de las ventanas de validación. Los resultados deben considerarse preliminares.

<sup>1</sup> Fu = Superficie bien detectada / Superficie detectada como quemada por MODIS, mientras la Fp = Superficie bien detectada / Superficie realmente quemada (la detectada por Landsat-CBERS), luego basta despejar la SD e igualar ambas ecuaciones para estimar la superficie realmente quemada.

Donde  $F_u$  es la fiabilidad del usuario (1-Error de comisión) y  $F_p$  es la del productor (1-Error de omisión). Empleando un valor promedio de las dos fiabilidades (lo que resulta evidentemente muy grosero) para las cuatro ventanas evaluadas, la superficie total detectada como quemada en el conjunto de Suramérica se eleva a 1.758.811 km<sup>2</sup>, frente a los 2.331.907 km<sup>2</sup> que resulta de una estimación directa de las áreas detectadas como quemadas. Parece más razonable, no obstante, abordar una corrección más zonal, ya que las divergencias en la fiabilidad del proyecto son muy variadas, como puede observarse en la figura 5, para las cuatro ventanas evaluadas. Teniendo en cuenta que los errores detectados en las distintas ventanas son considerables, con tasas de acierto que no alcanzan el 50% en los datos validados hasta el momento,



conviene considerar esta cifra con muchas precauciones. Ajustando las estimaciones en función de las ventanas geográficas a las que corresponde las distintas validaciones realizadas, puede estimarse el área quemada en un amplio rango comprendido entre los 800.000 y los 1.800.000 km<sup>2</sup>. En pocos meses esperamos mejorar estas estimaciones hacia rangos más precisos.

Figura 5: Estimación de superficie quemada en las cuatro ventanas de las disponemos de validación, comparación entre el valor original y el corregido con la fórmula (3).

En cuanto a la distribución mensual del fenómeno, en la figura 3 destaca el impacto de las quemadas en los meses de agosto y septiembre, principalmente como consecuencia de los incendios de sabana y bosque en Brasil, Paraguay, Bolivia y Norte de Argentina. En los meses de enero a marzo la actividad de quema es más intensa en Colombia y Venezuela.

## 5. Conclusiones

Se ha presentado una valoración preliminar de los resultados del proyecto AQL2004 en Latinoamérica. A lo largo de los próximos dos meses se dispondrá de una validación general de las áreas quemadas en las distintas regiones, lo que permitirá refinar las estadísticas presentadas en este trabajo y mejorar los umbrales específicos para cada zona. Los resultados finales del proyecto estarán disponibles a fines de agosto de 2006 en un servidor cartográfico habilitado a este efecto.

## 6. Agradecimientos

El proyecto AQL2004 ha recibido el financiamiento parcial del programa START para la organización de las reuniones técnicas; del GLCF de la Universidad de Maryland, para la obtención de las imágenes fuente de MODIS; de las agencias INPE, CONAE y ERMEX para la obtención de las imágenes de validación, así como el de las instituciones participantes en el tratamiento de los datos y la elaboración de los informes. Agradecemos a todas ellas su colaboración.

## 7. Referencias:

- CHUVIECO, E., MARTÍN, M. P. y PALACIOS, A. 2002. Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination. *International Journal of Remote Sensing*. 23 (23): 5103-5110.
- COCKE, A. E., FULE, P. Z. y CROUSE, J. E. 2005. Comparison of burn severity assessments using Differenced Normalized Burn Ratio and ground data. *International Journal of Wildland Fire*. 14: 189-198.
- EPTING, J., VERBYLA, D. L. y SORBEL, B. 2005. Evaluation of remotely sensed indices for assessing burn severity in interior Alaska using Landsat TM and ETM+. *Remote Sensing of Environment*. 96: 328-339.
- GRÉGOIRE, J. M., TANSEY, K. y SILVA, J. M. N. 2003. The GBA2000 initiative: Developing a global burned area database from SPOT-VEGETATION imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 24 (6): 1369 - 1376.

- HANSEN, M. C., DEFRIES, R. S., TOWNSHEND, J. R. G., SOHLBERG, R., DIMICELI, C. y CARROLL, M. 2002. Towards an operational MODIS continuous field of percent tree cover algorithm: examples using AVHRR and MODIS data. *Remote Sensing of Environment*. 83 (1-2): 303-319.
- HEREDIA, A., MARTÍNEZ, S., QUINTERO, E., PIÑEROS, W. y CHUVIECO, E. 2003. Comparación de Distintas Técnicas de Análisis Digital para la Cartografía de Áreas Quemadas con Imágenes Landsat ETM+. *GeoFocus*. 3: 216-234.
- HUNT, E. R. y ROCK, B. N. 1989. Detection of changes in leaf water content using near and middle-infrared reflectances. *Remote Sensing of Environment*. 30: 43-54.
- KEY, C. H. y BENSON, N. 2002. Landscape Assessment, in Fire effects monitoring (FireMon) and inventory protocol: integration of standardized field data collection techniques and sampling design with remote sensing to assess fire effects. *NPS-USGS National Burn Severity Mapping Project*. 2004.
- KEY, C. H. y BENSON, N. 2004. Ground Measure of Severity: The Composite Burn Index. FIREMON Landscape Assessment V4. 2004.
- KOUTSIAS, N. y KARTERIS, M. 1998. Logistic regression modelling of multitemporal Thematic Mapper data for burned area mapping. *International Journal of Remote Sensing*. 19 (18): 3499-3514.
- LÓPEZ GARCÍA, M. J. y CASELLES, V. 1991. Mapping Burns and Natural Reforestation Using Thematic Mapper Data. *Geocarto International*. 1: 31-37.
- MARTÍN, M. P. 1998. Cartografía e inventario de incendios forestales en la Península Ibérica a partir de imágenes NOAA-AVHRR. *Departamento de Geografía*. Alcalá de Henares, Universidad de Alcalá.
- MARTÍN, M. P., GÓMEZ, I. y CHUVIECO, E. 2005. Performance of a burned-area index (BAIM) for mapping Mediterranean burned scars from MODIS data. *Proceedings of the 5th International Workshop on Remote Sensing and GIS applications to Forest Fire Management: Fire Effects Assessment*. (J. Riva, Pérez-Cabello, F. y Chuvieco, E., Eds.). Paris, Universidad de Zaragoza, GOF-C-GOLD, EARSel: 193-198.
- PEREIRA, J. M. C. 1999. A Comparative Evaluation of NOAA/AVHRR Vegetation Indexes for Burned Surface Detection and Mapping. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 37 (1): 217-226.
- ROY, D., FROST, P., et al. 2005a. The Southern Africa Fire Network (SAFNet) regional burned area product validation protocol. *International Journal of Remote Sensing*. 26: 4265-4292.
- ROY, D., JIN, Y., LEWIS, P. y JUSTICE, C. 2005b. Prototyping a global algorithm for systematic fire-affected area mapping using MODIS time series data. *Remote Sensing of Environment*. 97: 137-162.
- ROY, D., LEWIS, P. E. y JUSTICE, C. O. 2002. Burned area mapping using multi-temporal moderate spatial resolution data—a bi-directional reflectance model-based expectation approach. *Remote Sensing of Environment*. 83 (1-2): 263-286.
- SILVA, J., SÁ, A. y PEREIRA, J. M. C. 2005. Comparison of burned area estimation derived from SPOT-VEGETATION and Landsat ETM+ data in Africa: Influencia de spatial pattern and vegetation type. *Remote Sensing of Environment*. 96: 188-201.
- SIMON, M., PLUMMER, S., FIERENS, F., HOELZEMANN, J. J. y ARINO, O. 2004. Burnt area detection at global scale using ATSR-2: The GLOBSCAR products and their qualification. *Journal of Geophysical Research - Atmospheres*. 109, D14S02, doi:10.1029/2002JD003622: 1-16.
- STROPPIANA, D., PINNOCK, S., PEREIRA, J. M. C. y GRÉGORIE, J. M. 2002. Radiometric analysis of SPOT-VEGETATION images for burnt area detection in Northern Australia. *Remote Sensing of Environment*. 82: 21-37.
- TANSEY, K., J-M., G., et al. 2004. Vegetation burning in the year 2000: Global burned area estimates from SPOT VEGETATION data. *Journal of Geophysical Research - Atmospheres*. 109, D14S03, doi:10.1029/2002JD003598: 2-22.
- TOWNSHEND, J. R., DEFRIES, R., HANSEN, M., SOHLBERG, R., CARROLL, M. y DIMICELI, C. 2003. MODIS 32-Day Composites. College Park, Maryland, The Global Land Cover Facility.