

Evaluación comparativa de imágenes Feng Yun 1D, NOAA AVHRR, MODIS y LandSat TM 5 funcionando como una constelación de satélites para la detección de áreas quemadas en las islas del Valle de Inundación del Paraná Medio, Argentina.

Cotlier, Carlos G. ¹; Vicioso, Benito ²; López, Diego A. G. ¹; Belaga, José²

¹ Centro de Sensores Remotos - Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Pellegrini 250, 2000, Rosario, provincia de Santa Fe, ARGENTINA
csr@fceia.unr.edu.ar

² Escuela de Agrimensura - Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Pellegrini 250, 2000, Rosario, provincia de Santa Fe, ARGENTINA

RESUMEN

La quema de pastizales y arbustos en las islas pertenecientes al Valle de Inundación del Paraná, con el fin de obtener pasturas blandas para la explotación pecuaria, se ha intensificado en los últimos años, provocando la destrucción parcial de un humedal con características únicas en el mundo.

Esta reserva de flora y fauna por sus características debería ser monitoreada contra la quema indiscriminada.

Se utilizaron para el análisis de las zonas afectadas los índices NDII (Normalized Difference Infrared Index) y BAI (Burned Area Index) y imágenes creadas mediante combinaciones de bandas infrarrojas.

Palabras Clave: Detección, Areas, Quemadas..-

Uso de Sensores Remotos para determinación de Areas Quemadas

Durante los últimos años y con el fin de obtener nuevos pastizales para la actividad pecuaria se ha intensificado la quema de áreas en las islas del valle de inundación del río Paraná, desde la Ciudad de Santa Fe hasta la Ciudad de Campana, Argentina.

Estas quemas se han intensificado en los últimos 3 años debido al traslado de parte de la frontera pecuaria desde las provincias del litoral argentino (Santa Fe – Corrientes - Entre Ríos) a la zona conocida como valle de inundación del río Paraná.

Este humedal con características únicas en el mundo, es una reserva de flora y fauna que por sus características debería ser monitoreada con respecto a la quema indiscriminada. La actividad pecuaria y forestal es posible siempre

y cuando se realicen los controles que esta actividad causa sobre pastos naturales y vegetación autóctona.

Las imágenes satelitales son una herramienta útil e idónea para el control y monitoreo sistemático de estos tipos de actividad y control de posibles daños al medio ambiente.

La Imagen N° 1 corresponde a una del satélite Feng Yun 1D del día 26/03/2004 a las 9:05:09 horas. El círculo de color blanco identifica a uno de los focos que se aprecia una pluma de humo. La ciudad de Rosario está localizada con la letra A.

La Imagen N° 2 corresponde a una del satélite NOAA 12 del día 25/08/2004 a las 20:43:46 horas. El círculo de color blanco identifica a uno

de los focos que se aprecia una importante pluma de humo. La ciudad de Rosario esta localizada con la letra A.

Con la ayuda de la calibración de temperatura del canal 3 de ambos satélites, se pueden generar imágenes en la que los focos de calor se identifican como puntos rojos como lo apreciamos en las imágenes N° 3 y N° 4.



Imagen N° 1 – Bandas 321 en RGB

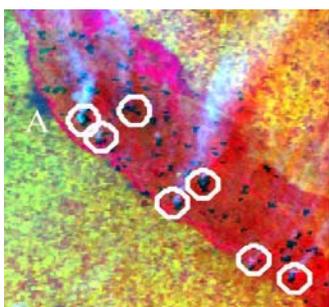


Imagen N° 2 – Bandas 321 en RGB

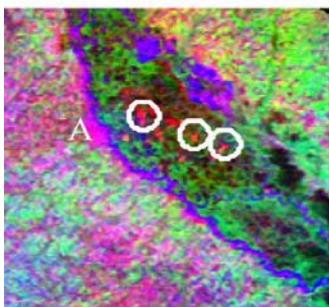


Imagen N° 3 – Bandas 321 en RGB

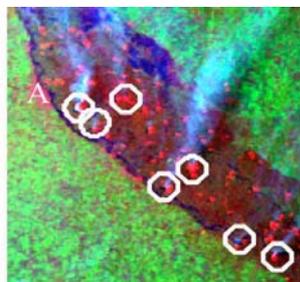
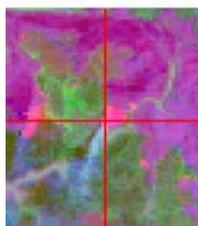
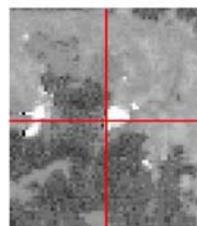


Imagen N° 4 – Bandas 321 en RGB



Bandas 743 en RGB
Imagen N° 5



Banda 7
Imagen N° 6

Metodología Empleada

Mediante la utilización de distintos sensores sobre una misma áreas de estudio se pretende determinar si el uso de información de una constelación de satélites permiten determinar cuales de los mismos son los óptimos ya sea por resolución espacial o espectral.

a) se utilizo una imagen LandSat 5 TM (18 de Febrero de 2006) para determinar con la mayor precisión posible la ubicación de focos de incendios, se procedido a selecciona un foco con una pluma de humo notoria.

b) Valiéndonos de la alta resolución temporal se utilizaron imágenes satelitales NOAA-AVHRR, Feng Yun 1D y MODIS del día siguiente (19 de Febrero de 2006), esta información se utilizo para investigar las áreas ya quemadas y poder analizar las respuestas espectrales de las distintas plataformas.

Las imágenes de los satélites NOAA-AVHRR y Feng Yun 1D de captación diaria y «tiempo real» fueron captadas por la estación terrena del Centro de Sensores Remotos de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de

Rosario (www.fceia.unr.edu.ar/csr), son de las denominadas de «baja resolución» (1,1 km. por pixel) sin embargo son aptas para el monitoreo, determinación de focos de calor y áreas desbastadas por el fuego (Chuvieco, Martín, Ventura, 2002)[1].

El uso de otras imágenes de los satélites MODIS y LandSat, complementan junto con los Sistemas de Información Geográfica una herramienta idónea evaluar los incendios en las áreas afectadas y determinar el posible daño causado a la vegetación silvestre (J. C. Pereira, 1999)[2].

Mientras que las imágenes diarias de los satélites NOAA-AVHRR, Feng Yun 1D y MODIS (página web de internet oficial <http://modis-fire.gsfc.nasa.gov>) permiten la detección en forma horaria de los focos de calor, el uso de las imágenes LandSat TM 5 permiten una cuantificación de la cobertura vegetal desbastada por los incendios complementándose todo esto con el uso de los Sistemas de Información Geográfica ArcInfo/ArcView Image Analysis (ESRI- Environmental Systems Research Institute, Inc.1990).

Procesamiento de las imágenes.

Luego de su captura, las imágenes NOAA y Feng Yun fueron convertidas a un archivo a formato ENVI a través del software SIAMIV (Satellite Image and Meteorological Information Viewer 5.0w de Dartcom), este software con la información orbital capturada del satélite en su paso sobre la zona, proyecta la imagen con la información geográfica almacenada durante la captura permitiendo la rectificación, quedando así la imagen georreferenciada.

Los ajustes finos se realizaron con una vectorización de distintas capas temáticas que se pueden localizar en la imagen (costa, cursos de agua, etc.).

Se utilizaron para esta investigación imágenes del archivo CSR-FCEIA, del 19 de Febrero del año 2006 de ambas plataformas satelitales, NOAA y Feng Yun.

Análisis de áreas quemadas con imágenes de baja y mediana resolución espacial.

Análisis de la Imagen LandSat 18/02/2006.

Se determino la posición geográfica de un grupo de pixeles haciendo centro en el pixel de la Imagen N°5 LandSat 5 TM de bandas 743 en RGB, del 18 de febrero de 2006, donde se encontraba un foco de fuego intenso en la ubicación geográfica del pixel N° 1:

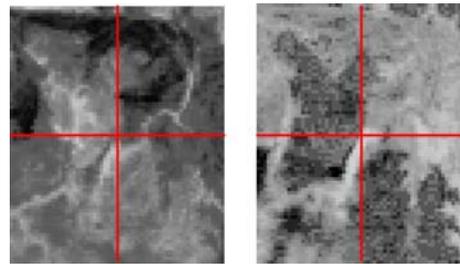
- Latitud: -33° 39' 34.8"
- Longitud: -59° 18' 41.9"

En las matrices están los distintos valores de las bandas calibradas. Nótese que en la imagen N° 2 cuyo valor 0,900540 es el mas alto de una matriz de 10x10 circundado por valores que os-

cilan entre 0,6 y 0,4 posible indicación de los pixeles hacia donde estaba el foco principal.

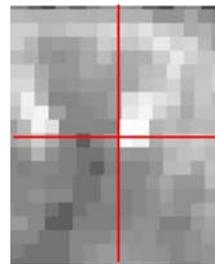
Se nota además la pluma de humo hacia el sudoeste en la Imagen N° 8.

En la Imagen N° 9 (IRT - banda 6) se denota un comportamiento similar al de la Imagen N° 6 (IRM – banda 7) con esa misma distribución de valores altos y bajos.



Banda 4
Imagen N° 7

Banda 3
Imagen N° 8



Banda 6
Imagen N° 9

	5556	5557	5558	5559	5560
4417	0.0559587	0.0595223	0.0702132	0.0809041	0.1125977
4418	0.0595223	0.0666496	0.1022086	0.295522	0.295522
4419	0.0773405	0.0452678	0.294722	0.598340	0.598340
4420	0.0702132	0.0238980	0.647522	0.472904	0.472904
4421	0.0809041	0.0737769	0.380250	0.447959	0.447959
4422	0.0559587	0.248395	0.900540	0.547740	0.547740
4423	0.0666496	0.308977	0.900540	0.611886	0.611886
4424	0.0310133	0.480031	0.636831	0.187813	0.187813
4425	0.0595223	0.295522	0.362431	0.0915951	0.0915951
4426	0.0844678	0.137922	0.0915951	0.0809041	0.0809041
4427	0.0737769	0.0737769	0.0595223	0.0773405	0.0773405

Subset de Matriz 51x51 - Banda 7

	5556	5557	5558	5559	5560
4417	0.214461	0.214461	0.211072	0.190734	0.126331
4418	0.214461	0.214461	0.211072	0.190734	0.126331
4419	0.207682	0.207682	0.203903	0.177175	0.129220
4420	0.197513	0.197513	0.187344	0.167006	0.112772
4421	0.187344	0.187344	0.187344	0.153448	0.119551
4422	0.190734	0.190734	0.177175	0.156837	0.119551
4423	0.173796	0.173796	0.180555	0.156837	0.156837
4424	0.190734	0.190734	0.224630	0.150068	0.150068
4425	0.221241	0.221241	0.251748	0.190734	0.197513
4426	0.251748	0.251748	0.248358	0.221241	0.224630
4427	0.265306	0.265306	0.234799	0.234799	0.244968

Subset de Matriz 51x51 - Banda 4

	5566	5567	5568	5569	5560
4417	0.0567037	0.0539073	0.0567037	0.0640520	0.0675692
4418	0.0567037	0.0567037	0.0567037	0.0675692	0.0675692
4419	0.0567037	0.0567037	0.0567037	0.0675692	0.0675692
4420	0.0539073	0.0567037	0.0640520	0.0757102	0.0730019
4421	0.0567037	0.0539073	0.0893000	0.1065988	0.0863637
4422	0.0567037	0.0702995	0.124613	0.111031	0.0947328
4423	0.0567037	0.111031	0.125470	0.124613	0.100315
4424	0.0794346	0.149060	0.145344	0.0947328	0.0893000
4425	0.0920164	0.179340	0.130195	0.0794346	0.0797102
4426	0.125470	0.151776	0.0865037	0.0640520	0.0702995
4427	0.145344	0.100165	0.0794346	0.0675692	0.0675692

Subset de Matriz 51x51 - Banda 3

	5566	5567	5568	5569	5560
4417	301.675	301.675	301.675	309.722	309.722
4418	299.585	299.585	303.148	303.148	303.148
4419	299.585	299.585	323.140	323.140	323.140
4420	299.585	299.585	323.140	323.140	323.140
4421	299.585	299.585	323.148	323.148	323.148
4422	301.260	301.260	323.504	323.504	323.504
4423	301.260	301.260	323.504	323.504	323.504
4424	301.260	301.260	323.504	323.504	323.504
4425	301.260	301.260	323.504	323.504	323.504
4426	299.585	299.585	301.260	301.260	301.260
4427	299.585	299.585	301.260	301.260	301.260

Subset de Matriz 51x51 - Banda 6

Imágenes Feng Yun 1D - NOAA - MODIS.

Se localizo el mismo pixel utilizando imágenes NOAA, Feng Yun y MODIS. Algunos autores (Chuvieco, Martín, Ventura-2002) han utilizado imágenes NOAA y MODIS para este tipo de análisis.

En nuestro caso se utilizo la imagen LandSat para definir focos de incendios y utilizar las imágenes Fen Yun 1D, NOAA, MODIS del día siguiente a la LandSat con los focos ya extinguidos para realizar el análisis de los valores matriciales de las imágenes ya calibradas de las áreas quemadas.

Esto nos permitió analizar las distintas respuestas espectrales de los distintos radiómetros durante y después de los fuegos.

A continuación se detalla para una mejor comprensión un cuadro demostrativo de los valores espectrales de las bandas mas similares de las distintas plataformas.

En la tabla siguiente se representa el análisis comparativo de las bandas de las distintas plataformas utilizadas.

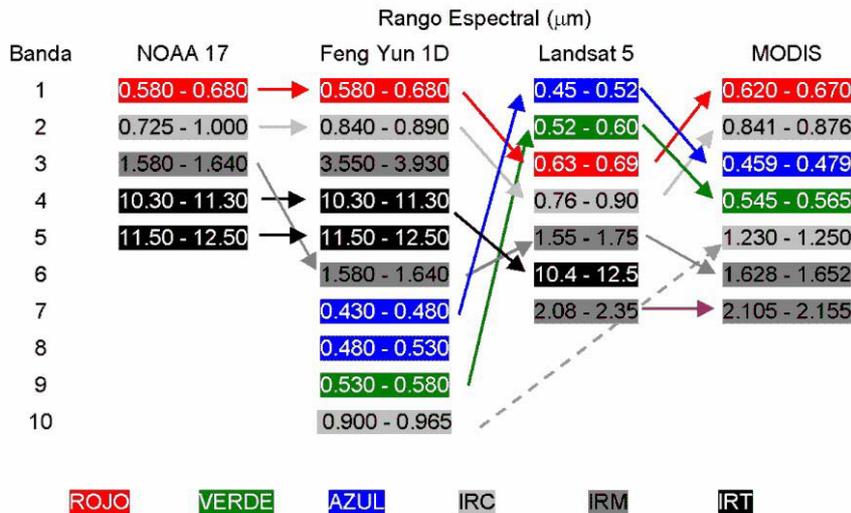
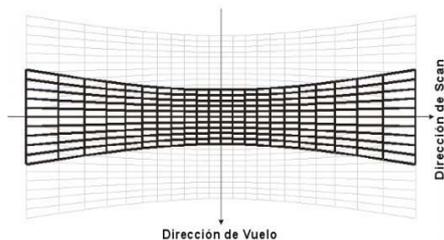
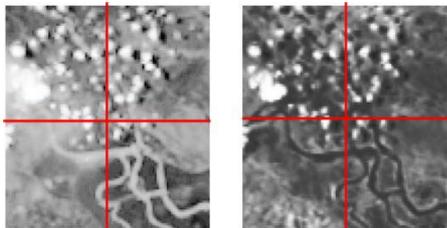


Tabla Nº 1- Esquema comparativo de los distintos sensores y su similitud de valores espectrales en cada una de las plataformas utilizadas.

Corrección del efecto Bow tie en la imagen MODIS.

Se corrigió el la deformación que se produce en la captura de los datos por el sensor MODIS debido a la característica constructiva este sen-

sor capta de a diez líneas simultaneas lo que provoca una deformación de los pixeles que se alejan del nadir de la imagen.



Cálculos de índices para detección de áreas específicas

Para un mejor análisis de las zonas afectadas se calculo el NDII (Normalized Difference Infrared Index) y BAI (Burned Area Index).

NDII (Normalized Difference Infrared Index).

Según Chuvieco, Martín, Ventura (2002)[1] este índice fue utilizado para analizar concentraciones de humedad en plantas (Hunt y Rock, 1989) [3] utilizando las bandas del infrarrojo cercano (IRC) y del infrarrojo medio (IRM).

$$NDII = \frac{B_2 - B_3}{B_2 + B_3} \text{ para NOAA-AVHRR}$$

$$NDII = \frac{B_2 + B_3}{B_2 - B_6} \text{ para Feng Yun 1D}$$

$$NDII = \frac{B_2 + B_6}{B_2 - B_7} \text{ para MODIS}$$

$$NDII = \frac{TM_4 + TM_7}{TM_4 - TM_7} \text{ para LandSat 5 TM}$$

BAI (Burned Area Index).

En el caso de las imágenes NOAA, Feng Yun 1D y MODIS se calculo el BAI (índice espectral de área quemada) (Martín, M.P. 1998) [4].

$$BAI = \frac{1}{(pc_r - \rho_r)^2 + (pc_{nir} - \rho_{nir})^2}$$

para NOAA-AVHRR y Feng Yun 1D

$$BAI_M = \frac{1}{(pc_{nir} + \rho_{swir})^2 + (pc_{nir} - \rho_{swir})^2}$$

para MODIS

«Donde el pc_r y pc_{nir} son los denominados valores de convergencia para áreas recientemente quemadas, tomando para el sensor NOAA el valor de 0,1 y 0,06 respectivamente». (Chuvieco, Martín, Ventura 2002) [1] a partir de las bandas infrarrojo cercano y rojo). En nuestro caso incluimos al Feng Yun dado la similitud de resolución espacial y espectral.

Análisis de la Imagen MODIS 19/02/2006. Hora 14:26 AM.

La multitemporalidad de MODIS permitió analizar el área quemada 24 horas después de localizado el foco, como el área esta compuesta por pastizales y arbustos se puede suponer que el área detectada por la composición de las bandas 721 en RGB alrededor del la latitud y longitud del pixel LandSat es un promedio con una resolución espacial de 500 metros o sea que seria el equivalente a una matriz LandSat de 17x17 pixeles. Para comparar resultados se analizo la matriz de la Banda 2 (IRC) que consideramos adecuada para la determinación del estado fenológico de la vegetación.

Se pudo determinar que para le pixel N° 1 de:

- Latitud: -33° 39' 34.8"
- Longitud: -59° 18' 41.9"

que correspondería a al área quemada un valor radiométrico de 0.170700.

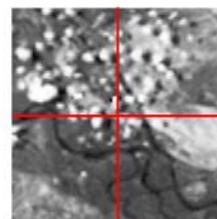
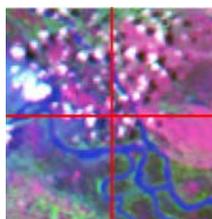
Se determino luego el pixel N° 2 en un área con vegetación natural sana cercana (no quemada):

- Latitud: -33° 44' 43.8"
- Longitud: -59° 16' 55.88"

Le corresponde al área de vegetación sana un valor radiométrico de 0.290331. De esta comparación se deduce que el área del pixel N° 1 es la de un área donde se quemó y no hay vegetación sana.

Bandas 721 en RGB Imagen N° 10

Banda 7 Imagen N° 11



Banda 2

Banda 1

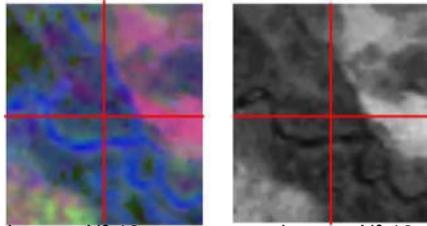


Imagen N° 12

Imagen N° 13

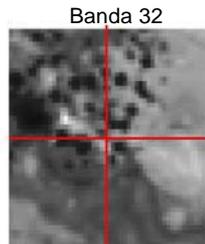


Imagen N° 14

	559	560	561	562	563
521	0.222774	0.163479	0.0969778	0.0403154	0.0272935
522	0.193058	0.162246	0.0757713	0.0219636	0.0213006
523	0.115120	0.0613204	0.0321582	0.0210950	0.0252821
524	0.0776323	0.0544546	0.0525777	0.0509677	0.0504919
525	0.0868637	0.102224	0.104359	0.0879149	0.126222
526	0.118977	0.221480	0.210040	0.110980	0.163106
527	0.0797188	0.146058	0.157049	0.127536	0.105267
528	0.0611188	0.0899836	0.124327	0.171655	0.141181
529	0.0614031	0.0767849	0.100373	0.120839	0.106600
530	0.0675240	0.0644741	0.0754173	0.0764460	0.0847921
531	0.0752220	0.0609495	0.0953642	0.0951783	0.0791702

Subset de Matriz 9x21 - Banda 7

	559	560	561	562	563
521	0.317843	0.347804	0.203302	0.215011	0.153370
522	0.254957	0.268823	0.231971	0.186410	0.141624
523	0.169373	0.162420	0.156701	0.128900	0.116511
524	0.126525	0.124280	0.136799	0.144637	0.146372
525	0.139530	0.141245	0.145413	0.154302	0.163292
526	0.172520	0.180915	0.170700	0.160443	0.160200
527	0.180394	0.215979	0.190502	0.197195	0.155913
528	0.181553	0.206372	0.190889	0.180380	0.149120
529	0.163000	0.197091	0.190033	0.168633	0.161207
530	0.201403	0.152516	0.201450	0.198927	0.197231
531	0.213629	0.193888	0.194836	0.194829	0.219085

Subset de Matriz 9x21 - Banda 2

	559	560	561	562	563
521	0.190677	0.214074	0.131159	0.0721490	0.0464797
522	0.144899	0.158867	0.104542	0.0621054	0.0475645
523	0.0891782	0.0703173	0.0623401	0.0520100	0.0543226
524	0.0648736	0.0773471	0.0654931	0.0639710	0.0624561
525	0.108059	0.082580	0.0725275	0.0734711	0.103179
526	0.0844091	0.0800036	0.0825091	0.0798705	0.100080
527	0.0647074	0.0603093	0.0711145	0.0727930	0.0630012
528	0.0763137	0.0854339	0.0888691	0.0796343	0.0626842
529	0.0795307	0.0634749	0.0911916	0.0786003	0.0734298
530	0.0734056	0.0724515	0.0714427	0.0677107	0.0720314
531	0.0729761	0.0866802	0.0677498	0.0579017	0.0677144

Subset de Matriz 9x21 - Banda 1

	561	562	563	564	565
336	11.2000	10.9541	10.9210	11.1500	11.4001
337	11.5268	11.3715	10.8348	10.5458	10.8411
338	11.4394	11.4029	10.3070	10.5930	10.0450
339	10.9524	11.1094	11.4634	11.5714	11.7341
340	11.2036	11.2196	11.5251	11.8243	11.9485
341	12.0653	11.8414	11.4846	11.4680	11.4429
342	12.1650	12.2223	11.7959	11.1106	10.6949
343	11.7621	12.0250	12.0025	11.1894	10.9116
344	11.4920	11.5617	11.6016	11.3730	11.2779
345	11.5495	11.6210	11.1266	10.8496	11.4592
346	11.3972	11.6085	11.1546	10.7805	11.2729

Subset de Matriz 9x21 - Banda 32

Análisis de la Imagen Feng Yun 1D 19/02/2006. Hora 7:58 AM.

Nuevamente la multi-temporalidad de Feng Yun 1D permitió analizar el área quemada 24 horas después de localizado el foco, como el área esta compuesta por pastizales y arbustos se puede suponer que el área detectada por la composición de las bandas 621 en RGB alrededor del la latitud y longitud del pixel LandSat es un promedio con una resolución espacial de unos 1100 metros o sea que seria el equivalente a una matriz LandSat de 36x36 pixeles.

Para comparar resultados se analizo la matriz de la Banda 2 (IRC) resulta adecuada para la determinación del estado fenológico de la vegetación.

Se pudo determinar que para le pixel N° 1 de:

- Latitud: -33° 39' 34.8"
- Longitud: -59° 18' 41.9"

que correspondería a al área quemada un valor radiométrico de 0.0948339.

Se determino luego el pixel N° 2 en un área con vegetación natural sana:

- Latitud: -33° 44' 43.8"
- Longitud: -59° 16' 55.88"

que correspondería a al área de vegetación sana un valor radiométrico de 0.109571.

De esta comparación se deduce que el área del pixel N° 1 es la de un área donde se quemó y no hay vegetación sana.

Debido a la hora de captura de la imagen Feng Yun 1D los valores radiométricos son menores a los debidos.

Bandas 621 en RGB

Banda 6

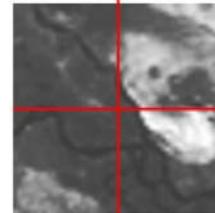
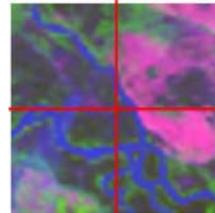


Imagen N° 15

Imagen N° 16

Banda 2

Banda 1

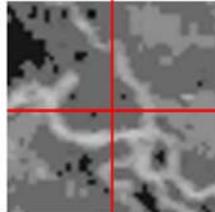
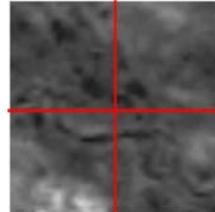


Imagen N° 17

Imagen N° 18

Banda 4

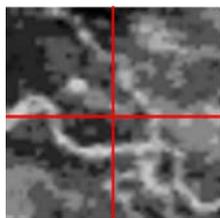


Imagen 19

	015	016	017	018	019
1275	0.0833304	0.0897542	0.0942763	0.0906153	0.0802744
1276	0.0816011	0.0871980	0.0964304	0.0969657	0.0861796
1277	0.0809823	0.0740388	0.0720000	0.0720624	0.0761095
1278	0.0849340	0.0745151	0.0723881	0.0787524	0.0741345
1279	0.0957251	0.0883616	0.0879971	0.0875472	0.0787125
1280	0.0965040	0.0960067	0.0948339	0.0883279	0.0909573
1281	0.1040000	0.103798	0.100045	0.0942371	0.0968094
1282	0.1040000	0.0987921	0.0967566	0.0960000	0.0998623
1283	0.0968470	0.0961050	0.100077	0.0989267	0.103938
1284	0.108673	0.105704	0.107214	0.104017	0.110083
1285	0.109640	0.104427	0.105317	0.101008	0.0878832

Subset de Matriz 9x21 - Banda 6

	015	016	017	018	019
1275	0.0471364	0.0459426	0.0436109	0.0423572	0.0434971
1276	0.0464747	0.0452386	0.0410051	0.0388000	0.0377413
1277	0.0402770	0.0410476	0.0303751	0.0360000	0.0360529
1278	0.0360000	0.0360000	0.0360000	0.0360000	0.0360000
1279	0.0373832	0.0363616	0.0380000	0.0380000	0.0380000
1280	0.0434960	0.0439933	0.0429339	0.0360000	0.0360000
1281	0.0360000	0.0362024	0.0391773	0.0400074	0.0360000
1282	0.0380000	0.0380000	0.0412168	0.0418712	0.0386444
1283	0.0360000	0.0360000	0.0421728	0.0448000	0.0440000
1284	0.0423366	0.0408220	0.0407061	0.0406224	0.0423298
1285	0.0286264	0.0333253	0.0336301	0.0283476	0.0198656

Subset de Matriz 9x21 - Banda 2

	015	016	017	018	019
1275	0.0360000	0.0360000	0.0360000	0.0360000	0.0360000
1276	0.0380000	0.0380000	0.0380000	0.0369887	0.0369333
1277	0.0360000	0.0360000	0.0360000	0.0290704	0.0241507
1278	0.0360000	0.0360000	0.0360000	0.0259442	0.0349762
1279	0.0380000	0.0380000	0.0380000	0.0380000	0.0380000
1280	0.0360000	0.0360000	0.0360000	0.0360000	0.0360000
1281	0.0360000	0.0360000	0.0360000	0.0360000	0.0360000
1282	0.0380000	0.0380000	0.0380000	0.0380000	0.0380000
1283	0.0360000	0.0360000	0.0360000	0.0360000	0.0360000
1284	0.0360000	0.0360000	0.0360000	0.0360000	0.0365394
1285	0.0462491	0.0438546	0.0428885	0.0388790	0.0443654

Subset de Matriz 9x21 - Banda 1

	015	016	017	018	019
1275	323.150	323.150	323.076	322.355	322.243
1276	323.439	323.150	323.150	323.150	323.150
1277	323.713	323.620	323.294	323.163	323.150
1278	323.847	324.842	324.299	324.145	324.065
1279	322.904	323.162	324.150	324.150	324.150
1280	322.282	323.150	323.189	323.313	323.490
1281	322.678	323.150	322.840	322.648	323.150
1282	322.161	322.260	322.245	322.710	323.150
1283	322.150	322.150	322.150	322.886	323.009
1284	322.150	322.150	322.150	322.929	322.185
1285	322.150	322.150	322.150	322.155	322.157

Subset de Matriz 9x21 - Banda 4

Imagen NOAA-AVHRR 17 19/02/2006. Hora 10:35 AM.

Nuevamente la plataforma NOAA-AVHRR permitió analizar el área quemada 24 horas después de localizado el foco, se puede suponer que el área detectada por la composición de las bandas 321 en RGB alrededor de la latitud y longitud del pixel LandSat es un promedio con resolución espacial de 1100 metros o sea equivalente a una matriz LandSat de 36x36 pixeles.

Para comparar resultados se analizo la matriz de la Banda NOAA 2 (IRC) que consideramos la mas adecuada para la determinación del estado fenológico de la vegetación.

Se pudo determinar que para le pixel N° 1 de:

- Latitud: -33° 39' 34.8"
- Longitud: -59° 18' 41.9"

le correspondería al área quemada un valor radiométrico de 0.125630.

Se determino luego el pixel N° 2 en un área con vegetación natural sana:

- Latitud: -33° 44' 43.8"
- Longitud: -59° 16' 55.88"

le correspondería al área de vegetación sana un valor radiométrico de 0.152622. De esta comparación se deduce que el área del pixel N°1 es la de un área donde se quemó y no hay vegetación sana.

Bandas 321 en RGB

Banda 3

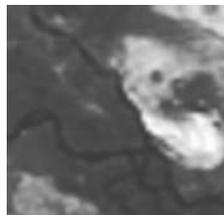


Imagen N° 20

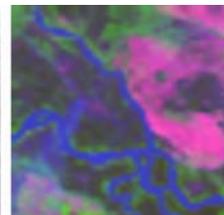


Imagen N° 21

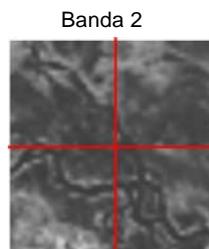


Imagen N° 22

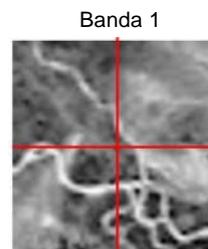
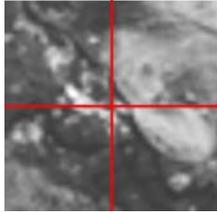


Imagen N° 23

Banda 4
Imagen N° 24



	559	560	561	562	563
690	0.126284	0.103634	0.0962291	0.150033	0.204893
691	0.116319	0.114402	0.0716122	0.0916952	0.196959
692	0.107596	0.105605	0.101852	0.0742568	0.122447
693	0.111073	0.110967	0.116975	0.101510	0.0932321
694	0.110431	0.113330	0.117537	0.126681	0.116042
695	0.115950	0.106269	0.107254	0.109614	0.116216
696	0.115435	0.109554	0.103728	0.106770	0.113235
697	0.110262	0.107178	0.109889	0.104966	0.111618
698	0.114207	0.111955	0.106536	0.103573	0.103345
699	0.118327	0.117644	0.107299	0.102941	0.100790
700	0.100139	0.109883	0.108833	0.106781	0.100341

Subset de Matriz 9x21 - Banda 3

	559	560	561	562	563
690	0.127270	0.102195	0.0917916	0.142459	0.142131
691	0.120112	0.136717	0.123346	0.125441	0.149506
692	0.134930	0.140093	0.153024	0.126647	0.124042
693	0.124095	0.134050	0.143575	0.110010	0.0011361
694	0.117574	0.129296	0.120262	0.0822663	0.0988423
695	0.139371	0.137737	0.125630	0.0971237	0.0063190
696	0.0806590	0.0525339	0.100911	0.121535	0.114036
697	0.108044	0.108807	0.0848326	0.112207	0.135500
698	0.122066	0.119270	0.0975572	0.100516	0.120776
699	0.124533	0.121329	0.110461	0.125850	0.124039
700	0.138808	0.112994	0.121915	0.132319	0.100361

Subset de Matriz 9x21 - Banda 2

	559	560	561	562	563
690	0.0546144	0.0764501	0.0969138	0.0723522	0.0764649
691	0.0957077	0.0959900	0.0891690	0.0807474	0.0796713
692	0.0563456	0.0535342	0.0527636	0.0030327	0.0091483
693	0.0584032	0.0546769	0.0560665	0.0762442	0.0971744
694	0.0624019	0.0592322	0.0600742	0.0620137	0.0657507
695	0.0609300	0.0543052	0.0565952	0.0617699	0.0618071
696	0.0675718	0.0604338	0.0583895	0.0584630	0.0645289
697	0.0637920	0.0611081	0.0626704	0.0576769	0.0544060
698	0.0602815	0.0617283	0.0635237	0.0586530	0.0548803
699	0.0620600	0.0586086	0.0561465	0.0560771	0.0566400
700	0.0573283	0.0620439	0.0569013	0.0543201	0.0620212

Subset de Matriz 9x21 - Banda 1

	559	560	561	562	563
690	318.124	313.745	312.445	319.994	320.254
691	315.673	313.776	310.132	315.473	321.536
692	313.161	314.075	312.192	310.950	317.280
693	315.626	315.024	316.344	314.345	312.818
694	317.605	315.403	319.984	324.632	316.741
695	314.708	312.443	316.401	325.018	326.625
696	326.841	322.795	319.486	316.484	320.276
697	323.962	321.020	323.662	314.491	312.056
698	317.410	321.276	326.332	319.088	314.100
699	317.836	316.591	318.832	316.946	318.026
700	316.287	321.297	316.710	316.103	322.795

Subset de Matriz 9x21 - Banda 4

Conclusiones:

El uso de coherente de una constelación de cuatro satélites nos ha permitido una comparación entre las imágenes de mediana resolución LandSat 5 TM y las de menor resolución MODIS, Feng Yun y NOAA, pudiéndose determinar que:

1. Se pudo comprobar que el uso de una constelación de satélites ópticos cuando las fechas de revisita lo permiten es optima para el análisis de incendios.

Permitiendo mediante el uso de plataformas de mediana y baja resolución espacial determinar con mas precisión el tamaño de las áreas incendiadas y la posible cuantificación de los daños causados.

2. Se pudo determinar mediante el uso de una imagen LandSat una mayor precisión de los focos de calor durante un incendio y usando imágenes de satélites de menor resolución espacial pero de revisita diaria y horaria como son MODIS. NOAA y Feng Yun, esta suma de información se potencia permitiendo determinar con mejor precisión las áreas afectadas 24 horas después; sin confundir áreas ya carbonizadas con espejos de agua o cualquier otra superficie que lleve a confusión.

3. Quedaría entonces la pregunta como trabajar con esta metodología de constelación de satélites cuando no hay una visita diaria sino una revisita de 16 días de LandSat, para eso recomendamos reemplazar aunque sea a mayores costos por alguno de los satélites que coincidan como ser SPOT, IRS, SAC-C (con 175m de resolución espacial), CBERS, etc.

4. Es de notar que año a año mas países ponen en órbita satélites de mediana resolución en el futuro Nigeria, China, Israel, Francia y Corea tienen o pondrán en un futuro cercano mas satélites con canales en el IRM y de una resolución de alrededor de los 30 metros.

5. Por ultimo si no coincidiera algún satélite comercial con la necesidad de análisis partiendo de pixeles de 30 metros queda siempre la opción de uso de los MODIS de revista diaria pero con un pixel de 500 metros de resolución espacial.

6. Finalmente podemos concluir que el uso de una constelación de satélites ópticos cuan-

do las fechas de revisita lo permiten es optima para el análisis de incendios.

Permitiendo mediante el uso de plataformas de mediana y baja resolución espacial determinar con mas precisión el tamaño de las áreas incendiadas y la posible cuantificación de los daños causados.

REFERENCIAS

- [1] CHUVIECO E., MARTÍN M. P., VENTURA G. (2002). Evaluación de Imágenes Noaa-Avhrr y Terra-Modis para Cartografía Regional de Areas Quemadas.
- [2] PEREIRA, J. M. C. (1999). A comparative evaluation of NOAA-AVHRR vegetation indices for burned surface detection and mapping. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37: 217-226.
- [3] Hunt, E. R. y B. N. Rock (1989): Detection of changes in leaf water content using near and middle-infrared reflectances. *Remote Sensing of Environment*, 30: 43-54.
- [4] Martín, M. P. y E. Chuvieco (1998): Cartografía de grandes incendios forestales en la Península Ibérica a partir de imágenes NOAA-AVHRR. *Serie Geográfica*, 7: 109-128.
- [5] GEERKEN R., BATIKHA D., CELIS D., DE-PAUW E. (2005). Differentiation of rangeland vegetation and assessment of its status: field investigations and MODIS and SPOT VEGETATION data analyses. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 26, No. 20, 4499-4526.
- [6] MORISETTE J. T., GIGLIO L., CSIZAR I., JUSTICE C. O. (2005). Validation of the MODIS active fire product over Southern Africa with ASTER data. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 26, No. 20, 4239-4264.
- [7] CHUVIECO E., CONGALTON R. G. (1989). Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems to Forest Fire Hazard Mapping. *Remote Sensing of the Environment*, Vol. 29, 147-159.
- [8] GRANADOS-RAMIREZ R., REYNA-TRUJILLO T., GOMEZ-RODRIGUEZ G. (2004). Analysis of NOAA-AVHRR NDVI images for crops monitoring. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 25, No. 9, 1615-1627.
- [9] TATESHI, R., EBATA M. (2004). Analysis of phenological change patterns using 1982-2000 Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) data. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 25, No. 12, 2287-2300.
- [10] KUCERA J., YASUOKA Y., DYE D. G. (2005). Creating a forest fire database for the Far East of Asia using NOAA AVHRR observation. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 26, No. 11, 2423-2439.
- [11] SILVA J. M. N., CADIMA J. F. C. L., PEREIRA J. M. C., GREGOIRE J. M. (2005). Assessing the feasibility of a global model for multitemporal burned area mapping using SPOT-VEGETATION data. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 26, No. 12, 2561-2594.
- [12] FENSHOLT R., SANDHOLT I. (2005). Evaluation of MODIS and NOAA AVHRR vegetation indices with in situ measurements in a semi-arid environment. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 26, No. 12, 2561-2594.