

RapidEye and the Rededge band for modelling the vegetation and the recovery of the soil moisture

Martín, F., Corbera, J., Marchan, J. F., González, A.

Mapping, núm. 50, pàg. 10-20.

Resumen.

En el marco del programa de las actividades del PCOT, el trabajo que se presenta se focaliza en el estudio de dos imágenes satelitales de la plataforma RapidEye, en el que se pretende analizar diferentes índices de vegetación ya ampliamente aceptados como son los índices NDVI, SAVI, así como el uso de un nuevo índice de vegetación basado en la banda ‘red edge’ proporcionada por RapidEye. Así mismo se analizará la idoneidad de estas imágenes como referencia para el modelado de la vegetación en los modelos propuestos para la recuperación de la humedad del suelo.

Introducción.

Una de las propuestas R+D+I (en adelante RADERO/HUMID) en curso por parte del PCOT estudia la recuperación de la humedad del suelo a escalas regionales/locales. Recientemente la humedad del terreno ha ido adquiriendo un mayor peso, llegando a destacarse como un elemento clave dentro del ciclo del agua, cuyo conocimiento entre otras cosas permitirá mejorar las predicciones climáticas y meteorológicas.

Diferentes datos satelitales han sido utilizados para derivar mapas de humedad del terreno, siempre a escalas de dato global. A finales del 2009 se lanzó la primera misión ESA focalizada en la recuperación de la humedad del suelo y la salinidad del océano (SMOS). En breve se prevé que la NASA lance su propia misión dedicada a la recuperación de la humedad del suelo (SMAP).

Es en este contexto en el que ‘Programa Catalán de Observación de la Tierra’(PCOT) dentro de la estructura del Instituto Cartográfico de Cataluña (ICC), propone el proyecto HUMID como una oportunidad para la recuperación de la humedad del suelo a escalas regionales/locales, donde se emplearán los aviones fotogramétricos ICC para embarcar los diferentes sensores que acabaran estimando la humedad del suelo.

A la hora de derivar la humedad del terreno, varias opciones pueden ser válidas, siendo actualmente la radiometría en banda L la más indicada para este propósito.

A frecuencias de microondas, y concretamente en la banda L, la constante dieléctrica presenta un gran contraste entre un suelo seco y uno húmedo, variando su valor desde 4 para el caso de un suelo seco a 20 aproximadamente para un suelo húmedo.

Por otra parte las microondas pasivas son más sensibles a la humedad del suelo que las microondas activas, siendo al mismo tiempo más robustas frente a la rugosidad del suelo y a la vegetación.

No obstante a pesar de las ventajas que presentan las microondas pasivas, hay una serie de desventajas, como una baja resolución espacial, o bien la pérdida de sensibilidad a la humedad del suelo en presencia de rugosidad, y especialmente en presencia de vegetación, pudiendo a llegar a enmascarar por completo la señal, haciéndola totalmente insensible a la humedad del suelo.

Uno de los métodos más utilizados para modelar los efectos de la vegetación es usando el modelo tau-omega (optical depth-single scattering albedo), cuya expresión corresponde a:

$$T_B = [1 + (1 - e)\gamma_{veg}](1 - \gamma_{veg})(1 + w)T_{veg} + (e\gamma_{veg}T_{soil}) \quad \text{Eq 1}$$

Donde w (albedo) representa la dispersión que provoca la cubierta de vegetación, e es la emisividad, T_{veg} es la temperatura de la vegetación, T_{soil} es la temperatura del suelo (en la práctica ambas se consideran iguales), y γ_{veg} es la transmisividad de la vegetación, que a su vez esta relacionada con el optical depth de la siguiente forma:

$$\gamma(\theta, p) = \exp\left(\frac{-\tau(\theta, p)}{\cos\theta}\right) \quad \text{Eq 2}$$

Donde a su vez $\tau(\theta, p)$ esta relacionada con el ‘vegetation water content’ (VWC) de la forma:

$$\tau = b * VWC \quad \text{Eq3}$$

Siendo b un parámetro dependiente del tipo de vegetación. Referente al VWC, diferentes estudios relacionan el VWC, con índices de vegetación como ahora el NDVI, o el NDWI, llegando a ecuaciones semiempíricas claramente definidas para determinados cultivos estudiados.

RADERO/HUMID se basa en la combinación de información aportada por el radiómetro, así como de sensores hiperspectrales (VNIR y térmico). A partir de dichos datos se establecerán los índices de vegetación, los cuales se emplearán para implementar el modelo tau-omega.

Paralelamente a los datos obtenidos por los sensores embarcados en las plataformas ICC, RADERO/HUMID utilizará datos adicionales, tales como medidas 'in situ' o datos provenientes de satélites.

De hecho, HUMID ya ha empleado información proveniente de diferentes fuentes para validar y analizar ciertas asunciones realizadas en la definición de su algoritmo, como datos SMOS, Modis o RapidEye entre otros.

Este artículo se va a centrar en la evaluación de RapidEye como fuente complementaria en la determinación de los índices de vegetación. Para ello se disponen de dos imágenes proporcionadas por RapidEye de la zona de Bañolas correspondientes al 07-02-2009 y al 12-07-2009. El objetivo es analizar diferentes índices de vegetación ya tratados en teledetección, así como evaluar las prestaciones de RapidEye en el marco del programa HUMID.

RapidEye

RapidEye es una constelación de cinco pequeños satélites desarrollados por RapidEye AG, que destaca tanto por la resolución espacial ofrecida (6.5 metros) como por el tiempo de revisita (1 día).

RapidEye lleva como carga útil un sensor multiespectral, que aparte de las 4 bandas clásicas (azul, verde, rojo e infrarrojo cercano), incorpora una quinta banda centrada en el 'red edge'. La banda 'red edge' es una banda centrada estratégicamente en el inicio de la porción donde la reflectividad presenta valores altos debido a la respuesta de la vegetación, radicando su interés en el hecho de que se encuentra en la zona de transición entre la reflectancia mínima y máxima, pudiendo ser útil en la medición del estado de la vegetación.

Recientes estudios llegan a sugerir el 'red edge' como alternativa al canal rojo, en base a que este podría ser más sensible a cambios en el estado de la salud de la planta.

A continuación se muestra una tabla donde se detallan las principales características de las bandas de RapidEye.

TABLA 1

En la figura 1 se puede apreciar la información proporcionada por las bandas 3, 4 y 5 de RapidEye, así como el contraste existente en el valor de la reflectancia en función de la banda seleccionada.

FIGURA 1

Índices de Vegetación.

A continuación van a ser analizados diferentes Índices de Vegetación, cuya elección se ha priorizado en base a las bandas espectrales, tanto en la inclusión de la banda 'red edge' para la valoración de su aportación, como las bandas coincidentes con el sensor hiperspectral VNIR disponible en el ICC.

Básicamente los índices de vegetación permiten realizar una estimación de la abundancia de vegetación utilizando datos espectrales, basándose para ello en las diferencias espectrales dadas entre la vegetación y otros componentes de la superficie terrestre.

Los índices de vegetación más simples son aquellos que se basan en la respuesta espectral dada en ciertas bandas, mientras que otros se basan en cocientes, siendo un ejemplo de ello el 'Greenness Index', el cual es el cociente entre la banda verde y la roja, pretendiendo ser un indicador del contenido de la clorofila, o el 'Simple Ratio Vegetation Index' (RVI) (Jordan,

1969) el cual se basa entre el cociente entre la banda infrarroja cercana (máxima reflexión) y la roja (máxima absorción). Las ecuaciones de ambas expresiones son:

$$G = R_{554}/R_{677} \quad \text{Eq 4}$$

$$RVI = R_{800}/R_{677} \quad \text{Eq 5}$$

Las figuras 2 y 3 muestran el resultado de aplicar en las imágenes RapidEye los dos índices de vegetación anteriores sobre el área de Bañolas.

FIGURE 2

FIGURE 3

Una variante a los dos casos expuestos arriba sería el ‘Normalized Difference Vegetation Index’ (Rose, 1973) el cual es el cociente entre la diferencia de las reflectividades en el canal infrarrojo cercano y el rojo, y la suma de ambos, tal y como puede apreciarse en la ecuación 6.

$$NDVI = \frac{R_{800} - R_{670}}{R_{800} + R_{670}} \quad \text{Eq 6}$$

El NDVI ha sido uno de los índices de vegetación más empleados como indicador del estado de la vegetación, donde se está aprovechando la máxima absorción producida en el canal rojo debido a los pigmentos de la clorofila y a la máxima reflectividad producida en el infrarrojo debida a la estructura celular de las hojas. El principal inconveniente de este índice de vegetación radica en su tendencia a saturarse en cubiertas vegetales moderadas o densas (Leaf Area Index (LAI) >3).

En este sentido el ‘Renormalized Difference Vegetation Index’ (RDVI) (Rougeon & Breon, 1995), y el ‘Modified Simple Ratio’ (MSR) (Chen, 1996), implican una mejora respecto a NDVI, aportando según la literatura una mayor sensibilidad a los parámetros biofísicos.

$$RDVI = \frac{R_{800} - R_{670}}{\sqrt{R_{800} + R_{670}}} \quad \text{Eq.7}$$

$$MSR = \frac{R_{800}/R_{670} - 1}{(R_{800}/R_{670} + 1)^{0.5}} \quad \text{Eq.8}$$

Las figures 4, 5 y 6 muestran las diferencias entre ellos.

FIGURE 4

FIGURE 5

FIGURE 6

Índices de vegetación como el SAVI ‘Soil Adjusted Vegetation Index’ (Huete, 1988), el cual está basado en el NDVI, incluyen un factor L que pretende tener en cuenta las propiedades físicas del suelo. En dicho escenario L deberá ajustarse a la cubierta bajo estudio, estando en función de la densidad de la vegetación. No obstante el mismo Huete en (Huete, 1988) propone un valor de 0.5 como un valor óptimo de L, (valor adoptado en este artículo).

$$SAVI = (1 + L) * \frac{(R_{800} - R_{670})}{(R_{800} + R_{670} + L)} \quad \text{Eq. 9}$$

(Qui, 1994), desarrolló el MSAVI ‘Modified SAVI’, el cual según (Broge and Leblanc, 2000) es el mejor estimador LAI (‘Leaf Area Index’) en cubiertas densas.

$$MSAVI = \frac{1}{2} [2 * R_{800} + 1 - \sqrt{(2 * R_{800} + 1)^2 - 8(R_{800} - R_{670})}] \quad \text{Eq.10}$$

Ambos índices de vegetación han sido aplicados a las imágenes RapidEye en la zona de interés.

FIGURE 7

FIGURE 8

Otros índices descritos en la literatura utilizan tres bandas discretas, como ahora el MCARI o el TVI, pero se omitirán en este artículo.

Red Edge NDVI

(Wang Fu, 2007), propone el uso del GNDVI (Green NDVI) y GBNDVI (Green Blue NDVI) como alternativa al NDVI en aquellas situaciones en las que el LAI sea superior a 3. En su artículo Wang Fu analiza varias alternativas (NDVI, GNDVI, BNDVI, GRNDVI, GBNDVI, RBNDVI y PanNDVI) obteniendo para estos dos casos la mejor correlación con el LAI. A continuación se muestran tanto las expresiones de estos índices como los resultados obtenidos.

$$GNDVI = \frac{NIR - Green}{NIR + Green} \quad \text{Eq. 11}$$

$$GNDVI = \frac{NIR - (Green + Blue)}{NIR + (Green + Blue)} \quad \text{Eq. 12}$$

FIGURA 9

FIGURA 10

A partir del estudio llevado a cabo por Wang Fu, en este artículo se propone una alternativa a los índices de vegetación propuestos en (Wang Fu, 2007) aprovechando la banda 'red-edge'. Son varios los estudios que enumeran la relación entre esta banda y el nivel de nitrógeno o el contenido de clorofila de la planta. Así pues (Collins, 1978) argumenta los cambios en la reflectancia de la banda 'red edge' en función del estado de crecimiento de la planta. Por otra parte (Elvidge and Chen, 1995), muestran el espectro cubierto por la banda 'red-edge' como el más sensible para identificar diferentes niveles de nitrógeno, el cual se encuentra directamente relacionado con el contenido de clorofila de la planta. Otros autores (Elvidge, 1993), indican como la información sobre el contenido clorofílico de las plantas puede ser usada para identificar trazas de vegetación verde.

Atendiendo a los trabajos anteriormente citados, se propone una modificación del índice NDVI, donde a la máxima absorción producida en el canal rojo debido a los pigmentos de la clorofila y a la máxima reflectividad producida en el infrarrojo debida a la estructura celular de las hojas, se le incluya la banda red-edge.

Así pues, la propuesta aquí realizada únicamente está combinando los beneficios del NDVI clásico con los beneficios fruto de la información aportada por la banda red-edge (mayor detección del nitrógeno y su relación con el contenido clorofílico).

La ecuación 13 representa la propuesta RedEdge_NDVI.

$$Red\ Edge\ NDVI = \frac{NIR - (Red + Red\ Edge)}{NIR + (Red + Red\ Edge)} \quad \text{Eq. 13}$$

La siguiente figura muestra los resultados obtenidos con el Red Edge NDVI

FIGURE 11

Resultados

Tomando como referencia los trabajos de Haboudane (Haboudane, 2004) se ha calculado el 'Leaf Area Index' (LAI) a partir de la siguiente ecuación.

$$LAI = 0.1633 \exp(4.2731 * MSAVI) \quad \text{Eq. 14}$$

A partir de esta expresión se ha obtenido el LAI del área bajo estudio, tal y como se aprecia en la figura 12. Dicho cálculo servirá como referencia para evaluar los diferentes resultados, centrándose esta sección en el análisis sobre la imagen RapidEye tomada el 12-07-2009.

FIGURA 12

Para analizar el comportamiento de los diferentes índices expuestos anteriormente, se han realizado diferentes cortes transversales sobre la zona de interés, buscando obtener una LAI heterogénea tal y como se muestra en la figura 13.

FIGURA 13

En las figuras 14, 15 y 16 se muestran tres gráficas que contienen las correspondientes representaciones de los diferentes índices de vegetación tratados anteriormente, sobre el corte descrito anteriormente.

FIGURA 14

FIGURA 15

FIGURA 16

Los resultados obtenidos permiten extraer unas primeras conclusiones. La primera es que entre el 'Greenness Index', 'Simple Ratio Vegetation Index' y el 'Normalized Differential Vegetation Index', es este último el que presenta un mayor rango dinámico en su respuesta, estando ésta bastante ajustada a la LAI.

De los diferentes índices de vegetación definidos para mejorar las prestaciones del 'NDVI' en cubiertas vegetales moderadas o densas ($LAI > 3$), de la figura 15 se extrae que el 'SAVI' es de los cuatro índices propuestos como alternativa al 'NDVI' quien presenta una mejor respuesta en términos de rango dinámico, siendo sus resultados muy similares al 'RDVI' pero ofreciendo como ya se ha comentado un mejor rango dinámico. No obstante el comportamiento presentado por todos ellos es muy similar, únicamente variando la sensibilidad de su respuesta.

Finalmente si comparamos los índices de vegetación propuestos en (Wang Fu, 2007) con el propuesto en este artículo, se puede apreciar como la respuesta ofrecida por el RedEdge modified NDVI presenta un mayor rango dinámico junto a una mayor sensibilidad al LAI, que los dos índices propuestos en (Wang Fu, 2007).

Además en la figura 17, se puede apreciar como la correlación existente entre el RedEdge modified NDVI y la LAI es superior que la existente entre esta y los otros dos coeficientes aquí analizados.

FIGURA 17

Conclusiones

A lo largo de este documento se ha intentado evaluar la potencialidad de los productos ofrecidos por RapidEye dentro del marco de trabajo del programa RADERO/HUMID, así como evaluar diferentes Índices de Vegetación, proponiéndose una variante aprovechando el canal 'red-edge' que ofrece RapidEye.

La primera conclusión es que RapiEye puede ser un gran complemento a la información obtenida por el sensor hiperespectral embarcado en los aviones ICC. Teniendo en cuenta la resolución espacial ofrecida por RapidEye, en un principio se aproximará bastante a la que se podrá obtener en los vuelos (1-5m), con lo cual podría resultar una información complementaria en la validación de los resultados que se obtengan en los vuelos.

Al mismo tiempo es difícil extraer una conclusión respecto a cual de todos los índices de vegetación es el más óptimo en base a los objetivos perseguidos por RADERO/HUMID. De los resultados expuestos la respuesta ofrecida por el NDVI es bastante coherente en áreas cuya LAI no es superior a 3, siendo en este sentido los resultados ofrecidos por el 'SAVI' bastante interesantes y similares a los del NDVI.

Por otra parte, teniendo en cuenta estudios previos realizados, y aprovechando el uso del canal RedEdge se ha realizado una modificación a los Índices expuestos por (Wang Fu,

2007). Wang Fu propone varias modificaciones del NDVI para situaciones de vegetación densa ($LAI > 3$). En este artículo se han comparado los dos índices de vegetación destacados en (Wang Fu, 2007), con una modificación aprovechando el canal 'Red Edge' de RapidEye, obteniéndose mejores resultados a priori, siendo similares a los obtenidos anteriormente con el 'NDVI' y el 'SAVI'.

Se puede pues concluir afirmando que las imágenes 'RapidEye' dentro de los objetivos del programa RADERO/HUMID, pueden ser útiles como complemento a la información que se obtenga con el sensor VNIR con el que se realizarán las campañas de vuelo, aún más si cabe en aquellas zonas donde la LAI sea superior, en cuyos casos será interesante el empleo del índice de vegetación aquí propuesto.

Referencias

- Broge, N. H., & Leblanc, E. (2000), "Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density", *Remote Sensing of Environment*, vol. 76, pp. 156-172.
- Collins, W. (1978.), *Remote Sensing of Crop Type and Maturity*, *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, 44, 43-55.
- Chen, J. (1996). Evaluation of vegetation indices and modified simple ratio for boreal applications. *Can. J. Remote Sens.* 22, 229–242.
- Elvidge, C. D., Chen, Z., and Groeneveld, D. P. (1993), Detection of trace quantities of green vegetation in 1990 AVIRIS data, *Remote Sens. Environ.* 44:271- 279.
- Elvidge, C.D. and Chen, Z., 1995. Comparison of broadband and narrow-band red and near-infrared vegetation indices, *Remote Sens. Environ.* 54 : 38-48.
- Haboudane, D., Miller, J., Pattey, E., Zarco-Tejada, P., Strachan, I. (2004), "Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture", *Remote Sensing of Environment*, vol. 90, pp. 337-352
- Huete, A. R. (1988) "A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)," *Remote Sensing of Environment*, vol. 25, pp. 295-309.
- Jordan, C. F. (1969) "Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor," *Ecology*, vol. 50, pp. 663-666.
- Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., and Kerr, Y. H. (1994) "Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI)," *Remote Sensing of Environment*, vol. 48, pp. 119-126.
- Rougean, J. L. And Breon, F. M. 1995. Estimating PAR absorbed by vegetation from bi-directional reflectance measurements. *Remote Sens. Environ.* 51:375-384.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., and Deering, D. W. (1973) "Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS," *Third ERTS Symposium, NASA SP-351*, vol. 1, pp.309-317.
- Ulaby, F., Moore, R., Fung, A., *Microwave Remote Sensing: Active and Passive*. Vol 3 (1986). Artech House inc.
- Wang, F., Huang, J., Tang, Y., Wang, X. (2007), "New vegetation Index and its application in estimation Leaf Area Index of rice", *Science Direct*, vol. 14, 195-203.

	Rango	Usadas en este doc
Bandas Espectrales	Blue (440-510 nm)	R ₄₄₀₋₅₁₀
	Green (520-590 nm)	R ₅₅₄ , R ₅₅₀
	Red (630-685 nm)	R ₆₆₇ , R ₆₇₀
	Red Edge (690-730 nm)	R ₆₉₀₋₇₃₀
	NIR (760-850 nm)	R ₈₀₀

Tabla 1. Bandas Espectrales disponibles en RapidEye.

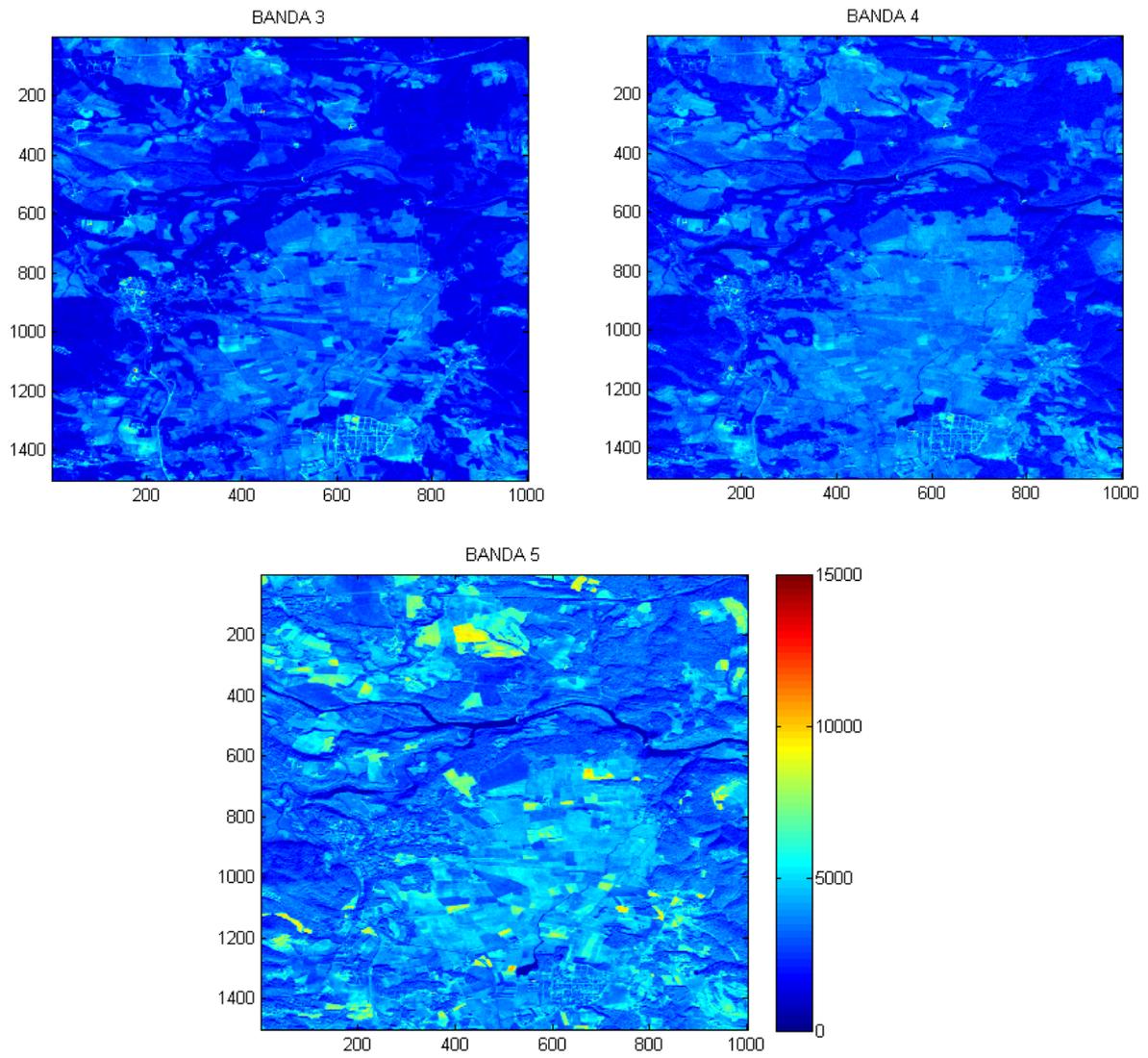


Figura 1. a) Imagen de Bañolas en la banda roja de RapidEye, b) Imagen de Bañolas en la banda 'red edge' de RapidEye, c) Imagen de Bañolas en la banda infraroja cercana de RapidEye

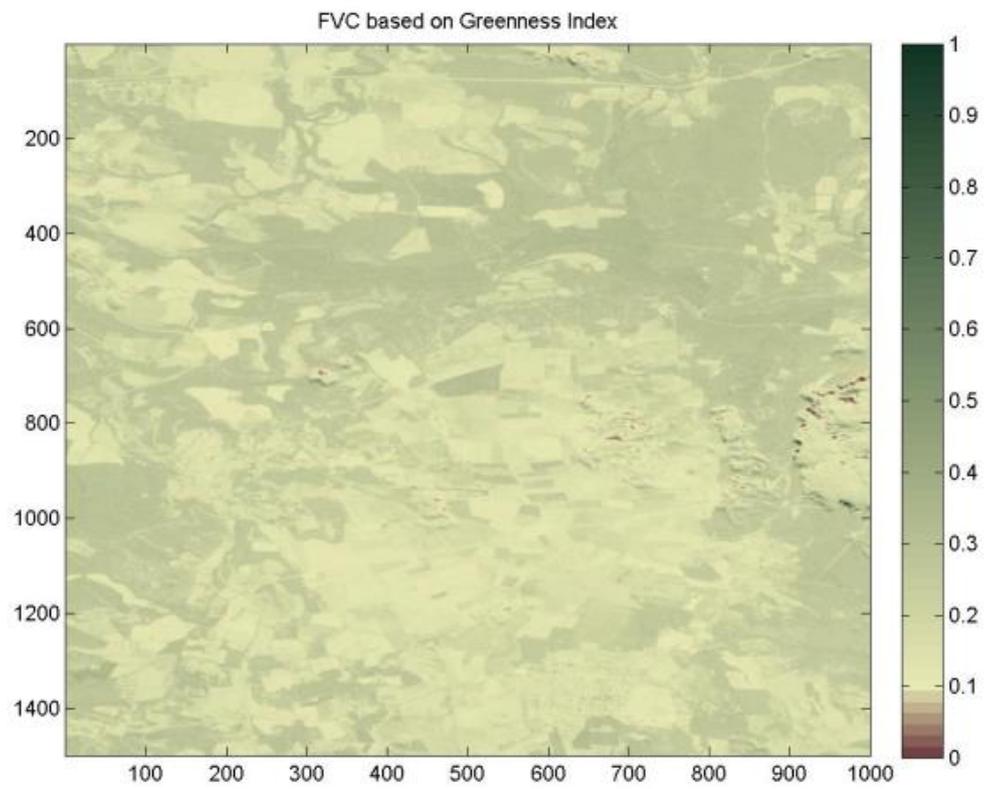
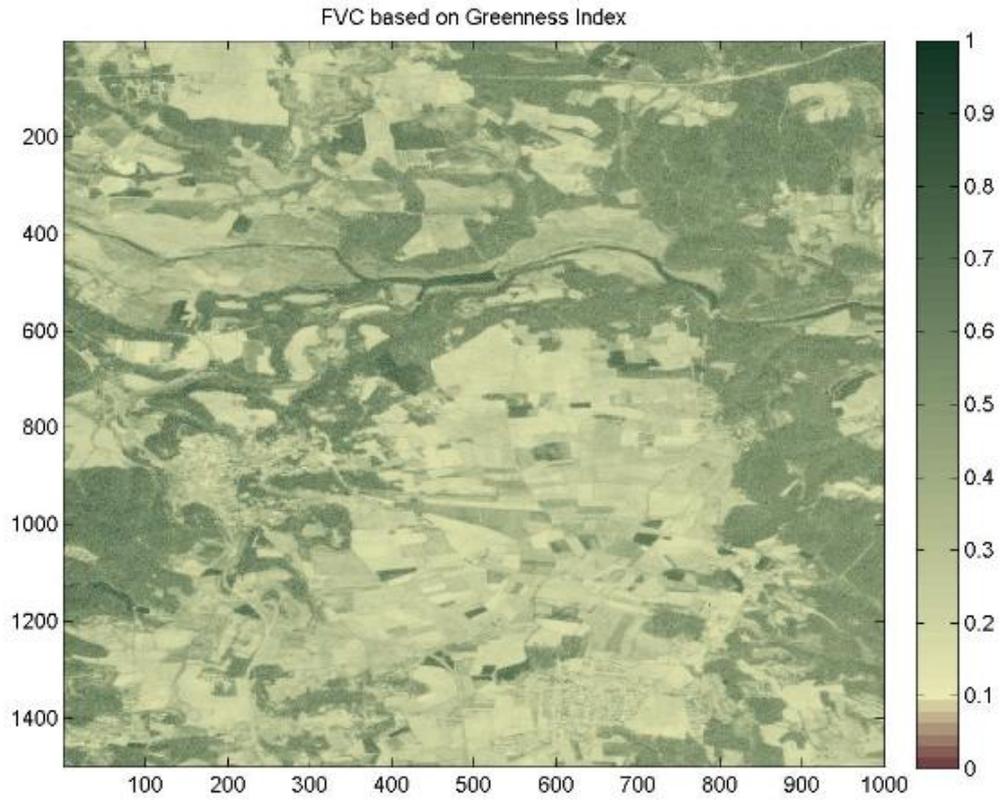


Figura 2. FVC basado en el 'Greenness Index' a) 07-02-2009, b) 12-07-2009

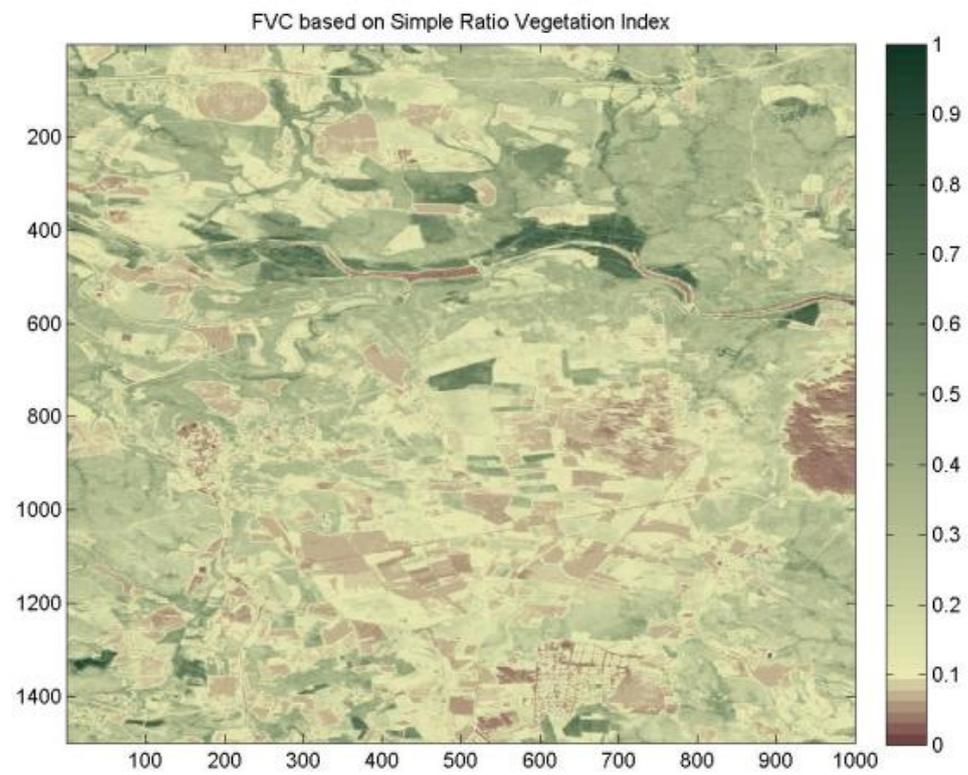
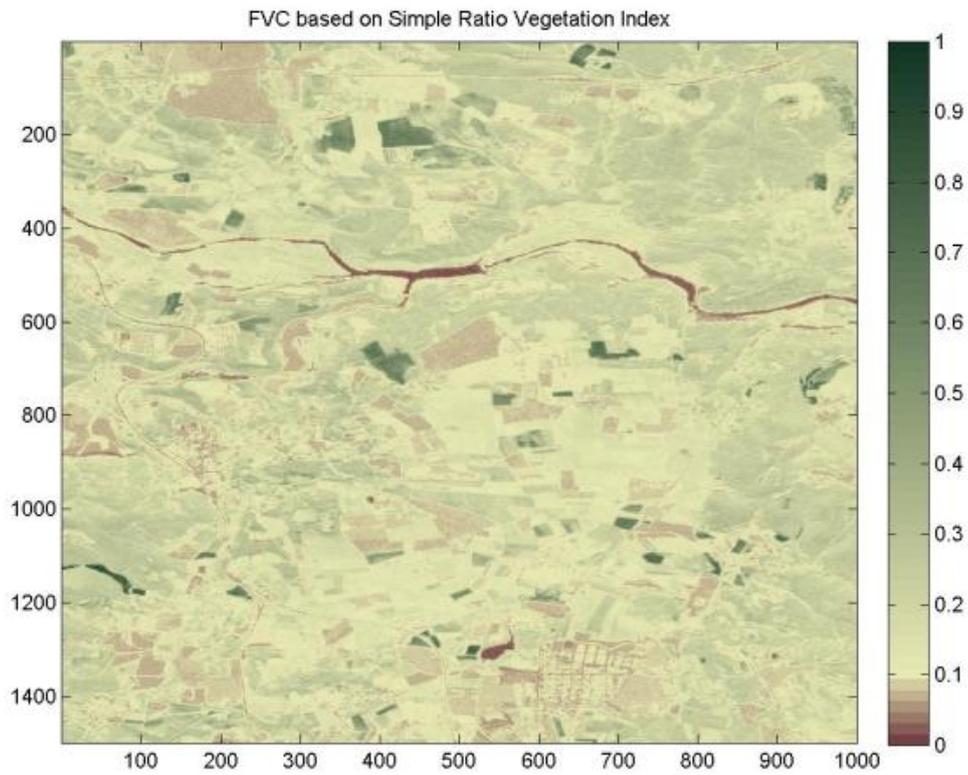


Figura 3. FVC basado en el 'Simple Ration Vegetation Index' a) 07-02-2009, b) 12-07-2009

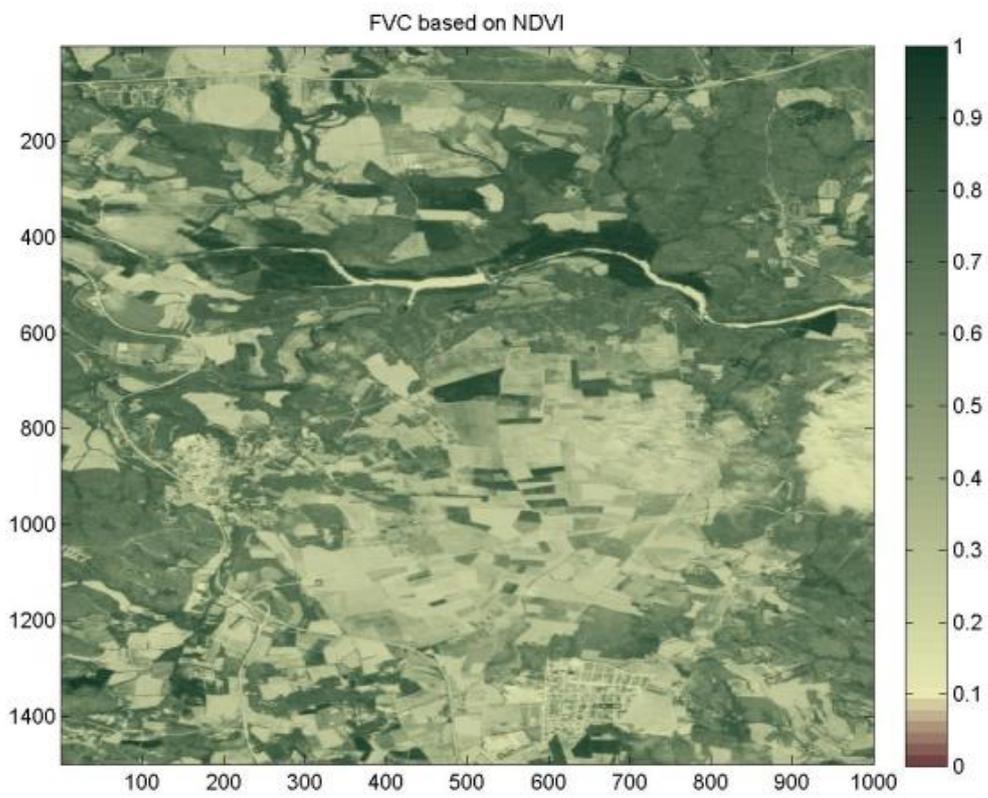
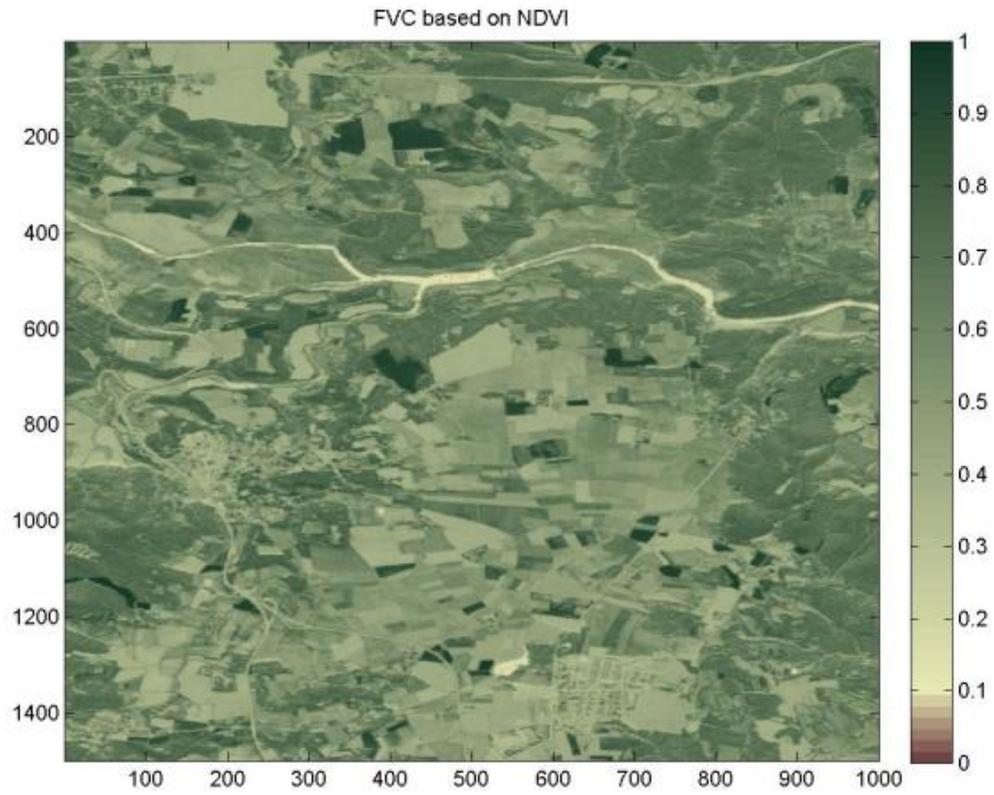


Figura 4. FVC basado en el 'NDVI' a) 07-02-2009, b) 12-07-2009

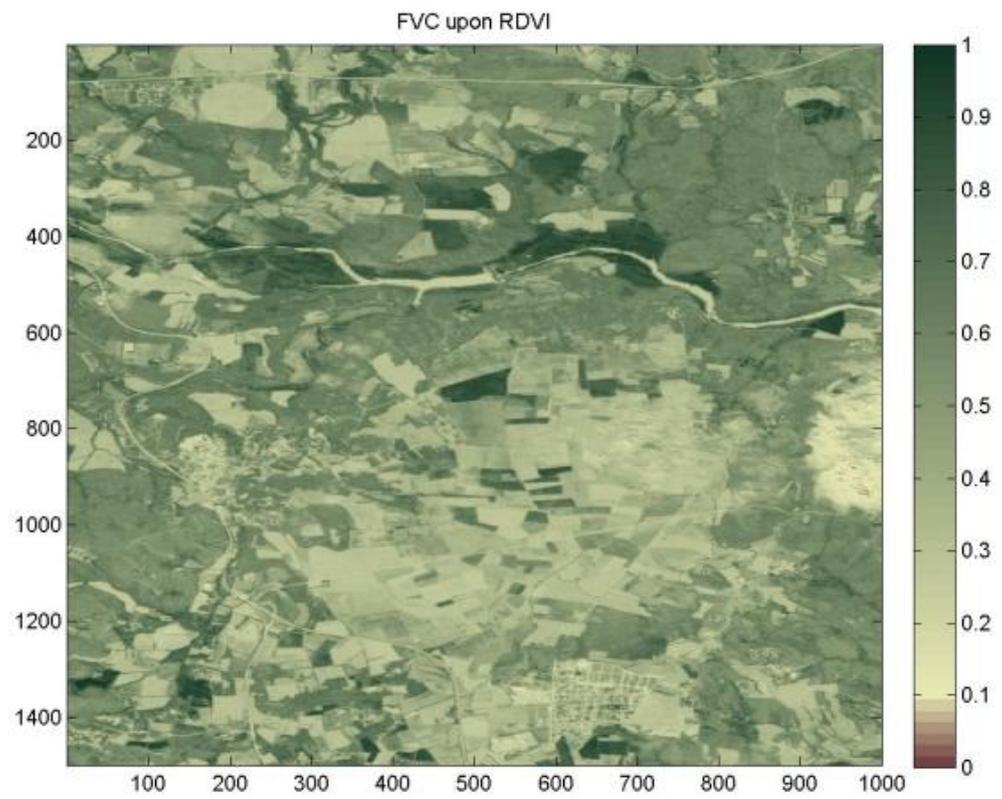
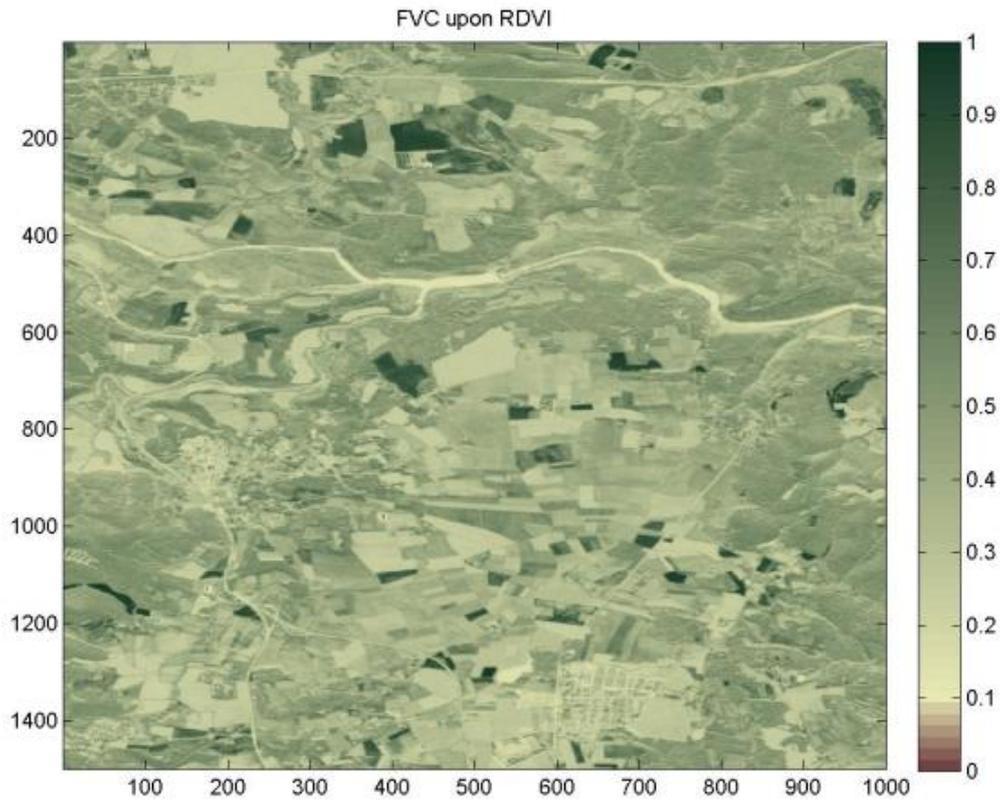


Figura 5. FVC basado en el 'RDVI' a) 07-02-2009, b) 12-07-2009

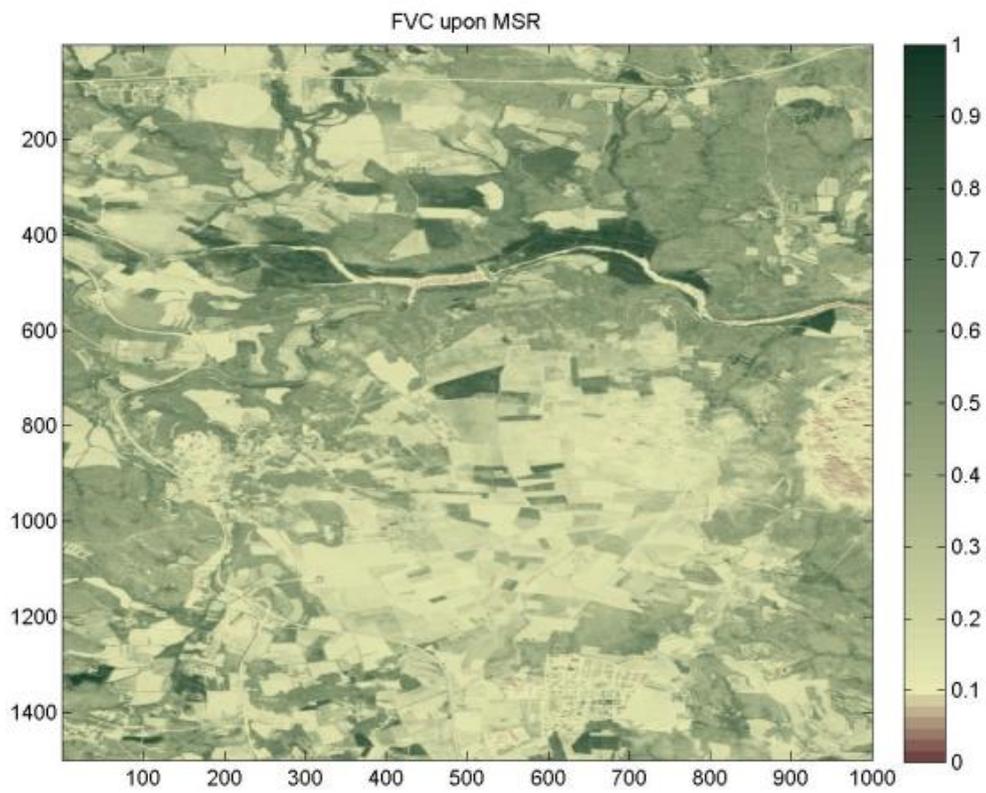
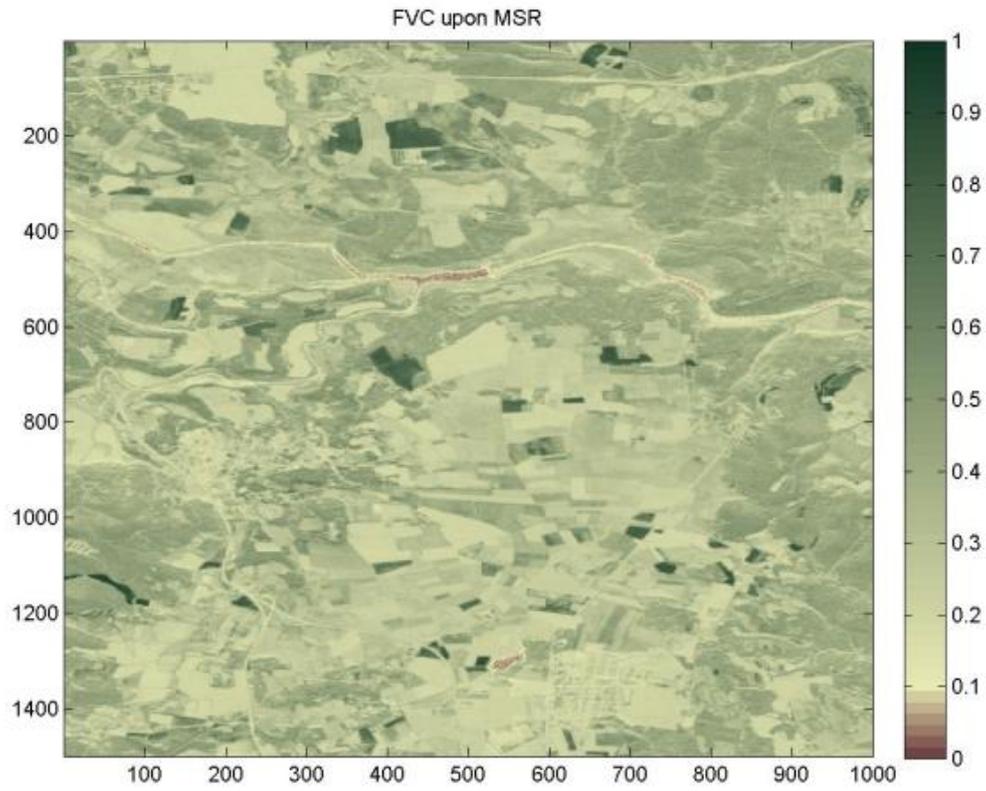


Figura 6. FVC basado en el 'MSR' a) 07-02-2009, b) 12-07-2009

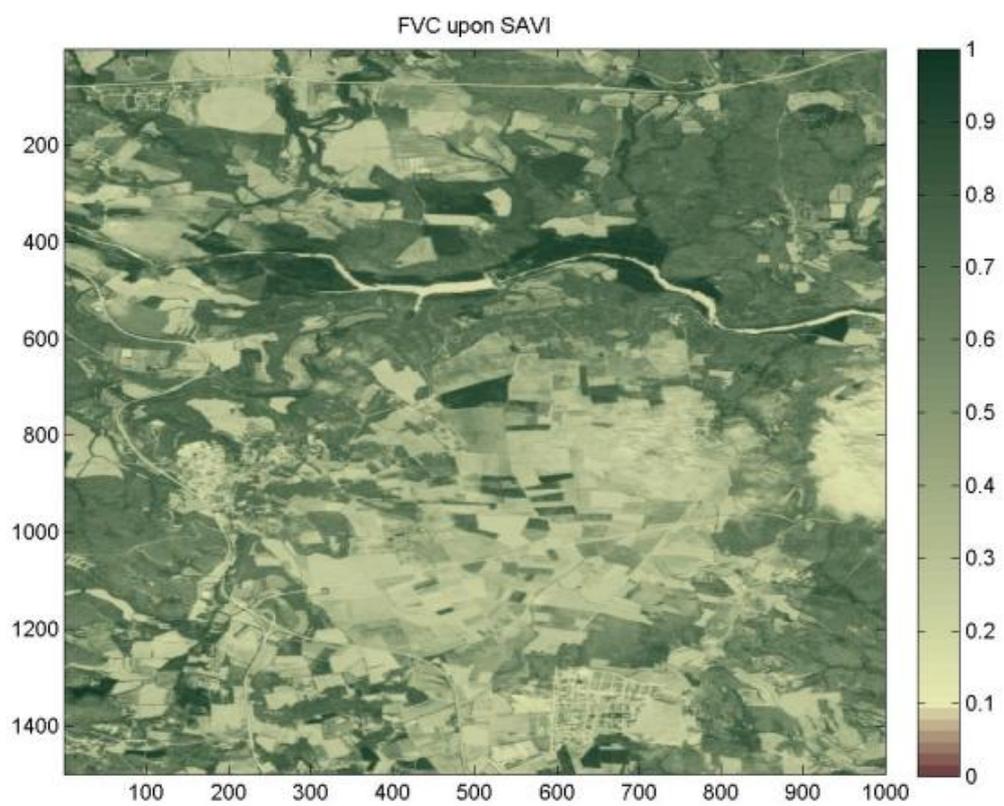
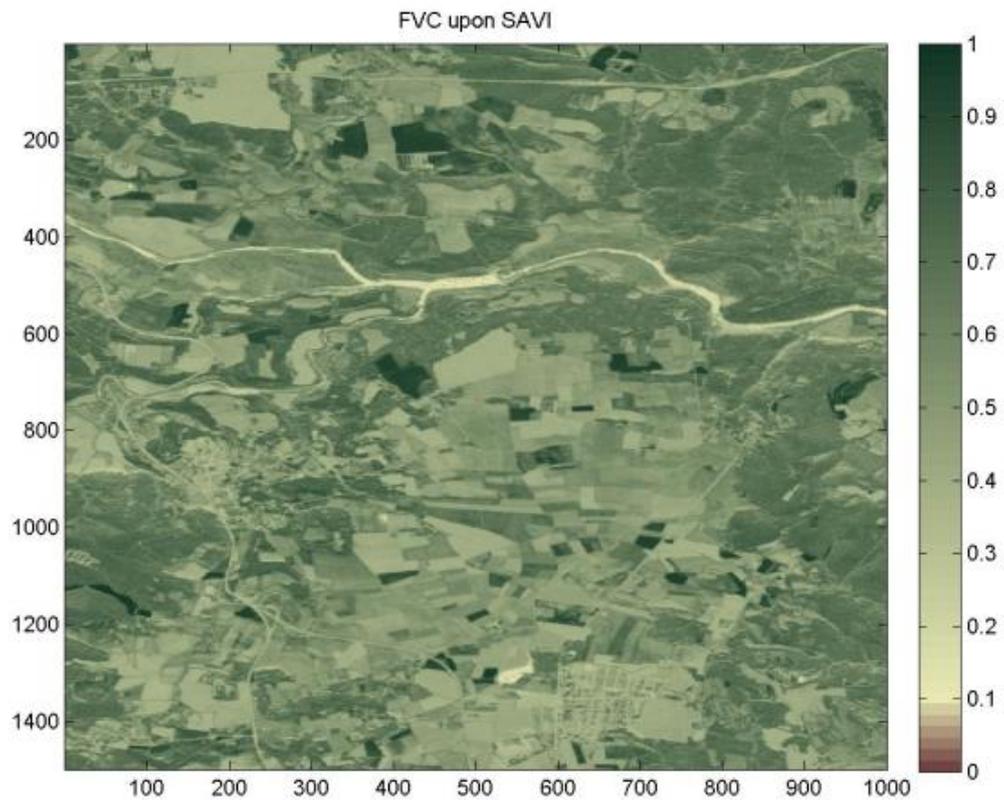


Figura 7. FVC basado en el 'SAVI' a) 07-02-2009, b) 12-07-2009

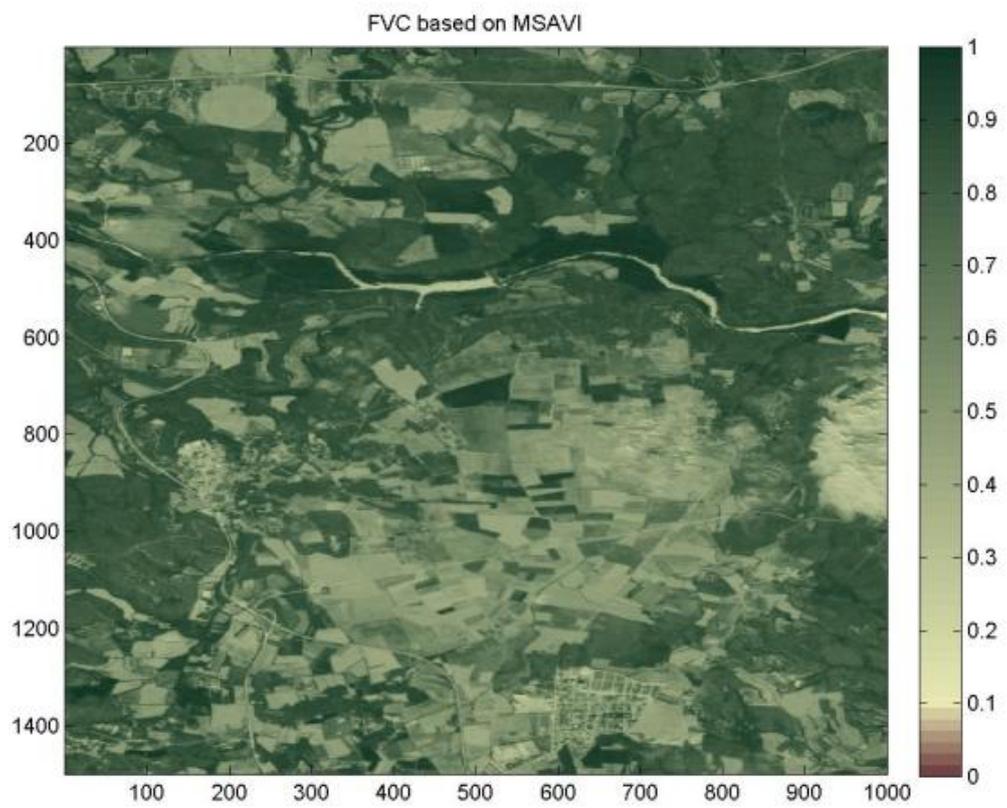
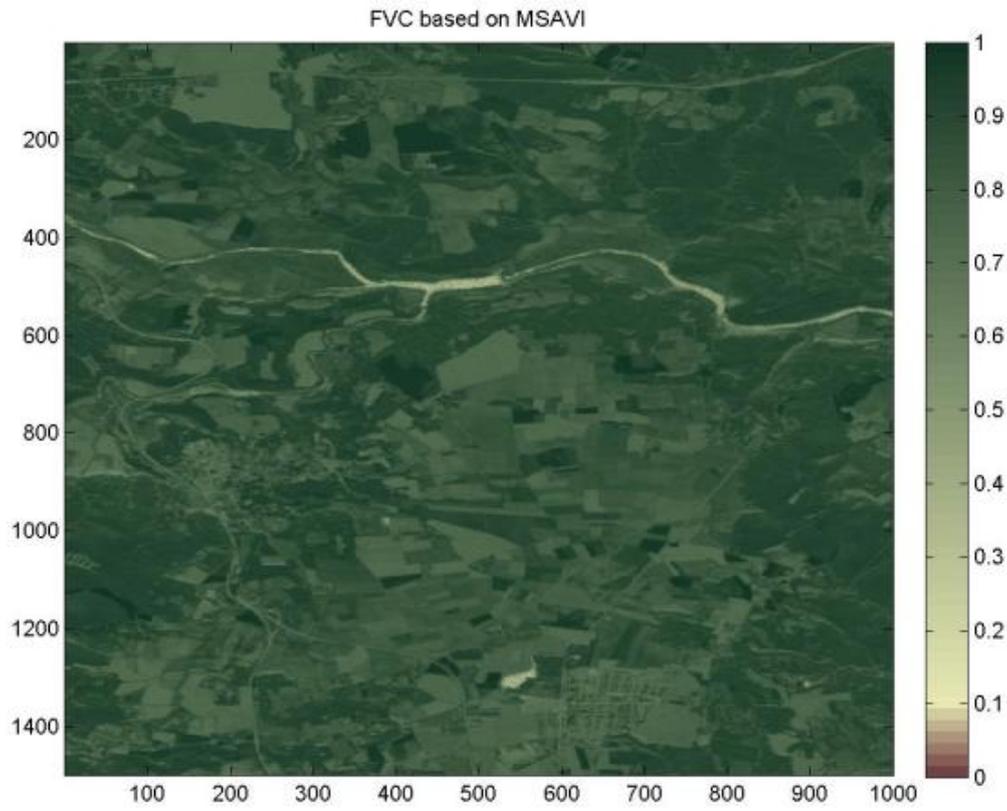


Figura 8. FVC basado en el 'MSAVI' a) 07-02-2009, b) 12-07-2009

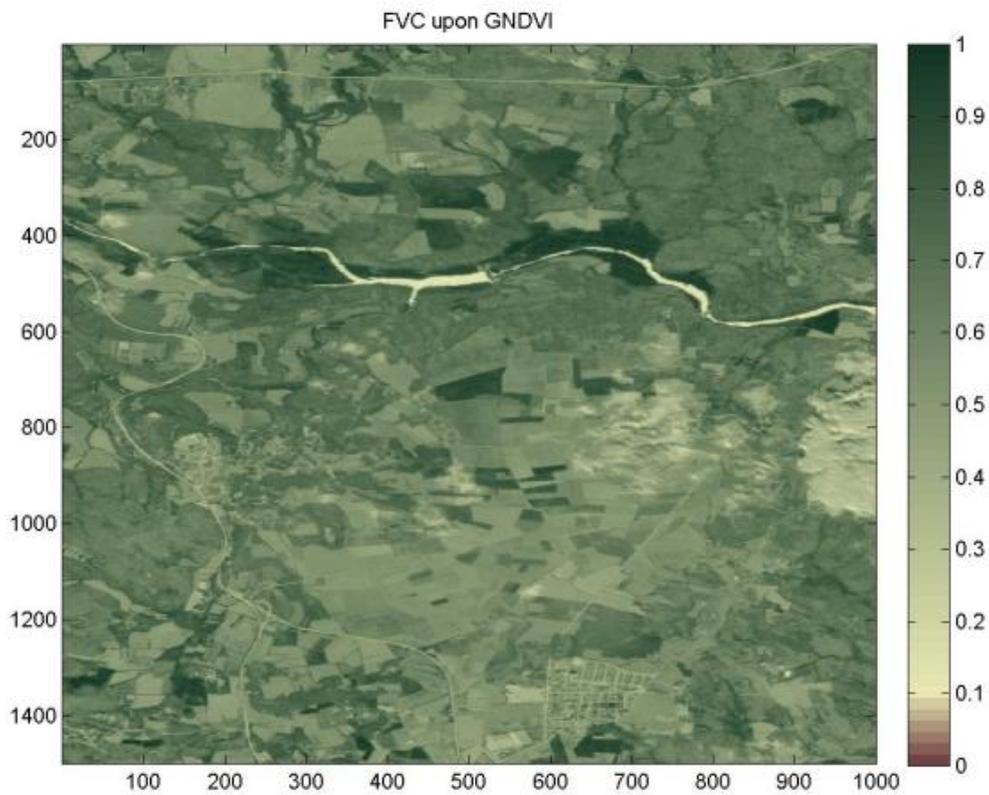
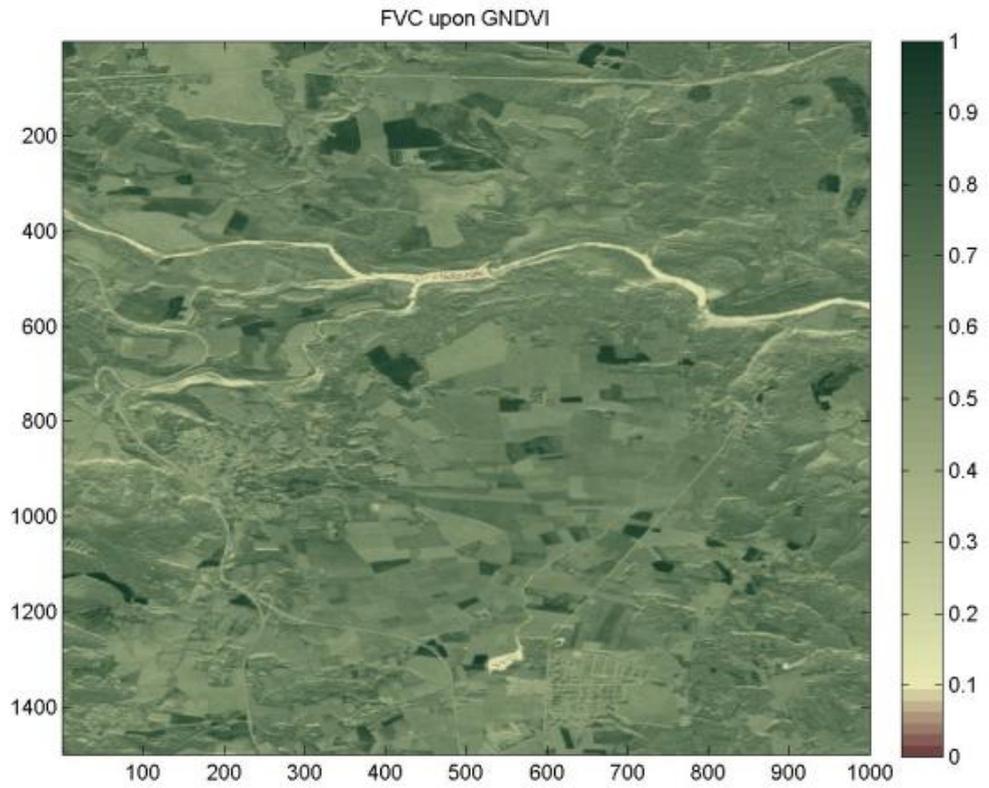


Figura 9. FVC basado en el 'GNDVI' a) 07-02-2009, b) 12-07-2009

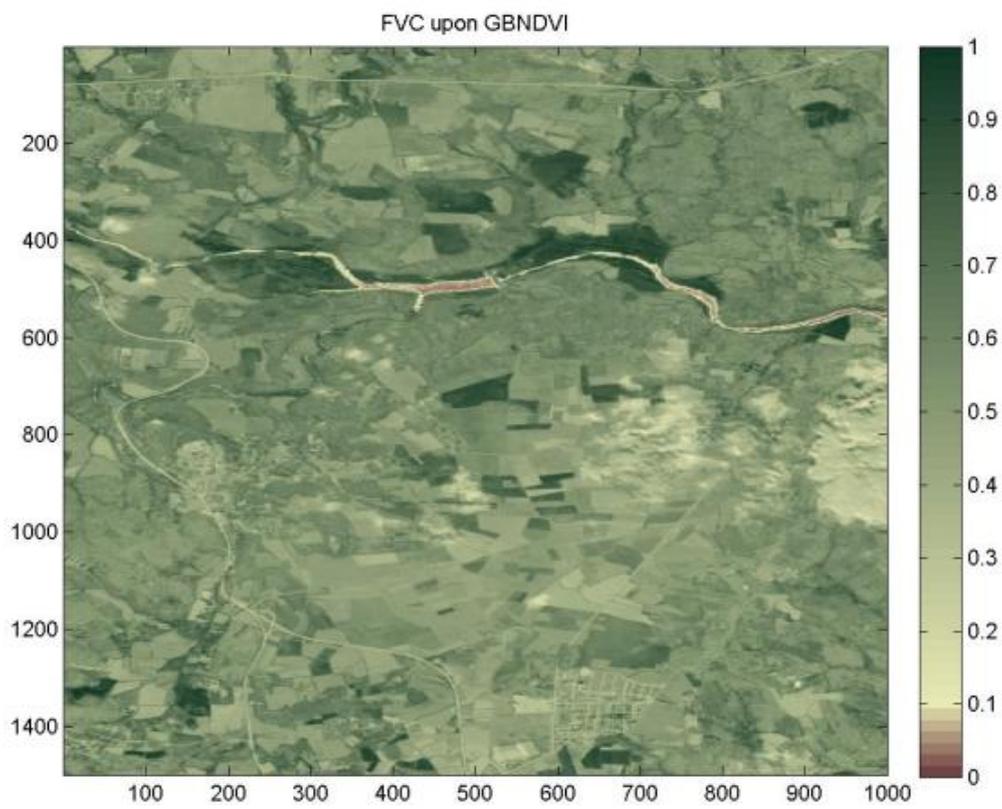


Figura 10. FVC basado en el 'GBNDVI' a) 07-02-2009, b) 12-07-2009

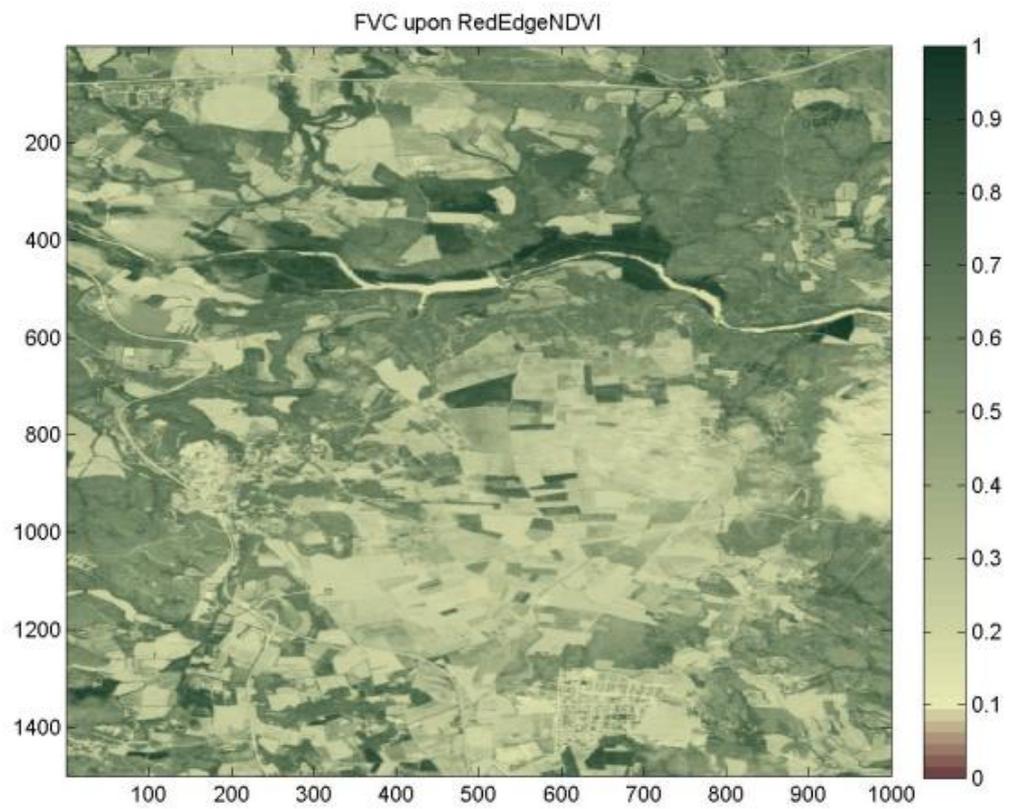
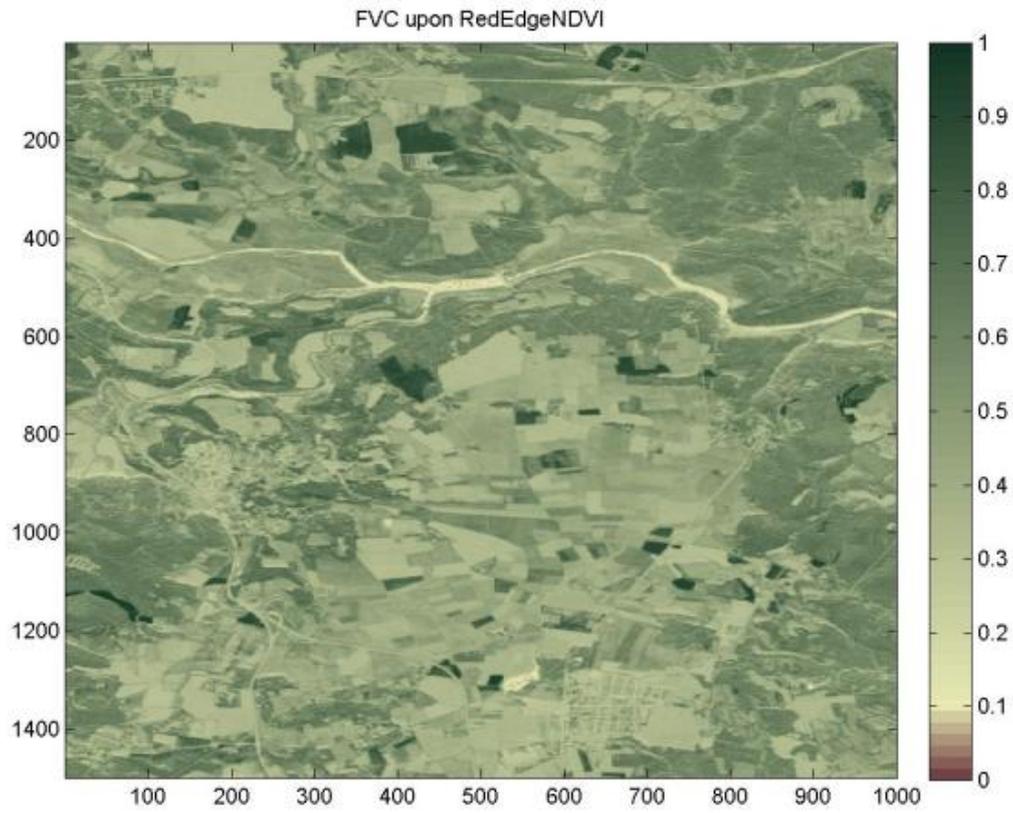


Figura 11. FVC basado en el 'RedEdge NDVI a) 07-02-2009, b) 12-07-2009

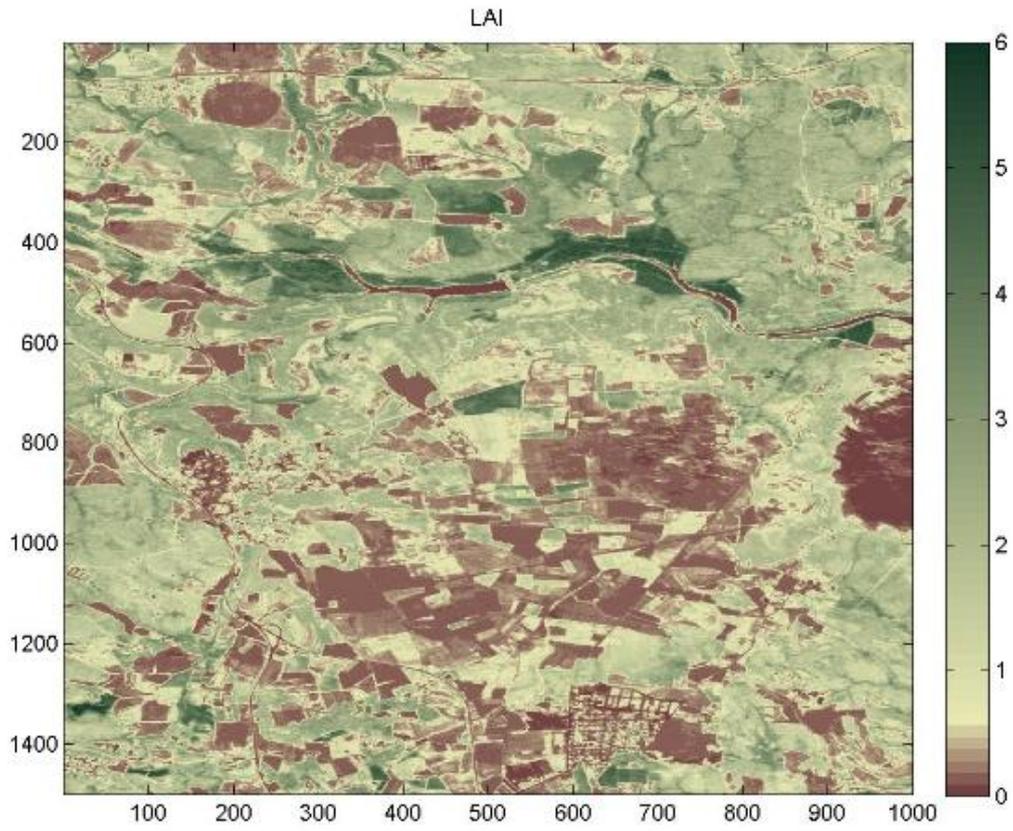


Figura 12. LAI obtenido para la época 12-07-2009

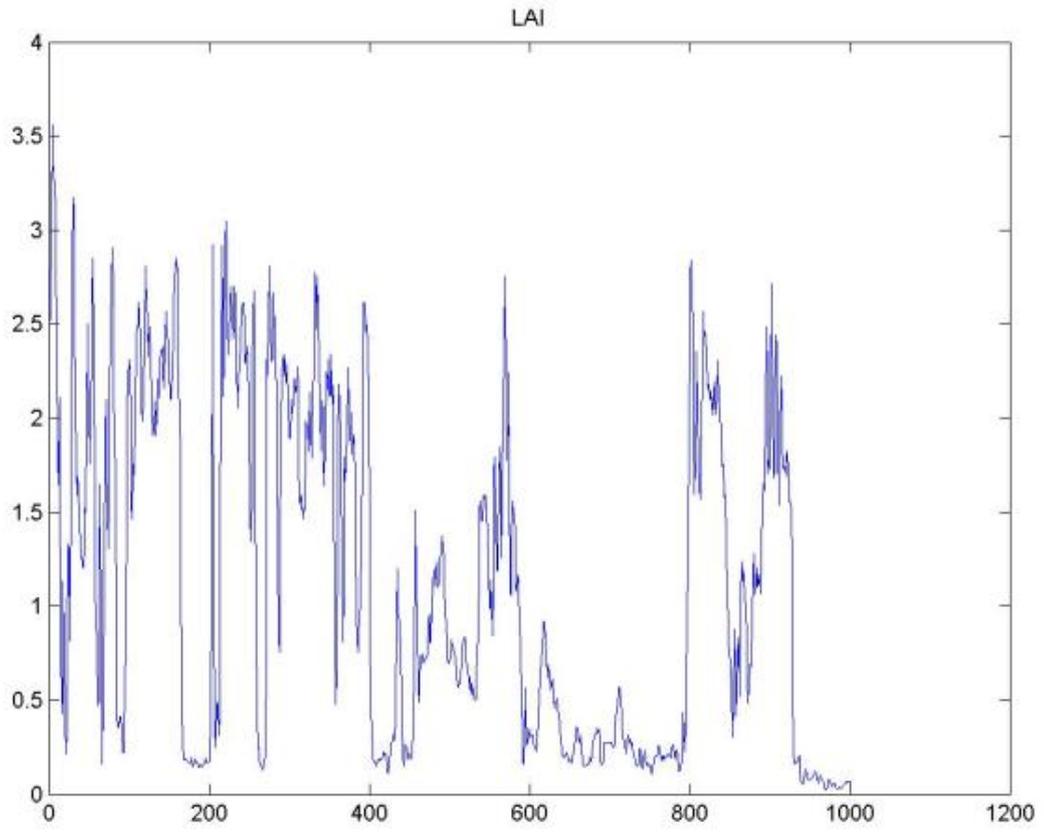


Figura 13. LAI transversal obtenido para la época 12-07-2009

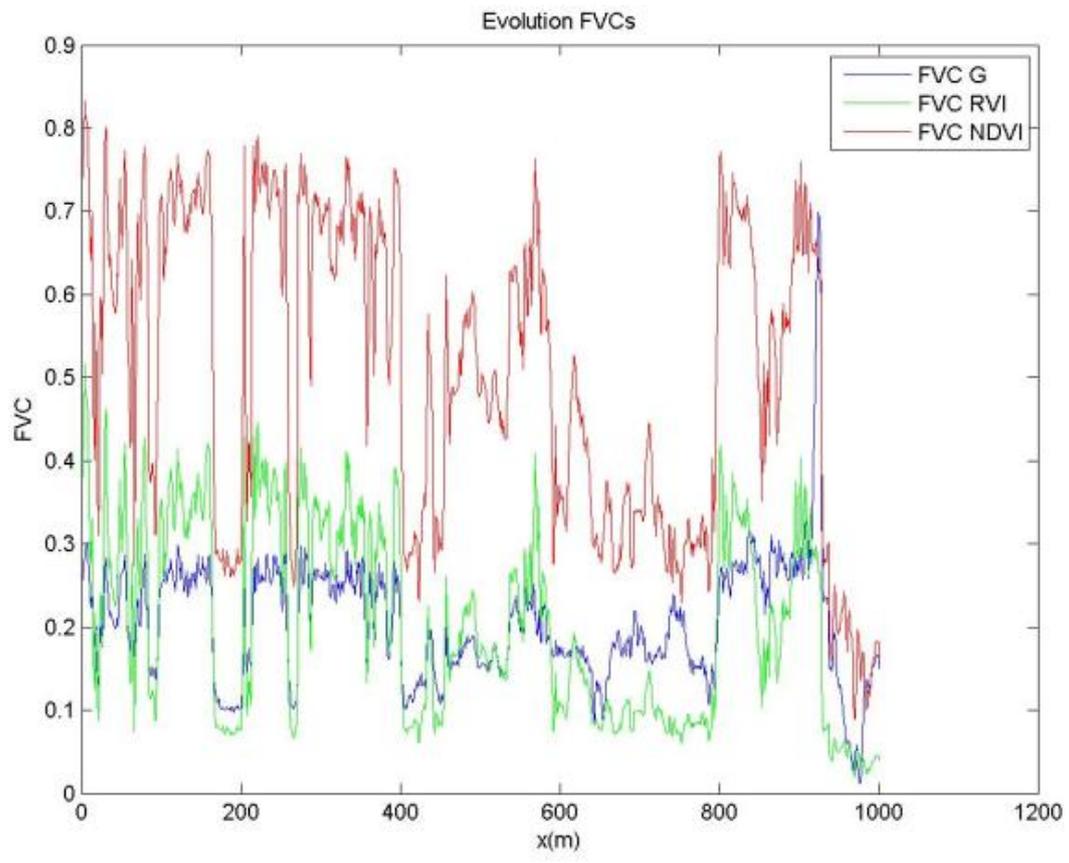


Figura 14. FVCs transversales para el 'Greenes Index', 'RVI' y 'NDVI' obtenidos para la época 12-07-2009

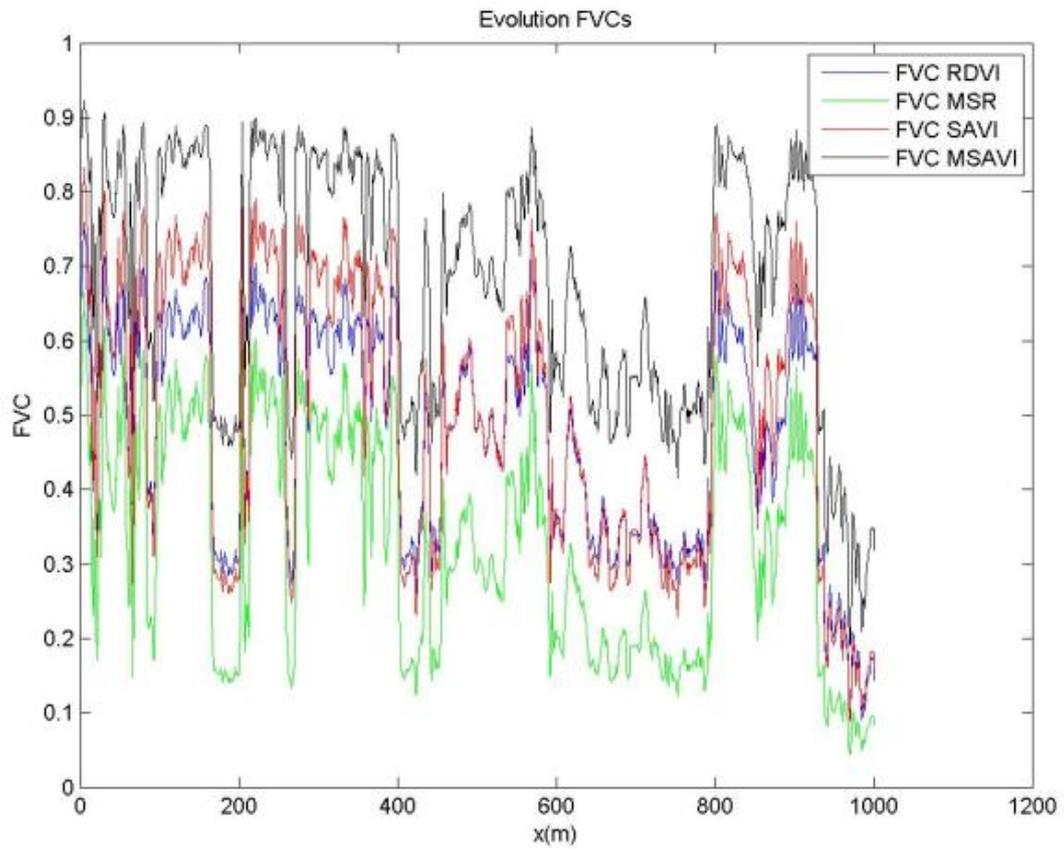


Figura 15. FVCs transversales para el 'RDVI', 'MSR', 'SAVI' y 'MSAVI' obtenidos para la época 12-07-2009

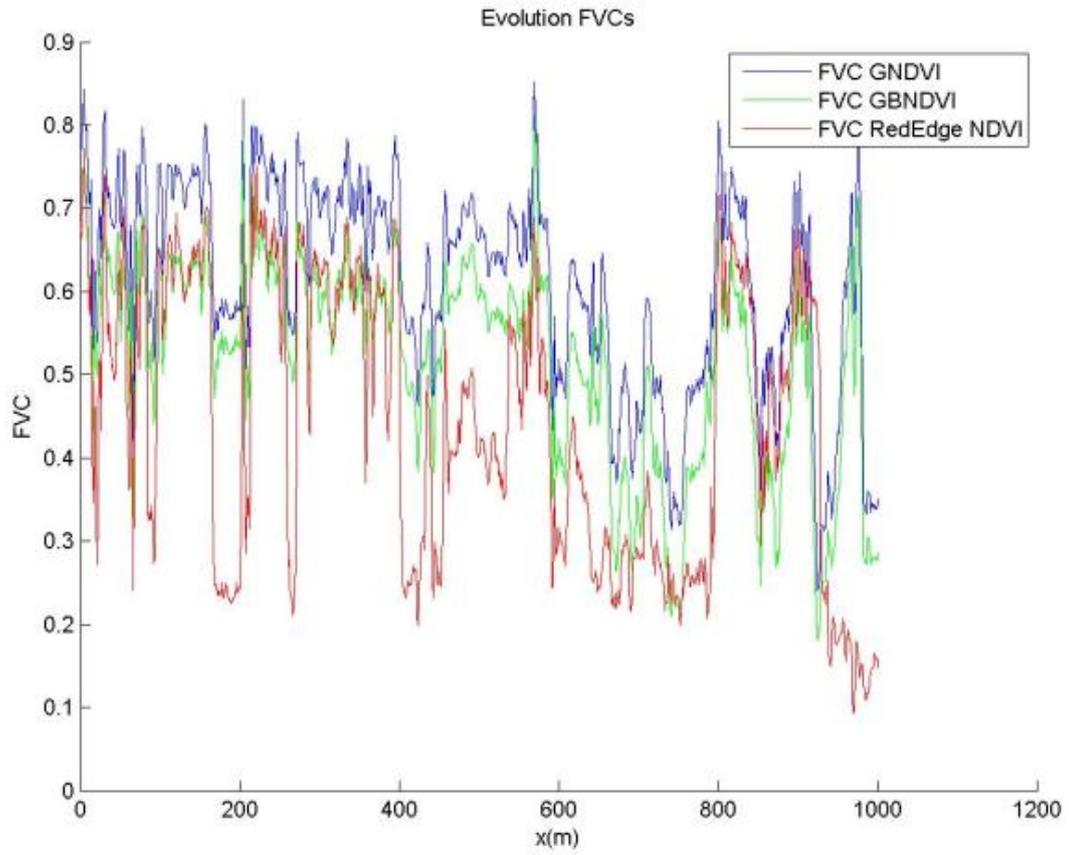


Figura 16. FVCs transversales para el 'GNDVI', 'GBNDVI', 'RedEdge NDVI' obtenidos para la época 12-07-2009

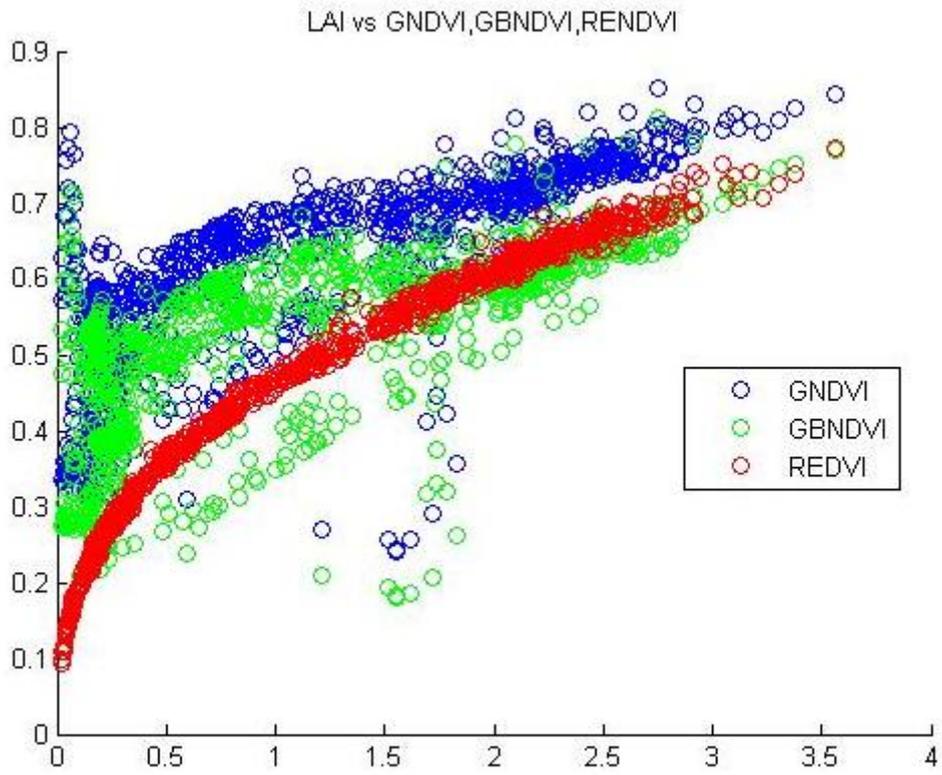


Figura 17. Correlación entre el LAI y el FVC obtenido para el caso 'GNDVI', 'GBNDVI' y 'RedEdge NDVI'