

Serra, P., Moré, G. y Pons, X. (2010): Influencia del tamaño de píxel y del método de interpolación durante la georreferenciación de imágenes de satélite. En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla. Pp. 362-xx. ISBN: 978-84-472-1294-1

INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PÍXEL Y DEL MÉTODO DE INTERPOLACIÓN DURANTE LA GEORREFERENCIACIÓN DE IMÁGENES DE SATÉLITE

Serra P.¹, Moré, G.² y Pons, X.^{1,2}

(1) Departamento de Geografía, Edificio B, Universidad Autónoma de Barcelona, 08193-Cerdanyola del Vallès (Barcelona). E-mail: pere.serra@uab.cat

(2) CREAF (Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales), Edificio C, Universidad Autónoma de Barcelona, 08193-Cerdanyola del Vallès (Barcelona).

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es detectar y cuantificar la influencia del tamaño de píxel y del método de interpolación en el proceso de georeferenciación. El material de estudio es una serie de tres imágenes Landsat-5 TM, libres de nubes, sobre una zona agrícola del nordeste de Cataluña. Los tamaños de píxel considerados en el estudio son 30 m, 25 m, 20 m y 15 m mientras que los métodos de interpolación estudiados son el vecino más próximo, la interpolación bilineal y la interpolación bicúbica. En el proceso de corrección se investiga las consecuencias en la exactitud temática de las clasificaciones multitemporales a través del análisis de las matrices de confusión en función de los parámetros citados. Los resultados indican que el remuestreo a 20 m ofrece el mejor resultado para cualquiera de los métodos de interpolación analizados, con unos porcentajes de acierto alrededor del 80%, con la excepción de la interpolación bilineal que se produce en el tamaño de píxel a 15m.

Palabras Clave: Corrección geométrica, métodos interpolación, clasificador híbrido, matrices de confusión.

ABSTRACT

The objective of this work is to detect and quantify the influence of pixel size and interpolation method in the process of georeferencing. Study material is conformed by three Landsat-5 TM images, free of clouds, on an agricultural study area located in Catalonia. The considered pixel sizes have been 30 m, 25 m, 20 m and 15 m, whereas the studied interpolation methods have been the nearest neighbour, the bilinear and the cubic convolution. In the correction process, it is analysed the consequences in thematic accuracy of multitemporal classifications through confusion matrices according to these cited parameters. Results show that the resample to 20 m gives the best outcome whatever of the applied interpolation methods, with an accuracy about 80%, with the exception of bilinear interpolation that in this case the best accuracy occurs with a pixel size of 15 m.

Key Words: Geometric correction, interpolation methods, hybrid classifier, confusion matrices.

INTRODUCCIÓN

El proceso de georeferenciación de imágenes de satélite requiere introducir algunos parámetros necesarios en la corrección. Independientemente del modelo de corrección utilizado (polinomios de primer o segundo grado con o sin z , modelos físicos, funciones racionales, etc.) existen dos parámetros ineludibles: el tamaño de píxel en la imagen corregida y el método de interpolación espacial utilizado durante el remuestreo (habitualmente el vecino más próximo, la interpolación bilineal o la interpolación bicúbica) (Cracknell, 1998).

Distintas argumentaciones pueden orientar al usuario a decidir cual es la opción óptima para su objetivo. Por ejemplo, el método de interpolación por el vecino más próximo parece más adecuado cuando pretendemos preservar la radiometría original de la imagen, lo cual es especialmente interesante en aplicaciones de clasificación (Karsli y Dihkan, 2010). En cambio, cuando el objetivo es la fotointerpretación, una interpolación bilineal o bicúbica nos dará un resultado visualmente más suave. Al mismo tiempo, cuando la transformación realizada implica la rotación de imágenes, es conocido que utilizar un tamaño de píxel de salida ligeramente inferior al tamaño de píxel original puede preservar mejor las formas de algunas cubiertas, por ejemplo las carreteras o caminos. A pesar de este tipo de orientaciones, existen muy pocos trabajos que enfoquen este problema de una forma empírica y cuantitativa.

El objetivo de este trabajo es detectar y cuantificar la influencia del tamaño de píxel y del método de interpolación en el proceso de georeferenciación. Este proceso requiere un análisis pormenorizado que abarque estos aspectos más el grado de rotación de las imágenes, la heterogeneidad o homogeneidad del área de estudio, la autocorrelación espacial o la irregularidad de las cubiertas, entre otros factores (Henil, 2006; Lechner, 2009). En este sentido existen diversos trabajos que han analizado la influencia del tamaño de píxel en la cartografía de las cubiertas o usos del suelo. Por ejemplo, Velpuri et al. (2009) concluyen que para la discriminación de cubiertas agrícolas los resultados con Landsat son muchos mejores que los obtenidos con MODIS. En este sentido, la hipótesis inicial es que a menor tamaño de píxel los resultados son mejores ya que la aparición de píxeles mixtos o de frontera es inferior. Sin embargo este hecho no siempre es así ya que un tamaño de píxel menor puede conllevar una sobrerrepresentación (*oversampling*), produciéndose una variación dentro de una misma cubierta (Aplin, 2006). Al mismo tiempo, un tamaño de píxel menor puede degradarse a un tamaño mayor con un método adecuado pero no al revés; en este caso puede usarse técnicas de *mixture modelling*.

Existen diversos trabajos donde se menciona el remuestreo del tamaño nominal del píxel en la fase de corrección geométrica; en el caso de Haack y Bechdol (2000) el motivo es la combinación con otros datos, concretamente con imágenes radar con un remuestreo a 25 m, o en el caso de Fuller et al. (1998) con un remuestreo de 20 m pero sin especificar el motivo. Si embargo, en ninguno de ellos se analiza las implicaciones y consecuencias de dicha modificación.

En este trabajo, se analizan las consecuencias del proceso de modificación en la exactitud temática de clasificaciones multitemporales. Desde nuestro punto de vista este es un aspecto de gran importancia ya que un elevado porcentaje de nuestro trabajo se basa en clasificaciones automáticas y en cartografía de los resultados. En concreto, nuestra hipótesis de trabajo es que en el proceso de corrección geométrica de imágenes Landsat es posible adoptar un píxel menor a 30 m ya que permite obtener mejores resultados. Los tamaños de píxel considerados en este estudio son 30 m, 25 m, 20 m y 15 m mientras que los métodos de interpolación estudiados son el vecino más próximo, la interpolación bilineal y la interpolación bicúbica. El material de estudio es una serie de tres imágenes Landsat-5 TM, libres de nubes, sobre una zona agrícola del nordeste de Cataluña.

ZONA DE ESTUDIO Y DATOS UTILIZADOS

El área de estudio comprende dos zonas agrícolas del nordeste de Cataluña que se caracterizan por una elevada diversidad de cultivos herbáceos de secano y de regadío y, en menor grado, de cultivos leñosos de regadío (figura 1). La topografía del territorio muestra una gran llanura, correspondiente al golfo de Roses, que incrementa su pendiente hacia el norte, el Cap de Creus, y al sur en el caso del Montgrí. Incluye diversas comunidades de regadío, destacando las localizadas alrededor de la desembocadura del río Ter y del río Muga.

Las imágenes de satélite usadas en este trabajo han sido las correspondientes a la serie del satélite Landsat-5, cubiertas por el mismo *path* y *row* (197 y 31), de las siguientes fechas: 26 de julio, 11 de agosto y 27 de agosto, todas del 2009. Estas imágenes fueron elegidas por la ausencia de nubes. El tamaño de píxel nominal es de 30 m * 30 m, para todas las bandas excepto en el caso de la banda térmica, con un tamaño de 120 m, banda que no ha sido utilizada en este estudio.

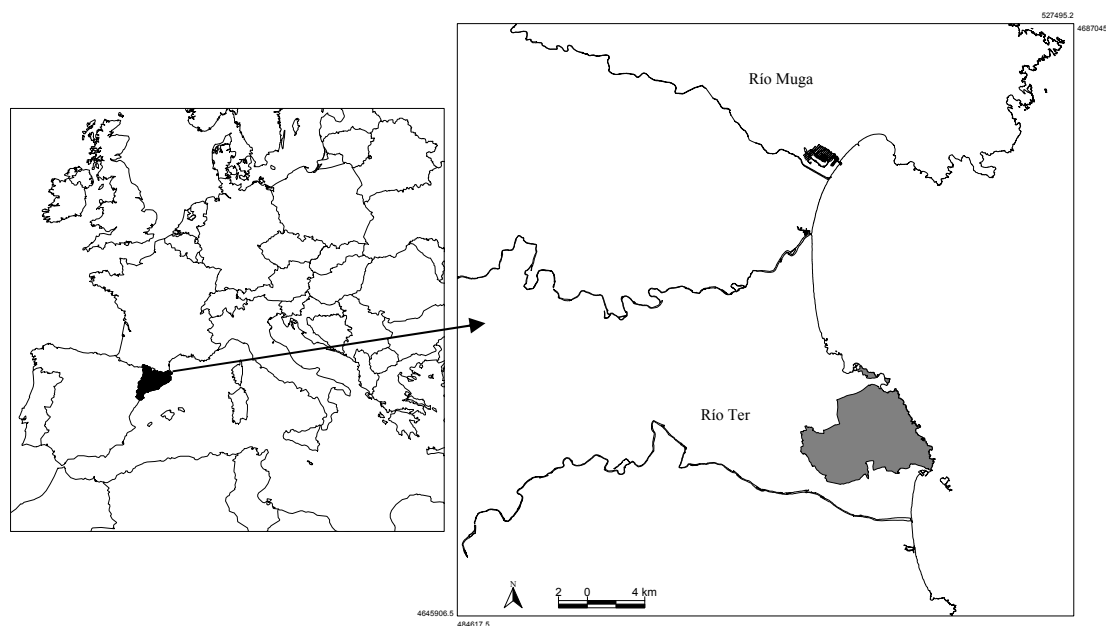


Figura 49. Área de estudio, situada en el noreste de Cataluña. Se muestra el río Muga y el río Ter así como la macrourbanización Empúriabrava, al lado de la población de Roses, y la montaña del Montgrí al sureste

METODOLOGÍA

El primer paso para el análisis de los objetivos especificados consistió en la corrección geométrica de las imágenes, ya que éstas presentan una serie de deformaciones producidas por la rotación y curvatura terrestre, por la órbita de la plataforma, por el relieve, entre otras. A través del módulo de generación de ortoimágenes espaciales (CorrGeom) del programa MiraMon (Pons, 2006), las imágenes se corrigieron basándose en polinomios de primer grado con un ajuste del relieve a través de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) de Cataluña, realizado por el Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC). La corrección también requirió la digitalización de un conjunto de puntos de control sobre el terreno (GCP, *Ground Control Points*) indicando las diversas coordenadas en el sistema de referencia de origen (no corregido) y destino (corregido). Los GCP se digitalizaron en pantalla sobre la imagen de satélite y se obtuvieron las coordenadas geográficas del sistema de referencia de destino de las ortofotos digitales 1:5 000 del ICC. Los GCP han de estar distribuidos uniformemente por toda la imagen y en ámbitos altimétricos diversos, siempre y cuando las condiciones de nubosidad de las imágenes lo permitan. En cada imagen se estableció un número suficiente de GCP con el objetivo de garantizar un ajuste estadístico no sesgado y para una mayor fiabilidad se usaron unos puntos para efectuar los ajustes de las ecuaciones de corrección (puntos de ajuste) y otros como puntos de test para la estimación del error planimétrico de cada punto. El error obtenido, el *Root Mean Square (RMS)*, fue en todos los casos inferior a un píxel. Tal como se ha detallado anteriormente, las imágenes corregidas se remuestrearon a 30, 25, 20 y 15 m con los tres métodos de interpolación citados. El vecino más próximo consiste en situar en cada píxel de la imagen corregida en valor radiométrico del píxel más cercano en la imagen original. La interpolación bilineal promedia el valor de los cuatro píxeles más cercanos en la original mientras que en el caso de la bicúbica considera los 16 píxeles más cercanos.

Una vez las imágenes fueron corregidas, se inició la fase de clasificación automática, que en el caso de este trabajo se realizó a través de un clasificador híbrido. Un requisito imprescindible en esta fase es la adopción de la leyenda, o sea, de los cultivos a discriminar. A través de los conocimientos adquiridos en el trabajo de campo y en trabajos previos (Serra et al., 2008), el mapa de cultivos del 2009 constó de los siguientes cultivos: cereales de invierno, arroz, maíz, alfalfa, girasol, frutales, chopos y viñedos.

La aplicación del clasificador híbrido se realiza a través de dos módulos del programa MiraMon: IsoMM y ClsMix, que corresponden a una combinación entre la clasificación no supervisada (el primer módulo donde el programa clasifica automáticamente las clases espectrales creando *clusters* o grupos homogéneos de píxeles) y la clasificación supervisada (el segundo módulo a través de áreas de entrenamiento). En el módulo ISOMM los *clusters* se forman por asignaciones interactivas de píxeles n-dimensionales. Estas asignaciones están basadas en la distancia mínima de un píxel respecto a todos los centroides de los *clusters* iniciales. El grupo inicial de centroides, las semillas, se obtiene en la fase anterior a la obtención de los *clusters*. El módulo presenta tres opciones para obtener las semillas iniciales: i) a lo largo de la diagonal multivariante, calculada a partir de todas las variables originales, ii) una distribución aleatoria en todo el espacio multivariante, iii) una distribución basada en una muestra espacialmente equidistante sobre la imagen (por ejemplo una semilla cada 50 píxeles, etc.). Después de cada iteración los centros de *cluster* son actualizados al centroide de todos los píxeles asignados. El método empleado en este trabajo corresponde a la primera opción.

Una de las características más interesantes de IsoMM es que admite cientos de imágenes. La principal utilidad de esta propiedad es que permite el uso de series satelitarias de elevada resolución temporal y de variables climáticas y topográficas. Asimismo, el módulo permite obtener un elevado número de categorías estadísticas que pueden ser eliminadas o modificadas por el algoritmo según diferentes parámetros configurados por el usuario: la distancia mínima entre dos *clusters* válidos y el mínimo número de píxeles por *cluster* para considerar un *cluster* válido. En el primer caso, los *clusters* se fusionan cuando la distancia es menor que un mínimo valor definido por el usuario, mientras que en el segundo caso un *cluster* es eliminado si su área total es menor a un umbral establecido por el usuario. Finalmente, el módulo requiere la introducción del número de *clusters* deseado, el máximo número de iteraciones antes de terminar y un valor umbral de estabilidad de los resultados para finalizar el algoritmo. En este estudio todas las bandas de las tres fechas fueron introducidas, a excepción de la térmica por su menor resolución espacial.

En relación a las áreas de entrenamiento, éstas fueron obtenidas a través de trabajo de campo con la ayuda de ortofotomapas 1:5 000 y un GPS. Una vez digitalizadas éstas y las áreas de test fueron rasterizadas a los correspondientes tamaños de píxel objeto de estudio (30, 25, 20 y 15 m). En el caso de 15 m las áreas de entrenamiento equivalieron a 17906 píxeles, 10121 en el de 20 m, 6471 píxeles en el de 25 m y 4506 píxeles en el de 30 m, mientras que las áreas de test a 7770, 4330, 2848 y 1962 píxeles, respectivamente.

En la segunda fase del proceso de clasificación, ClsMix asigna cada clase espectral (obtenida con IsoMM) a una temática a través de dos parámetros: fidelidad y representatividad. Por una parte, la fidelidad es la proporción umbral a partir de la cual se acepta una clase espectral como parte de una clase temática, o sea, la proporción de la clase espectral que coincide con la clase temática. Por ejemplo, 0,8 equivaldrá a que el 80% o más de la clase espectral se encuentra dentro de la temática (según las áreas de entrenamiento) y, en consecuencia se asignará a ella. Por otra parte, se aplica simultáneamente la proporción umbral a partir de la cual se acepta una clase espectral como parte de una temática, o sea, la proporción de la categoría que está formada por una determinada clase espectral. Por ejemplo, 0,02 equivaldrá a que el 2% o más de una categoría está formada por una determinada clase espectral, asignándose ésta a la clase temática correspondiente. En consecuencia, cuando un píxel es clasificado el módulo elige la categoría que tiene la asignación más razonable: i) la correspondencia espacial entre la clase espectral y la área de entrenamiento de esa categoría (por tanto, la clase espectral está dentro del área de entrenamiento), ii) la clase espectral está principalmente incluida en la categoría (o sea, una importante proporción de la clase espectral corresponde a la categoría temática), y iii) la clase espectral no es una parte insignificante de la categoría. Contrariamente, un píxel no se clasificará si no existe una clase espectral clara o debido a que el píxel pertenece a una clase que está pobremente representada.

En este trabajo se han contrastado un valor de fidelidad de 0,31 (o sea, un 31% o más de la clase espectral debe estar dentro de las áreas de entrenamiento de una determinada clase temática) con una representatividad de 0,0001 (como mínimo la clase espectral tiene que representar un 0,01% de la categoría temática). Tal como se ha detallado anteriormente, una fidelidad más restrictiva comportaría la existencia de más píxeles sin clasificar pero tal vez un menor porcentaje de error en los píxeles clasificados, aspecto que se contrastará en trabajos futuros. Finalmente, el método usado para la obtención de la exactitud temática de las diferentes clasificaciones fue el cálculo de las matrices de confusión, que permiten obtener el porcentaje de aciertos global así como la exactitud particular de

cada categoría (cultivo en nuestro caso) a través de la exactitud del productor y del usuario, que detallan los errores de omisión y de comisión, respectivamente. Anteriores trabajos permitieron constatar que el clasificador híbrido aplicando una fidelidad de 0,31 produce más errores de omisión que de comisión (Serra et al., 2006).

RESULTADOS

El número de clusters obtenidos para cada tamaño de píxel en el caso de la interpolación por el vecino más próximo fue de 94 en el caso de 30 m, 95 en el caso de 25 m, 109 en el caso de 20 m y 115 clusters en el caso de 15 m. Como se observa, lógicamente, tamaños de píxel inferiores produjeron un mayor número de grupos espectrales. En este sentido debe subrayarse la poca diferencia entre el tamaño de píxel de 30 a 25 m, un cluster. En el caso de la interpolación bilineal el número de clusters fue de 96, 99, 107 y 118, respectivamente, mientras que en el caso de la bicúbica fue de 92, 100, 110 y 120, respectivamente. En estos dos últimos casos las diferencias entre tamaños de píxeles aumentan.

La tabla 1 muestra un ejemplo de matriz de confusión obtenida de la aplicación del clasificador híbrido en el caso de un tamaño de píxel de 15 m y aplicando una interpolación por el vecino más próximo. Como se observa, la matriz indica las exactitudes de todas las categorías, siendo la global, en este caso, del 76,5%. El número total de píxeles analizados fue de 7770. Los mejores resultados se produjeron con el arroz, el maíz y los cereales de invierno tanto en relación a la exactitud del productor (87.9, 79.2 y 87.4%, respectivamente) como a la del usuario (48.7, 81.2 y 95.3%, respectivamente) mientras que el peor se produjo en el girasol. Cabe destacar que las parcelas de estos cultivos herbáceos se caracterizan, en el área de estudio, por una ocupación bastante extensa y homogénea, mientras que el girasol se caracteriza por su elevada fragmentación. Este mismo último hecho ocurre con la alfalfa, chopos y viñedos. Este mismo análisis, el examen por categorías, aplicado a todos los casos de estudio, indican que, en general, el remuestreo a 25 m es el que peor resultados presenta especialmente en los casos de los cereales de invierno y de la alfalfa.

Para una comparación más eficaz con el resto de tamaños de píxel y de métodos de interpolación, se adjunta la figura 2 con todos resultados. Como se observa, el mejor resultado obtenido en el caso del vecino más próximo (VP) fue en un píxel de 20 m, con el 78% de exactitud temática, mientras que en el caso de un píxel de 15 m fue del 76,5%, que corresponde a la matriz presentada anteriormente. Los peores resultados corresponden al píxel de 30 m y al de 25 m, con una exactitud del 74,8 y del 73,5%, respectivamente. De estos resultados se desprende que el tamaño de píxel de 20 m parece ser el más adecuado.

En el caso de la interpolación bilineal, los mejores resultados correspondieron al píxel de 15 m y al de 20 m, con una exactitud del 79,3% y del 78,2%, respectivamente. Un poco por detrás aparece el píxel de 30 m, con un acierto del 77,8% y, ya más alejado, el de 25 m, con un acierto del 73,7%. Los resultados en este método de interpolación no son tan claros como en el caso anterior, excepto que el píxel de 25 m es claramente el peor.

Finalmente, en el caso de la interpolación bicúbica los resultados muestran que el tamaño de píxel de 20 m es claramente el mejor resultado, con un acierto del 80% mientras que con un tamaño de 15 m el acierto fue del 77,6%. Los peores resultados aparecieron en el caso del píxel de 30 m, con un acierto del 76%, y del de 25 m, con un acierto del 74,6%.

Tabla 1. Matriz de confusiones, en píxeles, en el caso de un tamaño de píxel de 15 m y una interpolación bicúbica.

	Arroz	Maíz	Cereales de invierno	Girasol	Alfalfa	Frutales	Chopos	Viñedos	Total	Error por comisión	Exactitud del usuario
Arroz	232	185	0	0	0	0	5	54	476	51.3	48.7
Maíz	23	1957	10	1	129	105	183	3	2411	18.8	81.2
Cereales de invierno	0	1	2729	25	86	6	0	18	2865	4.7	95.3
Girasol	1	8	45	4	117	0	0	0	175	97.7	2.3

Alfalfa	0	32	224	26	410	13	0	0	705	41.8	58.2
Frutales	4	149	61	13	51	452	28	0	758	40.4	59.6
Chopos	4	139	0	0	23	0	126	0	292	56.8	43.2
Viñedos	0	0	52	0	0	1	0	35	88	60.2	39.8
Total	264	2471	3121	69	816	577	342	110	7770		
Error por omisión	12.1	20.8	12.6	94.2	49.8	21.7	63.2	68.2			
Exactitud del productor	87.9	79.2	87.4	5.8	50.2	78.3	36.8	31.8			

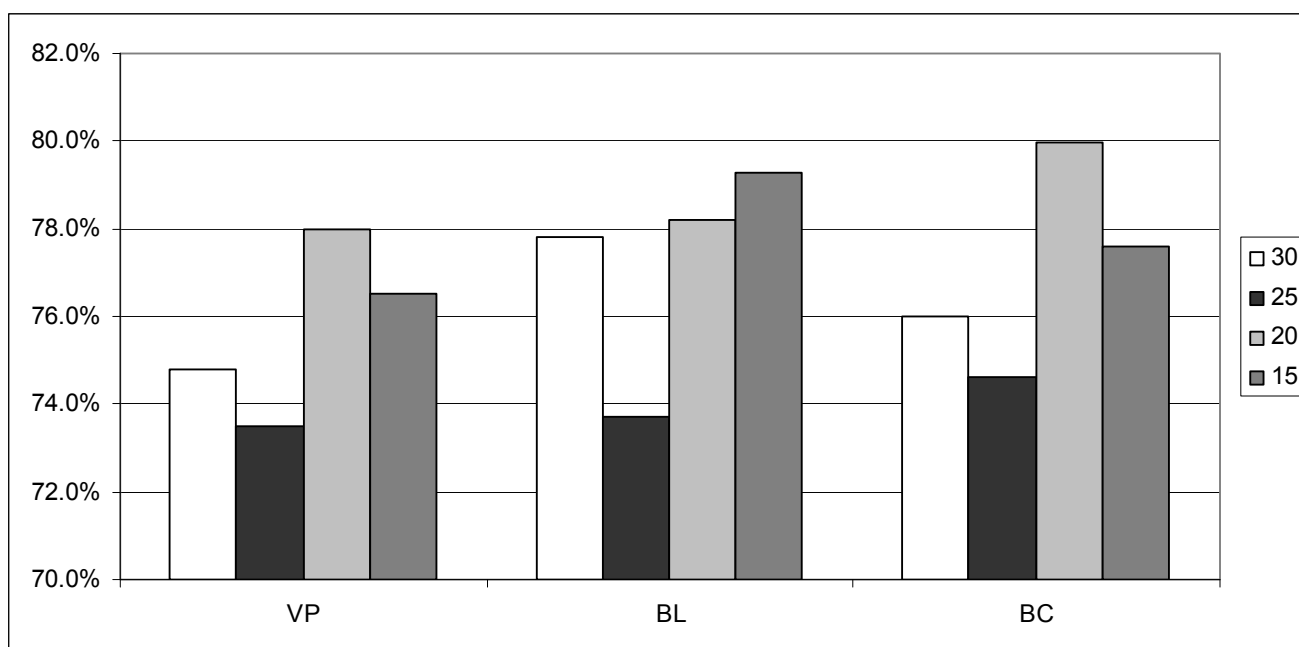


Figura 2. Resultados obtenidos a través de matrices de confusión con tamaños de píxel de 30, 25, 20 y 15 m e interpolaciones por el vecino más próximo (VP), bilineal (BL) y bicúbica (BC).

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha abordado un primer análisis de las consecuencias de modificar el tamaño nominal del píxel de imágenes Landsat. Nuestra hipótesis de trabajo ha sido que su tamaño de píxel puede mejorarse con el objetivo de obtener superiores resultados en la obtención de cartografía temática. Para ello se ha modificado en el proceso de corrección geométrica su tamaño a 25, 20 y 15 m, aplicando tres métodos de interpolación espacial (vecino más próximo, bilineal y bicúbica). Los resultados muestran, en contradicción con nuestra hipótesis inicial, que la interpolación por el vecino más próximo presenta las peores exactitudes temáticas en todos los tamaños de píxel. En el caso de no modificar el tamaño nominal del píxel, los mejores resultados se obtienen con la interpolación bilineal, mientras que en el resto los mejores resultados se obtienen con una interpolación bicúbica. Así mismo, cabe destacar que los peores resultados en todos los casos se obtienen con un tamaño de píxel de 25 m, posiblemente debido a que no es un tamaño múltiple del original y produce una modificación excesiva de sus valores. Esto no sucede con el tamaño de 15 m, ya que es equivalente a modificar por un factor dos (un píxel de 30 m es equivalente a

cuatro píxeles de 15 m) ni en el caso de 20 m, ya que tres píxeles de 20 m equivale a dos píxeles de 30 m. Otro aspecto a considerar es el paso de malla, ya que a 25 m este difiere 5 m respecto al original tanto en x como en y (Serra et al., 2003). Finalmente, cabe destacar, también, que el menor tamaño de píxel, el de 15 m, no es sistemáticamente el que aporta los mejores resultados, tal como se había comentado en el apartado de introducción.

Como conclusión final de este trabajo preliminar, respecto a la modificación del tamaño nominal de píxel de imágenes Landsat, los resultados, en relación a la obtención de cartografía temática con mayor exactitud, sugieren que la mejor opción corresponde al remuestreo a un tamaño de 20 m y, en menor grado, aplicar una interpolación bicúbica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aplin, P. (2006). On scales and dynamics in observing the environment. *International Journal of Remote Sensing*, 27: 2123-2140.
- Cracknell, A.P. (1998). Synergy in remote sensing –what’s in a píxel. *International Journal of Remote Sensing*, 19: 2025-2047.
- Fuller, R.M., Groom, G.B., Mugisha, S., Ipulet, P., Pomeroy, D., Katende, A., Bailey, R. y Ogotu-Ohwayo, R. (1998). *Biological Conservation*, 86: 379-391.
- Haack, B. y Bechdol, M. (2000). Integrating multisensor data and radar texture measures for land cover mapping. *Computers and Geosciences*, 26: 411-421.
- Henil, T. (2006). Finding the right píxel size. *Computers and Geosciences*, 32: 1283-1298.
- Karsli, F. y Dihkan, M. (2010). Determination of geometric deformations in image registration using geometric and radiométric measurements. *Scientific Research and Essays*, 5: 260-274.
- Lechner, A.M., Stein, A., Jones, S.D. y Ferwerda, J.G. (2009). Remote sensing of small and linear features: quantifying the effects of match size and length, grid position and detectability on land cover mapping. *Remote Sensing of Environment*, 113, 2194-2204.
- Pons, X. (2006). MiraMon. Sistema de Información Geográfica y Teledetección. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales, CREA. Bellaterra. <http://www.crea.uab.es/miramon>.
- Serra, P.; Moré, G.; Pons, X., 2006, Weighting fidelity versus classified area in remote sensing classifications from a pixel and a polygon perspective. In: Caetano, M; Painho, M. (Ed). *Proceedings of Accuracy 2006*. Lisboa, Instituto Geográfico Portugues, 406-416.
- Serra, P., Pons, X. y Saurí, D. (2003). Post-classification change detection with data from different sensors. Some accuracy considerations. *International Journal of Remote Sensing*, 24, 3311-3340.
- Serra, P. y Pons, X. (2008). Monitoring farmers’ decisions on Mediterranean irrigated crops using satellite image time series. *International Journal of Remote Sensing*, 28, 189-209.
- Velpuri, N.M., Thenkabail, P.S., Gumma, M.K., Biradar, C., Dheeravath, V., Noojipady, P. y Yuanjie, L. (2009). Influence of resolution in irrigated area mapping and area estimation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 75, 1383-1395.