

PRÁCTICA 2. TRATAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES REMOTAS

Material creado para EDUCATEL, web de apoyo a la docencia de la Teledetección
<http://www.educatelweb.com/>

RESUMEN

- Recorte de la zona de estudio.
- Manipulación de los niveles digitales originales de las imágenes haciendo transformaciones globales y locales a la imagen.
- Álgebra de bandas e índices de vegetación.
- Clasificación supervisada y no supervisada.
- Aplicación de filtros.
- Exportación de resultados a otros formatos.

DATOS NECESARIOS:

- ⇒ Imagen multiespectral **Sentinel-2**:
"Sentinel-2_5_agosto_2016_10m_Bandas2-3-4-8-11-12.pix"

SOFTWARE: Focus y PCI Geomatica 2017

PLANTEAMIENTO DE LA PRÁCTICA

Tras la visualización y análisis de las imágenes de satélite se pasa a un nivel de mayor complejidad que consiste en el tratamiento digital de las mismas, que implica la manipulación y transformación de los ficheros originales. En primer lugar se recorta la imagen a la zona de estudio, conservando las bandas originales. En segundo lugar se modifican los niveles digitales originales para convertirlos a valores físicos de reflectividad, y se aplican índices de vegetación mediante operaciones algebraicas entre bandas. En tercer lugar se aplican métodos de agrupamiento y segmentación de los píxeles (clasificaciones) y operadores de contexto (filtros). Finalmente, se aprende a exportar los resultados a archivos imagen de formato estándar, con el fin de obtener productos derivados de interés en agricultura.

1. Recorte (*clip*) de la zona de estudio

La imagen que se va a manipular es una Sentinel-2, de la Agencia Espacial Europea, de una zona que comprende el NO de Salamanca, la zona limítrofe de Portugal y el SO de Zamora. Tiene 6 bandas: 3 visibles, 1 infrarrojo cercano (NIR) y 2 infrarrojo de onda corta (SWIR). El ancho de banda en nanómetros (nm) está indicado en cada banda del fichero. La resolución espacial es de 10 m y tiene coordenadas proyectadas, que se visualizan como UTM (x,y) o geográficas (long,lat). Se propone recortar esta imagen a una zona más pequeña de trabajo, conservando las bandas y resolución originales.

Para recortar se utiliza la herramienta de recorte o clip del menú *tools/clipping-subsetting* (Figura 1), que permite diferentes opciones de recorte. En este caso se utilizará el recorte por coordenadas (del tipo “Geocoded”, es decir, en UTM):

Upper left: 258890; 4553160
Lower right: 309840; 4508580

Utilizar el 0 como “No Data value” para evitar datos nulos.

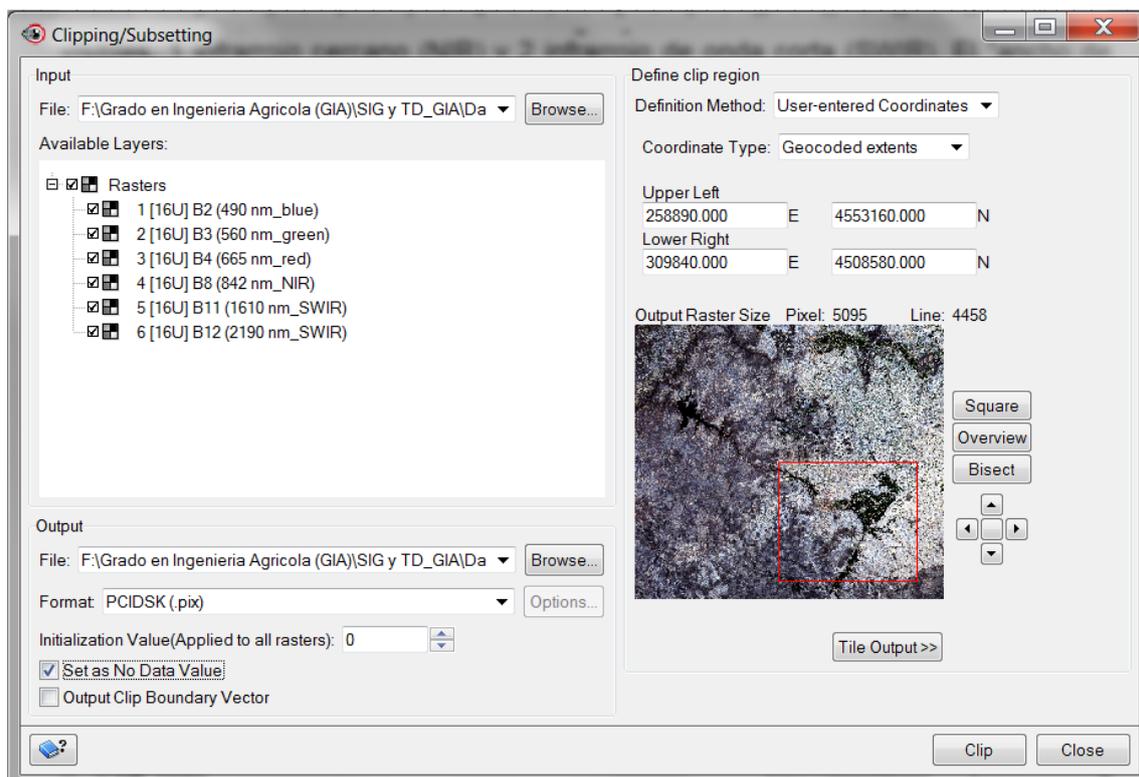


Figura 1. Herramienta de recorte de Focus, con las diferentes opciones de recorte (en este caso se usa el fichero previamente recortado de Sentinel-2).

2. Calculadora raster: conversión a reflectividades

La imagen Sentinel-2 tiene una resolución radiométrica de 16 bits, lo que implica que los niveles de energía están codificados a niveles digitales comprendidos entre 1 y 65535¹. Para obtener las reflectividades entre 0-1 habría que dividir los niveles digitales originales entre **10000**. Para hacer esa conversión, o cualquier otra de tipo numérico, se utiliza la calculadora raster, que permite aplicar fórmulas o expresiones matemáticas o lógicas a las bandas, tomadas una a una o entre ellas.

Abrir una nueva sesión de Focus con la imagen Sentinel-2 únicamente y abrir la calculadora raster “*raster calculator*” desde el menú *tools* (Figura 2). La operación consiste en seleccionar cada banda y dividirla/10000; nótese que de dicha operación se obtendrán valores decimales, así que es necesaria la opción de “*32 bit real channel*”. Se debe generar un nuevo fichero, con el mismo nombre pero con ‘ref’ al final. Se hace la operación para cada banda, cambiando el número en la fórmula, se le da el nombre de la misma (ATENCIÓN: pulsar la tecla ENTER cada vez que se le da nombre a la nueva banda: blue, green, red etc.) y se van guardando en dicho fichero (Figura 3) ejecutando

la función con “run” .

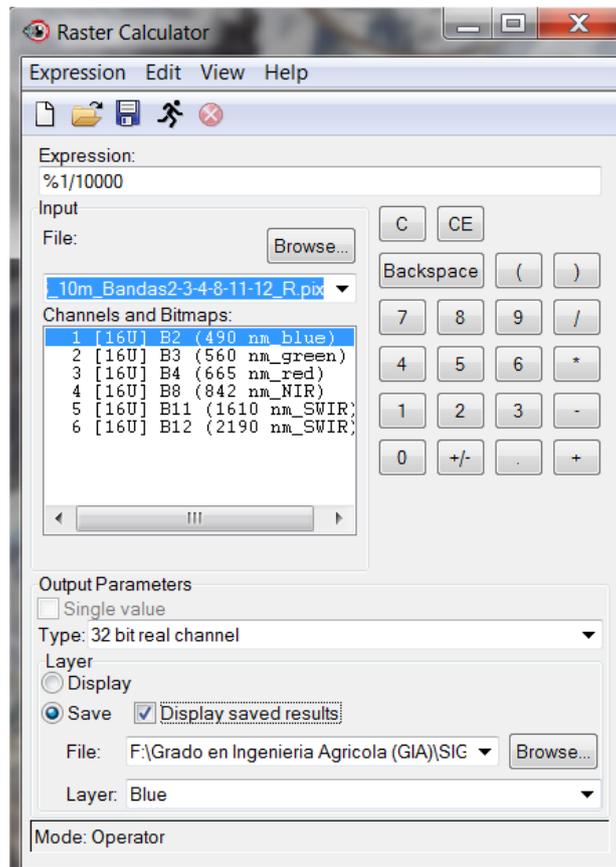


Figura 2. Herramienta “*raster calculator*”.

¹ Ese valor resulta de $2^{16}=65536$. El valor 0 se considera como ‘no data’, por tanto hay valores entre 1 y 65535.

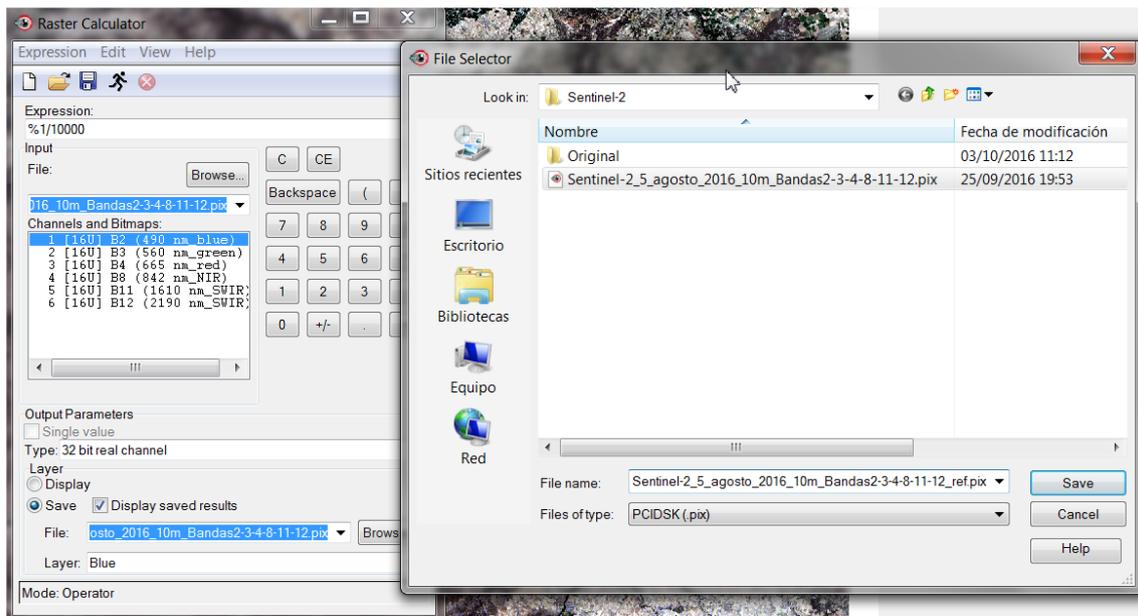


Figura 3. Conversión a reflectividades mediante la calculadora raster y creación de un nuevo fichero con las nuevas bandas.

Por defecto el fichero se abre en la pestaña *files*. Observar el resultado de las bandas y comprobar los nuevos valores respecto del fichero original. Observar y analizar también los histogramas. Obsérvese también que el fichero resultante tiene mayor tamaño que el original debido a que las bandas de 32 bits ocupan mucha más memoria.

3. Álgebra de bandas: índices de vegetación

Los índices de vegetación tratan de extraer y caracterizar las zonas de vegetación en la imagen, usando en la mayoría de los casos la banda infrarroja (donde la vegetación refleja más energía) y la roja (donde la vegetación absorbe la energía para la fotosíntesis). Esta relación inversa puede verificarse previamente usando la herramienta diagrama espectral.

Los diferentes índices de vegetación son del máximo interés en agricultura, ya que pueden describir el estado fenológico del cultivo, sus características y estado, y su evolución a lo largo del tiempo. Son uno de los mayores campos de aplicación de la teledetección.

El índice de vegetación más común tiene forma de un cociente (Ec. 1) o un cociente normalizado (Ec. 2) entre la banda infrarroja y roja. Un valor alto de índice indica máximo en el infrarrojo y mínimo en el rojo, detectando los píxeles donde hay actividad vegetativa:

$$IV = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_R} \quad \text{Ec. 1}$$

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R} \quad \text{Ec. 2}$$

en las que ρ es la reflectividad de las bandas roja e infrarroja. El índice de vegetación calculado como un simple ratio entre bandas (IV) toma un valor mayor que 0 que va aumentando conforme aumenta el vigor de la vegetación, sin un rango específico, ya que depende de los valores de reflectividad. Sin embargo, el *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) toma un valor normalizado, aunque la interpretación de ambos es similar. Al ser normalizado, el NDVI tiene un valor que varía entre -1 y 1, y que es comparable para cualquier fecha o sensor, por lo que es mucho más recomendable que el cociente simple. De manera simplificada, valores altos representan vegetación activa y sana (entre 0.3 y 0.8). Valores cercanos a 0 representan zonas de suelo desnudo. Valores negativos indican superficies de agua o suelo muy húmedo.

Para calcular el NDVI se usa nuevamente la herramienta *tools/raster calculator* y se introduce la fórmula de la Ec. 2, poniendo atención en qué número de banda están almacenados las reflectividades del rojo y el NIR, y usando paréntesis. El tipo de salida debe ser también de 32 bits, para almacenar los decimales. Almacenar el resultado como una banda nueva del propio fichero que se llame NDVI, pulsar *intro* y ejecutar con el botón “*run*”, al igual que en el apartado anterior.

El resultado (Figura 4) se visualiza como una banda de grises, en la que los valores altos (blanco) corresponden a zonas con vegetación vigorosa y los bajos (negro) a ausencia de vegetación o poco vigor vegetal. Además de la inspección visual se debe analizar y estudiar su histograma, valores mínimos y máximos, cultivos y valores que le corresponden, zonas de agua, urbanas, etc.

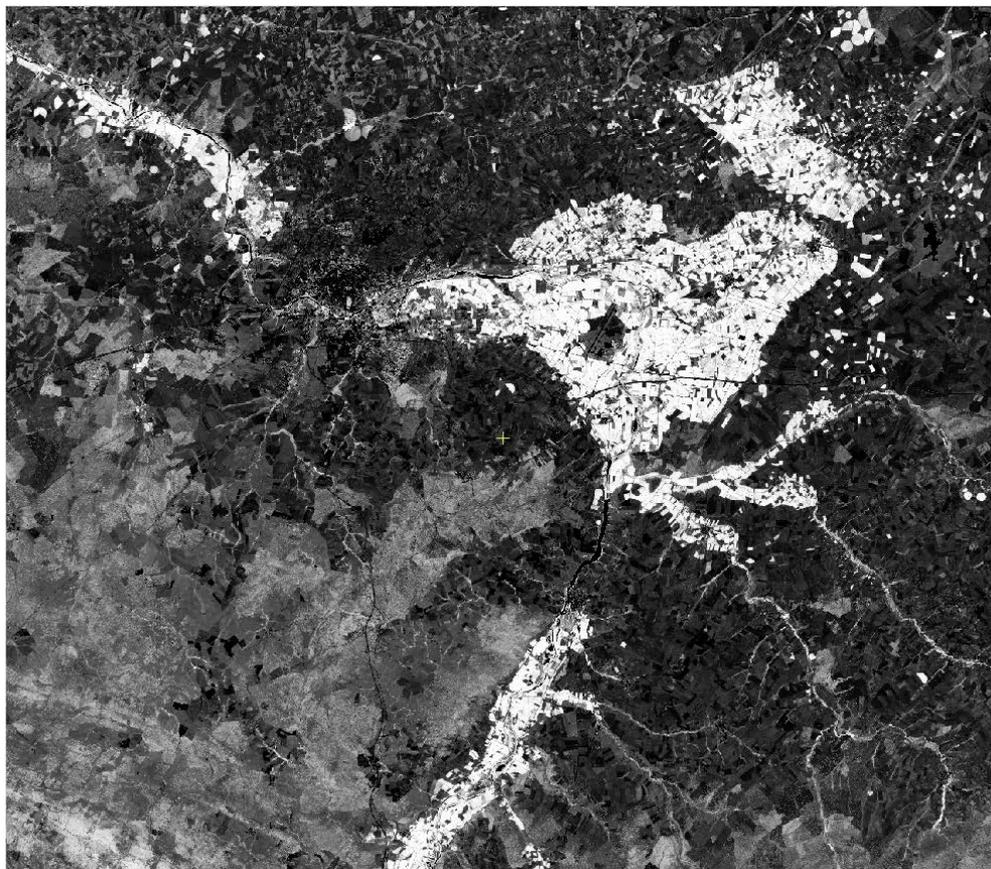


Figura 4. Resultado del NDVI para la imagen Sentinel-2 de agosto previamente recortada a la zona cercana de Salamanca.

Se propone:

- Calcular los NDVI del resto de imágenes propuestas en prácticas y comentar los resultados imagen a imagen y en comparación con las distintas imágenes y fechas. Analizar teniendo en cuenta la exploración visual previa que se hizo de cada una, viendo los resultados de cada uso de suelo detectado.
- Probar con otras formulaciones en la calculadora raster. Por ejemplo, probar con el *Enhanced Vegetation Index* (EVI), cuya formulación es (Ec. 3):

$$EVI = 2,5 \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + 6\rho_R - 7,5\rho_{Blue} + 1} \quad \text{Ec. 3}$$

NOTA: Para tipos de vegetación con una alta densidad de cobertura verde, mucha biomasa, área foliar o mucho vigor, el NDVI presenta problemas de saturación, es decir, no puede tomar mayores de 1 aunque teóricamente le correspondería un valor mayor. Este efecto no suele ocurrir con los cultivos y especies en la zona, como los cultivos herbáceos, dehesas, bosques de frondosas o pináceas, viñedos, etc. No obstante, el EVI supone una alternativa al NDVI que apenas presenta saturación.

3. Agrupamiento de píxeles: clasificaciones

La clasificación implica la agrupación de los píxeles de la imagen en un número reducido de categorías en función de su respuesta espectral. Las categorías pueden ser determinadas de forma automática por el programa, o pueden asignarse con un “entrenamiento” previo en el que le designamos algunas zonas en las que se conoce (bien por un análisis visual o bien mediante datos de campo) la clase a la que pertenecen.

En Focus se accede a los métodos de clasificación en *Analysis/Image classification*. Existe un procedimiento supervisado y otro no supervisado.

3.1. Clasificación NO supervisada (*unsupervised*)

En este método se decide únicamente los *inputs* que se van a clasificar (bandas) y el algoritmo que se va a aplicar. Se necesita también añadir una banda o canal para almacenar los resultados de la clasificación, en este caso de 8 bits ya que las clases son números enteros. El programa, de forma automática, agrupa los píxeles basándose en el algoritmo escogido y las diferentes reflectividades de los píxeles.

La configuración de *inputs* y *outputs* (Figura 5) se realiza accediendo desde el menú, indicando el fichero, y a continuación en el menú *sessions/new session* para configurar los parámetros del procedimiento. En la primera *session* el panel superior está vacío ya que es la primera vez que se clasifica. Posteriormente se puede acceder a las anteriores clasificaciones desde aquí y cambiar la configuración. Se debe añadir una banda vacía (“*add layer*”) para almacenar el resultado de la clasificación. En “*input channels*” indicar las bandas que se van a clasificar, y en “*output channel*”, la que se acaba de crear para almacenar los resultados. “*Red, green, blue*”, representan los colores con los que se ven las bandas seleccionadas antes de la clasificación; si se quiere ver en color verdadero hay que cambiar el orden de las bandas.

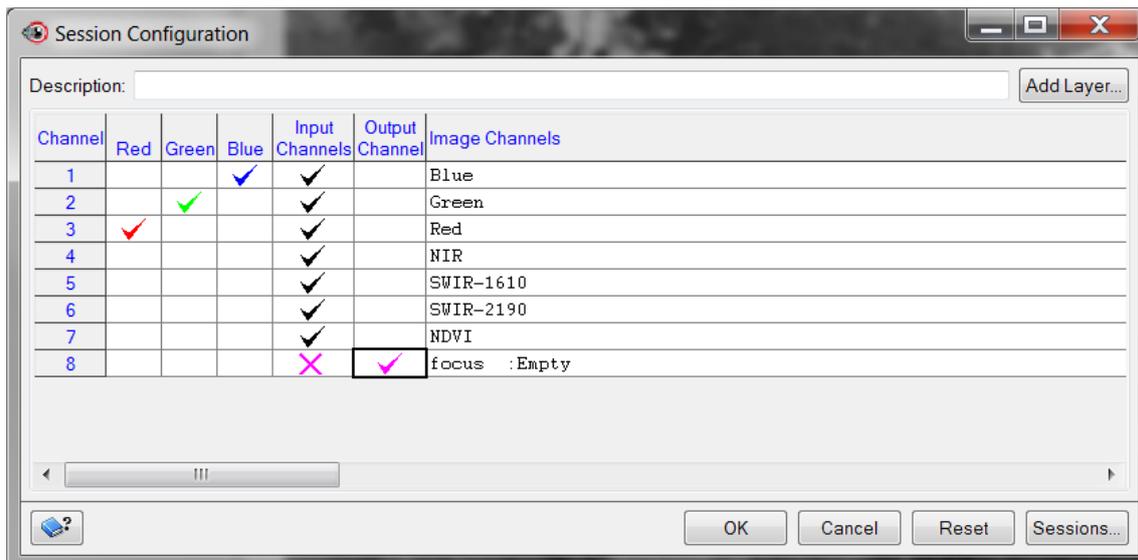


Figura 5. Configuración de clasificación no supervisada.

A continuación se pasa de forma automática a la ventana de selección del algoritmo. Obsérvese que en la pestaña “maps” se ha abierto un *layer* nuevo, “*classification metalayer*” del que dependen una visualización RGB (la indicada en la configuración) y una capa “*output*”, por el momento vacía (Figura 6). Recibe el nombre de “*metalayer*” ya que cuando se acabe el proceso desaparecerá.

Focus propone tres algoritmos de clasificación no supervisada, *K-Means*, *Fuzzy K-means* e *Isodata*. Cada algoritmo requiere parámetros diferentes y dará resultados diferentes.

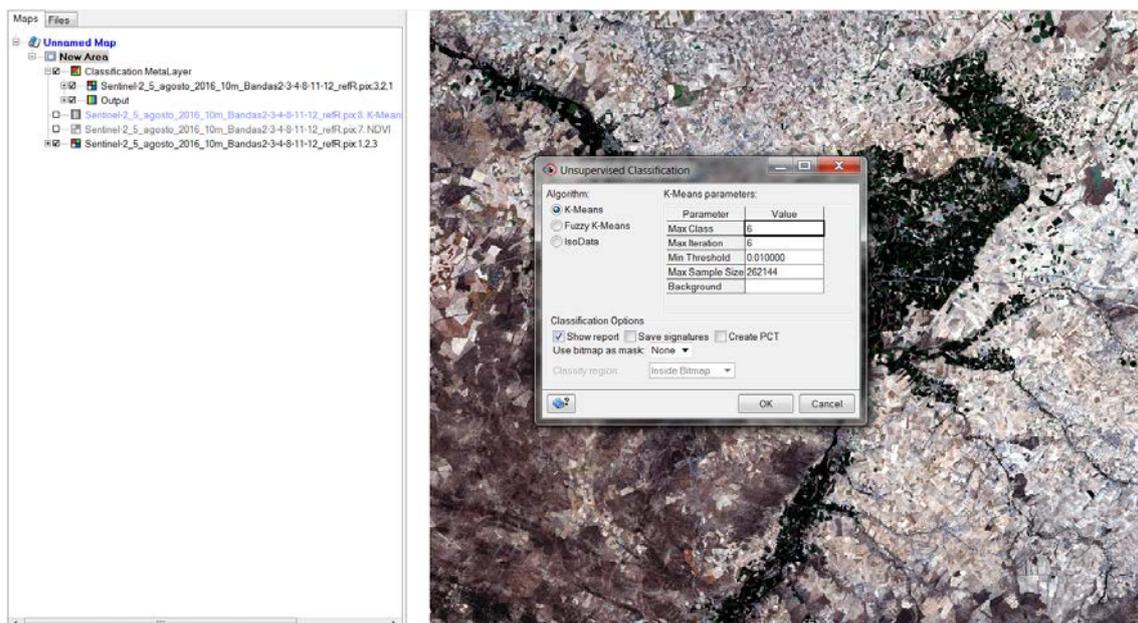


Figura 6. Configuración de clasificación no supervisada y *metalayer* del proceso en la pestaña “maps”.

Entre otras opciones disponibles, se puede crear una tabla de color con los colores asignados a cada clase, *Pseudocolor Table*, (“*create PCT*”), un informe (“*show report*”), o salvar las estadísticas de la firma espectral de cada clase (“*save signatures*”). La opción “*show report*” proporciona un informe estadístico que indica el número de píxeles que se ha asignado a cada clase y la media y la desviación estándar de la reflectividad de cada clase en las bandas input.

NOTA: Cuando se aplica un algoritmo, se almacena el resultado en la banda o layer nuevo que toma el nombre del algoritmo. Esta capa se puede visualizar con la opción de Pseudocolor (Figura 7). También se puede eliminar con el menú de contexto.

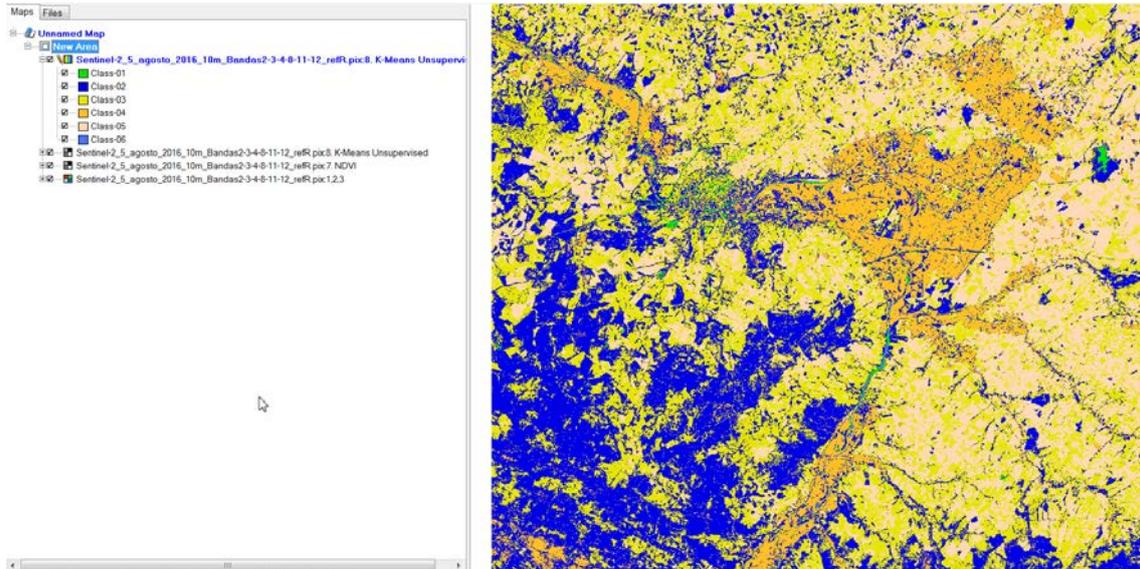


Figura 7. Visualización del mapa de clases resultante de la clasificación no supervisada con la opción de pseudocolor. Se despliega también la leyenda de colores en la pestaña de mapas.

Se propone aplicar los tres algoritmos y evaluar los resultados. Debido a las características de la zona, se recomienda bajar el número de clases requeridas (por ejemplo a seis). También se puede considerar introducir el NDVI como input o excluirlo y comparar los resultados. Analizar el resultado de la clasificación: ¿la asignación automática de clases responde a la realidad de los usos de suelo que se ha inspeccionado visualmente?, ¿existe confusión entre las zonas que ha diferenciado el programa como clases diferentes y la interpretación visual?, ¿sería conveniente aumentar o disminuir el número de clases?

3.2. Clasificación supervisada

Este método implica un mayor grado de decisión sobre el proceso. Se llama supervisado porque el usuario tiene que decidir sobre la leyenda de clases, además del resto de opciones (inputs y algoritmo), y sobre todo porque tiene que “entrenar” al programa para que distinga correctamente las clases buscadas. El proceso general de clasificación supervisado tiene las siguientes fases:

1. Establecer la leyenda deseada.
2. Determinar y configurar los inputs y outputs de la clasificación.
3. Configurar e introducir las áreas de entrenamiento.
4. Configurar y aplicar el algoritmo de clasificación.

5. Analizar estadísticamente los resultados del proceso de clasificación.
6. Analizar los resultados del mapa clasificado.

El proceso difiere del anterior en que, en lugar de ser un procedimiento automático de asignación de los píxeles a las clases, es el usuario el que indica las clases buscadas y algunas zonas concretas en las que se tiene certeza de que existen esas clases (“*training areas*” o áreas de entrenamiento). Por ello en primer lugar hay que crear dos canales nuevos, uno para almacenar los resultados del mapa y otro para las *training areas*. También se indican los inputs y outputs como en el caso de la no supervisada (Figura 8).

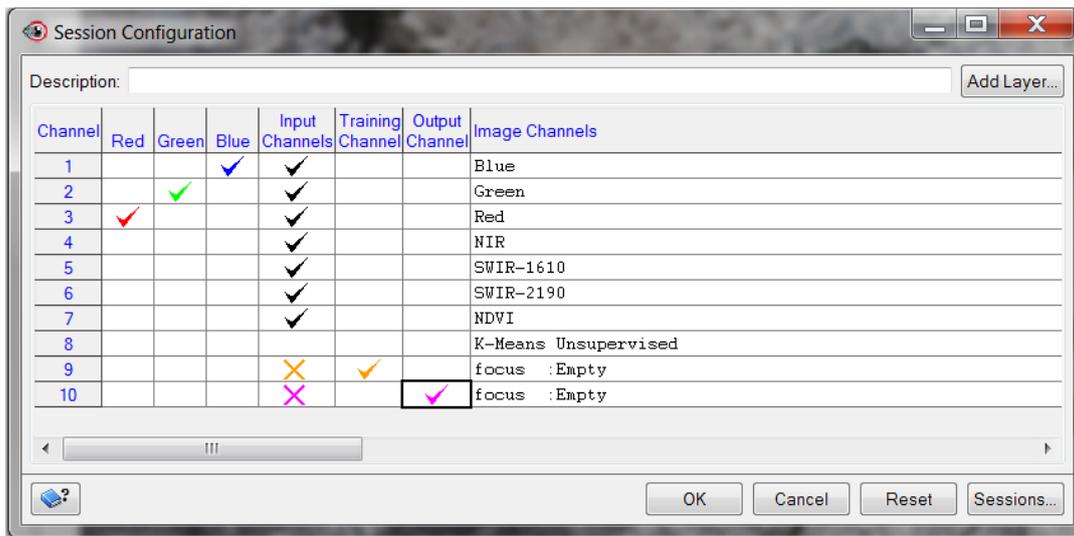


Figura 8. Configuración de clasificación supervisada.

Desde la ventana de edición de clases que aparece a continuación (“*Training site editor*”, Figura 9) se van creando nuevas categorías de ocupación de suelo asignándole un color y nombre a cada una. Obsérvese que nuevamente se crea un *metalayer* de la clasificación, pero en este caso con una capa para las áreas de entrenamiento, que debe estar activada (en azul).

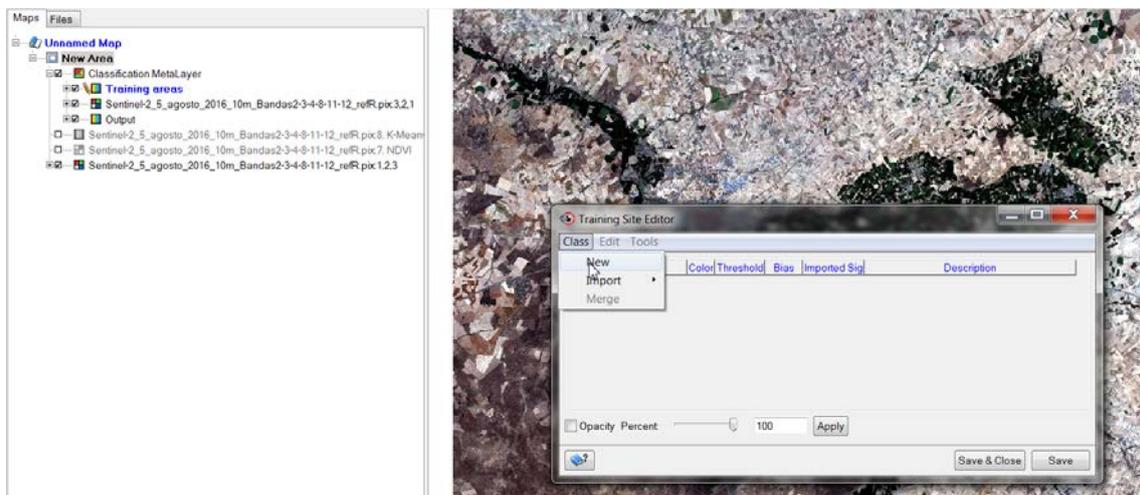


Figura 9. Configuración de las clases de entrenamiento.

Por ejemplo, para una clasificación de usos de suelo generales, las clases en esta zona podrían ser:

- Agua
- Urbano
- Secano
- Regadío
- Dehesa
- Se podría añadir también barbecho, vegetación de ribera u otras clases según la zona.

Esta ventana del editor de las áreas de entrenamiento debe estar abierta mientras se introducen las áreas, con una clase activa sobre la que se trabaja (recuadrada con una línea roja). A continuación se empiezan a introducir las áreas de entrenamiento. Se pueden utilizar alguna de las herramientas de trazado (por ejemplo, elipses) para dibujar las zonas (Figura 10). En todo momento se pueden borrar las clases y las áreas de cada una con el menú *Edit* del *Training sites editing*. También se puede utilizar la “goma de borrar” de los botones generales de Focus para borrar un área concreta introducida erróneamente.

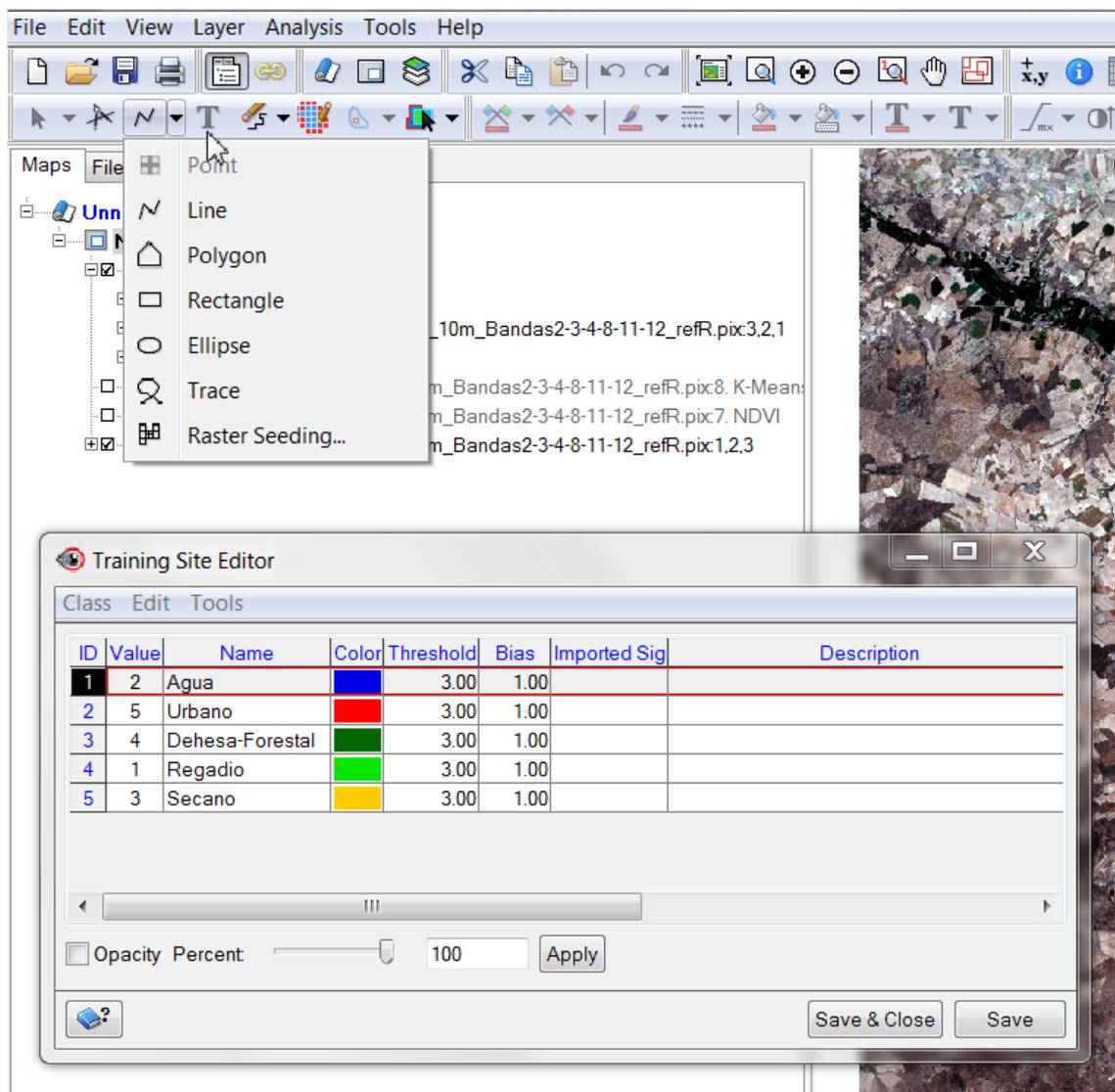


Figura 10. Introducción de las áreas de entrenamiento.

Las áreas de entrenamiento deben recoger las clases en diferentes zonas de la imagen para que se representen distintas tipologías dentro de la misma clase. Por ejemplo, la clase de dehesa-forestal puede contener zonas con más o menos densidad de árboles, suelo con pasto o cultivado, etc., y se deben incluir zonas de todas ellas dentro de la clase para que sea representativa. También es importante que las áreas no sean muy grandes, para no mezclar tipos, ni muy pequeñas, para que no sean demasiado específicas para unos pocos píxeles.

En cualquier momento se puede visualizar una pre-clasificación desde el *metayer* de la clasificación, con el botón derecho, *utilities/classification preview*. Este menú de contexto incluye además varias opciones: cambiar la configuración del proceso, volver a la ventana de edición de las áreas, cambiar las clases, ejecutar la clasificación o comprobar los resultados.

Al terminar las áreas, se salvan las clases y se cierra la ventana del editor. Antes de ejecutar la clasificación se debe estudiar la separabilidad de las clases (menú de contexto en el *metayer*, *utilities/signature separability*). La separabilidad expresa el grado de confusión o de mezcla de cada clase basándose las áreas de entrenamiento introducidas. Se expresa mediante una matriz en la que se enfrenta cada categoría o clase a las demás (Figura 11). La separabilidad se mide en términos estadísticos, y se expresa con un valor de 2 cuando es la óptima. Cruzando los valores de la matriz se detectan las clases que mejor “se separan”, o dicho de otro modo, que se confunden menos. Se pueden ir analizando las clases a la luz de la separabilidad estadística y del conocimiento de la fecha y la zona que se tenga. La separabilidad también nos ayuda a refinar la selección de clases, quitando, añadiendo o agregando clases.

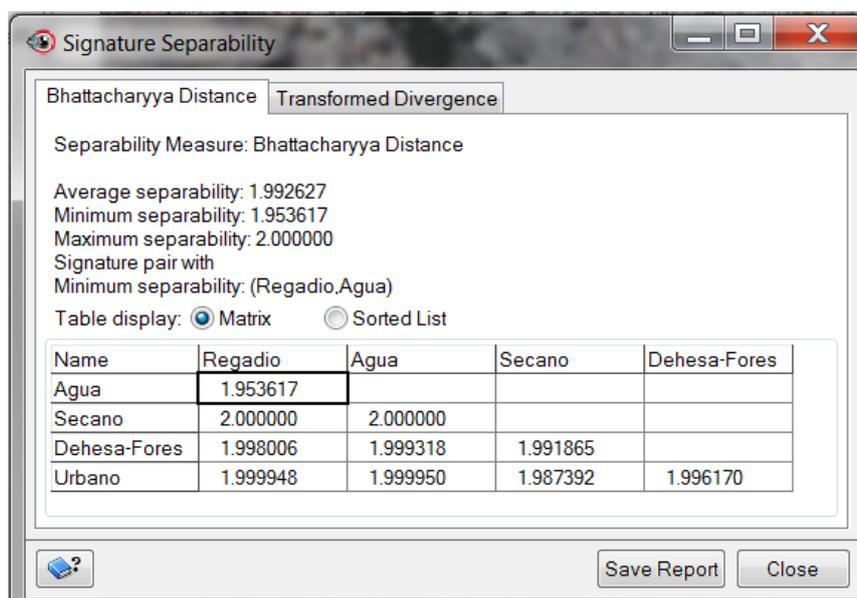


Figura 11. Matriz de separabilidad para una clasificación supervisada para la imagen QuickBird de julio 2002.

El siguiente paso es la ejecución de la clasificación, eligiendo un algoritmo de los propuestos (Figura 12). Uno de los más efectivos es el de máxima probabilidad (*Maximum Likelihood*), en el que se puede configurar una clase nula para aquellas zonas en las que el software no encuentre similitud espectral con las áreas de entrenamiento. Esto significa que si las clases son demasiado específicas, habrá muchos píxeles que no pueda clasificar en esas clases y los incluirá en una clase nula que tendrá mucho protagonismo en el resultado. Por el contrario, puede dar buenos resultados cuando por

desconocimiento de la zona de trabajo se haya pasado por alto algún uso de suelo, quedando la clase nula asignada a esas zonas². En el caso de la supervisada, conviene crear la tabla de color PCT para que al exportar el resultado, como se verá a continuación, se almacenen los colores seleccionados por el usuario.

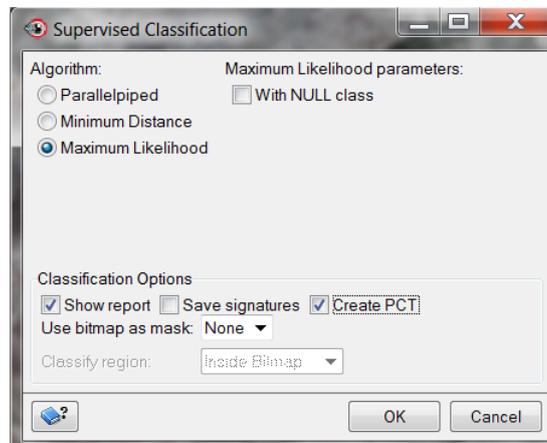


Figura 12. Algoritmos de clasificación supervisada en Focus.

Además del criterio de separabilidad, es necesario comprobar el procedimiento de entrenamiento propiamente dicho. Para ello se analizan los resultados del informe (Figura 13): media, desviación estándar de cada clase; superficie real de ocupación de cada clase (número de píxeles multiplicado por la superficie del mismo; o también en porcentaje). También se debe analizar la precisión de cada clase y la general del procedimiento mediante el valor de % de acierto y el estadístico *kappa*. El porcentaje no debe ser menor del 80%; mientras que un valor de *kappa* por debajo de 0.85 no es tampoco aceptable (la *kappa* óptima es 1).

Name	Code	Pixels	%Image	Thres	Bias
Regadio	1	2097643	9.24	3.00	1.00
Agua	2	92017	0.41	3.00	1.00
Secano	3	9769705	43.01	3.00	1.00
Dehesa-Forest	4	8404339	37.00	3.00	1.00
Urbano	5	2349806	10.35	3.00	1.00
NULL	0	0	0.00		
Total		22713510	100.00		

CONFUSION MATRIX							
Areas		Percent Pixels Classified by Code					
Name	Code	Pixels	1	2	3	4	5
Regadio	1	5535	97.40	2.01	0.00	0.14	0.45
Agua	2	546	4.21	95.60	0.00	0.18	0.00
Secano	3	7265	0.00	0.00	96.74	0.52	2.74
Dehesa-Forest	4	12871	0.00	0.00	1.25	98.43	0.32
Urbano	5	1494	0.00	0.00	0.13	1.20	98.66

Average accuracy = 97.37 %
 Overall accuracy = 97.74 %
 KAPPA COEFFICIENT = 0.96651 Standard Deviation = 0.00132

Confidence Level :
 99% 0.96651 +/- 0.00339
 95% 0.96651 +/- 0.00258
 90% 0.96651 +/- 0.00216

Figura 13. Resultados del informe de clasificación con los estadísticos de exactitud y Kappa.

² No necesariamente se tienen que clasificar todos los píxeles de la imagen, también se puede buscar alguna clase concreta y dejar lo demás para una clase nula.

Finalmente, la verificación del proceso de entrenamiento no garantiza la calidad del mapa de clases resultantes (Figura 14, en la que se aprecia, por ejemplo, la sobreestimación de zonas urbanas). Los resultados deben ser comprobados independientemente. Para ello se deberían tener zonas 'verdad terreno' observadas *in situ* o un mapa de referencia. En su defecto, se puede hacer un análisis e interpretación visual para verificar si salen zonas coherentes con la realidad.

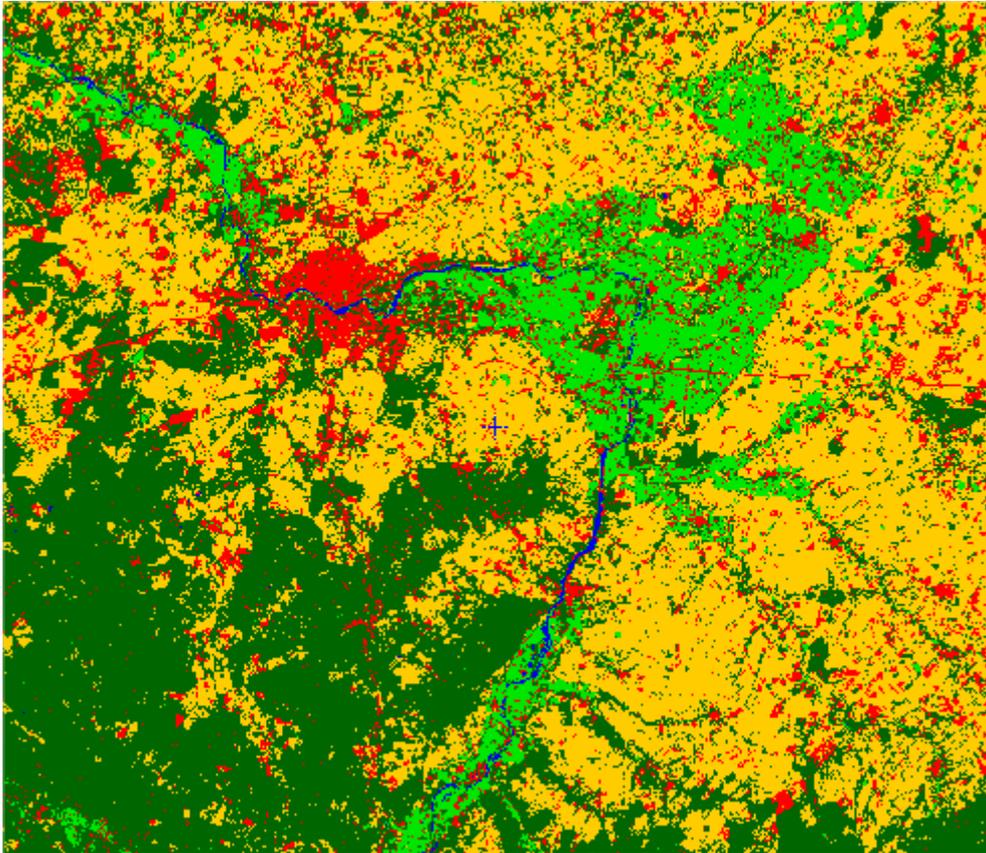


Figura 14. Resultados del mapa de clases mediante el proceso supervisado.

La clasificación es un proceso que no suele dar un resultado óptimo hasta no hacer sucesivas iteraciones. Y los resultados nunca son iguales debido a la subjetividad de las áreas de entrenamiento. Por ejemplo, se deben probar varios algoritmos y/o clase nula para comparar resultados, o cambiar los *inputs*. También es posible que haya que reagrupar las clases o crear algunas nuevas; así como modificar las áreas de entrenamiento. Se propone hacer distintas pruebas con algoritmos y alternativas y analizar los resultados. También se pueden clasificar el resto de imágenes facilitadas en las prácticas, incluyendo las ortofotos.

4. Operadores de contexto: filtros

Tanto en la clasificación como en los índices de vegetación se segmentan los píxeles de la imagen basándose exclusivamente en su respuesta espectral. El algoritmo asigna la clase de cada píxel atendiendo a su nivel digital, bien de forma automática o bien apoyándose en los criterios que el operador le dicta en las áreas de entrenamiento. Es un tratamiento que se aplica a todos los píxeles de la imagen a la vez, por lo que se consideran tratamientos globales. Sin embargo existe otra forma de tratamiento de la

imagen que se realiza a través de la respuesta espectral que cada pixel tiene en relación con la de “sus vecinos”, (de ahí el nombre de tratamiento de contexto), ya que se transforma el valor de un pixel según una relación con los más próximos “pixel a pixel”. Entre los más usuales están los tratamientos de filtros y los de textura. En ambos casos se define un tamaño de matriz y una operación matemática o estadística (por ejemplo la moda o la media) y esta matriz va recorriendo la imagen y recalculando los pixeles en función de la operación matemática aplicada a los pixeles vecinos.

Una secuencia muy habitual en el tratamiento digital es realizar una clasificación y después aplicar un filtro para mejorar la visualización del resultado. Para ello, una vez terminado el proceso de clasificación, se elimina el *metallayer* y se carga el mapa clasificado con la opción de pseudocolor. Este mapa se puede filtrar con diferentes opciones (Figura 15), a las que se accede con el menú de contexto en la capa del mapa.

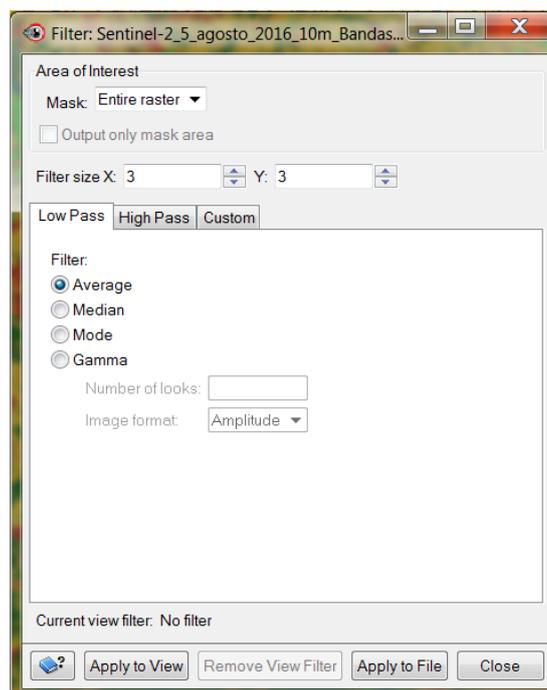


Figura 15. Opciones de filtrado en Focus.

Los filtros de media, mediana y moda se aplican usualmente para agrupar los pixeles resultado de la clasificación y que no queden pixeles sueltos (efecto ‘sal y pimienta’). En la Figura 16 izquierda, se puede observar que el resultado del mapa de usos/coberturas de suelo presenta píxeles dispersos, aparentemente mal asignados a la clase por toda la imagen. Es un resultado normal debido a las diferentes respuestas de los píxeles dentro de una misma zona, pero debe evitarse para mostrar un resultado más uniforme. Para eliminar en lo posible este efecto se puede aplicar un filtro de paso bajo y mejorar la visualización del resultado. Los filtros de paso bajo que incorpora Focus (media, mediana y moda) se aplican usualmente para agrupar los pixeles resultado de la clasificación y evitar los pixeles sueltos (Figura 16, derecha). El tamaño de la matriz del filtro repercute en un mayor o menor suavizado del resultado.

El resultado de aplicar el filtro se puede simplemente visualizar o guardar en la misma banda a la que se aplicó.

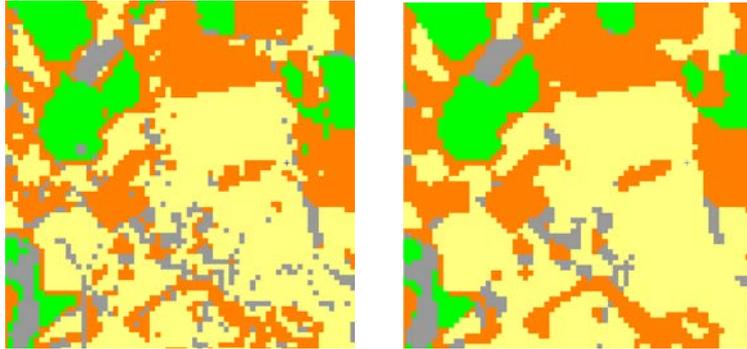


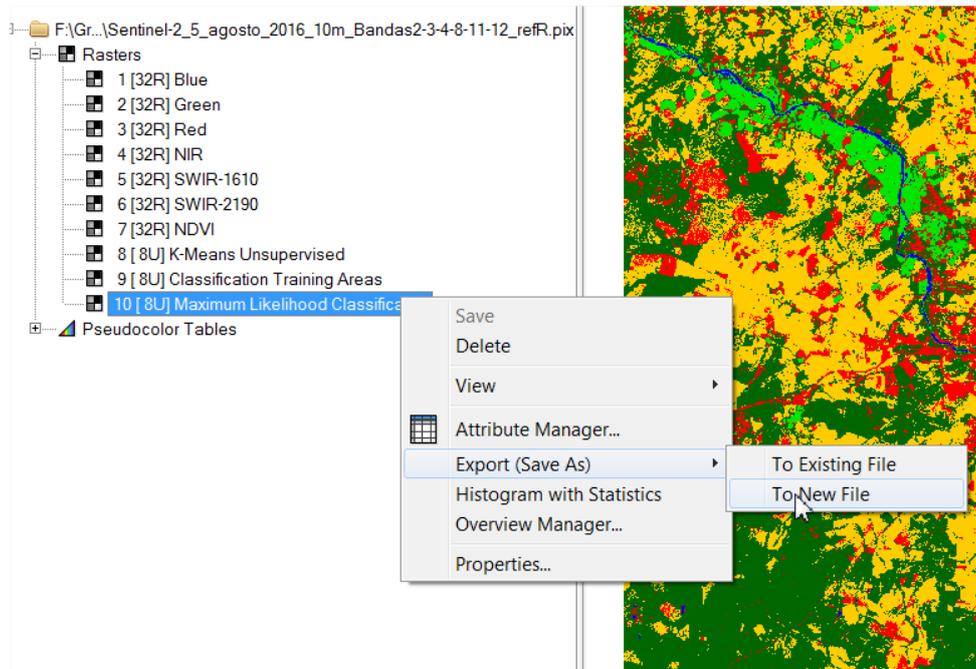
Figura 16. Fragmento del mapa clasificado antes (izquierda) y después (derecha) de aplicar un filtro de moda.

5. Exportación a otros formatos

Una forma usual de trabajo es realizar el tratamiento digital de las imágenes de satélite en un programa específico de teledetección y luego exportar el resultado a otro programa en el que se pueda integrar con otros datos. El caso típico es la exportación a un software de SIG (raster o vectorial) del resultado de una clasificación, por ejemplo, para que pueda ser legible por cualquier usuario no experto en teledetección.

Para exportar el mapa clasificado es recomendable usar el formato .tif, que conserva las coordenadas de la imagen y además es un formato raster estándar. Desde la pestaña “files”, con el botón derecho se exporta la banda que contenga la clasificación supervisada (Figura 17, arriba).

Si se quieren conservar los colores de la leyenda de la clasificación, debe exportarse también la PCT junto con la banda (Figura 17, abajo). Seleccionar el formato tif y la carpeta de destino.



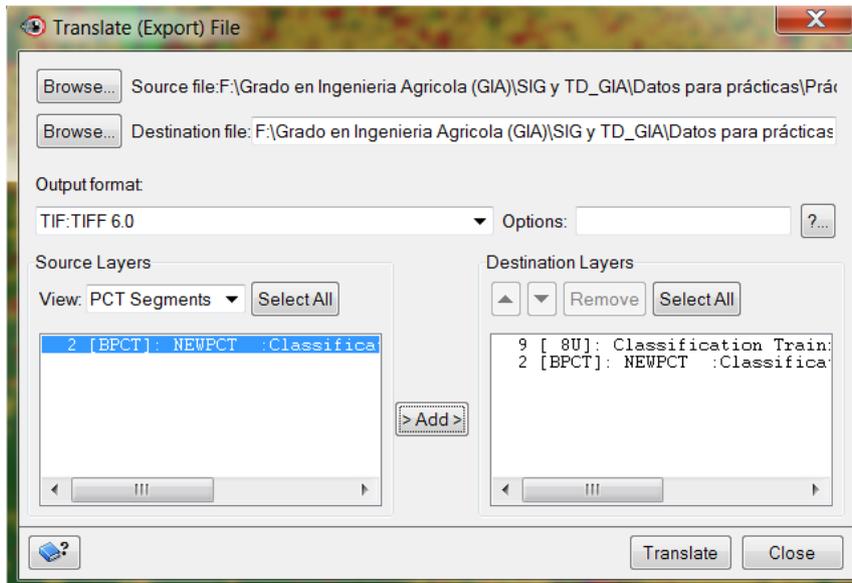


Figura 17. Exportación de la clasificación a formato tif.