



# 7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios  
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia  
Cáceres, Extremadura

---

---

7CFE01-614

---

---

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales  
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017  
**ISBN 978-84-941695-2-6**

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Evaluación del potencial de los productos Sentinel 2 para clasificación de coberturas y masas forestales

ALGEET ABARQUERO, N.<sup>1</sup>, FERNÁNDEZ LANDA, A.<sup>1</sup> FERNÁNDEZ MOYA, J. <sup>2</sup> y GUILLÉN CLIMENT, ML. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Agresta S. Coop. C/ Duque de Fernán Núñez, 2, 1º 28012. Madrid.

<sup>2</sup> Bosques Naturales. Av. de la Vega, 1, 28108 Alcobendas, Madrid.

### Resumen

La detección de coberturas vegetales, tipos de bosque y sus cambios a partir de imágenes satelitales es fundamental para la planificación territorial a nivel regional y para la gestión y aprovechamiento de las masas forestales a nivel local. Se necesitan para ello sistemas de monitorización consistentes y precisos que generen de manera automática información periódica con una buena relación coste/beneficio.

Se presentan tres estudios de caso donde se ha realizado una clasificación de coberturas a partir de productos Sentinel 2. Estos productos ofrecen un amplio rango de nuevas posibilidades de aplicación en el sector forestal. La metodología de procesamiento que se presenta para estos productos Sentinel está desarrollada íntegramente a partir de software libre. El flujo de procesamiento incluye herramientas de diferentes paquetes y herramientas de ORFEO, GDAL, SAGA, GRASS, QGIS y R. Se ha realizado también una comparativa con resultados obtenidos a partir de la aplicación de la misma metodología sobre imágenes Landsat 8. Los resultados muestran las ventajas que aportan los nuevos productos Sentinel en cuanto a resolución espacial y espectral. Los nuevos índices de vegetación disponibles para Sentinel mejoran la separabilidad entre clases y constituyen una base a partir de la que trabajar nuevas aplicaciones.

### Palabras clave

Usos del suelo, bosque, RandomForest, Landsat.

### 1. Introducción

La misión Sentinel-2 de la Agencia Espacial Europea (ESA), consta de dos satélites Sentinel 2A, lanzado el 23 de Junio de 2015 y Sentinel-2B, con previsión de ser lanzado próximamente. El lanzamiento de estos satélites está enmarcado dentro del Programa Copernicus de la ESA. Sentinel-2 representa una misión multispectral de alta resolución, diseñada para monitorizar la superficie terrestre analizando la cubierta vegetal. Su resolución temporal es de 10 días, cuando ambos satélites estén en órbita será posible obtener imágenes de la totalidad de la superficie terrestre cada 5 días. Consta de 13 bandas espectrales, cuatro bandas a 10 m, seis bandas a 20 m y tres bandas a 60 m. En la figura 1 se muestra la identificación de bandas de Sentinel-2 respecto a las bandas de Landsat 7 y 8. Como vemos en la gráfica las bandas de Sentinel 2 son muy similares a las bandas de Landsat 7 y 8, con la excepción de la franja térmica del espectro y las bandas adicionales que Sentinel tiene en la región del espectro que se denomina “red edge” y que están específicamente ahí dispuestas para estudios de vegetación.

La clasificación de coberturas del terreno, específicamente de coberturas forestales tiene especial interés en el marco de estudios multitemporales para monitoreo de la evolución de existencias forestales, y es ahí donde la incorporación de los productos derivados de la misión Sentinel 2 van a tener un papel fundamental debido a las características mencionadas.

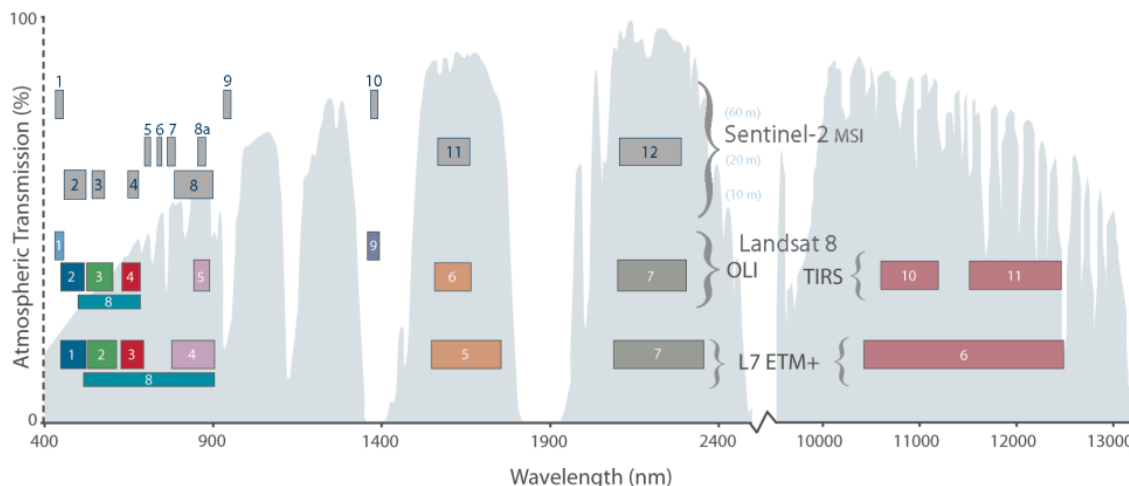


Figura 1 Bandas espectrales de Sentinel-2, Landsat 8 y Landsat 7. (Fuente: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/>)

## 2. Objetivos

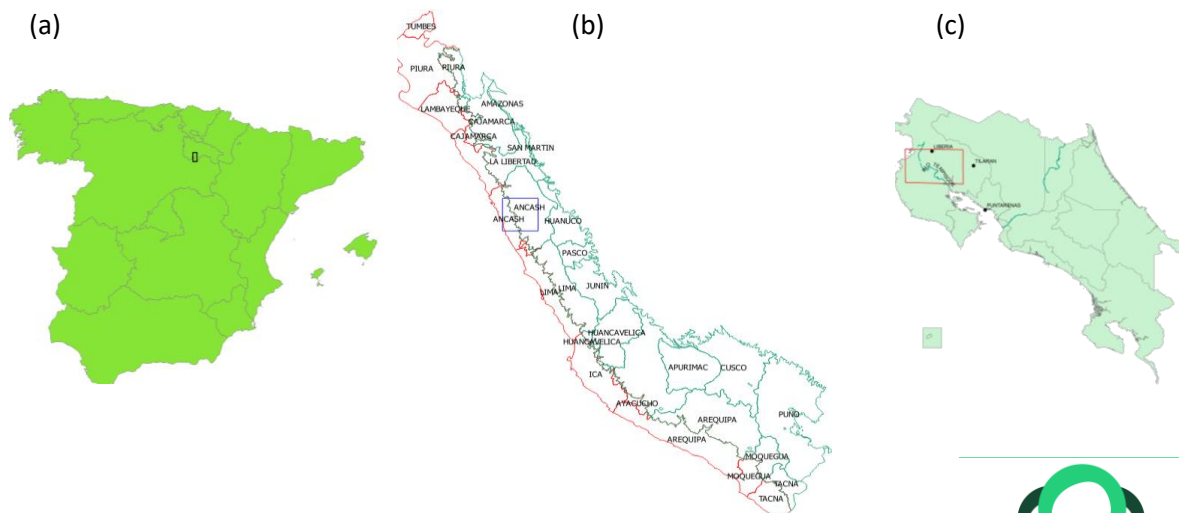
El objetivo principal del estudio es comprobar el potencial de las imágenes Sentinel 2 para la clasificación de coberturas vegetales, específicamente coberturas forestales. Adicionalmente, se ha querido comparar las diferencias en los resultados de clasificación de estas imágenes frente a la clasificación obtenida a partir de imágenes Landsat 8.

## 3. Metodología

### 3.1 Zona de estudio.

Se han seleccionado tres áreas de estudio para realizar diferentes análisis de coberturas vegetales comparando los dos productos satelitales. Se ha trabajado en la región de Ancash, en Perú, donde se ha realizado una clasificación de la superficie boscosa. Es un área donde se recoge una gran variabilidad de pendientes y posiciones topográficas diferentes que suele ser un factor de gran influencia en la clasificación de coberturas a través de imágenes satelitales. La segunda zona de estudio se encuentra situada en la región de Guanacaste, en Costa Rica, donde se han mapeado diferentes tipos de coberturas de la tierra en un área de bosque tropical seco. La tercera zona de estudio corresponde al Monte de los en la Rioja (España) donde se ha realizado un estudio sobre la composición de masas mixtas enfocado a la mejora de los productos derivados de inventarios forestales.

Figura 2 Localización de las tres zonas de estudio, en la región de la Rioja, España (a), en la región de Ancash, Perú (b) y en la región de Guanacaste, Costa Rica (c).



Se ha realizado la descarga mediante la aplicación AWS desarrollada por Amazon. El producto descargado corresponde a un nivel de procesado 1C, son imágenes de reflectividad por encima de la atmósfera (Top of atmosphere, TOA) en un formato entero (0-10000). Estas imágenes se encuentran también corregidas geométricamente. El archivo descargado corresponde por tanto a las 13 bandas en formato JP2, un archivo xml de metadatos y una serie de máscaras de la imagen, con extensión gml, entre las que se encuentra una máscara de nubes. Las bandas que utilizamos en este estudio piloto son aquellas con resolución de 10 y 20 m, es decir B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B8A, B11 y B12. Las imágenes Landsat 8 se han descargado a través del servidor EarthExplorer de la USGS y corresponden a periodos de tiempo similares a los seleccionados para Sentinel 2. En la siguiente tabla se muestran las fechas de las imágenes seleccionadas en cada una de las pruebas piloto.

Tabla 1. Características de las imágenes Sentinel 2 seleccionadas para generar un mosaico libre de nubes

Localización	Fecha imagen Sentinel	Fecha imagen Landsat	Path/Row Landsat
Perú (Ancash)	08/07/2016	12/07/2014	8/66
Costa Rica (Guanacaste)	15/3/2016	3/3/2016	16/53
España (La Rioja)	06/1/2016	23/12/2015	200/31

### 3.3 Leyendas generadas

Para comprobar la capacidad de clasificación de cada imagen se han probado en cada uno de los sitios de estudios diferentes leyendas. En Perú, se ha generado una leyenda de Bosque/No Bosque, en una zona donde la superficie forestal se ve limitada a pequeños parches, bordes de cursos de agua y cercas vivas. En Costa Rica se ha generado una leyenda que comprende las clases bosque, zona urbana, pastizal, cultivo, otras tierras y agua. En la zona de estudio de la Rioja, en España, se han creado un mapa de clasificación de masas forestales, para estudiar la capacidad del clasificador de determinar especies forestales con cada una de los dos tipos de imágenes. Las clases de esta clasificación son: Pino silvestre, haya, quejigo, encina, suelo urbano, otras tierras y agua.

### 3.4 Covariables predictoras

Las covariables predictoras usadas en la clasificación han sido las bandas espectrales de Sentinel-2 e índices de vegetación derivadas de estas bandas. Como veíamos en la figura 1, Sentinel 2 añade información en las longitudes de onda entre el rojo y el infrarrojo, zona del espectro electromagnético donde la vegetación presenta un comportamiento espectral muy diferenciado respecto a otras cubiertas terrestres. Recientemente muchos estudios han publicado diferentes índices espectrales derivados de estas bandas espectrales que presenta Sentinel-2 (Frampton et al, 2013). En la siguiente Tabla 2 se muestran los índices incorporados a la clasificación de todos los estudios piloto con imágenes Sentinel 2. Los índices NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) y TCARI (Transformed Chlorophyll Absorption Ratio Index) (Haboudane et al. 2002) han sido utilizados también para la clasificación de las imágenes Landsat 8:

- NDVI  $(NIR - R)/(NIR + R)$
- SAVI  $(1+L)*(NIR - R)/(NIR + R+L)$
- TCARI  $3*[(RE-R)-0.2*(RE-G)*(RE/R)]$

Una vez obtenida la base de datos de los puntos de entrenamiento, se ajusta el algoritmo de clasificación Random Forest (RF) utilizando el paquete del software R "RandomForest: Breiman and Cutler's random forests for classification and regression" desarrollado por Liaw y Wiener (2015). Para

todas las clasificaciones realizadas se ha considerado como bosque cuando más del 60% de los árboles de decisión del RF lo clasificaban como tal.

Tabla 2. Listado de covariables utilizado para la clasificación de coberturas.

Grupos de variables	Número de covariable	Covariable	Bandas de Sentinel/Índices Vegetación
Espectrales	1	Azul	B2
	2	Verde	B3
	3	Rojo	B4
	4	Red-edge	B5
	5	Red-edge	B6
	6	Red-edge	B7
	7	Infrarrojo cercano (NIR)	B8
	8	Infrarrojo cercano (NIR)	B8A
	9	Infrarrojo medio (SWIR-1)	B11
	10	Infrarrojo medio (SWIR-2)	B12
Índices de vegetación	11	NDVI1	$(NIR - R)/(NIR + R)$
	12	NDVI2	$(NIR - R)/(NIR + R)$
	13	NDVI4 5	$(NIR - R)/(NIR + R)$
	14	SAVI	$(1+L)*(NIR - R)/(NIR + R + L)$
	15	TCARI	$3*[(RE-R)-0.2*(RE-G)*(RE/R)]$
	16	OSAVI	$(1.16)*(NIR-R)/(NIR+R+0.16)$
	17	MTCI	$(NIR-RE)/(RE-R)$
	18	MCARI	$[(RE-R)-0.2(RE-G)]*(RE-R)$
	19	GNDVI	$(NIR-G)/(NIR + G)$
	20	PSSRa	NIR/R
	21	S2REP	$705 + 35*(((NIR + R)/2 - RE1)/(RE2-RE1))$
	22	IRECI	$(NIR-R)/(RE1/RE2)$

#### 4. Resultados

Los resultados de la validación de las diferentes clasificaciones se encuentran resumidos en las Tablas 3 y 4. Las validaciones se han realizado con un set de puntos de validación independientes a los utilizados para el entrenamiento de la clasificación con 1000 puntos en el caso de Costa Rica, 375 puntos en la zona de estudio de Perú, y 469 puntos en el caso de la zona de estudio de la Rioja. Se muestran únicamente las validaciones obtenidas para la clase de bosque en las zonas de Costa Rica y Perú aunque se han tenido en cuenta una validación completa de la leyenda en ambos casos. La validación de la clasificación de la Rioja muestra en cambio la precisión de las diferentes masas forestales estudiadas y las confusiones que se han encontrado entre ellas.

Tabla 3. Validación de las clasificaciones de Costa Rica y Perú a partir de imágenes Landsat 8 y Sentinel-2.

Zona de estudio	Tipo de imagen	Exactitud clase Bosque	Precisión Global
Costa Rica	Sentinel-2	0,09	0,90
	Landsat 8	0,14	0,89
Perú	Sentinel-2	0,10	0,96
	Landsat 8	0,17	0,94

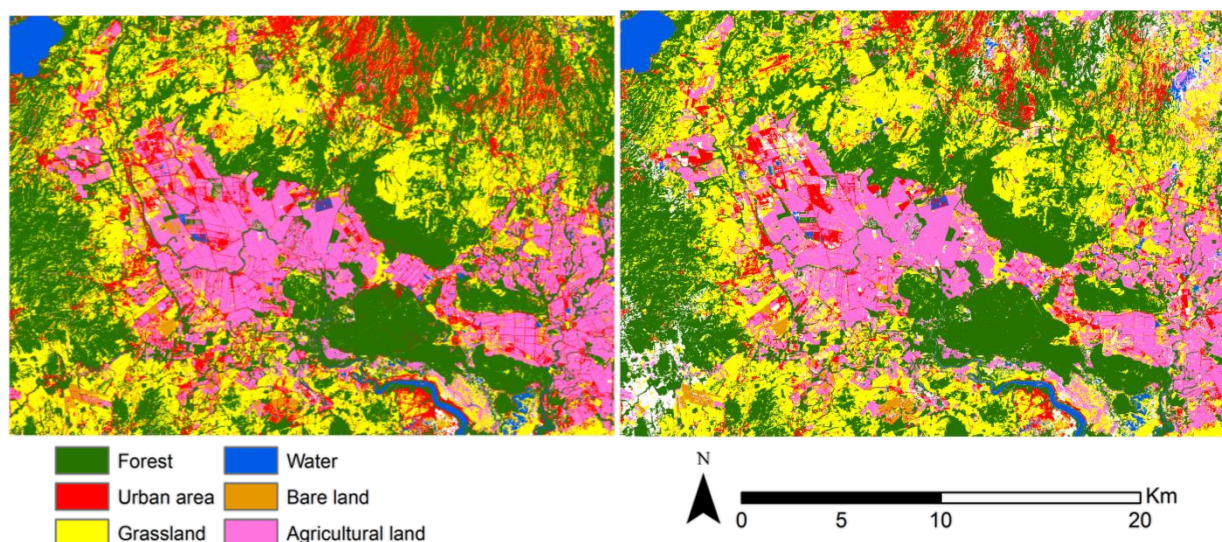


Figura 3. Clasificación obtenida para Costa Rica con imágenes Sentinel 2 (izquierda) y Landsat 8 (derecha).

Tabla 4. Validación de la clasificación realizada en la zona de estudio de la Rioja a partir de imágenes Landsat 8.

clases	Pino	Haya	Quejigo	Encina	Otras tierras	Error de la clase
Pino	54	26	0	0	0	0,32
Haya	14	134	2	0	0	0,11
Quejigo	0	8	139	0	3	0,07
Encina	0	0	0	14	2	0,13
Otras tierras	0	0	9	1	63	0,14
Precisión Global 0,86						

Tabla 5. Resultados de la validación de la clasificación realizada en la zona de estudio de la Rioja a partir de imágenes Sentinel-2.

clases	Pino	Haya	Quejigo	Encina	Otras tierras	Error de la clase
Pino	60	18	1	0	1	0,25
Haya	17	132	1	0	0	0,12
Quejigo	0	1	148	0	1	0,01
Encina	0	0	0	16	0	0,00
Otras tierras	0	0	6	1	66	0,09
Precisión Global 0,90						

## 5. Discusión

Dada la reciente disponibilidad de imágenes de la misión Sentinel (operativa desde Julio de 2015), todavía no existen muchos estudios comparativos entre estos productos y los generados en las misiones Landsat (i. e. Topaloğlu et al. 2016, Immitzer et al 2016). Es por ello interesante el trabajar con diferentes zonas de estudios con ecosistemas y coberturas vegetales diferentes, para poder realizar un estudio comparativo entre ambos productos.

Los resultados de la clasificación de coberturas vegetales en Costa Rica muestran como ambas misiones, Landsat y Sentinel, están ofreciendo en la actualidad imágenes de gran calidad, comparables entre sí en cuanto a su capacidad para producir mapas de coberturas a resolución media/alta. La importancia de las variables en la clasificación de Costa Rica (Figura 4) muestra como los diferentes índices de vegetación que se pueden generar a partir de las nuevas bandas de Sentinel tienen una relevancia importante en el estudio y confirman el gran valor que ya han verificado otros autores de la información disponible en Sentinel en la región del “red edge” para mapeo de vegetación (Immitzer et al 2016, Schuster et al., 2012).

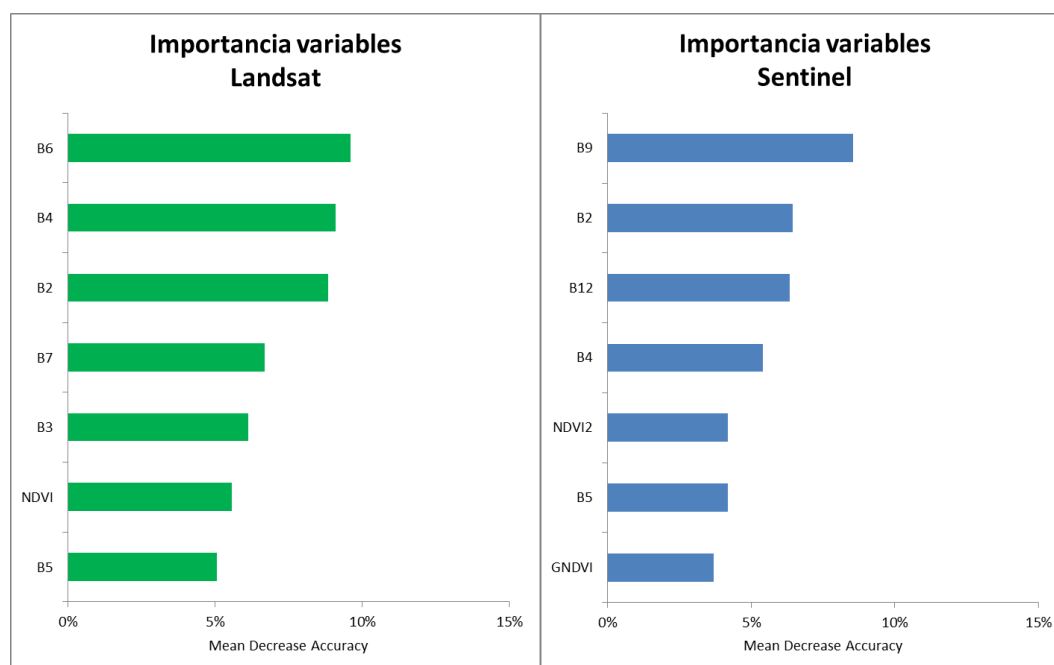


Figura 4. Comparación de la importancia de las 7 primeras bandas en importancia en el clasificador RandomForest generado para cada set de imágenes en la zona de estudio de Costa Rica.



Aunque las validaciones de las clasificaciones ofrecen resultados similares en general, un análisis más detallado de la clasificación de bosque en la zona de estudio de Perú a partir de imágenes Sentinel permite identificar un mapeo más preciso de la clase de bosque en este caso donde los parches de bosques son reducidos y la cobertura de bosque se encuentra muy fragmentada en el espacio. En este caso, la mayor resolución de las imágenes Sentinel (10 metros) respecto a Landsat (30 metros) permite generar un mapa de bosque más detallado (Figura 5).

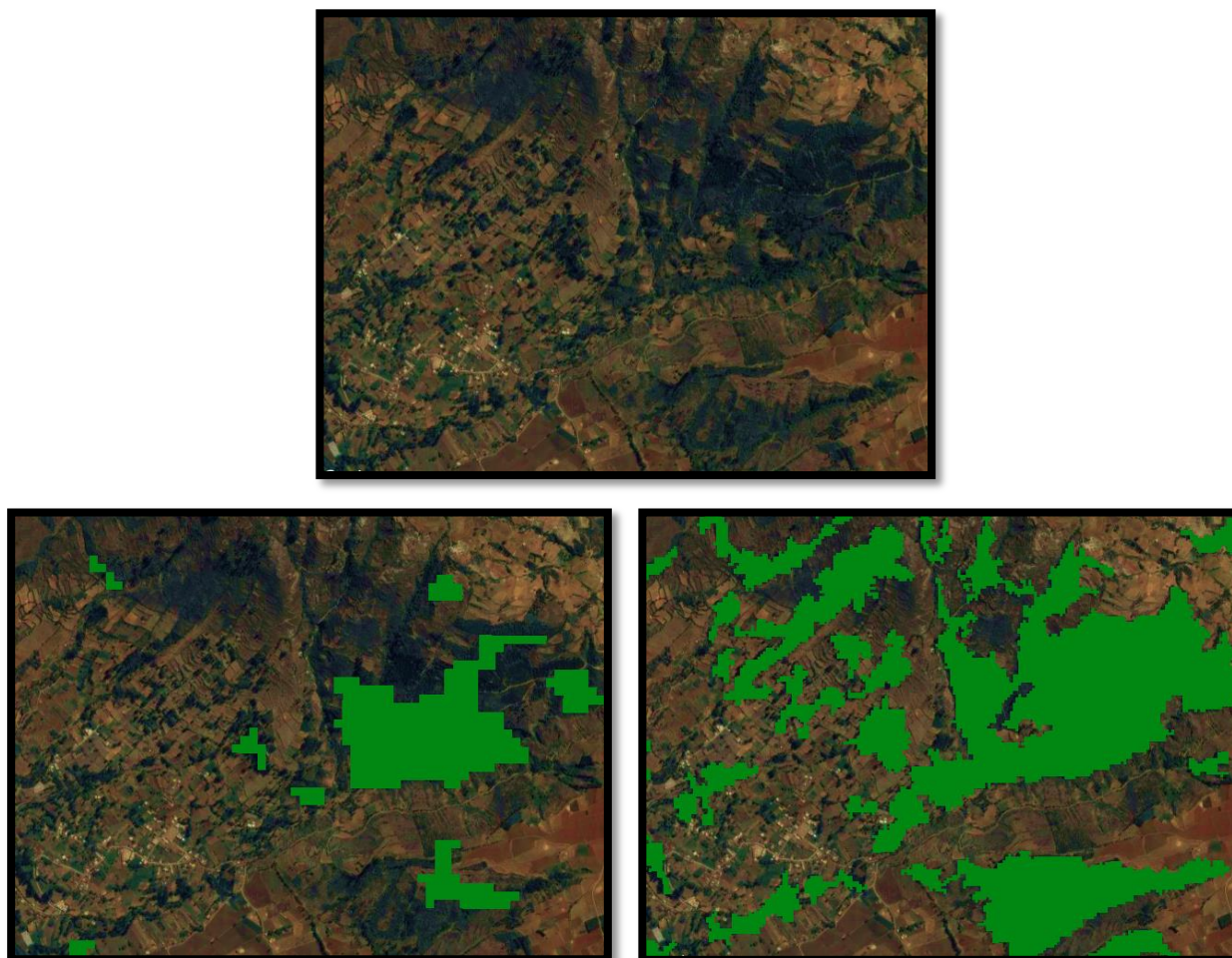


Figura 5. Comparación de los resultados obtenidos de cobertura de bosque mediante la clasificación de imágenes Landsat 8 (abajo derecha) e imágenes Sentinel-2 (abajo izquierda) en una zona de la región de estudio de Perú.

El caso de estudio de la Rioja muestra como las masas forestales mixtas, compuestas por bosquetes de diferentes especies como el pino y el haya se han podido clasificar y obtener un mapa de vegetación continuo en el espacio y con una distribución espacial de las especies más precisa que en los productos disponibles hasta el momento. Este tipo de resultados son de gran utilidad para mejorar la información disponible en el mapa forestal de España donde las masas mixtas cubren una superficie considerable. La Figura 6 muestra las mejoras en la clasificación de este tipo de masas gracias a las resoluciones espectrales y espaciales de las imágenes Sentinel-2. La resolución espacial permite además identificar claros y terrenos desnudos en las masas, como los que se aprecian en la Figura 6b, y que a través de la clasificación de Landsat (Figura 6) quedaban enmascarados por la influencia de píxeles cercanos

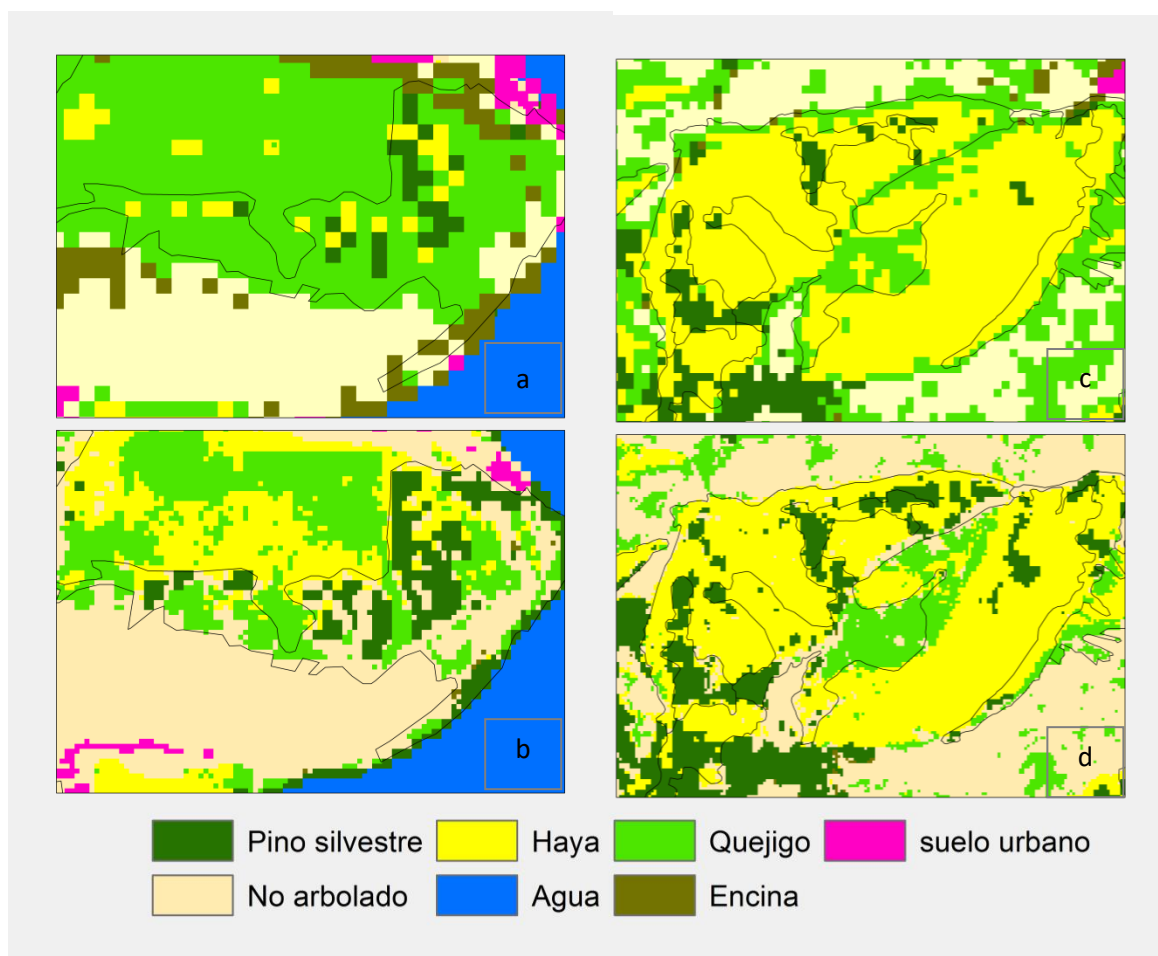


Figura 6. Comparación de resultados en la zona de la Rioja donde se muestran diferencias entre las clasificaciones relativas a la resolución espectral y espacial de las imágenes Landsat 8 (arriba) y Sentinel-2 (abajo).

## 6. Conclusiones

Este estudio nos permite conocer el estado del arte en cuanto al procesamiento de imágenes Sentinel-2, de uso gratuito y que continúa las misiones Landsat y SPOT con las que se han generado hasta el momento mapas de cobertura de uso de suelo con diferentes objetivos. En los tres estudios de caso presentados, la clasificación realizada con RandomForest ofrece con ambos productos, Sentinel-2 y Landsat 8 buenos resultados. Sin embargo, la mayor resolución espacial y espectral de los productos Sentinel-2 permiten una mejor clasificación de bosques fragmentados y una mejor separabilidad de especies forestales en masas mixtas. La previsión futura es evolucionar a realizar estos estudios con imágenes Sentinel-2 ya que mejora tanto la resolución espacial, espectral como temporal respecto a Landsat. En este estudio no se ha evaluado la resolución temporal de ambos productos ni la complementariedad de ambos, que son ambas cuestiones fundamentales a la hora de avanzar en la aplicación de estos productos en el análisis de coberturas vegetales.

## 7. Agradecimientos

Estos trabajos se han realizado en el marco de dos proyectos REDD+ en Costa Rica y Perú financiados por el Banco Mundial y el KfW respectivamente. La participación de Nur Algeet Abarquero y Mariluz Guillén-Climent fue posible gracias al programa post doctoral Torres Quevedo financiado por el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.

## 8. Bibliografía

BREIMAN L. 2001. Random forests. *Machine Learning* 45: 15-32.

FRAMPTON, WJ.; DASH, J.; WATMOUGH, G.; MILTON, EJ.; 2013. Evaluating the capabilities of Sentinel 2 for quantitative estimation of biophysical variables in vegetation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 83-92.

IMMITZER, M.; VUOLO, F.; ATZBERGER, C. 2016. First Experience with Sentinel-2 Data for Crop and Tree Species Classifications in Central Europe. *Remote Sens* 8(3), 166.

LIAW A, WIENER M. 2002. Classification and Regression by randomForest. *R News* 2(3): 18-22.

SCHUSTER, C.; FÖRSTER, M.; KLEINSCHMIT, B.2012. Testing the red edge channel for improving land-use classifications based on high-resolution multi-spectral satellite data. *Int. J. Remote Sens.* 33, 5583-5599.

TOPALOĞLU, RH; SERTEL, E; MUSAOĞLU, N: 2016. Assessment of classification accuracies of sentinel-2 and landsat-8 data for land cover / use mapping. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences* . Vol. 41 Issue B8, p1055-1059.