



2022  
Lleida

27 · 1  
junio · juny  
julio · juliol

Cataluña  
Catalunya

## 8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a  
los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**

8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

**Cataluña | Catalunya · 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022**

**ISBN 978-84-941695-6-4**

© Sociedad Española de Ciencias Forestales



Organiza

## CodelPlant 2.0: Mejora del aplicativo en código abierto para la segmentación de imágenes RGB basado en modelos de color

GÓMEZ GARCÍA, E.<sup>1</sup>, RODRÍGUEZ-PUERTA, F.<sup>2,3</sup>, PÉREZ RODRÍGUEZ, F.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigación Forestal de Lourizán, Xunta de Galicia. Apdo. 127, 36080 Pontevedra

<sup>2</sup> EiFAB Universidad de Valladolid – Campus de Soria

<sup>3</sup> Instituto Universitario de Investigación Gestión Forestal Sostenible iuFOR

<sup>4</sup> Föra Forest Technologies sll, Campus Duques de Soria s/n, 42004 Soria.

### Resumen

CodelPlant es un aplicativo de escritorio que desarrolla modelos en un espacio de color RGB para la segmentación de imágenes. Está desarrollado en código abierto con el lenguaje de programación C#. La versión 2.0 presenta mejoras en el diseño, en el manejo de datos y optimización de procedimientos e implementa el aprendizaje dirigido de las zonas que no satisfacen el criterio de selección. El objetivo es mejorar el rendimiento y reducir la aparición de falsos positivos en la segmentación. Además, la nueva versión incorpora más modelos para ser testados en la matriz de comparaciones de RGB y un árbol de decisión automático para seleccionar los modelos que presenten mejores resultados. Se muestra su aplicación con un ejemplo de segmentación de plantas y se discute otras posibles utilidades como son en escenas de color verdadero (TCI) de Sentinel-2 o hasta en ortofotos.

### Palabras clave

Sentinel, desarrollo, espacios de color, regresión lineal.

## 1. Introducción

Las imágenes digitales pueden ser utilizadas en el fenotipado de plantas, es decir evaluar sus propiedades y características fenotípicas (Ghanem et al., 2015). Es un fenotipado no invasivo que ha ganado importancia en los últimos años ya que permite obtener con relativa facilidad variables cuya medición es compleja, requiere mucho tiempo o depende de la experiencia humana. En el desarrollo de estas técnicas han contribuido la reducción del coste y el aumento de la resolución de los dispositivos de captura de imágenes (mejora del hardware) y el aumento de la capacidad de procesamiento (mejora del software) (Mahajan et al., 2015). Incluso se ha desarrollado software específico para el análisis de imágenes digitales de plantas como el recopilado en el sitio web *plant-image-analysis.org* (Lobet et al., 2013).

Una imagen digital es una representación de la realidad que se abstrae en una matriz  $M$  ( $x_{\max}$ ,  $y_{\max}$ ) de elementos llamados píxeles. Esta matriz se caracteriza por el número de elementos en filas y columnas, o resolución de la imagen. Los elementos tienen propiedades comunes, como la dimensión, así como información específica, como el color. El análisis de color se puede utilizar en la segmentación de imágenes de plantas, es decir, el proceso de discriminación de regiones con características similares (Thorp & Dierig, 2011). Cada píxel de una imagen puede contener información sobre el color en diferentes espacios de color (Hernández-Hernández et al., 2016), aunque el espacio RGB es el más utilizado en dispositivos de captura y generación de color. Este sistema se basa en un modelo de mezcla aditiva, en el que cada color se forma combinando tres colores primarios, o la concentración de valores de los canales rojo, verde y azul (RGB por sus siglas en inglés), en un rango de 0 a 255 en un espacio de color de 8 bits.

Codelplant es un software en código abierto para la segmentación de imágenes RGB basado en modelos de color (Pérez-Rodríguez & Gómez-García, 2019) y que se desarrolló como una mejora del prototipo ScanLeaves (Pérez-Rodríguez et al., 2013). El programa proporciona un modelo de color RGB que caracteriza un subconjunto específico en imágenes de plantas. El modelo generado puede ser útil para la segmentación de las imágenes utilizadas en los procesos de entrenamiento o para la segmentación automatizada de nuevas imágenes.

## 2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es describir las nuevas mejoras del software CodePlant 2.0 y como puede emplearse para nuevas funcionalidades aplicadas a la teledetección.

## 3. Metodología

Codelplant 2.0 presenta el mismo procedimiento que la versión anterior. En un primer paso se caracteriza el color RGB de cada píxel que compone la imagen mediante una rutina que recorre cada elemento. En las imágenes de plantas, una región específica de un subconjunto no es un valor RGB único, sino un conjunto de múltiples combinaciones de los rangos específicos de cada canal. Por lo tanto, el usuario selecciona un mínimo de 30 píxeles en la región de interés de la imagen. Los datos de estos píxeles seleccionados se desagregan en R, G y B, que comprenden tres rangos diferentes:  $\text{Min}R_{ij}\text{-Max}R_{ij}$ ,  $\text{Min}G_{ij}\text{-Max}G_{ij}$  y  $\text{Min}B_{ij}\text{-Max}B_{ij}$ . Estos rangos de color ya definen un modelo específico de subconjunto (Easlon & Bloom, 2014); pero, como los canales pueden estar correlacionados, Codelplant modeliza todas las posibles combinaciones entre pares mediante regresión. La bondad de ajuste se evalúa mediante el coeficiente de determinación ( $R^2$ ). El ajuste de las ecuaciones y el cálculo de  $R^2$  se realizan utilizando la biblioteca MathNet.Numerics.dll, implementada en Visual Studio Community 2019. El usuario juzga visualmente la segmentación proporcionada por el modelo y, si lo considera necesario, puede seleccionar nuevos píxeles para reajustarlo. La repetición del proceso aumenta los datos disponibles para establecer relaciones. El proceso finaliza cuando el modelo proporciona una segmentación que es aceptada visualmente por el usuario. En este punto, el modelo se puede usar para segmentar automáticamente subconjuntos de regiones específicas en nuevas imágenes digitales de la misma fuente.

Con respecto a la versión 1.0, la versión 2.0 presenta las siguientes mejoras:

1. Evalúa un conjunto de modelos y selecciona automáticamente el que mejor ajusta en las regresiones por comparaciones pareadas de canales. Los modelos evaluados son (donde  $y$ ,  $x$  son canales de color y  $a$ ,  $b$ ,  $c$  son parámetros a estimar):
  - F0  $\Rightarrow y = a + b * x$ ;
  - F1  $\Rightarrow y = a + x * b + \text{Math.Pow}(x, 2) * c$ ;
  - F2  $\Rightarrow y = \text{Math.Exp}(a + b / x)$ ;
  - F3  $\Rightarrow y = a * \text{Math.Exp}(b / x)$ ;
  - F4  $\Rightarrow y = a + b / x$ ;
  - F5  $\Rightarrow y = a + b * \text{Math.Pow}(x, 2)$ ;
  - F6  $\Rightarrow y = a * (1 - \text{Math.Exp}(-b * x))$ ;
  - F7  $\Rightarrow y = a + x * b + \text{Math.Pow}(x, 2) * c$ ;
  - F8  $\Rightarrow y = a * x / (b + x)$ ;
2. En caso de que el mejor modelo de una relación presente un  $R^2$  menor de 0,8 se considera que la modelización no mejora la aplicación directa del rango de valores. En estos casos el programa desestima la modelización y aplica el rango min/max.
3. El usuario tiene la posibilidad de entrenar el programa para generar un modelo de color complementario que incluye elementos que no son subconjunto objetivo (modelo negativo). El modelo positivo y negativo se combinan mediante un árbol de decisiones.

#### 4. Resultados

Se describe un ejemplo de utilización de Codelplant 2.0 en vivero forestal. Se desarrolló un modelo RGB para la segmentación planta/no-planta del cultivo en envase de *Pinus pinaster* Ait. (Figura 1).

Para crear el primer modelo positivo, o de entrenamiento de lo que se desea detectar, se seleccionaron 133 píxeles en diferentes partes de la imagen en la que se desea crear el modelo. Además, y después de correr el primer modelo, se refinó con el entrenamiento de lo que no se desea detectar. Para ello se seleccionaron 91 puntos sobre todo de la maceta donde al testar el modelo positivo a veces fallaba, y bordes de acículas. Para la observación visual de la calidad de la segmentación se sombrean en verde los píxeles con valores según el modelo positivo generado, y en rojo el modelo negativo (Figura 2).

De los modelos evaluados, el que mejor ajuste presentó en todos los casos fue el F1 (Tabla 1), que se corresponde con un modelo polinómico de segundo grado ( $a + x * b + \text{Math.Pow}(x, 2) * c$ ). Para el modelo positivo R y G fueron los canales más estrechamente correlacionados. El modelo final se puede utilizar para la segmentación automática de planta/no-planta en otras imágenes de la misma fuente.

#### 5. Discusión

El ejemplo que se describe se realizó a partir de imágenes captadas con dispositivos terrestres portátiles, pero Codelplant 2.0 se podría utilizar en imágenes de color verdadero (TCl) generadas por dispositivos acoplados a medios aéreos (tripulados o no tripulados) o satélite como el Sentinel-2. La misión Sentinel-2 (ESA, 2022) tiene el objetivo de monitorizar el territorio y forma parte del programa Copernicus de observación terrestre liderado por la Comisión Europea (CE). Sentinel-2 proporciona imágenes multiespectrales de gran resolución, incluyendo las bandas 4, 3 y 2 que se corresponden con el RGB y que tienen una resolución de 10 x 10 m. Se podría entrenar a Codelplant 2.0 para la segmentación de elementos singulares en cuanto a color en imágenes Sentinel-2. Actualmente se han obtenido resultados preliminares satisfactorios en la segmentación de la especie exótica invasora *Acacia dealbata* Link. en la época de floración. No existe una cartografía precisa de localización de estas masas ya que la metodología empleada en el Mapa Forestal de España (MITECO, 2022) no discrimina pequeñas superficies forestales, solo cuando adquieren cierta entidad.

#### 6. Conclusiones

Al igual que en la versión anterior, Codelplant 2.0 se proporciona en código abierto en un repositorio (<https://sourceforge.net/projects/codelplant/>). El software se desarrolló en C# (usando Visual Studio 2019 community edition) y el programa incluye la biblioteca MathNet.Numerics.dll. Esta nueva versión mejora el rendimiento y reduce la aparición de falsos positivos en la segmentación. Este software puede ser utilizado por desarrolladores, investigadores, técnicos y cualquier otra persona que desee realizar análisis de color de imágenes de plantas. El objetivo de proporcionar el código completo es permitir a los usuarios potenciales modificar la arquitectura del desarrollo, reutilizar el código o interpretarlo y traducirlo a otros lenguajes.

#### 7. Bibliografía

EASLON, H.M.; BLOOM, A.J.; 2014. Easy Leaf Area: Automated digital image analysis for rapid and accurate measurement of leaf area. *Appl. Plant. Sci.* 2(7), 1400033, 1-4.

ESA (Agencia Espacial Europea); 2022. Sentinel-2. Disponible en: <https://sentinel.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2> (consultado el 17 de enero de 2022).

GHANEM, M.E.; MARROU, H.; SINCLAIR, T.R.; 2015. Physiological phenotyping of plants for crop improvement. *Trends Plant Sci.* 20 (3), 139-144.

HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, J.L.; GARCÍA-MATEOS, G.; GONZÁLEZ-ESQUIVA, J.M.; ESCARABAJAL-HENAREJOS, D.; RUIZ-CANALES, A.; MOLINA-MARTÍNEZ, J.M.; 2016. Optimal color space selection method for plant/soil segmentation in agriculture. *Comput. Electron. Agric.* 122, 124-132.

LOBET, G.; DRAYE, X.; PÉRILLEUX, C.; 2013. An online database for plant image analysis software tools. *Plant Methods* 9, 38, 1-7.

MAHAJAN, S.; DAS, A.; SARDANA, H.K.; 2015. Image acquisition techniques for assessment of legume quality. *Trends Food Sci. Technol.* 42(2), 116-133.

MITECO (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico); 2022. Mapa Forestal de España (MFE). Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/biodiversidad/mfe.aspx> (consultado el 17 de enero de 2022).

PÉREZ-RODRÍGUEZ, F.; GÓMEZ-GARCÍA, E.; 2019. Codelplant: regression-based processing of RGB images for colour models in plant image segmentation. *Comput. Electron. Agric.* 163, 104880.

PÉREZ-RODRÍGUEZ, F.; MOSQUERA, A.; CAMINO-SACO, Á.; ROJO-ALBORECA, A.; GÓMEZ-GARCÍA, E.; 2013. Cálculo del área foliar mediante técnicas basadas en el análisis RGB-HSB. 6º Congreso Forestal Español, 10-14 de junio de 2013. Victoria.

THORP, K.R.; DIERIG, D.A.; 2011. Color image segmentation approach to monitor flowering in lesquerella. *Ind. Crop. Prod.* 34, 1150-1159.



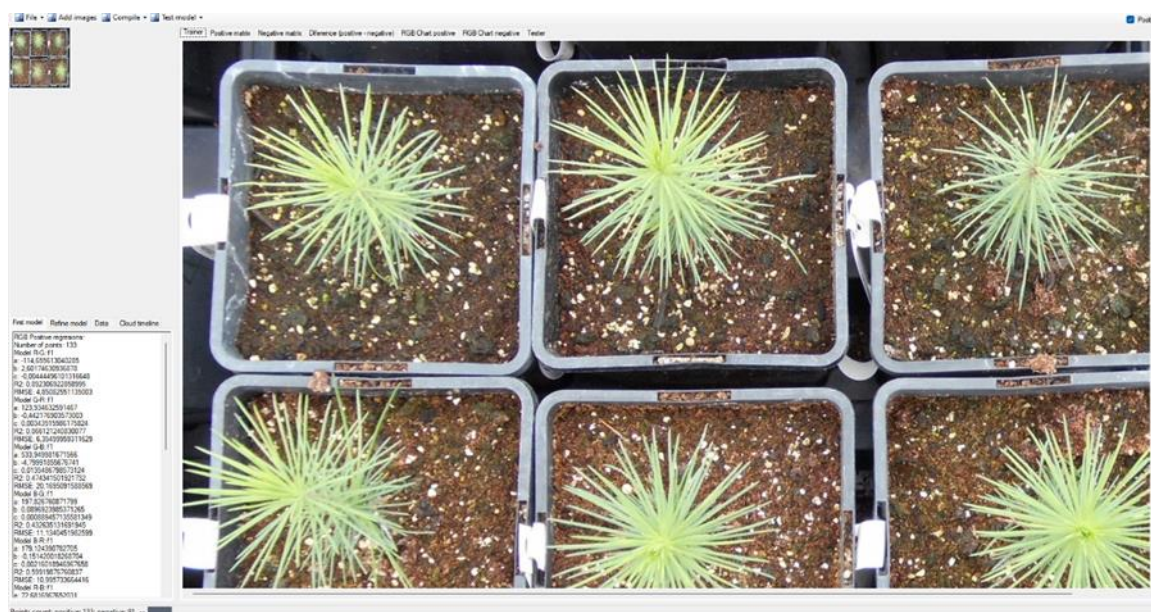


Figura 1. Imagen en la que se desea detectar las plántulas de pino en las macetas.



Figura 2. Inspección visual de la segmentación lograda. El subconjunto objetivo (plantas) se sombrea en verde con el modelo positivo, en rojo se sombrea el modelo negativo.

Tabla 1. Estimaciones de parámetros y coeficiente de determinación ( $R^2$ ) para la función que mejor se comportó en cada caso. Los datos corresponden al ejemplo de este estudio, para el modelo positivo se seleccionaron de 133 píxeles y para el modelo negativo 91 píxeles. Las estimaciones se obtuvieron mediante el uso de la biblioteca MathNet.Numerics.dll, implementada en Visual Studio Community 2019.

	Relación	Tipo	$a$	$b$	$c$	$R^2$
Positivo	$R=f(G)$	F1	-114,655	2,608	-0,004	0,892
	$G=f(B)$	F1	533,950	-4,800	0,0135	0,474
	$B=f(R)$	F1	179,124	-0,151	0,002	0,599
	$G=f(R)$	F1	123,935	-0,442	0,003	0,866
	$B=f(G)$	F1	197,827	0,0897	0,0009	0,433
	$R=f(B)$	F1	72,682	-0,485	0,004	0,586
Negativo	$R=f(G)$	F1	-310,989	4,471	-0,009	0,941
	$G=f(B)$	F1	9,085	1,143	-0,0006	0,937
	$B=f(R)$	F1	62,9624	0,421	0,0008	0,8079
	$G=f(R)$	F1	112,407	-0,128	0,003	0,904
	$B=f(G)$	F1	-92,559	1,9047	-0,0025	0,9429
	$R=f(B)$	F1	5,128	4,720	-0,010	0,882