

# Segmentación, esqueletización y extracción automática de la estructura de raíces de *Arabidopsis Thaliana*

Fenoglio, Angelo y Sikh, Lautaro

**Abstract**—La *Arabidopsis Thaliana* es una planta crucifera que crece en Europa y Asia y es muy utilizada como modelo para estimaciones moleculares y fenológicas. Es por esto que el estudio de la arquitectura de esta planta se torna importante. Para poder realizar esto, es necesario segmentar cada raíz de las imágenes de prueba para poder analizar las características de cada tipo. Para esto, propusimos un método para la eliminación de las hojas de las raíces, para su posterior segmentación luego de preprocesarlas, para así esqueletizarlas y obtener el grafo representativo de las mismas de forma tal de obtener una estructura digital de dicha raíz capaz de ser manipulada para obtener estadísticas sobre ella.

## I. INTRODUCCIÓN

La *Arabidopsis Thaliana* es una planta pequeña, de entre 10 a 30 cm, nativa del continente europeo aunque por su capacidad de adaptarse a cualquier medio ambiente, puede ser encontrada en casi todo el mundo. Es una planta fácil de cruzar y modificar genéticamente y posee un ciclo de vida corto, lo que la hace atractiva para estudios fenológicos al día de hoy.

Para poder analizar las características de cada variante de esta planta, una primera aproximación puede hacerse a partir del estudio de sus raíces y así obtener distintas medidas. Para esto, es importante realizar una buena segmentación de las mismas para diferenciarlas del fondo u otros elementos. Una forma de realizar esta tarea es hacerla de forma manual, pero esto resulta tedioso y en casos, dificultoso.

Por ello, en este trabajo proponemos un método para realizar esta tarea de forma automática a partir de técnicas morfológicas de procesamiento de imágenes conjuntas de métodos de realce y detección de componentes que permitan luego obtener el grafo representativo de dicha raíz como se especifica en la imagen 1.



Fig. 1: Esquema propuesto

Se trabajó con 3 variantes de dicha planta: Col0, APOLO y slr, como se ve en la imagen 2. En cada imagen hay 3 ejemplares de cada uno de estos tipos.

## II. PREPROCESAMIENTO Y SEGMENTACIÓN

En la imagen 3a se extrajo una de las variantes de la planta (APOLO), a partir de la aplicación de una máscara. El primer paso de preproceso consiste en estirar el rango dinámico de la imagen para mapearla al rango [0, 255] y así incrementar el contraste entre las raíces y el

fondo. La operación llevada a cabo se realiza mediante la transformación

$$I_c = 255 \frac{I - \min(I)}{\max(I) - \min(I)} \quad (1)$$

donde  $I_c$  es la imagen mapeada en el rango [0, 255] e  $I$  es la imagen original.

El siguiente paso del preproceso es extraer las hojas que se encuentran al inicio de las raíces ya que las mismas no son de utilidad en la segmentación y puede producir errores de clasificación. Para esto se llevan a cabo operaciones morfológicas de erosión y dilatación con un elemento estructurante cuadrado de 3 pixeles de lado.

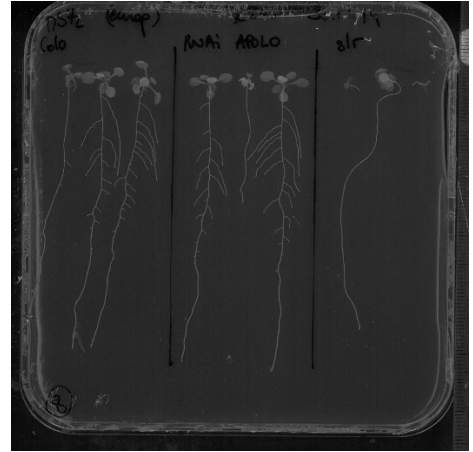


Fig. 2: Ejemplo de las semillas trabajadas

Se obtiene una imagen libre de hojas restándole a  $I_c$  la imagen obtenida por este proceso, como se establece en la imagen 3c.

Luego de esto se utiliza un detector de líneas con ventana adaptativa, para realzar las estructuras lineales de la raíz por sobre el fondo y otras imperfecciones, propuestos en [1] y [2]. Él mismo utiliza una ventana de tamaño variable en el rango [3, 15] con ángulos cambiantes entre [0, 180] y resolución angular de 15 grados. La línea que mejor se adapte a la raíz será la ganadora y se crea una imagen con la suma de todas las líneas ganadoras. Se obtiene la línea de largo  $l$  con el mayor nivel promedio de gris  $L_l(i, j)$  y se calcula  $S_l(i, j) = L_l(i, j) - N_l(i, j)$  para cada pixel, donde  $N_l(i, j)$  es el valor promedio de grises en la ventana de tamaño  $l$ . Los resultados se pueden ver en la imagen 4a.

Por último, se realizó una eliminación de elementos menores

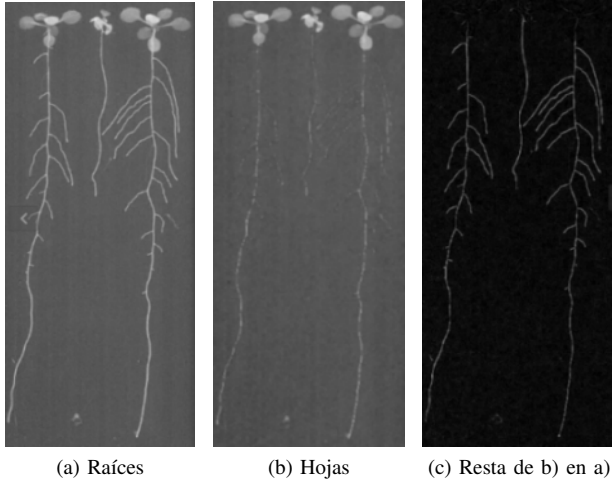


Fig. 3: Extracción de hojas

a partir de la búsqueda de contornos de pocos puntos, que representan artefactos indeseados que no componen la raíz como se ve en la imagen 4b y 4c.

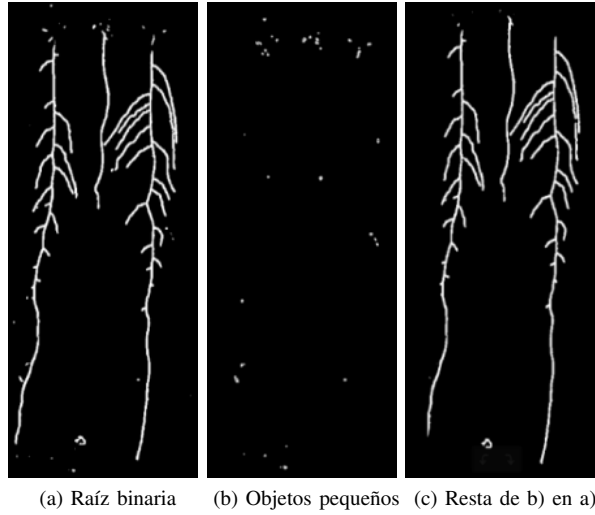


Fig. 4: Raíz Segmentada

El método de segmentación se validó a partir de una segmentación manual realizada por un observador humano, tomada como ground truth. Los resultados promedio de todas las segmentaciones pueden verse en la Tabla I.

TABLE I: Coeficientes de la segmentación

Coeficiente	Col0	APOLO	sIr	Total
Dice	0.763	0.793	0.582	0.712
Jaccard	0.632	0.659	0.426	0.572

### III. ESQUELETIZACIÓN

La técnica de esqueletización implementada consiste en una inspección espacial de cada pixel que compone la raíz segmentada en el paso anterior y es una implementación

basada en el algoritmo de adelgazamiento propuesto por Zhang y Suen [3].

Primeramente se preprocesa la imagen para rellenar pequeños puntos negros que pudieran aparecer en el medio de los tallos. Luego, para cada pixel de la imagen binarizada, se obtienen sus 8 vecinos inmediatos y en base al cumplimiento de ciertas condiciones definidas por los autores del algoritmo, el pixel se borra o no. Esto se realiza de forma iterativa sobre toda la imagen hasta que no se registren cambios en la misma. El resultado puede verse en la imagen 5a

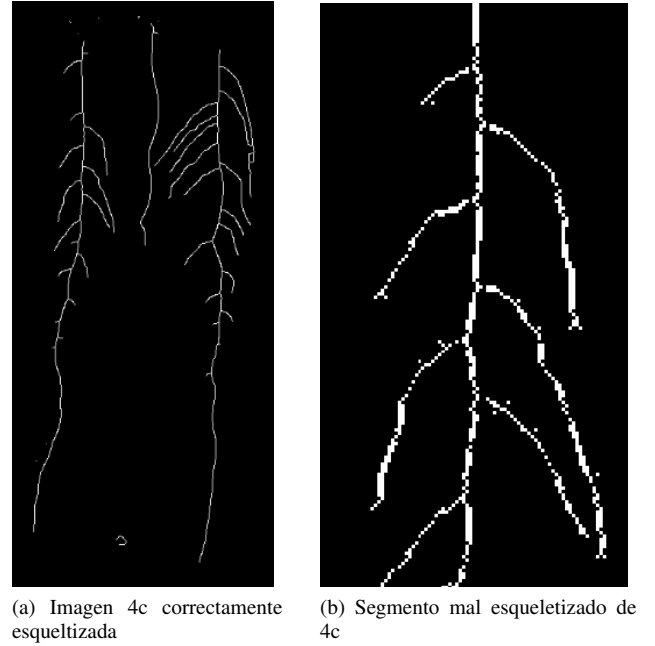


Fig. 5: Casos de esqueletización

Se consideraron otras técnicas de esqueletización basadas en operaciones morfológicas de erosión y dilatación, como puede verse en la imagen 5b. Pero esta variante produce, en ciertos casos, cortes indeseados en las raíces debido a las erosiones o sustracciones.

### IV. CONSTRUCCIÓN DEL GRAFO

A partir de la imagen 5a, se procede ahora a generar una estructura de nodos y conexiones que representen a las raíces como grafos.

Para esto, primeramente se procede a encontrar todos los puntos de finalización de las raíces, estos corresponden a los puntos extremos del tallo principal y los puntos finales de cada raíz secundaria. El paso siguiente es encontrar todos aquellos puntos que corresponden a una intersección, siendo una intersección un punto en el tallo principal donde se produce una ramificación de una raíz a partir del mismo. En función de estas dos estructuras, se procede a recorrer la imagen esqueletizada desde el punto de finalización más alto de la misma por sobre los píxeles blancos hasta llegar a punto de intersección o uno de finalización. Si se visitara un píxel donde se produce una bifurcación, se recorre de

forma recursiva en todas las direcciones posibles de forma expansiva a partir de ese punto hasta el próximo punto de finalización, llevando registro de la conexión que se produce entre estos dos nodos.

En la imagen 6 puede observarse el resultado obtenido, donde los puntos rojos que se observan representan nodos de finalización o intersecciones y las líneas blancas son las conexiones registradas.

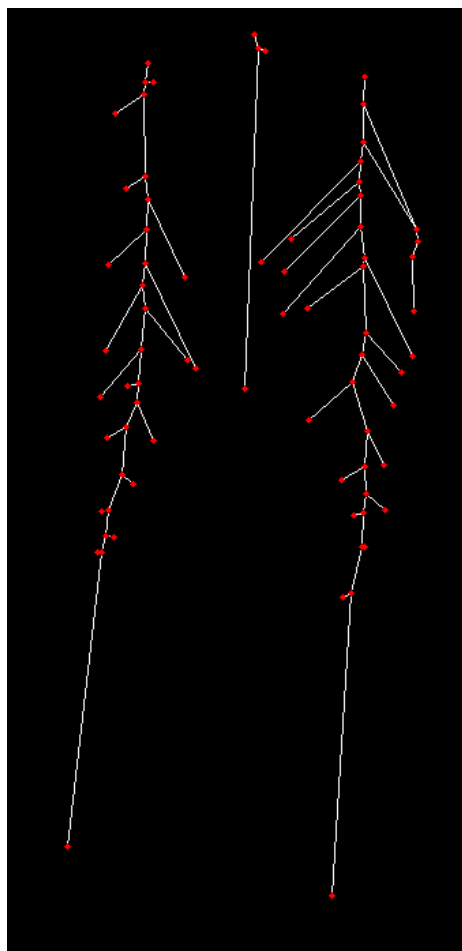


Fig. 6: Grafo representativo de la imagen 5a

## V. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En este trabajo se desarrolló un método para procesar una imagen como la provista en la imagen 2 y obtener al final una estructura que representa el contenido de la misma como se ve en la imagen 6.

Esto implicó un arduo trabajo en cuanto a preprocesamiento de la imagen respecta, para luego poder realizar una correcta segmentación. Es destacable mencionar que los resultados visuales de las etapas posteriores están fuertemente ligados con la calidad del preproceso, por lo tanto se considera que se podrían obtener resultados aún mejores.

La importancia de contar con una estructura de las raíces provistas en forma de nodos y conexiones es muy útil para obtener información acerca de las mismas, como por ejemplo: largo del tallo, cantidad o tamaño de raíces secundarias,

comparaciones con los otros tipos, entre otras.

Así mismo, también se contempla la posibilidad de trabajar con imágenes de mejor calidad, ya que se observaron del data-set provisto algunos defectos en los elementos de soporte o espaciamiento entre plantas que dificultaron el pre procesamiento, esto produjo que en ciertos casos los resultados obtenidos de alguna de las 3 etapas no fueran del todo precisos.

Todos los códigos, data-set e imágenes generadas pueden verse en <https://gitlab.com/angelofenoglio/Trabajo-Final-PDI>

## VI. TRABAJOS FUTUROS

Por último, se propone como un trabajo futuro partir de las estructuras generadas en este proyecto para obtener las estadísticas anteriormente mencionadas y así realizar comparaciones entre los 3 tipos distintos de plantas estudiadas para comprender la naturaleza de cada una.

## REFERENCES

- [1] Orlando, J., Manterola, H., Ferrante, E., Ariel F.: Arabidopsis roots segmentation based on morphological operations and CRFs. Pladema Institute, UNCPBA, Argentina, 2017.
- [2] Ricci, E., Perfetti, R.: Retinal blood vessel segmentation using line operators and support vector classification. Medical Imaging, IEEE Transactions on 26(10) (2007) 1357–1365
- [3] Zhang, T. J., Suen, C. Y.: A Fast Parallel Algorithm for Thinning Digital Patterns. Communications of the ACM Volume 27 (1984) 236–239.