

# Folium

Relatos botánicos

**6 IMAGE J:** una herramienta indispensable para medir el mundo biológico.

**18 UNA EXTRAÑA SOBREVIVIENTE VEGETAL:** *Lactoris fernandeziana* (Lactoridaceae).

**24 VIDA EN LAS ROCAS:** plantas rupícolas.

**36 PSILOTUM,** un singular enigma evolutivo.



# Folium

Relatos botánicos

**Folium – Relatos botánicos** es un órgano de difusión de la Sociedad Argentina de Botánica encargado de publicar relatos de viajes y expediciones botánicas, descripciones de especies curiosas o de interés, experiencias educativas, listas de especies, ampliación de distribución de especies, y cualquier otro artículo que contribuya a la divulgación del conocimiento botánico regional. Se edita un volumen anual. Los trabajos son sometidos a un sistema de arbitraje antes de ser aceptados. Las instrucciones a los autores pueden consultarse en <http://botanicaargentina.com.ar/fohium>

**Folium** es propiedad de la Sociedad Argentina de Botánica. Domicilio legal: Av. Angel Gallardo 470 CABA.

©Sociedad Argentina de Botánica. Córdoba, 2018.

Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal, Avda. Vélez Sarsfield 299, 5000 Córdoba, Argentina. Tel.: 0351 – 433 2104



Fecha de publicación: 21 Septiembre de 2018.

ISSN en trámite.

## EDITOR

**Pablo Demaio** – Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Catamarca.

## COMITÉ EDITORIAL

**Marcelo Arana** - Departamento de Ciencias Naturales, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas, Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Río Cuarto.

**Mariela Fabbioni** - Plantas Vasculares, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta

**Alfredo Grau** - Instituto de Ecología Regional, Universidad Nacional de Tucumán.

**Julio A. Hurrell** - Laboratorio de Etnobotánica y Botánica Aplicada (LEBA) Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de la Plata.

**Héctor Keller** - Instituto de Botánica del Nordeste – CONICET

**Darién Prado** - Cátedra de Botánica, IICAR-CONICET, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario.

**Eduardo Pucheta** - Grupo de Ecología del Desierto (GEDes), Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan.

**Javier Puntieri** - Instituto de Investigaciones en Recursos Naturales, Agroecología y Desarrollo Rural (IRNAD), Universidad Nacional de Río Negro.

**Gustavo Scarpa** - Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia" - CONICET, Buenos Aires

**Abelardo Vegetti** - Cátedra de Morfología Vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral, Esperanza, Provincia de Santa Fe.



Presidente:

**Gabriel BERNARDELLO**

Vicepresidente:

**Gloria E. BARBOZA**

Secretaria:

**María Laura LAS PEÑAS**

Secretaria de Actas:

**Natalia E. DELBÓN**

Tesorero:

**Gustavo DELUCCHI**

ProTesorero:

**Claudio A. SOSA**

Vocales Titulares:

**Lucas CARBONE, Rocío DEANNA, Raquel SCRIVANTI, Rita MORERO, Cecilia TRILLO, Marcelo ARANA**

Vocales Suplentes:

**Elena Noemi GARI, Melisa GIORGIS, Federico O. ROBIATI, Melina SCANDALIARIS**

Revisores de cuentas:

**Ana Sofia MACHADO, Pablo H. DEMAIO.**

DISEÑO

**Carlos Speranza**

EDITORIAL

# A modo de presentación

*Folium, relatos botánicos* es un nuevo proyecto editorial de la Sociedad Argentina de Botánica: una revista digital destinada a la divulgación del conocimiento botánico local.

Durante mucho tiempo fue una tradición de los botánicos argentinos la publicación de obras destinadas al público no especialista: Eduardo Holmberg, Cristóbal Hicken, Miguel Lillo, Lorenzo Parodi, Milan Dimitri, Alberto Castellanos, Lucas Tortorelli, Raúl Martínez Crovetto y José Santos Biloni, entre otros, inspiraron con sus obras a generaciones enteras de botánicos.

Nuestra aspiración es continuar con esa tradición, a través de una publicación que incorpore relatos de viajes y expediciones botánicas, descripciones de especies curiosas o de interés, experiencias educativas, listas de especies, ampliación de distribución de especies, y cualquier otro artículo que contribuya a la divulgación del conocimiento botánico regional, con un fuerte componente fotográfico y visual, y un estilo ameno y directo que invite a su lectura a estudiantes, entusiastas de las plantas, docentes de todos los niveles y expertos de otras disciplinas interesados en la botánica.

Siempre hay historias fascinantes detrás de un artículo académico, aventuras que no podemos contar en un paper, pero atesoramos como esa parte indispensable y vital de nuestra profesión. Y también hay hipótesis en construcción, experiencias pedagógicas, hallazgos metodológicos que no encuentran un canal para su comunicación en las revistas convencionales. *Folium* es una invitación para contar todas esas cosas; se alimentará de las anécdotas, el ingenio literario, las ideas, y la pasión que sin dudas abundan en la comunidad botánica argentina.

Esperamos que disfruten de este primer número, y que se entusiasmen por contar en los próximos sus propias ideas e historias, alimentando esa tradición que hizo de la botánica la "Ciencia Amable".



DR. PABLO DEMAIO

---

Facultad de Ciencias  
Agrarias, Universidad  
Nacional de Catamarca.







## CONTENIDO

**6**

Image J: una herramienta indispensable para medir el mundo biológico.

**18**

Una extraña sobreviviente vegetal: *Lactoris fernandeziana* (Lactoridaceae).

**24**

Vida en las rocas: plantas rupícolas.

**36**

*Psilotum*, un singular enigma evolutivo.





**DRA. ANA MARIA GONZALEZ.**

Profesora Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE - Investigadora CONICET, Instituto de Botánica del Nordeste. Corrientes. [hipertextosbiologia@gmail.com](mailto:hipertextosbiologia@gmail.com).

# Image J: una herramienta indispensable para medir el mundo biológico

Los estudios realizados en ciencias naturales involucran el uso de imágenes o bioimágenes. El mundo biológico puede ser registrado con cámaras fotográficas (incluidas las de los teléfonos celulares), escáner de mesa o por su pequeño tamaño requerir equipos que permitan ver detalles microscópicos como lupas y microscopios ópticos (MO). Cuando esos equipos no tienen el poder de resolución suficiente, los investigadores recurren a microscopios electrónicos de barrido (MEB) y de transmisión (MET), con los que se logran grandes aumentos.

Al momento de analizar un material, el investigador debe realizar mediciones sobre el mismo, de modo de ponderar la muestra y agregar objetividad a sus observaciones. Para ello existe una amplia gama de herramientas de software, tanto comerciales como de código abierto; pero para trabajar en una *imagen científica* se requiere un *programa científico*, y con esta filosofía fue creado **ImageJ**.

ImageJ es un programa de procesamiento de imágenes diseñado para imágenes científicas, desarrollado por Wayne Rasband en el U.S. National Institutes of Health (NIH) que está en continuo desarrollo desde 1997 (1).

ImageJ se descarga gratuitamente desde <https://imagej.nih.gov/ij>. Además de su gratuidad, otra característica fundamental es que su código fuente es de dominio público, significando que no está sujeto a derechos de autor, con lo que se promueve su distribución y modificación, solo citando la fuente (2). Al estar construido con Java, (de allí la "J") funciona en cualquier sistema operativo: Linux, Mac OS X y Windows, ya sea de 32-bit o 64-bit.

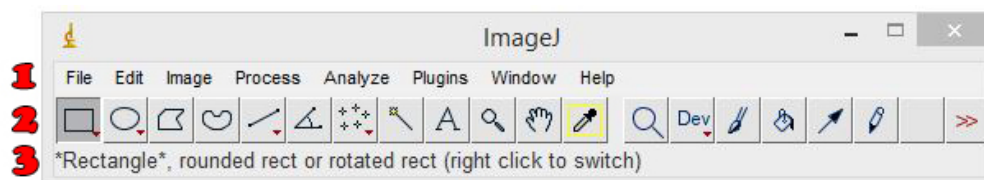
Este artículo pretende demostrar el uso básico de **ImageJ** y sus aplicaciones, explicados a través de ejemplos concretos, muchos de los cuales constituyen la tarea cotidiana de una especialista de la botánica y la anatomía vegetal como la autora.

## Trabajando con Image J:

Como todo programa, cuenta con una barra de trabajo, peculiarmente pequeña y flotante en el escritorio de su computadora. La misma posee tres secciones:

- 1- **MENÚS:** despliega más accesos como File, Edit, Image, Window, etc.
- 2- **BOTONES DE HERRAMIENTAS:** permite elegir la herramienta de trabajo, ej: selección de área rectangular, oval, puntos, zoom, etc.

**Figura 1:** Interfase del programa ImageJ.

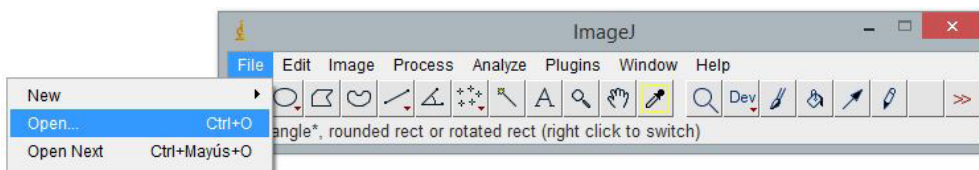




3- **BARRA DE INFORMACIÓN:** en forma de texto en la parte inferior, cambia dependiendo de la herramienta seleccionada.

## Empezar a trabajar

*Primero lo primero:* desde el menú **File > Open**, podrá abrir una imagen. ImageJ está configurado para abrir cualquier formato de imagen, los más frecuentemente usados son Jpg y Tiff.



**Figura 2:** Comando Abrir un archivo.

## Calibrar la imagen

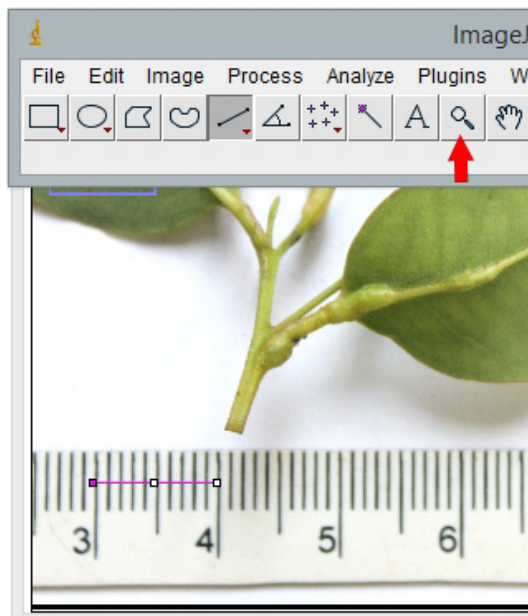
No importa en qué formato esté la imagen, en realidad la información está en píxeles. Lo primero que se debe hacer es calibrar la imagen. El proceso de calibración espacial implica cambiar los píxeles de una imagen por valor conocido en mm, cm, micras, etc. Siempre necesitará una referencia, como una regla colocada en la imagen, o algún objeto de tamaño conocido en la foto.

Veamos el procedimiento de calibrado con una escala ya presente en la foto:

Con la herramienta selección de **línea**, dibujar una línea a lo largo de la referencia de escala. Puede usar el **Zoom** (flecha roja en fig. 3) para ser lo más preciso posible.

En la barra de menús elija **Analyze > Set scale**, Fig. 4.

Introduzca la dimensión de la línea dibujada en el cuadro **distancia conocida** (Known distance) y establezca la unidad en la caja **unidad de longitud** (Unit of length). En el ejemplo la línea se dibujó sobre la medida de 1 cm, Fig 5.



**Figura 3:** dibujo de una línea sobre objeto de referencia para calibrar la imagen.

Figura 4: Establecer la calibración.

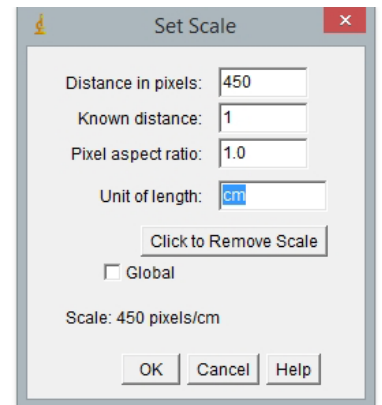
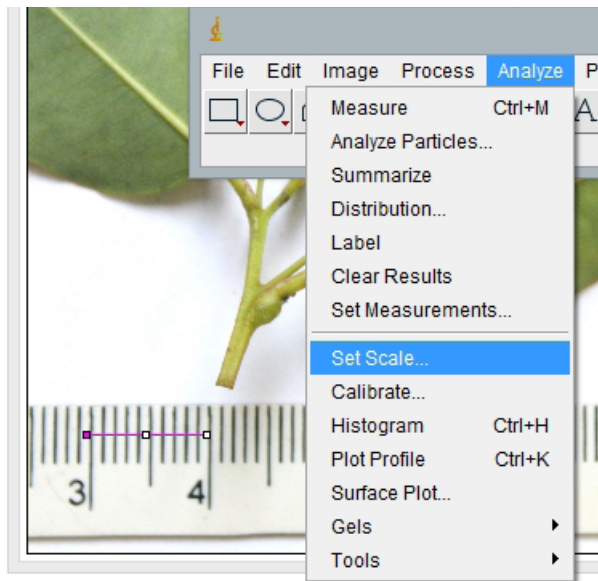


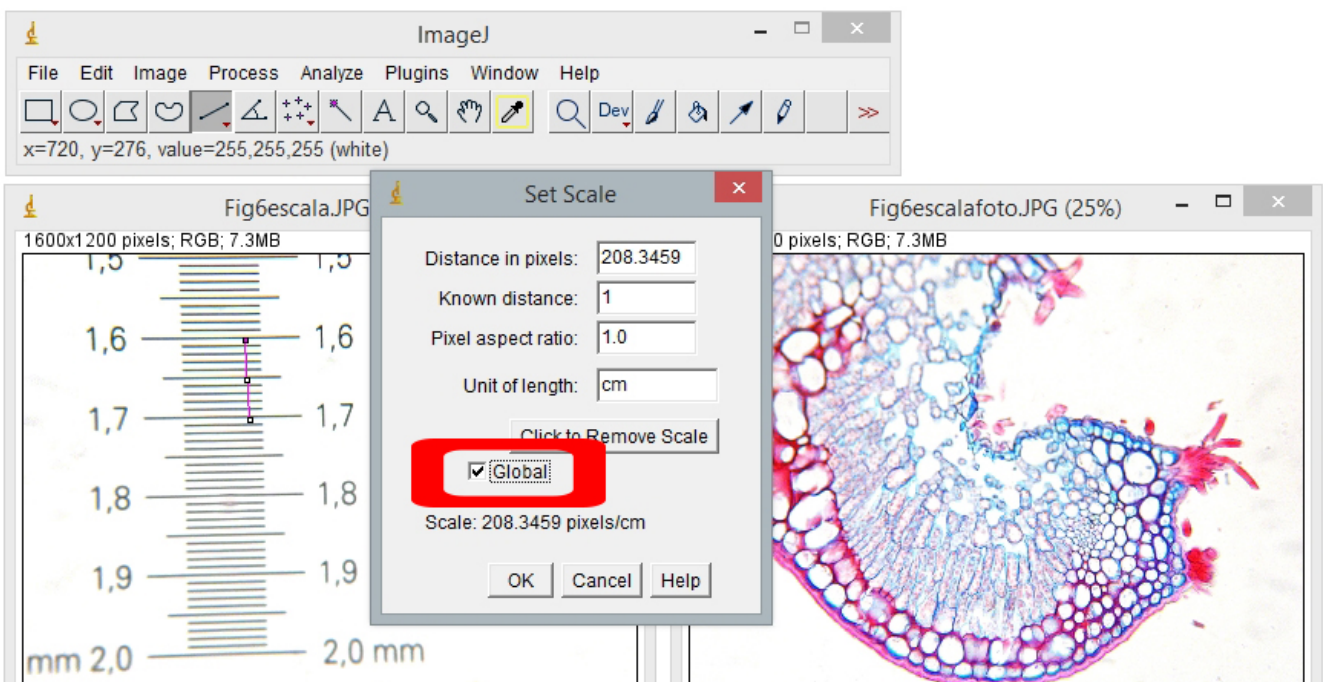
Figura 5: parámetros de la escala

### Y si la foto no tiene escala?

- Si al tomar la foto la misma tiene algún objeto de dimensiones conocidas como una moneda, una lapicera o inclusive sus dedos, éstos pueden ser usados para calibrar la imagen.
- Otro caso es cuando se trabaja con placas de Petri, las mismas son de dimensión conocida, que puede usarse para la calibración espacial.
- Si la foto fue tomada con microscopio óptico y la cámara no tiene la función de colocar una escala, una opción es tomar una segunda foto de una regla (*tomadas con el mismo aumento*!). Abra ambas imágenes en ImageJ, calibre la que tiene la escala y marque global. De esta manera la calibración realizada se aplicará a las siguientes imágenes, permitiéndole medir y no cambiará hasta que vuelva a calibrar una nueva imagen o cierre el programa.

Figura 6: Calibrar fotos sin escalas usando dos imágenes.

**Ejemplo:** en la Fig. 6 la primera foto fue tomada a una regla graduada con objetivo de 20x y la segunda foto es un corte de hoja tomado al mismo aumento:





## Poner la barra de escala en la foto

Desde menú **Analyze > Tools > Scale Bar**, ImageJ le permite elegir el tamaño de la barra, también su posición, color, y tipo de letra entre otros.

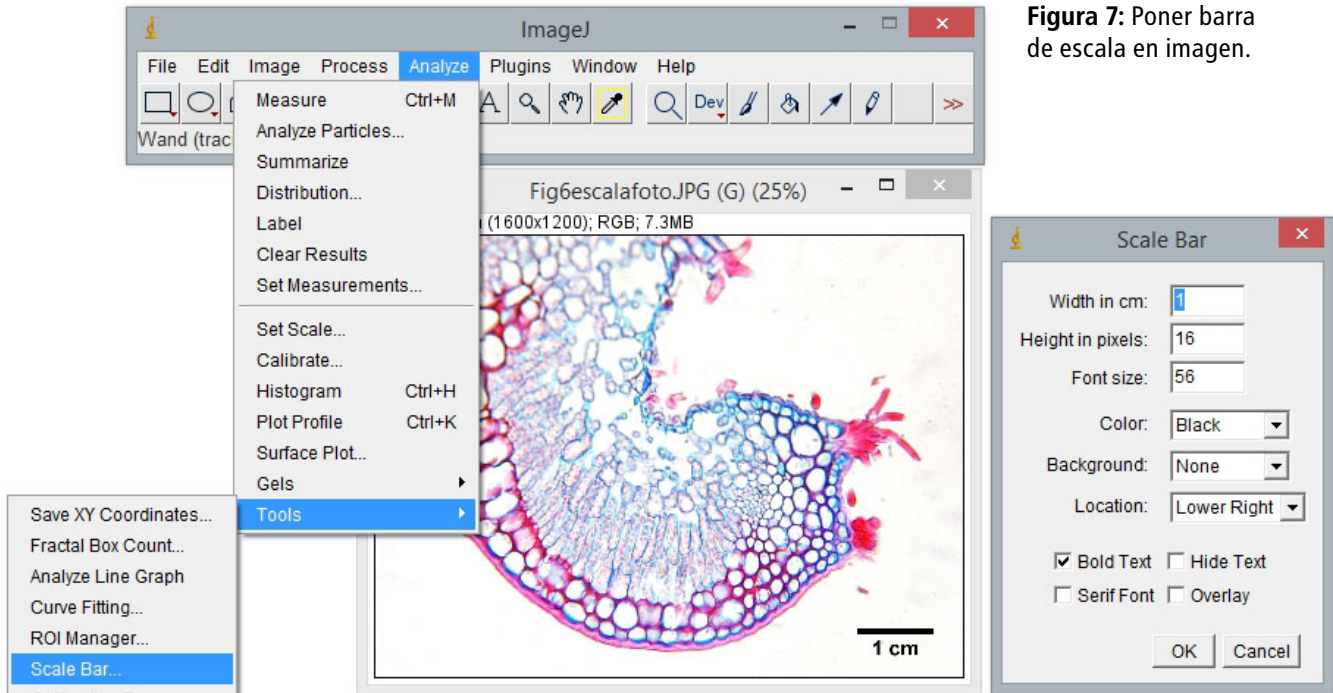


Figura 7: Poner barra de escala en imagen.

## Midiendo longitudes

Una vez que se calibró la imagen ya puede realizar cualquier medición, ya sean líneas o áreas. Primero deberá seleccionar lo que desea medir trazando una línea o dibujando un área y desde el Menú **Analyze > Measure**; o más simple presionando la letra “m” de su teclado. Una nueva ventana de **Results** le mostrará el valor ponderado. Ésta es una tabla de Excel© que puede guardar para futuros trabajos, usando **File > Save**.

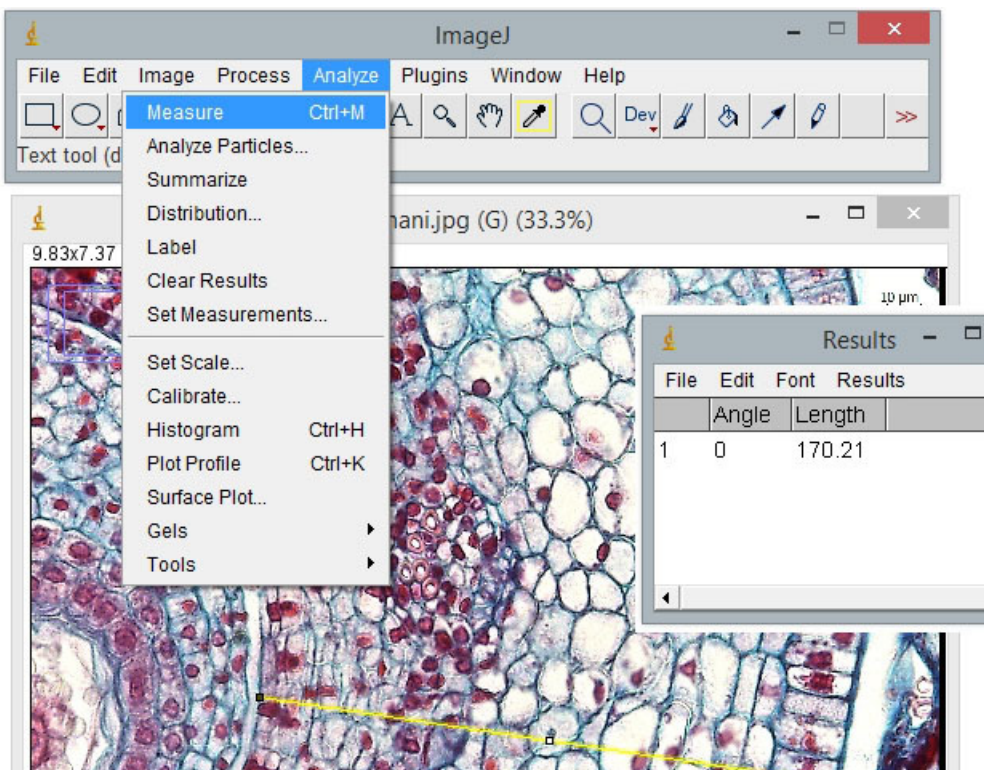
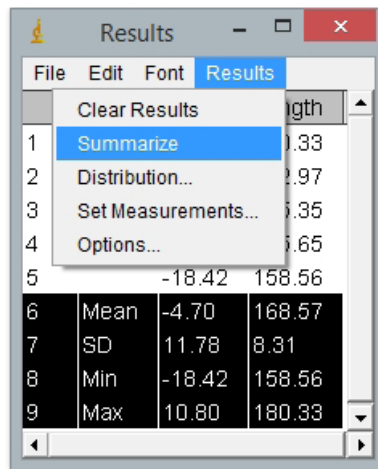


Figura 8: medir el ancho del carpelo en corte transversal de flor de maní (*Arachis hypogaea*).

**Figura 9:** Ventana de Resultados para cinco mediciones y Sumario.



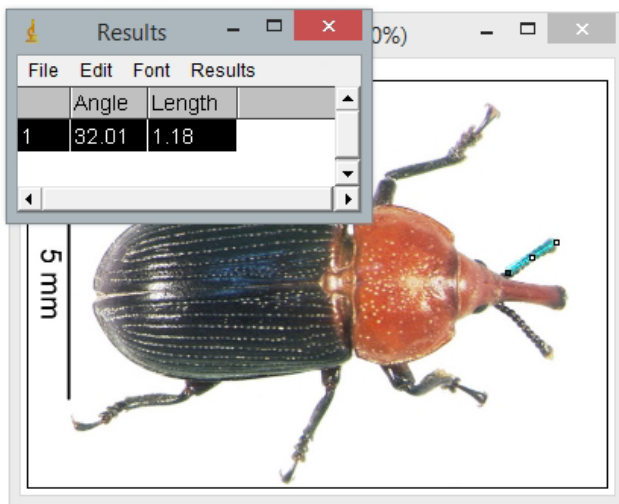
**EJEMPLO:** veamos el procedimiento para medir el espesor de la pared del ovario en este corte transversal de una flor de maní.

1. Calibrar la imagen.
2. Dibujar una línea que cubra el ancho del carpelo (amarilla en el ejemplo).
3. Medir: presionando la letra "m"

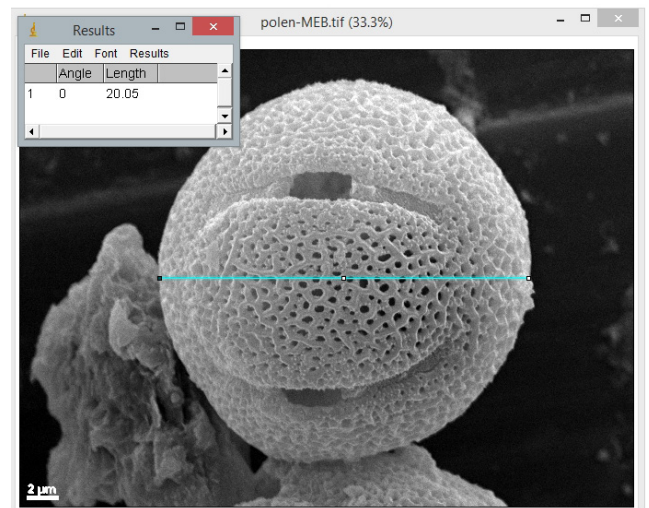
Si realizó numerosas mediciones, en la misma ventana de **Results** puede elegir **Summarize** y obtendrá los valores promedio (Mean), desvío standard (SD), mínimo (Min) y máximo (Max).

Recuerde que estos datos pueden ser guardados (es una tabla de Excel ©), desde menú File de la misma ventana.

**OTROS EJEMPLOS DE MEDICIONES:**

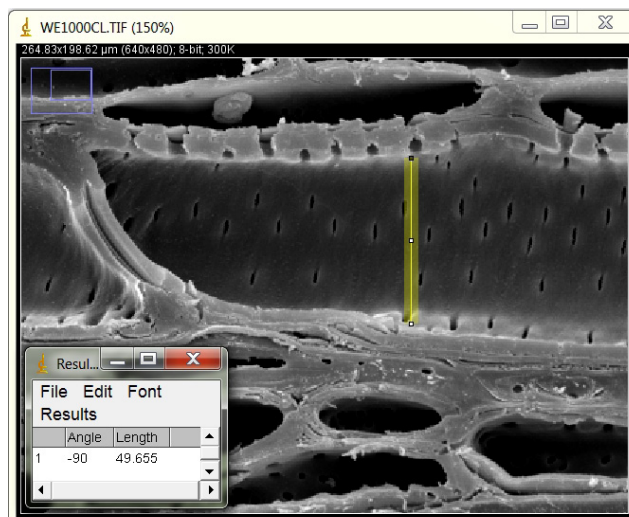


**Figura 10.** Antenas, patas de insectos.



**Figura 11.** Diámetro polar de granos de polen.

**Figura 12.** Células del leño.





Además de medir líneas rectas, también puede usar **línea a mano alzada** o **líneas segmentadas**. Algunos ejemplos:

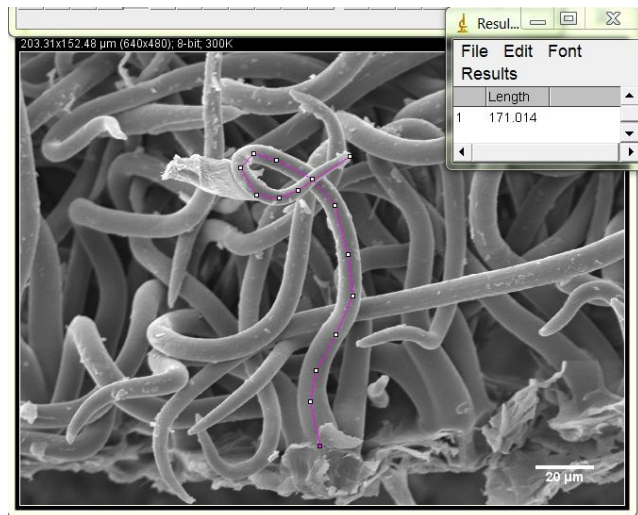


Figura 13. Pelos.

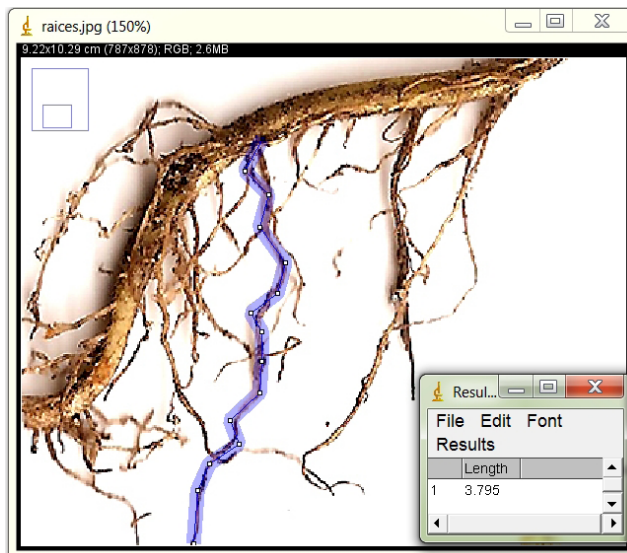


Figura 14. Raíces

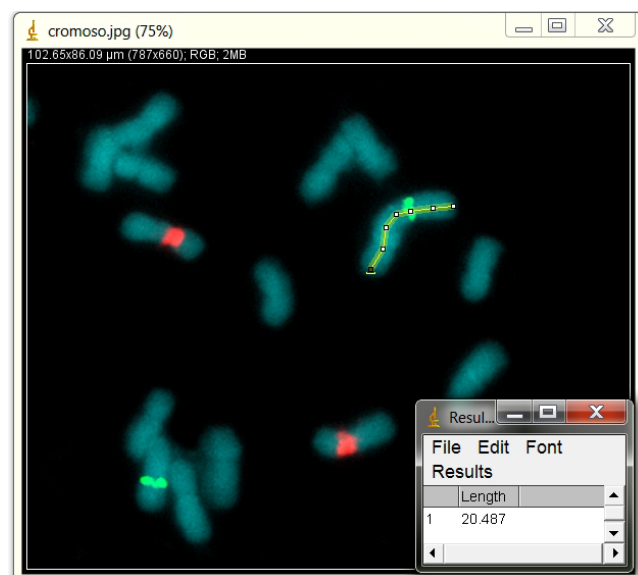


Figura 15. Cromosomas  
© G.Seijo.

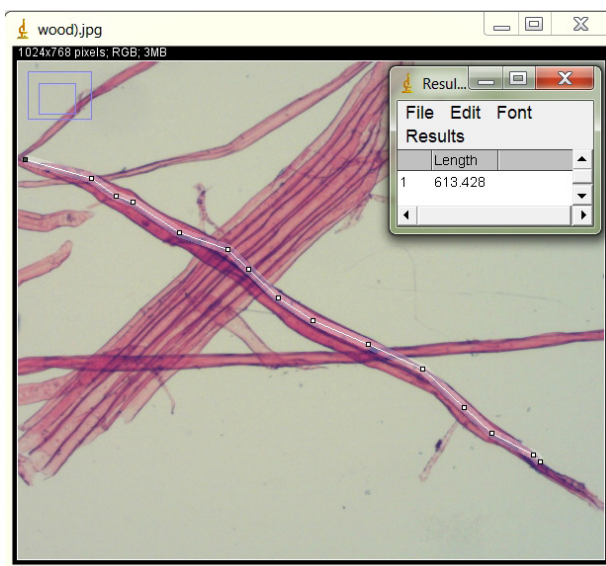


Figura 16. Leño disociado  
© A.Aguilera.

## Medir Áreas

La mayoría de los comandos en el **ImageJ** funcionará sobre una región de la imagen que es preciso seleccionar o separar de alguna manera, lo que se denomina selección de un área de interés (regions of interest, ROIs).

Se puede definir un área específica de interés dentro de la imagen, usando cualquiera de las herramientas de selección en la barra de trabajo: **rectangular**, **oval**, **poligonal** y **mano alzada**.

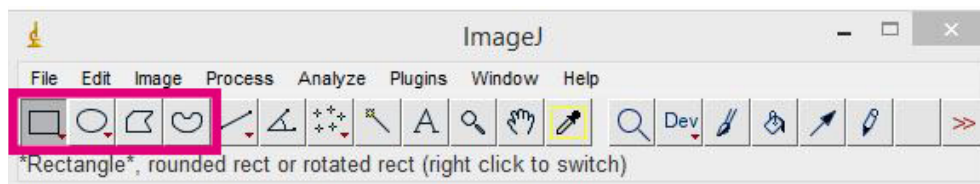


Figura 17: selecciones de áreas de interés.

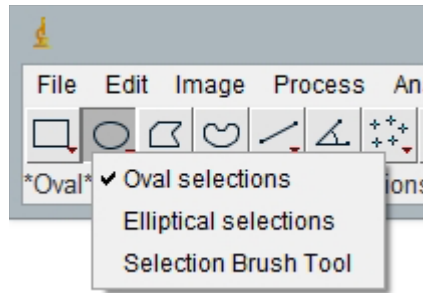
**MUCHAS HERRAMIENTAS TIENEN DOS OPCIONES:**

**DOBLE CLIC SOBRE ELLA:** despliega un menú contextual que permite establecer parámetros de la herramienta.

**TRIÁNGULO ROJO ▼:** al hacer clic con botón derecho del ratón posibilita cambiar de herramienta.

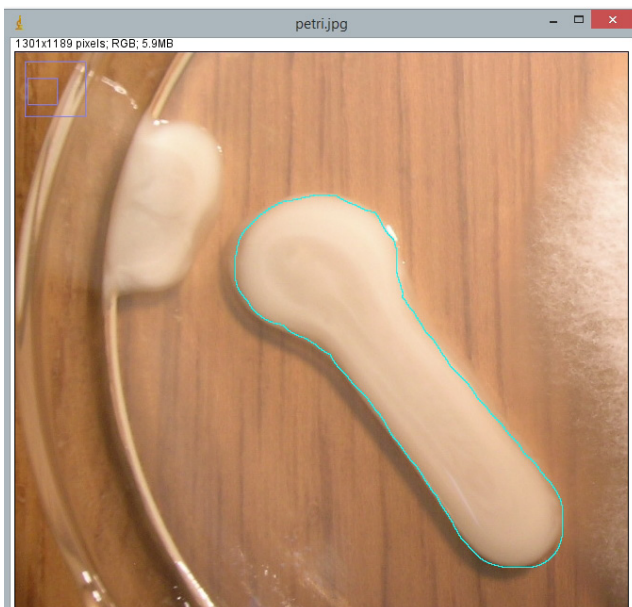
Por ejemplo puede cambiar entre selección **oval**, **elíptica** y **brush tool** (cepillo). Esta última selecciona la forma del área utilizando un “pincel” circular.

**Figura 18:** selecciones Oval, Elíptica y Cepillo.

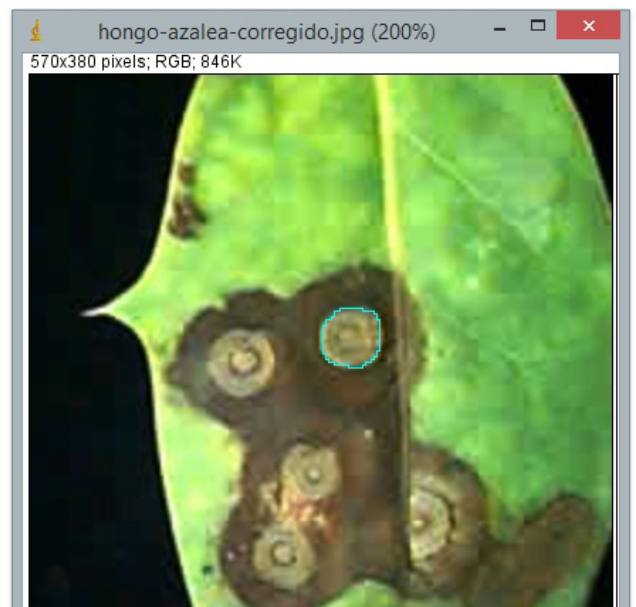


El diámetro del **Cepillo (brush)** se puede ajustar haciendo doble clic en el icono de la herramienta y comenzar a “pintar” sobre lo que se desee medir. Para ajustar la selección, al hacer clic en el interior del área de selección y arrastrando a lo largo de su límite se ampliará el límite hacia el exterior. Por el contrario, al hacer clic fuera del área de selección y arrastrando hacia adentro se reducirá el tamaño.

Algunos ejemplos del uso de esta herramienta (note la línea celeste que delimita su perímetro):



**Figura 19:** Áreas de cultivo en placas de Petri.



**Figura 20:** Zonas determinadas de una muestra.

**Varita (wand tool):** es otra forma de seleccionar zonas por su color. Crea una selección mediante el trazado de los objetos de color uniforme. Para trazar un objeto haga clic en el interior del mismo y mueva el cursor, y se seleccionarán áreas de color similar.

Haciendo doble clic en el icono de la herramienta de **Varita** (o **Edit > Options > Wand Tool**) se abre el cuadro de diálogo de configuración en el que le dejará aumentar el valor de tolerancia (Legacy). A mayor tolerancia, mayor el área seleccionada.



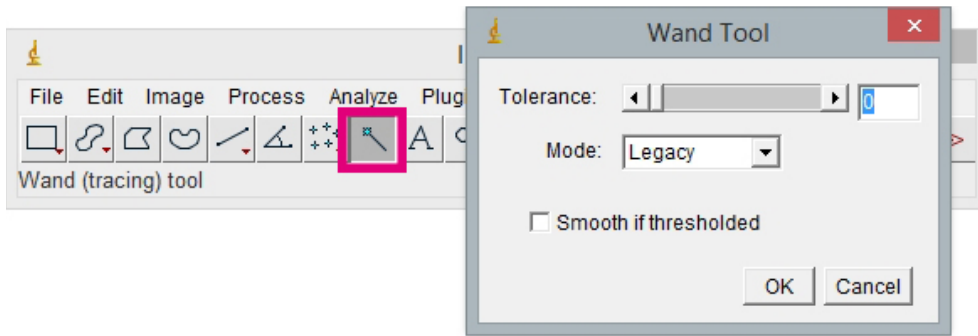


Figura 21: Herramienta varita mágica.

EJEMPLO DE USO: para calcular área foliar completa puede aumentar la tolerancia, lo que le permitirá seleccionar toda la hoja.

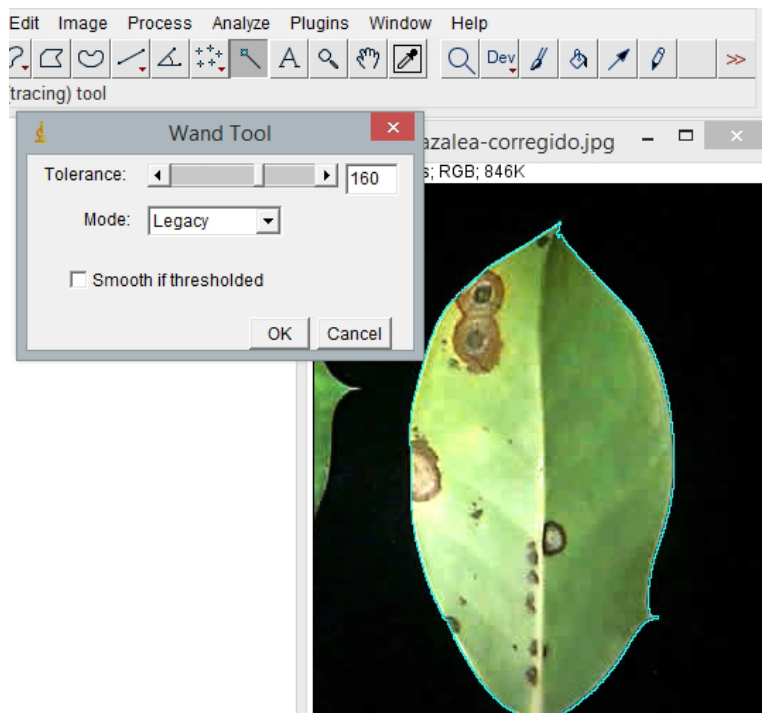


Figura 22: Varita mágica para elegir todo el área de la hoja.

Si calibró la foto inicialmente, podrá medir el área. En el menú **Analyze> Set Measurements**, tilde **Area**. Realizando la medición (**m**) obtendrá el área foliar total.

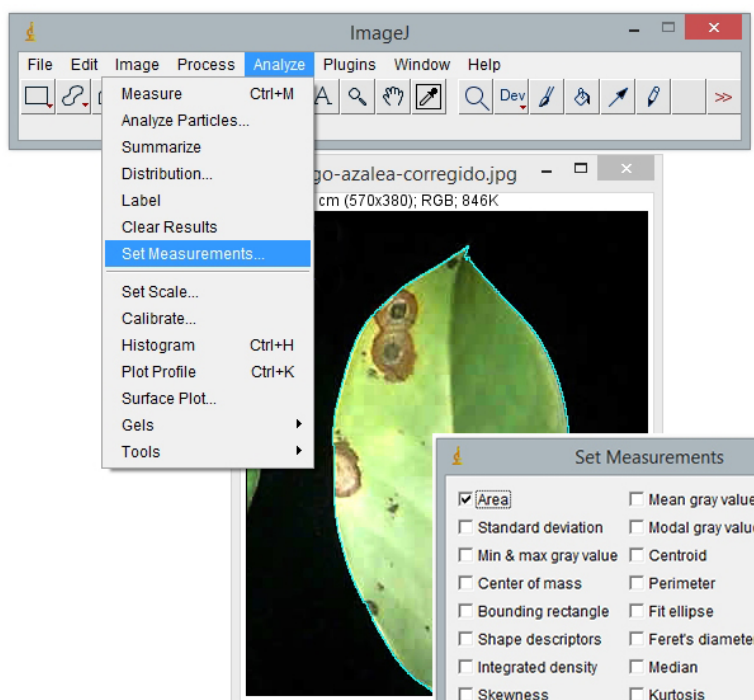


Figura 23: Establecer mediciones para áreas.

## Múltiples mediciones? ROI MANAGER al detalle

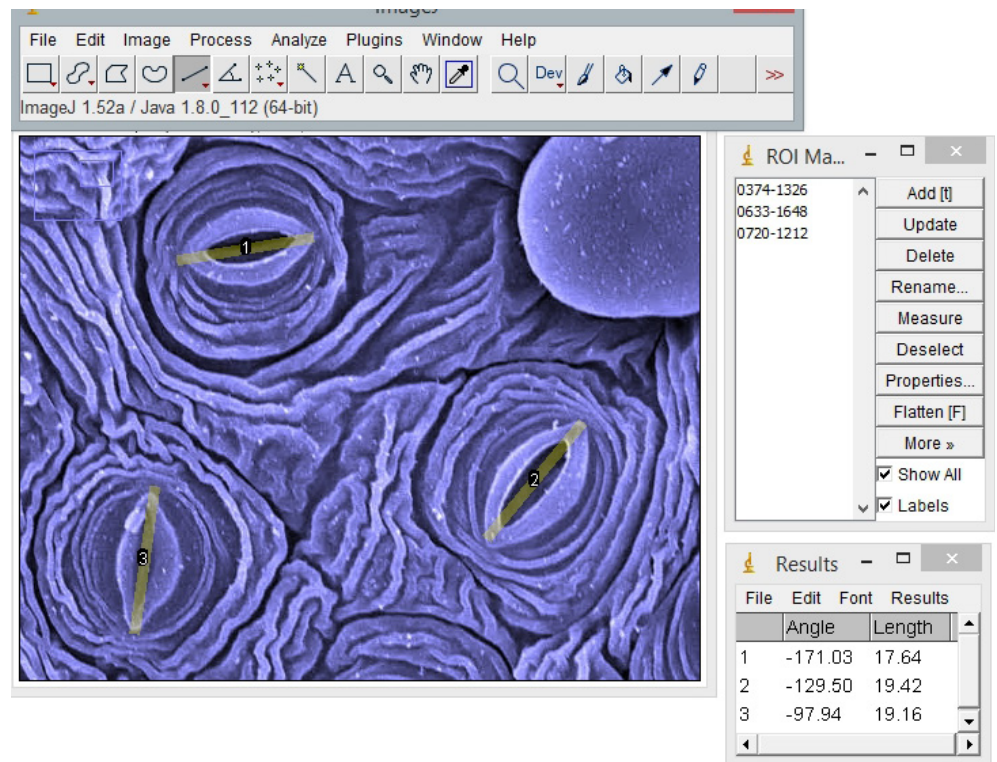
Esta es una herramienta para trabajar con múltiples selecciones, las que pueden ser de diferentes ubicaciones en una imagen, de diferentes segmentos o de diferentes imágenes. Todos los tipos de selección, incluyendo puntos, líneas y texto, son compatibles.

Se accede de varias maneras:

- Menú Edit> Selection> Add to Manager
- Menú **Analyze > Tools> ROI Manager**
- Letra “T”

**EJEMPLO:** medir la tamaño de varios estomas en una foto de hoja (MEB). Inicie calibrando la imagen y luego abrir **ROI manager**. Dibujar una línea sobre estructura que quiere medir (ostíolo por ejemplo) luego haga clic en **Añadir** (Add) para agregar la selección actual a la lista, o pulse “t”. Agregue tantas líneas como mediciones desee. Verifique estén tildados **Show All** y **Labels**, así las podrá ver las líneas a medida que las dibuja. Al completar todas las selecciones podrá medir todas ellas con el comando **Measure**, obteniendo una tabla de **Result**, donde también puede calcular valores promedios, SD, mínimo y máximo, como se explicó previamente.

**Figura 24:** ROI Manager midiendo longitud de estomas en hojas (MEB).



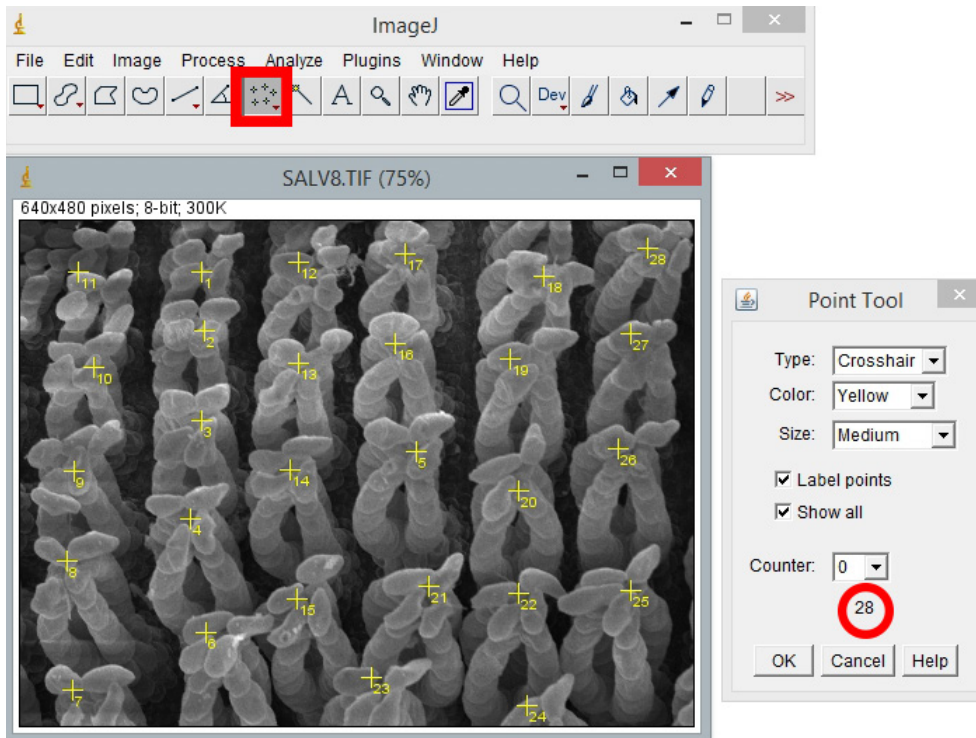
### OTROS EJEMPLOS DONDE PUEDE SER USADO ROI MANAGER:

- Diámetros de elementos del leño (vasos, parénquima, etc.)
- Longitud de células disociadas (leño), usando líneas segmentadas.
- Longitud de piezas de inflorescencias en Gramíneas (brácteas, pedúnculos, etc.), usando líneas segmentadas.
- Áreas de halos de inhibición en cultivos en placas de Petri
- Áreas foliares: escaneando varias hojas (con escáner de mesa común) se puede medir el área de cada una y obtener una lista con todas las medidas de una sola vez.



## Contar

Esto no puede ser más sencillo en ImageJ, basta con abrir una imagen, seleccionar la herramienta **Point tool** y empezar a hacer clic en las estructuras a contar. En la ventana emergente puede elegir tipo de marca (punto, círculo, cruz, etc.), color y tamaño. En la misma ventana se irán registrando los puntos contados (señalado con un círculo en la figura). Si desea borrar un punto presione ALT y haga clic en el mismo; también puede moverlos.



**Figura 25:** Herramienta Point tool contando tricomas en foto MEB de *Salvinia*, una planta acuática.

**OTRO EJEMPLO:** esta herramienta es muy útil combinada con cálculo de área para evaluar densidad de tricomas o estomas.

Para completar el cálculo de densidad requiere además calcular el área, para ello:

1. Calibre la foto
2. Seleccione el área completa de la foto: **Menú Edit > Selection > Select all** (o solo *control+ A*) y mida ("M").

**ALGUNOS EJEMPLOS DONDE PUEDE SER USADO POINT TOOL PARA CONTAR:**

- Estomas
- Cromosomas
- Raíces laterales
- Flores o espiguillas por inflorescencias
- Número de hojas por planta en diversos fenotipos
- Colonias en placas de Petri

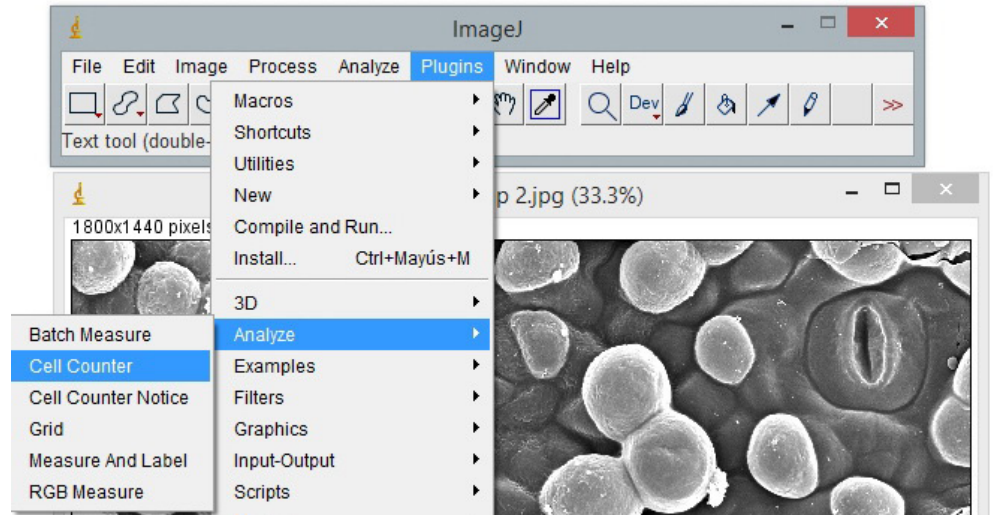
## Un tip final: los PLUGINS

Como ImageJ es un programa de código abierto, cientos de pequeñas herramientas o **PLUGINS** se han agregado desde su creación. Muchos ya fueron incorporados al instalador. Pero la mayoría de los plugins están disponibles para que el usuario interesado lo descargue y use gratuitamente (visite <http://imagej.net/plugins>).

Veamos el procedimiento con uno de estos plugin denominado **Cell Counter**, cuyo nombre ya nos indica lo que es capaz de hacer. *No sólo permite contar células, puede contar lo que desee !*

**INSTALACIÓN:** desde <http://imagej.net/plugins/cell-counter.html> debe descargar el archivo “*cell\_counter.jar*” dentro de la carpeta **plugins** del programa ImageJ, y reiniciar ImageJ. Dentro del menú **Plugins > Analyze** aparecerá “**Cell Counter**”

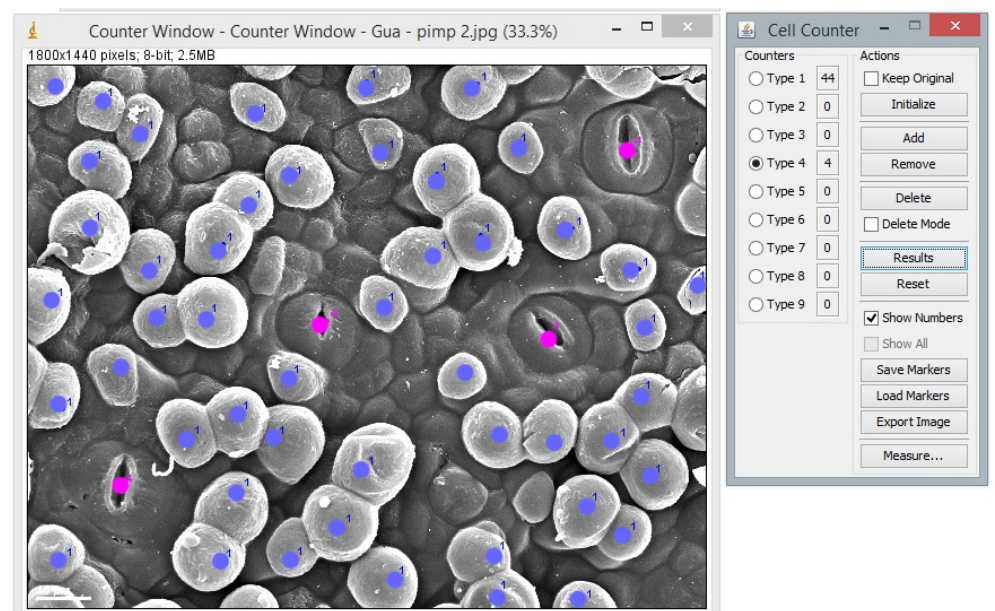
**Figura 26:** Abrir Plugin Cell Counter.



**EJEMPLO DE USO:** si necesitamos contar densidad de pelos y estomas en un área específica, por ejemplo en la superficie de una semilla de algodón en formación (MEB, Fig. 27).

1. Abra la imagen con estructuras que desee contar, calibre la imagen y calcule área total. Este paso no es imprescindible para el Cell Counter, pero si para el objetivo que es conocer número de papilas y estomas por área de semilla.
3. Abrir **Cell Counter** y elegir la opción **Initialize**, que creará una imagen duplicada.
4. Elija algún tipo de contador con **Type** del menú, cada uno de estos contadores permite colocar puntos de colores distintos para marcar diferentes células en la imagen (Type 1: azul, 2: cian, 3: verde, 4: magenta, 5: naranja, 6: rosa, 7: rojo, 8: amarillo, etc.). En el ejemplo se eligió el Type 1 con puntos azules para las papilas (la casilla muestra un total de 44 en la foto) y Type 4 con puntos color magenta para los estomas (hay 4 en la foto).

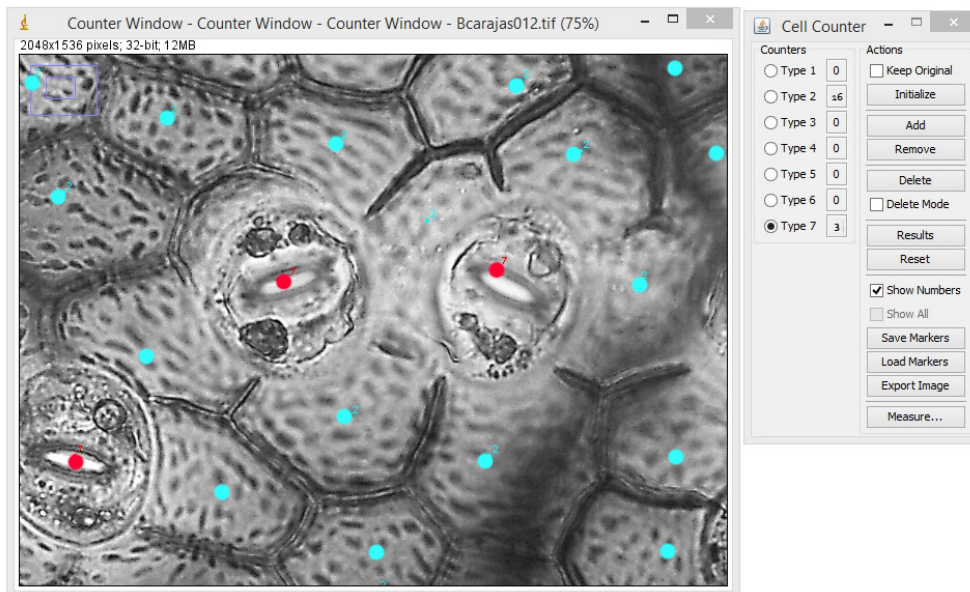
**Figura 27:** Uso del Plugin Cell Counter contando pelos y estomas en semilla joven de algodón (*Gossypium hirsutum* - MEB).





**ÍNDICE ESTOMÁTICO:** es otro ejemplo donde se demuestra la utilidad de esta herramienta. El IE fue creado por Salisbury (3) para mostrar la variación de densidad de estomas y se calcula con la fórmula IE:  $Es / Es + Ep (100)$ , para la cual se necesitan el número de estomas por unidad de área (Es) y de células epidérmicas en la misma área (Ep).

Si la foto está a colores conviene convertirla a escala de grises previamente, para ver las fácilmente los puntos de colores. Para ello seleccione **Menú > Image > Type > 32Bits**. Luego siga los pasos anteriormente descritos en uso de Cell Counter. En la figura 28 puede ver los estomas marcados con puntos rojos y las células epidérmicas con puntos azules. En la barra lateral el número de cada elemento: 3 estomas y 16 células epidérmicas en el ejemplo.



**Figura 28:** Contando estomas y células epidérmicas (MO) para Índice estomático con Cell Counter.

#### OTROS EJEMPLOS, CELL COUNTER PUEDE USARSE PARA CONTAR:

- Granos de polen viables y vanos.
- Diferentes tipos de células sanguíneas.
- Mezclas de semillas muy pequeñas, diferenciando semillas sanas, vanas o contaminaciones.
- Densidad de vasos/células parenquimáticas/radios en leño.

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Schneider CA, Rasband WS, Eliceiri KW, et al. 2012. Nih image to imagej: 25 years of image analysis. *Nat Methods*. 9: 671–5.
2. Rasband, WS, ImageJ, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <https://imagej.nih.gov/ij>. 1997-2016.
3. Salisbury EJ. 1927. On the causes and ecological significance of stomatal frequency, with special reference to the woodland flora. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 216: 1–65



**GABRIEL  
BERNARDELLO**

Gabriel Bernardello es Dr. en Ciencias Biológicas, Profesor de Introducción a la Biología de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (Universidad Nacional de Córdoba), Investigador Superior (CONICET) y Director del IMBIV (UNC-CONICET).

Cima del sendero  
Robinson Crusoe.

# Una extraña sobreviviente vegetal: *Lactoris fernandeziana* (Lactoridaceae)

**S**udamérica es cuna de muchas intrigantes especies de plantas vasculares. Esta es la breve historia de una de ellas, única por su rareza, su posición filogenética y el hecho de ser un relictos que, casi milagrosamente, sobrevive en una diminuta isla de nuestro planeta.

Además, está unida a mi vida, como estudiante de Biología y como Biólogo. En la primera mitad de la década de 1970, cuando estaba en la carrera, cursé la materia Plantas Vasculares en la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba. La asignatura estaba dictada por el Ing. Armando T. Hunziker y las clases estaban ilustradas por monótonas diapositivas en blanco y negro. Recuerdo, sin embargo, el día en que explicó la enigmática familia Lactoridaceae y su rareza. No imaginé, entonces, que la vida me llevaría tres veces a las fascinantes Islas Juan Fernández donde vive y que la estudiaría en persona. Tampoco soñé que, para alcanzar sus poblaciones, tendría que trepar peligrosamente usando rápel, algo que nunca había hecho en mi vida. Mucho menos sospeché que aportaría conocimientos básicos sobre su reproducción, indispensables hoy para colaborar a su conservación. Pero vamos por partes...

En primer lugar, hablemos del único lugar de toda a Tierra donde crece: una de las tres islas principales del Archipiélago Juan Fernández. Se trata de un pequeño archipiélago volcánico escasamente habitado por unas 500 personas que viven del turismo y de la pesca de langostas marinas en el Océano Pacífico Sur. Lleva el nombre del explorador español que, en la década de 1570, las descubrió. Están





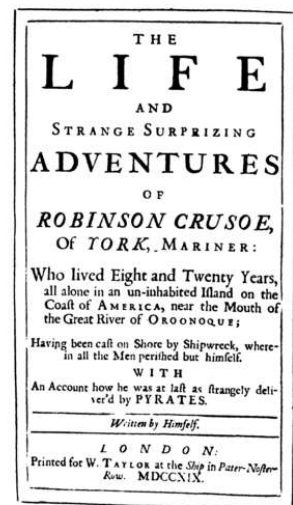


Ubicación del Archipiélago Juan Fernández.



Isla Santa Clara.

situadas a unos 670 km de la costa de Chile, país al que pertenecen, y están compuestas por tres islas principales: Robinson Crusoe (donde vive la mayoría de los habitantes del archipiélago), Alejandro Selkirk y Santa Clara. Son principalmente conocidas por haber sido el hogar, desde 1704 y por más de cuatro años, del marinero inglés Alexander Selkirk, allí abandonado por su propia voluntad gracias a una disputa con el capitán. Luego de dicho período, Selkirk volvió en otro barco a su Inglaterra natal. Su relato fue la comidilla de todas las tabernas inglesas de la época e inspiró la famosa novela *Robinson Crusoe* del escritor Daniel Defoe, quien tomó la idea y la recreó literariamente en otro contexto. Por esto, las islas se conocen también como Islas Robinson Crusoe, y los nombres actuales de las dos islas principales llevan el nombre de nuestro protagonista, aunque los españoles, en su momento y sin mucha gracia, las habían denominado Masatierra y Masafuera, hoy Robinson Crusoe y Alejandro Selkirk, respectivamente.



Primeras páginas de la primera edición del *Robinson Crusoe* de Daniel Defoe.



Cerro Tres Picos.



Vista de la zona oeste de la isla.

Su naturaleza es imponente, y llegar a las islas es una aventura en sí misma por las dificultades para hacerlo. El viaje se hace en avionetas bimotoreas con capacidad para unos 10 pasajeros. El vuelo dura unas 5 horas y el aterrizaje es impresionante: la pista de aterrizaje tiene apenas un poco más de 1 km con mar en cada extremo, de tal modo que la avioneta tiene poco margen de maniobra y, si algo pasa, debe levantar vuelo inmediatamente e intentarlo de nuevo; por la misma razón, es imposible aterrizar con vientos fuertes. Una vez en tierra, hay que ir caminando o en auto a la cercana Bahía Padre, donde una embarcación bastante precaria nos lleva hasta el único poblado, San Juan

Bautista en la Bahía Cumberland, a unos 20 km y rodeando buena parte de la isla.

El archipiélago es un parque nacional chileno y fue declarado Reserva de la Biosfera por la UNESCO, sobre todo por el patrimonio biológico que representa el elevado nivel de endemismos vegetales que posee. Tiene un clima mediterráneo subtropical, moderado por la fría Corriente de Humboldt y por los vientos alisios, con una precipitación anual promedio de 1.000 mm. Su fauna es muy limitada, sin mamíferos, reptiles o anfibios terrestres nativos y con algunos insectos y aves, destacándose un colibrí endémico (*Sephanoides fernandensis*) y uno nativo (*Sephanoides sephaniodes*) que actúan como importantes polinizadores. Hay, no obstante y desafortunadamente, una destructiva fauna introducida por humanos, compuesta de cabras, conejos, ratas y coatíes, los cuales son activamente combatidos por los guardaparques.

Botánicamente hablando, se reconocen 208 especies de plantas vasculares, 151 de las cuales son plantas con flores y 57 son helechos y grupos afines. De ellas, 73 especies son nativas y 135 endémicas, a razón de una especie endémica por km<sup>2</sup>, uno de los más altos porcentajes en toda la Tierra.

Entre sus endemismos, se encuentra la sobreviviente que tenemos en la lupa: *Lactoris fernandeziana*, perteneciente a la familia monotípica Lactoridaceae, la única en el mundo restringida a una isla oceánica. Esta especie es, posiblemente, la planta endémica más fascinante del archipiélago y, seguramente, una de las más antiguas. La fascinación no proviene de su aspecto, que es bastante simple y humilde: un arbustito o hierba perenne ginomonoica de hasta 1 metro de altura, con tallos frágiles, redondeados, muy nudosos y ramificados en zig-zag y con hojas elípticas estipuladas. Si bien es una dicotiledónea, sus flores son trímeras (algo propio de





Planta de *Lactoris fernandeziana* y detalle de una rama.

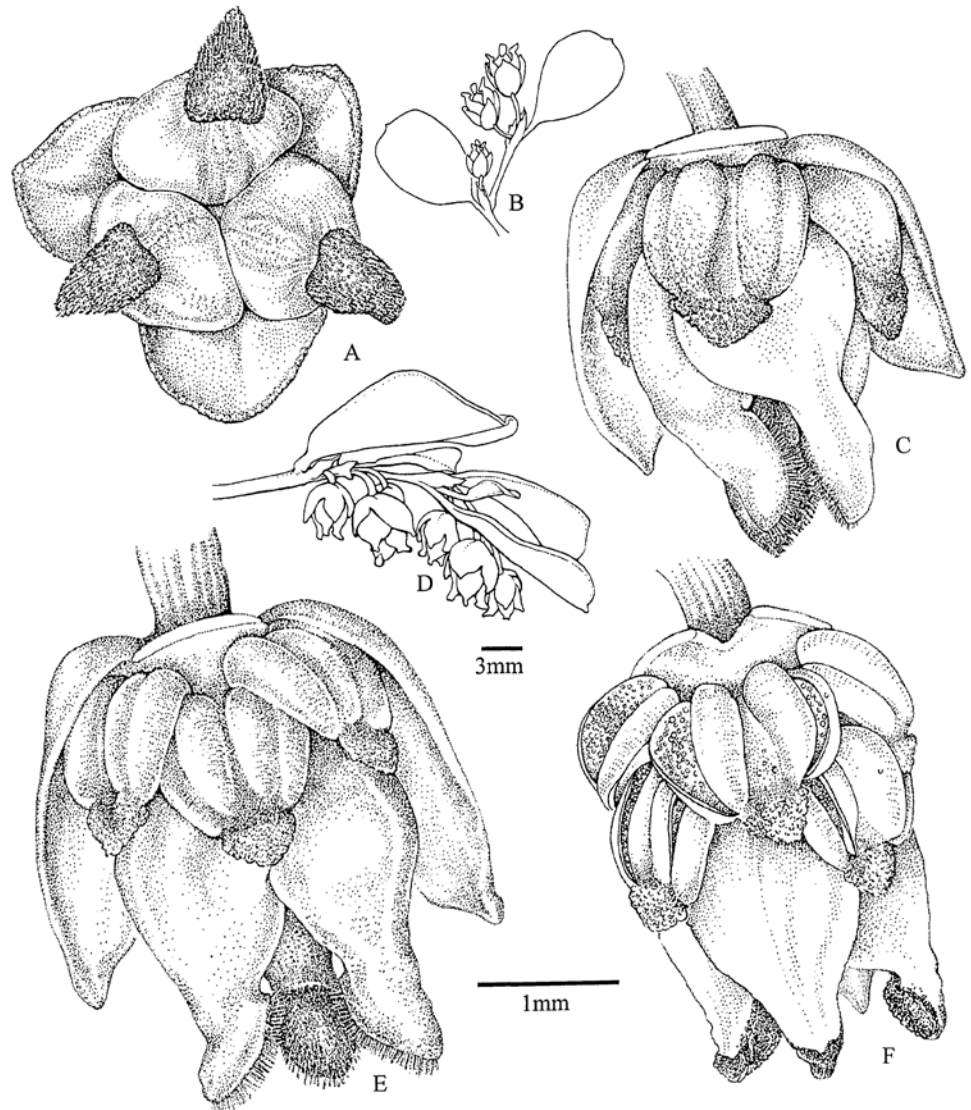
las monocotiledóneas), con 3 tépalos, 6 estambres (a veces solo 3) cuyo polen se dispersa en tétradas y 3 carpelos casi libres con placentación laminar. Por otra parte, sus flores son verdes, inconspicuas, péndulas, autocompatibles y polinizadas por el viento. Habita por encima de los 500 m s.n.m. en el sotobosque de bosques húmedos con helechos arborescentes, especialmente de *Thyrsopteris elegans*, junto con especies de los géneros *Cuminia*, *Coprosma* y *Peperomia*.

Su interés proviene de su rareza y su restricción a la pequeña Isla Robinson Crusoe, de apenas 50 km<sup>2</sup>, así como por haber sido durante mucho tiempo un vegetal de afinidades inciertas dentro de las plantas con flores. Pero principalmente por el hecho enigmático de que su morfología, tan inusual, y la presencia de flavonoles sugieren que se trataba de una especie primitiva que formaba parte de las paleohierbas o angiospermas basales (Archaeangiospermae), más antigua aún que el propio origen de la isla en que hoy habita, fechado en ca. 4 millones de años. En efecto, en base a evidencia microfósil de familias relacionadas y un análisis filogenético morfológico se ha propuesto que la familia debería tener, al menos, 69 millones de años. Informes más recientes han hallado polen fósil de *Lactoris* (como *Lactoripollenites*) en la costa occidental de Sudáfrica (sedimentos del Cretácico superior de ca. 70-90 millones de años), en Australia (sedimentos del Cretácico superior al Oligoceno de ca. 50-70 millones de años), en Tierra del Fuego (sedimentos del Eoceno temprano de ca. 45 millones de años), en la Patagonia argentina (depósitos del Mioceno temprano de ca. 19 millones de años) y posiblemente en Canadá, U.S.A., India y la Antártida. Si estos reportes de fósiles son correctos -y la evidencia parece razonable- entonces la familia tuvo una distribución amplia en el pasado, especialmente en Gondwana, mucho antes de que existieran nuestras Islas Juan Fernández. La dispersión comparativamente reciente a las islas y su extinción, sin explicación, por cierto, en el resto de los continentes donde habitaba, habrían dado como resultado el patrón que se observa en la actualidad. En pocas palabras, estamos ante un misterioso relictos cuya especiación habría ocurrido en



Flores e inflorescencias de *Lactoris fernandeziana*.

A, Vista superior de una flor femenina receptiva. B, Segmento del tallo que muestra tres inflorescencias. C, Vista lateral de la flor hermafrodita recién abierta con el sépalo frontal eliminado. D, Vista lateral del ápice de una rama que muestra la posición de las flores debajo de las hojas. E, Vista lateral de una flor hermafrodita con el sépalo frontal eliminado. F, Vista lateral de una flor hermafrodita más vieja con anteras dehiscentes y con los dos sépalos frontales eliminados. Barras = 3 mm para B y D, 1 mm para el resto.



otro lugar y en otro tiempo. En una desopilante analogía, sería como si en la actualidad una población de tiranosaurios hubiera sobrevivido en alguna isla remota de nuestro planeta. Podemos imaginar la cantidad de documentales que se habríamos visto al respecto...

Su singularidad ha llevado a la ubicación taxonómica de esta especie en su propia familia, Lactoridaceae, con afinidades variables dependiendo de las evidencias disponibles a lo largo del tiempo (Magnoliales, Piperales, Aristolochiales, etc.). Actualmente, filogenias moleculares estiman que *Lactoris* está estrechamente relacionada con las Aristolochiaceae, o bien que está anidado dentro de dicha familia. Otros análisis muestran a Lactoridaceae como hermana del resto de Aristolochiaceae o como hermana tanto de Aristolochioideae como de Hydnoraceae. El registro fósil muestra una antigua divergencia, de entre 93 a 76 millones de años entre Aristolochiaceae y Lactoridaceae, la cual es anterior a la dispersión de *Lactoris* a la isla Robinson Crusoe.

Desde una perspectiva cladística, y para evitar que Aristolochiaceae sea parafilética, *Lactoris* no debería colocarse en su propia familia, sino incluirse dentro de Aristolochiaceae, tal como está ubicada en la última clasificación disponible del "Angiosperm Phylogeny Group". Sin embargo, Lactoridaceae es única y se sostiene su autonomía por sus diferencias estructurales (patrón de ramificación, morfología y desarrollo de inflorescencias y flores, desarrollo de estipulas), palinológicas, anatómicas (de tallo primario y secundario) y embriológicas, así como por el hecho que las ramas largas con base en cambios de nucleótidos separan a Lactoridaceae de las otras familias del clado, un punto de vista que prefiero, sin lugar a dudas.



Hace décadas, se creía que *Lactoris fernandeziana* estaba casi extinta, conocida solo por unas pocas plantas, pero en recientes exploraciones se han localizado muchos más individuos (ca. 1.000) y poblaciones (ca. 15), todas en valles húmedos, afortunadamente muy aislados. Al usar marcadores isoenzimáticos, se ha registrado que existe poca variación genética dentro de la especie, lo que aumenta su susceptibilidad para resistir enfermedades o cambios en el ambiente y acrecienta la probabilidad de su extinción. Con marcadores de RAPD e ISSR más sensibles, se documentó una variación genética algo mayor. No obstante, estos niveles de variación están en el extremo inferior en comparación con otras especies endémicas en el archipiélago.

Esta especie, definitivamente, no es resistente a la perturbación, ya que los únicos lugares en los que prospera son remotos y bien separados de la influencia humana. De cualquier manera, *Lactoris fernandeziana* es un taxón muy raro, debido a su restricción geográfica y a su condición relictual. Por ello, debe considerarse en peligro desde una perspectiva global, especialmente porque representa el único miembro sobreviviente de un antiguo linaje de plantas con flores.

Debido a su limitada variabilidad genética y al incierto futuro ambiental del archipiélago, con serios problemas provocados por los animales y plantas introducidas (sobre todo la terrible zarzamora), una estrategia potencial es tratar de establecer poblaciones fuera la isla. En relación a esta posibilidad, hay que señalar que, aunque sus semillas germinan rápidamente y en un alto porcentaje, sus plántulas no se desarrollan fácilmente.

La estrategia lógica, no obstante, y con certeza, es resguardar el hábitat de esta especie para contribuir a su conservación efectiva. Algo consabido, pero que es necesario decir una vez más...



El autor usando rápel en la Isla Robinson Crusoe.

## BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- BERNARDELLO, G., G. ANDERSON, P. LOPEZ, M.A. CLELAND, T.F. STUESSY & D.J. CRAWFORD. 1999. Reproductive biology of *Lactoris fernandeziana* (Lactoridaceae). *Amer. J. Bot.* 86: 829-840.
- GAMERRO, J.C. & V. BARREDA. 2008. New fossil record of Lactoridaceae in southern South America: a palaeobiogeographical approach. *Bot. J. Linn. Soc.* 158: 41-50.
- QUATTROCCHIO, M.E. 2017. New fossil record of Lactoridaceae in the Paleogene of southern Patagonia (South America). *Revista Museo Argent. Ci. Nat.* 19: 71-84.
- RICCI, M. 2001. Evaluation of conservation status of *Lactoris fernandeziana* Philippi (Lactoridaceae) in Chile. *Biodiver. Conserv.* 10: 2129-2138.
- STUESSY, T.F., D.J. CRAWFORD, G.J. ANDERSON & JENSEN, R.J. 1998. Systematics, biogeography, and conservation of Lactoridaceae. *Perspect. Pl. Ecol. Evol. Syst.* 1: 267-290.
- STUESSY, T.S., D.J. CRAWFORD, P. LÓPEZ-SEPÚLVEDA, C.M. BAEZA & E.A. RUIZ (eds.). 2018. *Plants of Oceanic Islands. Evolution, Biogeography, and Conservation of the Flora of the Juan Fernández (Robinson Crusoe) Archipelago*. Cambridge University Press, Cambridge.



**JUAN JOSÉ CANTERO**

Departamento de Biología Agrícola, Facultad de Agronomía y Veterinaria, UNRC.

Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (CONICET-UNC).

# Vida en las rocas: plantas rupícolas

## De qué se trata?

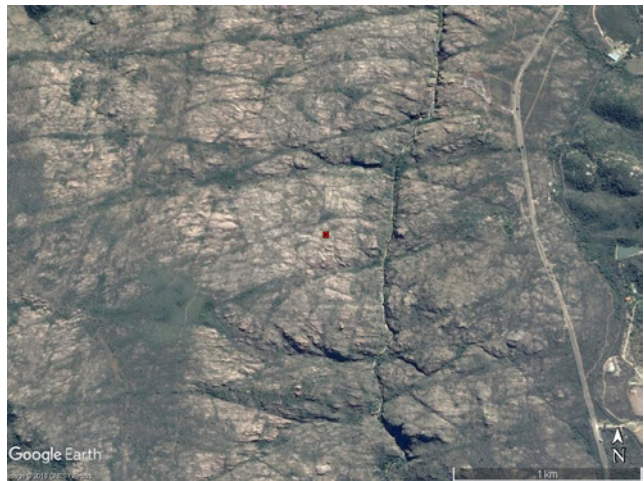
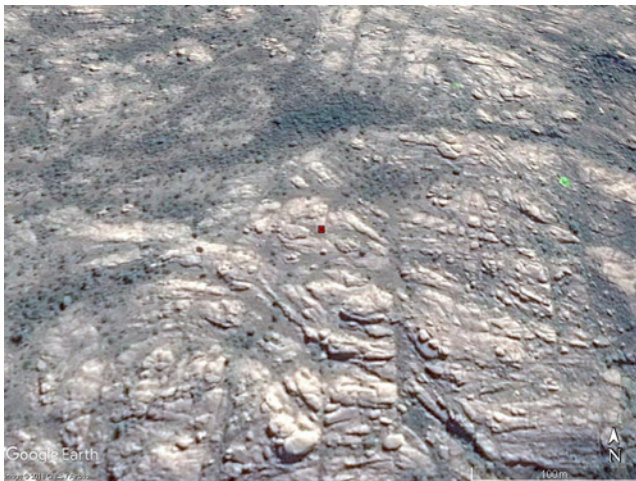
Para poder conservar afloramientos rocosos y su flora asociada es imprescindible conocer esta geodiversidad

## ¿Desiertos de piedra o paisajes habitados?

Un vuelo a baja altura atravesando las Sierras de Córdoba muestra a estos ambientes como aparentes desiertos de piedra con pocas posibilidades para la vida vegetal. Sin embargo, un análisis más cercano revela, primero, a distintos manchones vegetales coloridos colonizando estas superficies y finalmente, con la observación más detallada, a muchas plantas creciendo en las rocas (Fig. 1). Se trata de plantas *rupícolas*, término que es empleado para designar a la planta o comunidad que vive sobre o entre las rocas, aunque también suelen usarse como equivalentes los términos *petrófitas* y *saxícolas* (Fig. 2).

En realidad, la flora y la vegetación de los hábitats rocosos e, inclusive, sus relaciones con diferentes tipos de roca, han llamado la atención a los botánicos desde hace mucho tiempo. Así, Teofrasto, hace unos 2000 años, realizó una de las primeras observaciones geobotánicas documentadas respecto a la relación entre vegetación y sustratos rocosos, al indicar la predilección de un tipo fisonómico de vegetación conocido como *Phrygana* (*phryganae*: del griego “φρυγᾶνον *phr gannon*” leña seca, referido al ambiente donde crecen estas plantas) por los afloramientos rocosos calcáreos de Creta, Grecia. En la actualidad, este tipo de vegetación, un matorral bajo con vegetación calcícola dispersa entre suelo desnudo, es conocido como: Friganas cretenses o *Euphorbio-verbascio*. (Calcícola es un término empleado para referirse a la planta que crece en suelos calcáreos, ricos en carbonato de calcio).

Los afloramientos rocosos, el hábitat natural de las plantas rupícolas (Fig. 3), son superficies geomorfológicas reconocidas en diferentes ecorregiones del mun-



do como importantes centros de diversidad y endemismos de planta (Fig. 4).

Suelen poseer una alta biodiversidad y frecuentemente son asiento de comunidades únicas, con niveles importantes de endemismos y con presencia de especies raras. Al mismo tiempo, estos geosistemas rocosos proveen beneficios ecosistémicos de extrema relevancia para el mantenimiento de la calidad ambiental tales como la recarga y almacenamiento del agua, la regulación climática, secuestro del carbono, soporte de la fauna silvestre, entre otros.

Los afloramientos rocosos influyen en los patrones de vegetación, su composición y diversidad, ya sea en forma directa, al constituir un tipo particular de hábitat, o indirectamente, debido a sus efectos sobre las condiciones microclimáticas, por ejemplo a través de la exposición. Son ambientes extremos para la vida de las plantas por los diferentes tipos de estrés que allí ocurren, hídrico, térmico, lumínico y de nutrientes, con sus múltiples interacciones (Fig. 5).

La especificidad de asociación con las características geoquímicas del sustrato rocoso es frecuente en varias de estas especies rupícolas (Fig. 6).

**Figura 1.** Secuencia de sucesivas vistas de afloramientos graníticos de la Sierra de Córdoba (Capilla del Monte) desde distintas alturas de observación: 5 km, 1 km y 0,01 km de altura, culminando con un detalle de *Mimosa cordobensis* (Leguminosae), especie rupícola endémica local.



**Figura 2.** Especies rupícolas en floración (*Commelina fasciculata*, *Hieracium cordobense*, *Tillandsia vernicosa*) creciendo en tonalitas de la Sierra de Córdoba.





**Figura 3.** Afloramiento de granodioritas, Sierras de Córdoba (Argentina).

## De microsítios y estrategias de ocupación

El espacio para el anclaje y crecimiento de las raíces y la muy baja disponibilidad hídrica de los microsítios, son los factores limitantes preponderantes (Fig. 7).

A tal punto es importante como se manifiestan espacialmente estos componentes de la estructura del hábitat rocoso, que para distintos tipos de sitios de ocupación se ha asociado una terminología particular para designar a las plantas que los habitan (Cuadro).

## Factores ambientales asociados a la diversidad florística

Los factores determinantes de la composición florística de las comunidades rupícolas varían de acuerdo con la escala considerada, regional y local, y en la mayoría de las situaciones representan islas de comunidades xéricas dentro de una matriz de vegetación mesofítica (Fig. 9).

En la escala local, los factores activos en los hábitats rocosos se relacionan con: (a) características de la roca donde crece la vegetación, tal como las propie-



**Figura 4.** *Mutisia castellanosii* var. *comechingoana* (Asteraceae), especie endémica local y rupícola, creciendo en afloramientos de rocas sedimentarias (Los Terrones, Sierra de Córdoba, Argentina).



dades y composición química, (b) patrones de erosión y fracturación -que a su vez están relacionadas con la composición- (rocas calcáreas, cuarcitas, granitos, etc.) y condiciones ambientales locales, (Fig. 10) variaciones topográficas y microclimáticas, y (d) contexto florístico regional, dinámica sucesional, perturbaciones antrópicas como fuego y ganadería, paleoclima e historia. En la escala regional el clima y la altitud son factores discriminantes importante de la composición de la vegetación, este último incorpora los gradientes directos de precipitación (que se incrementa con la altitud) y temperatura (que decrece con la altitud).



**Figura 5.** Afloramientos rocosos: hábitats con múltiples estreses (paredón vertical de basaltos, Sierra de Los Córdobes, Córdoba, Argentina).

## TERMINOLOGÍA USADA PARA LA DESIGNACIÓN DE PLANTAS QUE VIVEN EN HÁBITATS ROCOSOS (FIG. 8)

### Rupícola.

Del latín *rupes*, -is 'roca' y -'cola, adjetivo, que se cría en las rocas. Aquí el término rupícola se emplea para designar a la planta o comunidad que vive sobre o entre las rocas. Otros términos -que no aparecen en la RAE- pero que son también empleados para referirse a estas plantas y comunidades son *petrófita* y *saxícola*.

### Rupestre.

Adjetivo que significa: *perteneciente o relativo a las rocas*; es aplicable a las plantas.

### Litófito.

Planta que crece en o sobre la superficie de las rocas (básicamente los musgos y líquenes, más raramente algunas plantas vasculares, Helechos, especies de *Tillandsia* (claves del aire), Bromeliáceas y Orquídeas que son litófitas). Equivale a *Epilítica*.

### Casmófito.

Planta que crece sobre la roca hincando sus raíces dentro de fisuras o grietas muy finas. Equivale a *Fisurícola*.

### Comófito.

Planta que vive sobre la roca merced al anclaje y desarrollo de sus raíces dentro de fisuras, grietas o diaclasas más o menos anchas con acumulación de material suelto. Equivale a *Fisurícola*.

### Casmo-Comófito.

Comófito que vive aprovechando pequeñas acumulaciones de tierra que rellenan grietas o resquebrajaduras de la roca con ambos tipos de anclaje, en fisuras y grietas pequeñas a medianas. Equivale a *Fisurícola*.

### Petrófito.

Planta que crece en la superficie de las rocas o entre bloques rocosos en forma permanente. Incluye a las *litófitas* y *casmófitas*.

### Glareícola o Glerícola.

Planta que vive sobre sustratos pedregosos sueltos (canchales, pedreras, gleras).

### Orófila u oreófito.

Planta de montaña, que prefiere vivir en sitios o localidades elevadas. Equivale a *montano*.



a



b

**Figura 6.** Especies rupícolas indicadoras de la geoquímica de las rocas aflorantes: (a) *Isostigma cordobense*, especie glerícola y calcícola, creciendo en serpentinitas de Guanaco Muerto (Sierra de Córdoba, Argentina); (b) *Physaria mendocina*, especie comófito, creciendo en mármoles de Ambul (Sierra de Córdoba, Argentina); (c) *Hedeoma multiflora*, especie casmo-comófito y calcícola, creciendo en mármoles (Valle Hermoso, Córdoba, Argentina) y (d), *Dalea elegans*, especie comófito y glerícola creciendo en calcretes de Avellaneda (Sierra de Córdoba, Argentina).

## Afloramientos usados y degradados

Los afloramientos rocosos, además de ser el hábitat de la flora rupícola, son el foco de atención de diferentes aprovechamientos mineros. La degradación ambiental por actividades mineras a la que suelen ser sometidos está reflejada en muchas regiones del mundo, especialmente las más ricas en minerales metalíferos, por altísimos impactos negativos en su estructura (Fig. 11).

La conservación de la biodiversidad es actualmente un gran desafío debido a las profundas modificaciones antropogénicas que se están ejecutando sobre los ecosistemas naturales a todas las escalas espaciales. Existe un interés creciente en focalizar los esfuerzos de conservación en áreas ecotonales, ecosistemas marginales y fragmentos remanentes de biodiversidad. En ese sentido se ha insistido sobre la necesidad de implementar urgentemente políticas específicas de conservación de la geodiversidad y especialmente de los afloramientos rocosos, independientemente de las unidades biogeográficas donde estén incluidos. El conocimiento de las especie que crecen, seguidas de estudios sobre su autoecología, son prerrequisitos para generar acciones serias de conservación.





c



d



**Figura 7.** Afloramiento de filitas de las Sierras de Córdoba (Argentina).





a



b

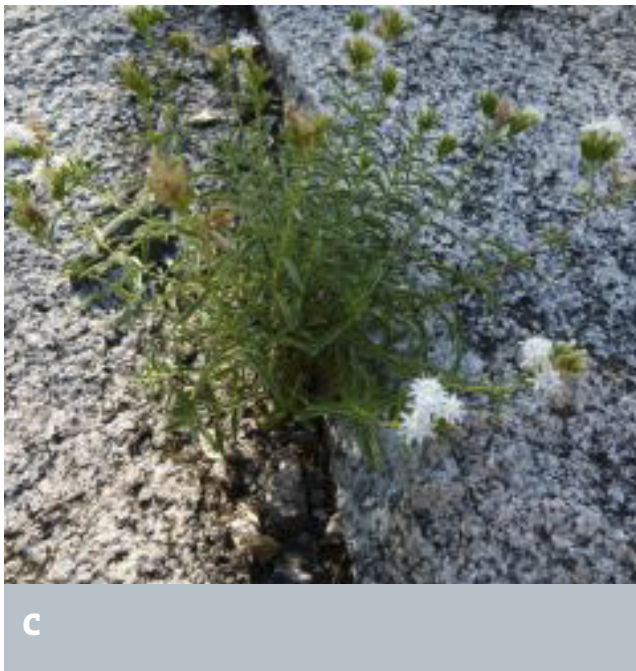


e



f



**Figura 8.**

Especies rupícolas de afloramientos rocosos centroargentinos: (a) litófito, *Tillandsia vernicosa*; (b) casmófito, *Begonia tafiensis*; (c) comófito, *Stevia satureiifolia*; (d) casmo-comófito, *Thymophylla pentachaeta*; (e) petrófito, *Maytenus viscifolia* y (f) glerícola, *Gymnocalycium bruchii*.

## Conocer para conservar

Sabemos que en Argentina crecen 10.006 especies de plantas vasculares, de las cuales 1.749 son endémicas. Y también que en la provincia de Córdoba cerca de 2150 especies viven en sus diferentes ambientes, desde las planicies loesicas hasta sus sistemas serranos. Pero, las que crecen en las rocas son numerosas?

En la provincia de Córdoba, para una escala regional y un tiempo geológico reciente, los afloramientos rocosos representan a los geosistemas más antiguos y son hábitats que soportan una flora relictual, dentro de una matriz modificada por perturbaciones (Fig. 12). Factores climáticos de escala regional y la composición geoquímica de las rocas, en la escala local, han sido asociados a la variación composicional de la vegetación

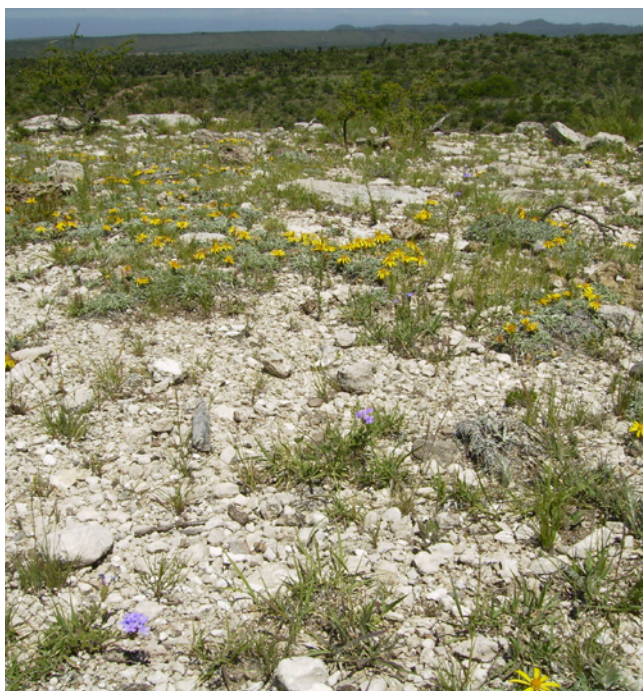
Estos afloramientos representan el 90% de toda la superficie de las Sierras de Córdoba (54.000 km<sup>2</sup>) y son el hábitat de una importante endemoflora. En los afloramientos graníticos, carbonáticos y basálticos del centro de Argentina viven cerca de 725 taxones distribuidos en 91 familias y 380 géneros

## Valores para conservar

Uno de los temas centrales de la biología de la conservación es la pérdida de biodiversidad. Con el incremento en la fragmentación del paisaje serrano centroargentino, es necesario identificar los elementos de la biodiversidad que están en riesgo, para poder establecer de forma adecuada prioridades de conservación, e implementar en forma exitosa las correspondientes estrategias de manejo. La discusión sobre preservar un amplio territorio con continuidad territorial o varias localidades con superficie reducida ha sido largamente debatida.

En este sentido es interesante considerar a un tipo de rocas de aplicación ampliamente aprovechada, en las Sierras de Córdoba: los mármoles. Estos afloramientos están ampliamente extendidos a lo largo de un gradiente de latitud y altitud en este sistema serrano. Se ha estudiado su geodiversidad, representada por 31 afloramientos, y en base a datos generados de riqueza, diversidad, número de especies endémicas, especies amenazadas y rareza, se ha identificado un nú-





**Figura 9.** Mesa La Argentina, afloramiento de calcrete de la Sierra de Córdoba (Argentina).



**Figura 10.** La variación en las geoformas, exposición, orientación, pendiente, geoquímica, porosidad y clastación de las rocas aflorantes influyen los patrones de distribución de las plantas rupícolas (tonalitas de Embalse, Sierras de Córdoba, Argentina).



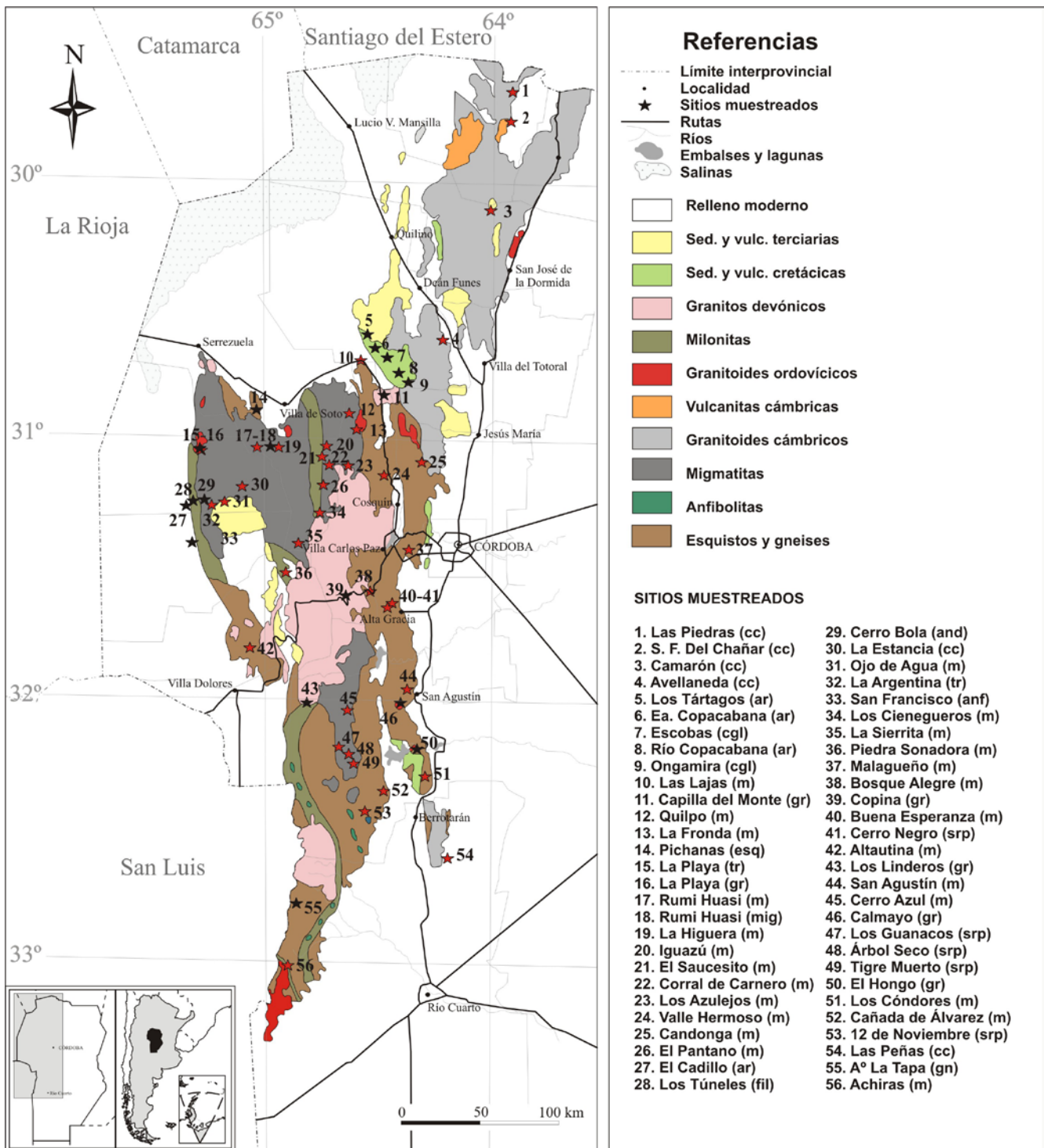
a

**Figura 11.** Aprovechamientos mineros en La Playa, Sierra de Córdoba (Argentina): a) travertino y b) granodioritas.



b





**Figura 12.** Tipos de rocas de la Sierra de Córdoba (Argentina) y los 56 afloramientos superficiales estudiados (Todo según Jorge Sfragulla, inéd.).

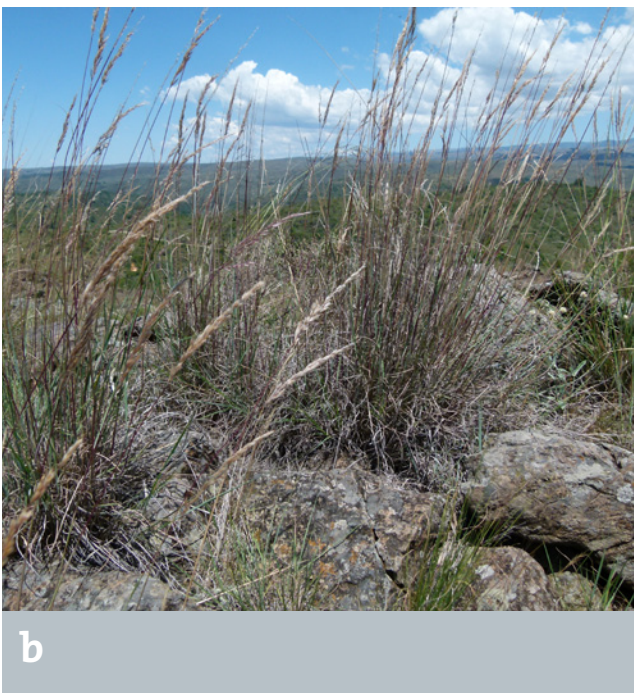
mero mínimo de sitios a conservar. Así, los afloramientos con prioridad de conservación son: Valle Hermoso, Cañada de Álvarez, Cuchi Yaco, Cerro Azul, San Agustín, Malagueño, 12 de Noviembre, Quilpo y Mesa La Argentina. También se han reconocido los afloramientos de serpentinitas en 12 de Noviembre, Tigre Muerto y Árbol Seco como los sitios con la mayor cantidad de especies indicadoras. Todos estos afloramientos, por sus singularidades químicas y atributos florísticos, fueron promovidos ante las autoridades

políticas provinciales, para ser incluidos en una futura e imprescindible agenda de conservación. La función y el valor de estos afloramientos en relación a la conservación de la biodiversidad podrían ser considerados de dos maneras: (1) proveer de hábitats para especies sobre-utilizadas, como las medicinales, forrajeras y las usadas como combustibles, contribuyendo a mantener y aumentar la diversidad regional y (2) ser fuentes de especies para la recolonización de sitios degradados circundantes.

**Figura 14.** Afloramientos como refugio de especies medicinales amenazadas: (a) *Lippia integrifolia*, Incayuyo, Travertinos de La Playa, Córdoba y (b) *Sorghastrum pellitum*, Pasto de vaca, serpentinitas de Arbol Seco de Córdoba.



a



b



**Figura 13.** Afloramiento de serpentinitas, Árbol Seco, Sierra de Córdoba (Argentina).

## Flora rupícola y restauración ecológica: espacio posible de encuentro

Además de los objetivos de la conservación de estos hábitats rocosos y el de sus comunidades y especies singulares, es muy importante considerar las posibilidades de aplicación del conocimiento florístico-ecológico en proyectos de restauración ecológica. Se comenta un ejemplo concreto para ilustrarlo.

Se trata de una experiencia de remediación paisajística de áreas degradadas por la actividad minera en las canteras Holcim (Malagueño, Córdoba, Argentina). Allí y a través, primero de una caracterización ambiental de los sitios intervenidos y los no-intervenidos por la minería) y, posteriormente, mediante el análisis de la riqueza y diversidad de la flora rupícola remanente (Fig. 16), se logró caracterizar el estatus de la geodiversidad local y con ello se procedió a generar un Plan de medidas para la remediación paisajística de la cantera

Como base para la revegetación de los nuevos pedraplenes, escombreras y otros sitios creados artificialmente, se utilizaron viveros de cría y recría de la flora rupícola nativa regional, construidos a tal fin dentro de la misma cantera.

Luego de un periodo de cinco años desde el inicio de la experiencia, se logró un excelente establecimiento de las especies rupícolas más características de las distintas composiciones estructurales de la vegetación local (Fig. 16).





**Figura 15.** Labores de minería en Canteras Holcim, Malagueño, Córdoba (Argentina).



**Figura 16.** Relevamiento de vegetación en sitios remanentes no-laboreados por minería en Canteras Holcim, Malagueño, Córdoba (Argentina).

## Como reflexión final

Los afloramientos rocosos constituyen hábitats muy singulares que, además de promover la biodiversidad local, albergan una flora muy singular de especies de plantas vasculares. De la misma manera son foco de atención permanente por parte de aprovechamientos mineros. La conservación y restauración de esta diversidad es posible pero reclama de programas con bases científicas sólidas que permitan la factibilidad técnica, política y social de su aplicación.



**Figura 17.** Pedraplén revegetado en Canteras Holcim, Malagueño, Córdoba (Argentina).

### BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

CANTERO, J. J., J. A. SFRAGULLA, C. NÚÑEZ, A. A. BONALUMI, J. MULKO, A. AMUCHASTEGUI, F. CHIARINI, G. E. BARBOZA & L. ARIZA ESPINAR. 2011. Flora de los afloramientos de mármoles y serpentinitas de las Sierras de Córdoba (Argentina). *Kurtzia*-na 36 (2): 11-45.

CANTERO, J.J., SFRAGULLA, J., NÚÑEZ, C., MULKO, J., BONALUMI, A., AMUCHASTEGUI, A., BARBOZA, G., CHIARINI, F. & L. ARIZA ESPINAR. 2014. Vegetación de afloramientos carbonáticos de montañas del centro de Argentina. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 49 (4): 559-580.

CANTERO, J.J., BARBOZA, G.E., NÚÑEZ, C., VOLKMANN, L., CHIARINI, F., BERNARDELLO, G., CABIDO, M., ARIZA ESPINAR, L., MULKO, J., MORERO, R., GIORGIS, M., DEMAIO, P., AMUCHASTEGUI, A., BRANDOLÍN, P., DEANNA, R., LEIVA GONZÁLEZ, S., SFRAGULLA, J., BONALUMI, A. & G. RE. 2017. Plantas rupícolas de Argentina central. UPAO, Trujillo, Perú. ISBN N° 978-612-4257-64-3. Págs. 498.



**RITA MORERO**

Rita Morero es Dra. en Ciencias Químicas, Docente e investigadora en la Cátedra de Botánica, Dpto. Farmacia, Facultad de Ciencias Químicas (Universidad Nacional de Córdoba).

## *Psilotum*, un singular enigma evolutivo

Los denominados “psilotum” o “whisk fern” (helecho batidor) para los angloparlantes, representan la versión minimalista de las plantas, no tienen raíces, no tienen hojas desarrolladas, tampoco flores ni frutos ni semillas....pero esta sencillez extrema es precisamente el atractivo de esta polémica y controvertida planta, o más precisamente de este helecho.

Cuando mi colega Liliana Argüello, me hizo llegar varios tallos fértiles de *Psilotum nudum* del Cerro Colorado, para documentar el hallazgo de esta especie en la provincia de Córdoba, lo primero que se me ocurrió fue preguntar a varios compañeros biólogos (de diversas especialidades), sobre la probable identidad de esta planta. Luego de un somero examen, algunos sólo esbozaron una sonrisa a medias, a sabiendas que no

© Pablo Demaio



Bosque típico de los alrededores de Cerro Colorado, Córdoba, Argentina.





© Liliana Agüello y Rita Moreno

podían proporcionar un nombre más o menos fiable, otros, más audaces, adujeron varias respuestas: es una pichana (*Senna aphylla*), ...es una efedra, ...es un licopodio...

Con finos tallos verdes, a intervalos escoltados por un par de apéndices milimétricos que dejan expuestos diminutos esporangios verdes o amarillentos, los dos únicos miembros del género *Psilotum* (*P. nudum* y *P. complanatum*) lejos están de deleitarnos estéticamente por su forma y coloración. Sin embargo, la sencillez de su organización disparó muchos interrogantes acerca de sus relaciones evolutivas. A lo largo de décadas, su posición sistemática y también la del género

Ejemplar de *Psilotum nudum* hallado en la localidad de Cerro Colorado, Córdoba, Argentina.





Detalle del esporangio de *Psilotum nudum*.

*Tmesipteris* (los dos géneros de las Psilotáceas) ha sido fuente de muchas controversias. Así, los primeros trabajos relacionaron a *Psilotum* con las Licopodiáceas, por la semejanza entre los apéndices foliares de ambos, incluso *Psilotum nudum* fue originalmente descrito por Linneo (1753) bajo el género *Lycopodium*. Posteriormente, la idea inicial de afinidad con los licopodios fue abandonada, pero ninguna hipótesis alternativa satisfactoria fue propuesta durante muchos años para reemplazarla. El problema radicaba básicamente en cómo interpretar la relativa simplificación morfológica de estas plantas en ausencia de una filogenia. El patrón de organización de *Psilotum*, caracterizado por la ramificación dicotómica, la ausencia de raíces y la presencia de apéndices rudimentarios, es muy semejante a las formas fósiles de las primeras plantas terrestres, como *Rhynia* (del Silúrico-Devónico), por lo cual fue considerado un verdadero fósil viviente descendiente de aquellas plantas pioneras. Sin

embargo, la ausencia de fósiles intermedios, ponía en tela de juicio la directa relación entre las modernas Psilotáceas y la antigua *Rhynia*. Más aún, muchos botánicos cuestionaban esta posición argumentando que podría ser también un descendiente de una forma derivada con órganos vegetativos reducidos. De hecho, el botánico y anatomista norteamericano D.W. Bierhorst, consideró que *Psilotum* estaba estrechamente relacionado con un género de helechos (*Stromatopteris*) por las similitudes en los gametófitos y el desarrollo embrionario, sin embargo, varias inconsistencias morfológicas menoscabaron esta hipótesis.

Así y todo, durante varias décadas siguió sonando la dicotomía: ¿*Psilotum* está más estrechamente relacionado con los fósiles de plantas terrestres tempranas, tal como se interpretaba tradicionalmente, o con los helechos, según la hipótesis de Bierhorst? La respuesta, no sin sorpresas, llegó en las postrimerías del siglo XX de la mano del botánico estadounidense J.R. Manhar con el primer árbol de los helechos y grupos afines. En esta filogenia, la familia de las Psilotáceas diverge tempranamente y como grupo hermano de las Ophioglosáceas. Ambas familias son linajes de helechos relativamente pequeños (poco más de 100 especies) con un pobre registro fósil y una amplia simplificación morfológica. Además, tienen gametofitos similares, los esporangios se ubican sobre los apéndices foliares, carecen de anillo de dehiscencia y tienen muchas esporas, más de 1000 por esporangio (eusporangios). Si bien los caracteres compartidos no son exclusivos de ambos grupos, implican un origen común de la simplificación fenotípica. El enigma parece estar develándose....

#### BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

Kramer, K. U. 1990. *Psilotum*. En: Kramer, K. U. & Green, P. S. (eds.), *Pteridophytes and Gymnosperms The Families and Genera of Vascular Plants*. I: 25.

Pryer, Kathleen M., Harald Schneider, Alan R. Smith, Raymond Cranfill, Paul G. Wolf, Jeffrey S. Hunt y Sedonia D. Sipes. 2001. "Horsetails and ferns are a monophyletic group and the closest living relatives to seed plants". *Nature* 409: 618-62.



