

## **Bio-Informática: Desarrollo de un software Palinológico para un laboratorio del NEA**

Benitez, Pablo<sup>1</sup>; Godoy Ma. Viviana<sup>1</sup>; Salgado, Cristina<sup>2</sup>; Fernandez, Mirta<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura- <sup>2</sup>Facultad de Ciencias Agrarias.  
Universidad Nacional del Nordeste.

{benitezpablo@gmail.com, mvgg2001@yahoo.com,  
crsalgado2009@gmail.com,  
mirta.fernandez@comunidad.unne.edu.ar}

**Resumen.** La propuesta presenta el desarrollo logrado, un aplicativo y su posterior transferencia, mediante la utilización de una metodología de Ingeniería de Software. El objetivo principal consistió en el desarrollo de un Sistema Bio-Informático para registro y consulta de ejemplares de polen, en microfotografías con sus respectivas descripciones morfológicas y mediciones. Se seleccionó una metodología y se aplicaron diversas herramientas informáticas, coordinando un trabajo de cooperación entre especialistas del Gabinete Informático y el laboratorio de Palinología. Se obtuvo un desarrollo interdisciplinario, cuya importancia, radica en la digitalización de los delicados ejemplares para asegurar su conservación, así mismo el ingreso de información desde el lugar de recolección y posterior visita virtual por parte de diferentes usuarios, lo que permite la extensión del alcance en el ámbito científico de las colecciones palinológicas.

**Palabras clave:** Ingeniería de Software, Palinotecas digital, Colecciones biológicas.

### **1 Introducción**

La ciencia que estudia los granos de polen y por extensión las esporas se denomina Palinología [1]. La colección de referencia de un Laboratorio de Palinología es un catálogo físico de granos de polen. Estas colecciones son indispensables para realizar estudios en distintos tipos de muestras (miel, sedimentos, aire, restos arqueológicos etc.). La palinoteca Pal-CTES, es una colección asociada al herbario Corrientes (CTES) del Instituto de Botánica del Nordeste –IBONE- que depende del CONICET y la Universidad Nacional del Nordeste. La colección contiene alrededor de cinco mil preparados (5000) preparados de referencia obtenidos a partir de plantas herborizadas y conservadas en el herbario CTES [2].

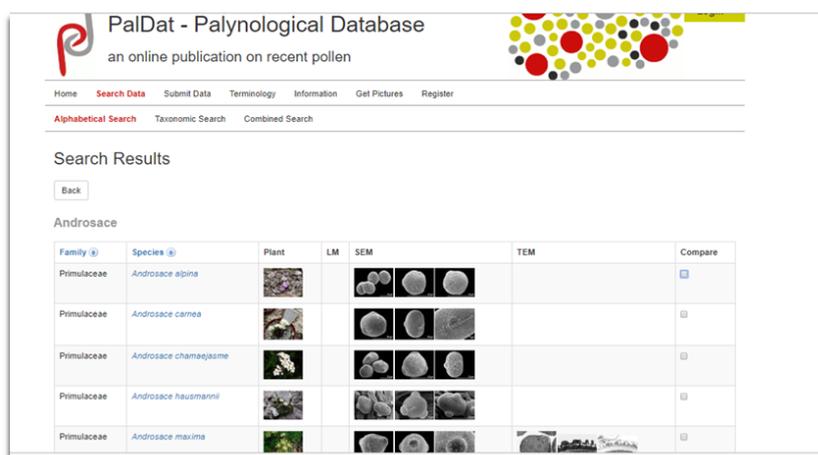
Una colección de polen de referencia digital, es una base de datos que permite reunir información documental, rápida, breve y fiable sobre un tema en específico y es un medio de consulta amplio que permite introducir al usuario en el conocimiento del tema. La situación ideal, sería la consulta de la colección física con la posibilidad de

observar los preparados directamente al microscopio óptico (MO) sin embargo, la susceptibilidad de daños con la manipulación, limita en gran medida esta posibilidad.

El objetivo general de este trabajo es describir el proceso llevado a cabo para la generación de un Sistema de Información cuyo principal elemento es una base de datos palinológicos (descripciones e imágenes), accesible a través de distintos criterios de búsqueda, recuperación y asociación de la información; que permita el acceso a toda la comunidad científica para su aplicación en distintos estudios, consulta y divulgación, desarrollado en el marco de una beca de pregrado.

### 1.1 Algunos antecedentes en el tema

La era de las comunicaciones, la globalización y el desarrollo de las distintas tecnologías de la comunicación e información –TIC–, facilita una mayor visibilidad de las colecciones biológicas, con el objetivo de hacerlas útiles y accesibles para un mayor número de personas. En este contexto, son escasas las colecciones digitalizadas y disponibles en la web. En países europeos hay algunas, de importantes características como PalDat - Palynological Database (Austria) **Fig. 1**.



Family	Species	Plant	LM	SEM	TEM	Compare
Primulaceae	<i>Androsace alpina</i>					<input checked="" type="checkbox"/>
Primulaceae	<i>Androsace carnea</i>					<input type="checkbox"/>
Primulaceae	<i>Androsace chamejasme</i>					<input type="checkbox"/>
Primulaceae	<i>Androsace hausmannii</i>					<input type="checkbox"/>
Primulaceae	<i>Androsace maxima</i>					<input type="checkbox"/>

**Fig. 1.** Visualización de la Palinoteca Virtual PalDat<sup>1</sup>.

PalDat proporciona una gran cantidad de datos de una variedad de familias de plantas. Cada entrada de datos incluye idealmente una descripción detallada del grano de polen, imágenes de cada grano de polen, imágenes de la planta / inflorescencia / flor y literatura relevante.

En Latinoamérica, existen algunos antecedentes en Brasil y México [3]. En Argentina existen algunas palinotecas virtuales, por ejemplo, en Tucumán dependiente del Instituto Miguel Lillo [4].

<sup>1</sup> <https://www.palдат.org>

Por su parte, los grupos de investigación de la Universidad Nacional del Nordeste posee vasta experiencia en desarrollo de soluciones informáticas transferidas al medio en sus disciplinas específicas [5] [6] [7] [8].

## 1.2 Interdisciplinariedad en IS

El término "investigación interdisciplinaria" atraviesa las bases de casi todos los proyectos de I+D en la actualidad. La Fundación Nacional para la Ciencia (en inglés, National Science Foundation - NSF) define interdisciplinariedad como "Una forma de investigación de individuos o equipos que integra información, datos, técnicas, herramientas, perspectivas, conceptos y teorías de dos o más disciplinas. Comprender o resolver problemas cuyas soluciones están más allá del alcance de una sola disciplina o área de investigación"<sup>2</sup>.

Por su parte, la Ingeniería del Software (IS) es una disciplina que se aplica a diversas áreas del conocimiento [9]. Pressman la define como "La aplicación de un enfoque sistemático, disciplinado y cuantificable al desarrollo, operación y mantenimiento de software; incluye herramientas, métodos, proceso y compromiso con la calidad" [10].

Las *herramientas* de la IS proporcionan un apoyo automatizado o semiautomatizado para el proceso y los métodos; los *métodos*, proporcionan la experiencia técnica para elaborar Software; y la estructura del *proceso* implica la identificación de un número pequeño de actividades estructurales que sean aplicables a todos los proyectos de software.

Así es como, la IS involucra una serie de pasos tales como: *i) entender el problema (comunicación y análisis)*. *ii. planear la solución (modelado y diseño del software)*. *iii. ejecutar el plan (generación del código)*. *iv. examinar la exactitud del resultado (probar y asegurar la calidad)* [10].

El producto software cuyo desarrollo se expone en este trabajo tiene como principal destinatarios biólogos, investigadores, estudiantes, etc. vinculados especialmente a palinología y disciplinas relacionadas (taxonomía, genética, paleontología, etc.). En tal sentido, los resultados de un trabajo conjunto aportarán al conocimiento de las áreas disciplinares específicas involucradas y su interacción potenciará los objetivos y los resultados esperados.

## 2. Materiales y Métodos

El presente trabajo se desarrolló a partir de la obtención de una colección digitalizada y representativa de las muestras palinológicas, con suficiente rigor científico que asegure la fiabilidad de la información que la contiene. Posteriormente, se procedió a vincular la información descriptiva con la información gráfica de cada especie. Las

---

<sup>2</sup> [https://www.nsf.gov/od/oia/additional\\_resources/interdisciplinary\\_research/definition.jsp](https://www.nsf.gov/od/oia/additional_resources/interdisciplinary_research/definition.jsp)

actividades consistieron en el diseño de distintos criterios de búsqueda de información ajustados a la necesidad del usuario y al mismo tiempo generar una interface amigable.

## 2.1 Materiales

Las fuentes de datos empleados surgen de la existencia de datos sistematizados en hojas de cálculos a la que se acceden de manera procedimental rudimentaria:

- ✓ Base de datos del contenido de la Palinoteca CTES en hojas de cálculo.
- ✓ Registro fotográfico de granos de polen con microscopía óptica y electrónica de barrido.
- ✓ Base de datos morfológicos publicados.
- ✓ Registro fotográfico con microscopía óptica (MO).
- ✓ Registro fotográfico con microscopía electrónica de barrido (MEB).

## 2.2 Metodología

Centrado en los métodos que propone la IS, se procedió a la delimitación de etapas a desarrollar.

La *Definición de procesos de IS* coadyuvó a realizar de modo sistemático, gestionar y administrar el proyecto e implicó en cada una, un análisis de la factibilidad de su realización; describiendo la manera de organizar las actividades estructurales y las acciones y tareas que ocurren. Con respecto de la secuencia y el tiempo, es posible sintetizarlas en:

- i) *entender el problema (comunicación y análisis).*
- ii) *planear la solución (modelado y diseño del software).*
- iii) *ejecutar el plan (generación del código).*
- iv) *examinar la exactitud del resultado (probar y asegurar la calidad).*

Al final se realizan propuestas de optimización de las prestaciones del sistema informático.

## 3. Resultados

Una de las consideraciones atendidas, previa a la construcción del artefacto software fueron los datos o inputs que se disponían y la necesidad de someterlos a proceso de unificación de formatos de modo de asegurar la fiabilidad de la información con los que se trabajó de manera digital. Esta etapa contribuyó a *entender el problema para la comunicación y análisis*, se trabajó con:

- ✓ *Base de datos cargados en planillas de cálculo existentes en IBONE*

Las hojas de cálculos contienen los datos referentes a cada ejemplar y este corresponde a una especie botánica (**Tabla 1**). La planta a la que pertenece se encuentra en

la colección biológica del Herbario CTES del Instituto de Botánica del Nordeste (UNNE - CONICET).

**Tabla 1.** Parte del listado de preparados de referencia de la Palinoteca CTES.

PAL-CTES	Género	Familia	Coleccionista	Localidad
2687	<i>Mollugo verticillata</i>	Molluginaceae	Salgado C. 1	Arg., Ctes., Bella Vista, Cnia. 3 de Abril
2688	<i>Acicarpa tribuloides</i>	Calyceraceae	Salgado C. 2	Arg., Ctes., Bella Vista, Cnia. 3 de Abril
2689	<i>Petunia integrifolia</i>	Solanaceae	Salgado C. 3	Arg., Ctes., Bella Vista, Cnia. 3 de Abril
2690	<i>Clematis montevidensis</i>	Ranunculaceae	Salgado C. 4	Arg., Ctes., Bella Vista, Cnia. 3 de Abril
2691	<i>Amaranthus quitensis</i>	Amaranthaceae	Salgado C. 9	Arg., Ctes., Bella Vista, Cnia. 3 de Abril
2692	<i>Galinsaga parviflora</i>	Asteraceae	Salgado C. 10	Arg., Ctes., Bella Vista, Cnia. 3 de Abril

✓ *Descripciones palinológicas (texto).*

Se realizó la tabulación disponible en planilla de cálculo que es utilizada para definir el polen de cada especie botánica. A tal fin, se procedió a utilizar el número de colección asignado a cada preparado y que constituye el registro de cada ejemplar en la palinoteca. Los caracteres de los granos de polen fueron tabulados como descriptores palino-morfológicos en cinco (5) grandes grupos: tipo de liberación/unidades polínicas, aperturas, tamaño, forma y exina, y sus principales variantes como variables. Se utilizó la terminología sugerida por Punt y que también lo utiliza Edman [11] [12].

Los descriptores palino-morfológicos se resumen en la **Tabla 2** y constituyen datos que definen los criterios de búsqueda. En la mencionada, se listan los caracteres y 4 de las 10 variables utilizadas para organizar la información en la base de datos.

**Tabla 2.** Planilla con lista de caracteres y sus variables cuali y cuantitativas.

Descriptores palino-morfológicos	Variantes			
Carácter	Variable 1	Variable 2	Variable 3	Variable 4
Unidades Polínicas	mónade	díade	tétrade	políade
Aperturas				
Tipo	colpo	poro	colporo	

Descriptores palino-morfológicos	Variantes			
	Variable 1	Variable 2	Variable 3	Variable 4
<b>Carácter</b>				
Número	0	1	2	3
Posición	polar	ecuatorial	global	
<b>Tamaño</b>				
Eje polar	menos de 10	10 a 20	20 a 30	30 a 40
Díametro ecuatorial	menos de 10	10 a 20	20 a 30	30 a 40
Rango	menos de 10	10 a 25	25 a 50	50 a 100
Denominación	muy pequeños	pequeños	medianos	grandes
<b>Forma</b>				
P/E	menos de 50	50 - 75	75 - 88	88 - 100
Denominación	peroblato	oblato	suboblato	esferoidal
Ámbito	circular	triangular	cuadrangular	otro
<b>Exina</b>				
Espesor	menos 1	1	2	3
Estructura	intectada	semitectada	tectada	
Escultura	psilada	reticulada	perforada	escabrada

✓ *Ilustraciones palinológicas (imágenes).*

Se seleccionaron y optimizaron las imágenes tanto de microscopía óptica, como las de microscopía electrónica de barrido. Se realizó la conversión de los formatos disponibles a formatos compatibles con las herramientas utilizadas.

### 3.1 Planear la solución del Sistema Bio-Informático

Para dar seguimiento a los trabajos y actores involucrados, se seleccionó una herramienta gratuita para la organización de tareas conocida como **Trello**, que permite la coordinación de equipos y se basa en la metodología Kanaban [13], la cual propone un sistema de uso colaborativo para gestionar el esfuerzo y dedicación del equipo de producción. En la **Fig. 2.** se muestran elementos incorporados al tablero de colaboración en que se incluyeron los participantes del proyecto.



**Fig. 2.** Actividades configuradas en Trello

El uso del tablero permitió realizar aportes, sugerencias y pautas para el desarrollo de las actividades en la *planeación*. Entre ellas se plasmó acciones, tiempos y grado de avance en las etapas.

✓ *Tratamiento de los datos palinológicos (modelado).*

La Facultad de Ciencias Agrarias en su Laboratorio de Palinología, contaba con dos conjuntos de datos en formato digital: un lote de imágenes en microfotografías etiquetadas de granos de polen y un archivo de texto con más de cinco mil etiquetas con sus respectivas especificaciones morfológicas. Dichos componentes fueron los insumos principales a vincular para el proyecto. Un alumno becario del área de Cs. Agrarias, colaboró en la optimización de las imágenes y el etiquetado; estas tareas se realizaron en paralelo a la fase de modelado. De este modo, se llevó a cabo la tarea de vincular la información descriptiva con la información gráfica de cada especie obteniendo el diagrama que se presenta en la **Fig. 3**.

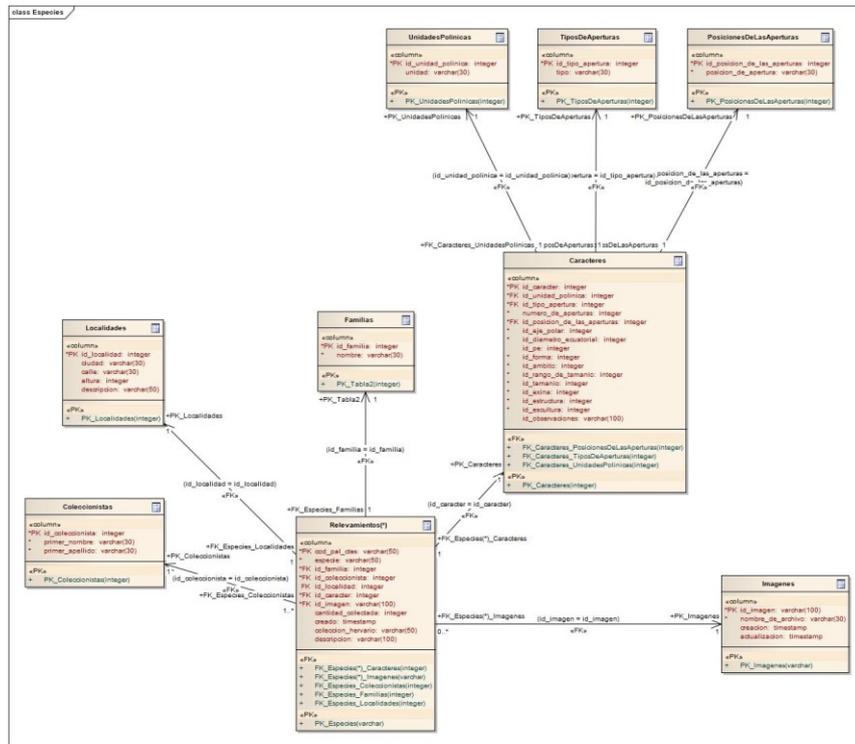
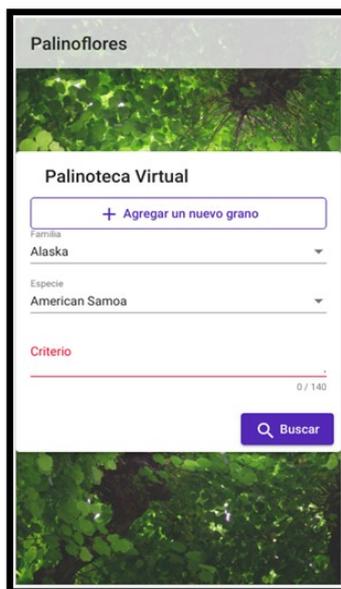


Fig. 3. Descriptores y sus relaciones de la Base de Datos

En relación a la *ejecución del plan*, se inició un primer prototipo visual de la aplicación, el cual representa características generales de la misma. En la Fig. 4 se ilustra un modelo de interfaz construida para la Palinoteca.

Para la consulta de la colección sistematizada, el aplicativo desarrollado requiere un proceso de identificación y autenticación. Siendo los perfiles definidos:

- *Perfil Coleccionista*: Autorizado para la carga de ejemplares y sus propiedades o descriptores.
- *Perfil Invitado*: Cualquier persona que requiera consultar un ejemplar en particular, dada ciertas características.



**Fig. 4.** Prototipo de interfaz para la Palinoteca en desarrollo.

Para dar continuidad a la *construcción y despliegue* de la palinoteca se trabajó en el análisis y selección de lenguajes y herramientas: TypeScript, JavaScript, Postgresql, Docker, Angular, Loopback, Postman, MongoDB Compass, Angular 10, Loopback 4\*; todas ellas poseen la ventaja de otorgar dinamismo y eficiencia a la aplicación software. Se realizó:

- Construcción de Aplicaciones por Capas
- Control de Acceso y Autenticación
- Codificación y Validación de entrada/salida
- Gestión de Sesiones y Usuarios
- Gestión de Errores y Excepciones

Se obtuvo:

- *Perfil Coleccionista*

Es posible visualizar en la **Fig. 5** las interfaces web construidas, las cuales son responsivas (adaptables a dispositivos móviles).

En esta sección es posible crear nuevos caracteres y relevamientos (alta).

The image shows two mobile application screens side-by-side. The left screen is titled 'Caracteres' and 'Nuevo Caracter'. It contains several form fields: 'Unidad Polinica' (dropdown), 'Tipo de Apertura' (dropdown), 'Cantidad de Aperturas' and 'Posicion de Apertura' (text inputs), 'Eje Polar' (dropdown) and 'Diametro Ecuatorial' (text input), 'PE' (dropdown), 'Forma' (dropdown) and 'Ambito' (text input), 'Rango de Tamaño' (dropdown) and 'Tamaño' (text input), and 'Exina' (dropdown). At the bottom, there are 'Estructura' and 'Escultura' (dropdowns). The right screen is titled 'Relevamiento' and 'Nuevo Relevamiento'. It contains form fields for: 'Código de la Palinoteca de Ctes.' (text input), 'Especie' (text input), 'Familia palinologica' (text input), 'Coleccionista' (text input), 'Localidad' (text input), 'Caracter' (text input), 'Cantidad Colectada' (text input), 'Hervario' (text input), and 'Descripcion' (text input). At the bottom, it says 'No hay imagenes cargadas.' and has a blue button 'Agregar Imagen'.

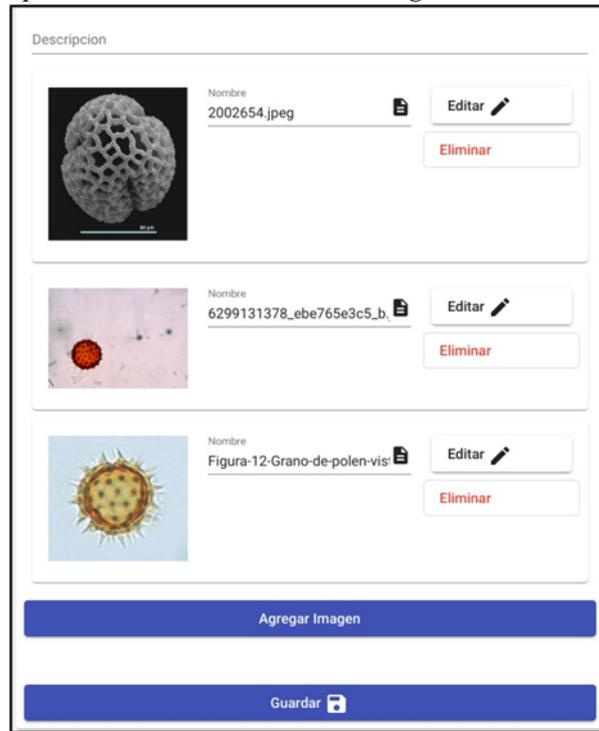
**Fig. 5.** Interfaz para la creación de nuevos caracteres y relevamientos (o ejemplares).

Para la carga de imágenes de nuevos ejemplares y posteriormente adición de información propia de cada registro, vinculado a los caracteres se desarrollaron las interfaces que se presentan en la **Fig. 6.**

The image shows two mobile application screens side-by-side. The left screen is titled 'Carga de datos' and shows a 'Listado' (list) of specimens. It has fields for 'Cantidad Colectada' and 'Hervario'. Under 'Descripcion', there are two entries, each with a small image, a 'Nombre' field, and 'Editar' and 'Eliminar' buttons. At the bottom, there are blue buttons for 'Agregar Imagen' and 'Guardar'. The right screen is titled 'Descripcion' and shows a detailed view of a specimen. It has three image entries, each with a larger image, a 'Nombre' field, and 'Editar' and 'Eliminar' buttons. At the bottom, there are blue buttons for 'Agregar Imagen' and 'Guardar'.

**Fig. 6.** Interface para la carga de ejemplares con posibilidad de incluir imágenes.

Por otra parte, se entiende que la edición de imágenes se ha de llevar a cabo mediante el uso de PC de escritorio o Notebook por lo cual, se diseñaron interfaces adecuadas a tales dispositivos como se muestran en la **Fig. 7**.



**Fig. 7.** Interfaz de gestión de imágenes palinológicas

La funcionalidad detallada “Edición de Imágenes”, será accesible desde un servidor web mediante inclusión de un editor embebido en el software desarrollado.

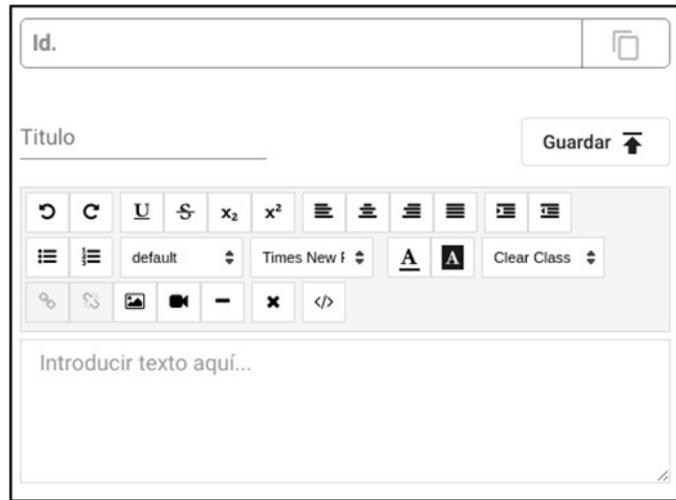


Fig. 8. Interfaz para el proceso de edición de imágenes

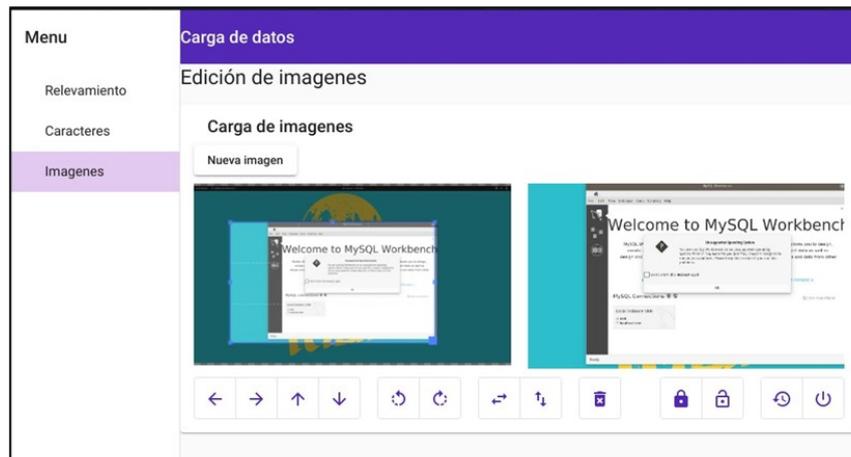


Fig. 9. Interfaz para la edición de una imagen polínica.

- *Perfil Invitado*

La colección digitalizada cuenta con unas 2500 imágenes de granos de polen tomadas con microscopio óptico y unas 500 imágenes capturadas con microscopio electrónico de barrido.

El aplicativo permite consultar los ejemplares digitalizados con el usuario *Invitado*.



**Fig. 9.** Interfaz de consulta de los ejemplares por parte del perfil Invitado

Se trabaja actualmente en la construcción de algoritmos para la optimización en la asociación y recuperación de los datos, dado que es una de las principales características que se espera obtener del aplicativo. Seguidamente se procederá a la transferencia del producto, a la Unidad Académica destinataria.

#### 4. Conclusión

La concreción de este trabajo permitió generar una herramienta útil para distintos actores del sistema académico y científico-tecnológico. El desarrollo de este tipo de experiencias pone en valor el trabajo interdisciplinario. La aplicación obtenida mediante la creación del software contribuirá al conocimiento de la Palinología como área importante de la Botánica y sus aplicaciones (Agropecuarias, Arqueológicas, Forenses, etc.). Además, podrá ser consultada tanto por investigadores de la UNNE como de otros puntos distantes del país, dedicados al estudio de los granos de polen.

Por otra parte, la digitalización de la Colección biológica constituye un resguardo y permite una mejor conservación, ya que con el tiempo los preparados de polen se deterioran. Es decir que, si bien son resistentes, pueden sufrir el ataque de microorganismos o incluso pueden experimentar cambios en su forma, tamaño o coloración, por lo que deben ser reemplazados periódicamente.

Este trabajo tiene continuidad mediante una segunda etapa de actividades que incluye el tratamiento y edición de imágenes digitales para su optimización (tamaño en píxeles, peso, visualización) para la rápida carga y lectura en el software. La edición incluye, además, agregar escalas en micras y marca de agua que identifique la colección biológica de preparados de la Palinoteca de la UNNE. Asimismo, es preciso

completar las verificaciones y realizar algunas demostraciones, pruebas de error y depuración del software.

## 5. Referencias

1. Sáenz De Rivas, C. 1978. Polen y esporas: introducción a la palinología y vocabulario palinológico. Ed. Madrid H. Blume 1978. 219 p.
2. Rodríguez, E.F. & R.P. Rojas. 2006. El herbario. Administración y manejo de colecciones botánicas. Herbarium Truxillense (Hut) Missouri Botanical Garden. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Trujillo. Ed. Rodolfo Vásquez.
3. Da Silva, C. I., Bauermann, S. G., dos Santos, F. D. A. R., & Saraiva, A. M. (2014). Producción de Bases de Datos Computacionales para la construcción de la red de catálogos palinológicos online (RCPOL) con claves interactivas para la identificación de especies.
4. Gálvez-Prada, F. Sañudo, B. J. Franco-Navarro, J. D. Y J. P. Serrano. 2014. Digitalización del Herbario de D. Vicente Latorre y Pérez en el I.E.S. Padre Luis Coloma de Jerez de la Frontera. Bol R. Soc. Esp. Hist. Nat., vol. 1, pp. 47-55.
5. Godoy, M. & Mariño, S. 2016. Algunas experiencias en el desarrollo de aplicaciones web desde la UNNE. Corrientes: Eudene, pp.33-42. Fernández, M. G., Guglielmone, M. V. G., Mariño, S. I., & Barrios, W. G. (2017, October).
6. Mariño, S. I., Alfonzo, P. L., Galain, C., Maidana, J., & Alderete, R. Y. (2018). Accesibilidad web, aportando a la inclusión. In XX Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2018, Universidad Nacional del Nordeste).
7. Salgado, C.R. 2006. Flora melífera de la provincia de Chaco. Editado por PROSAP y Ministerio de Producción del Chaco, pp: 60.
8. Salgado, C.R. 2016. Caracterización botánica y geográfica de las mieles producidas por *Apis mellifera* L. en la Provincia del Chaco, a partir de su composición polínica y parámetros físico - químicos. Universidad Nacional del Nordeste. Facultad de Ciencias Agrarias. Tesis doctoral.
9. Sommerville, I. (2005). Ingeniería del software. Pearson Educación.
10. Pressman, R. 2017. Ingeniería del Software. Un enfoque práctico. 7ma Edición, pp.
11. Punt, W.; Hoen, P.P.; Blackmore, S.; Nilsson S. & A. Le Thomas. 2007. . Glossary of pollen and spore terminology. Review of Palaeobotany and Palynology 143: 1–81..
12. Erdtman, G. 1960. The acetolysis method. Svensk. Bot. Tidskr. 54: 561 – 564.
13. Colla, P. E. (2016, November). Uso de opciones reales para evaluar la contribución de metodologías Kanban en desarrollo de software. Simposio Argentino de Ingeniería de Software (ASSE 2016)-JAIIO (Tres de febrero, 2016).