

MENSAJE EDITORIAL

Abril del 2017

Estimados lectores;

En nuestra primera edición de FRONTERA BIOTECNOLÓGICA de este año, conoceremos sobre organismos dotados de capacidades extraordinarias.

En primer lugar, LAS PLANTAS DE RESURRECCIÓN (PDR). Tras meses de sequía en las que aparentemente quedan secas y sin vida, estas plantas tienen la capacidad única de revivir con las primeras lluvias, fascinante!! no es así?. Dadas las actuales condiciones ambientales, los periodos de sequía y las superficies áridas no cultivables, están aumentando, lo cual representa un grave problema en la producción agrícola y por ende en la seguridad alimentaria. Por lo anterior, el estudio de este tipo de plantas es muy importante para poder contar con novedosas variedades agrícolas tolerantes, en ciertos rangos, a la escasez de agua.

En segundo lugar, LOS HONGOS DE PUDRICIÓN BLANCA, organismos que pueden degradar compuestos recalcitrantes y altamente peligrosos como diversos contaminantes ambientales y micotoxinas. Esta capacidad de los hongos es definida por un sistema enzimático no específico constituido principalmente por oxidasas. Las enzimas oxidasas se han utilizado en diversas áreas de la biotecnología, una de las ramas en las que más sobresalen es en el ámbito de la biorremediación. Por otra parte, el empleo de tales enzimas en agricultura o en alimentos, para la descontaminación de toxinas fúngicas como las aflatoxinas, moléculas altamente tóxicas y carcinogénicas, es prometedor, debido a que los productos que generan no son tóxicos en comparación a los generados con otro tipo de tratamientos.

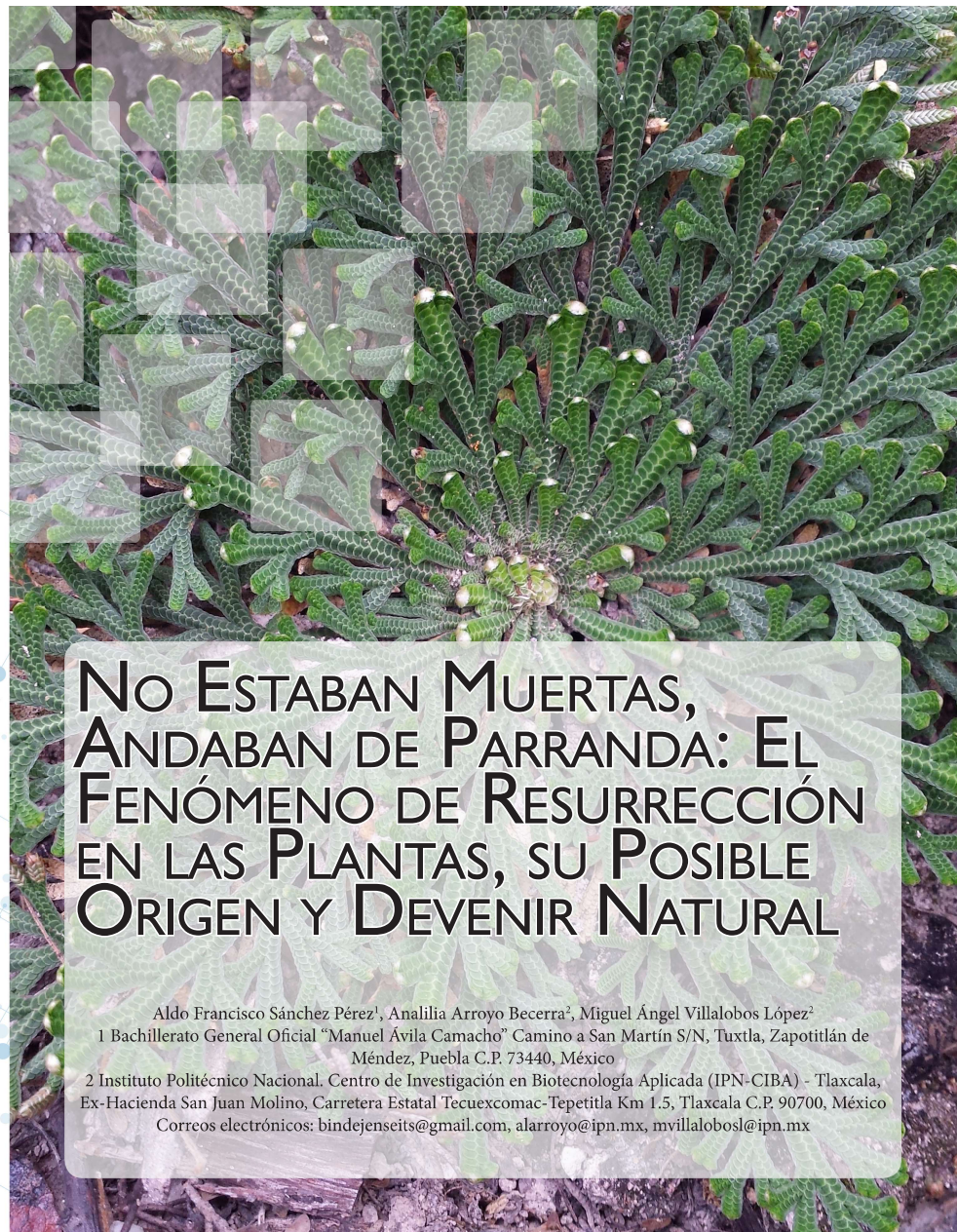
Y finalmente, todo un ejército de diferentes organismos trabajando en conjunto para convertir un desecho orgánico en un fertilizante agrícola a través de un proceso que se denomina COMPOSTAJE. El proceso de compostaje se define como un sistema biooxidativo controlado de tratamiento/estabilización de residuos orgánicos heterogéneos en estado sólido. Debido a la actividad secuencial de una gran diversidad de microorganismos, se obtiene un producto que puede utilizarse como abono, enmienda o sustrato. Este tipo de procesos es muy importante ya que la gestión de los residuos se ha convertido en uno de los problemas más importantes de nuestra sociedad y por otra parte, el uso de fertilizantes químicos en agricultura, ha provocado gran daño a los suelos, repercutiendo en una menor producción agrícola.

Con las temáticas abordadas en este número de FRONTERA BIOTECNOLÓGICA se vuelve a resaltar la importancia de la BIOTECNOLOGÍA para resolver o atender problemáticas de gran impacto en nuestra actualidad.

Los invitamos a leer y a compartir con otros investigadores, estudiantes, trabajadores y público en general, esta edición tan interesante de FRONTERA BIOTECNOLÓGICA.

“LA TÉCNICA AL SERVICIO DE LA PATRIA”.

DRA. MARTHA BIBBINS MARTÍNEZ
Editor en jefe



NO ESTABAN MUERTAS, ANDABAN DE PARRANDA: EL FENÓMENO DE RESURRECCIÓN EN LAS PLANTAS, SU POSIBLE ORIGEN Y DEVENIR NATURAL

Aldo Francisco Sánchez Pérez¹, Analilia Arroyo Becerra², Miguel Ángel Villalobos López²
1 Bachillerato General Oficial “Manuel Ávila Camacho” Camino a San Martín S/N, Tuxtla, Zapotitlán de Méndez, Puebla C.P. 73440, México
2 Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (IPN-CIBA) - Tlaxcala, Ex-Hacienda San Juan Molino, Carretera Estatal Tecuexcomac- Tepetitla Km 1.5, Tlaxcala C.P. 90700, México
Correos electrónicos: bindejenseits@gmail.com, alarroyo@ipn.mx, mvillalobos@ipn.mx

RESUMEN

Dentro del Reino Vegetal existe un grupo de organismos con una capacidad asombrosa para tolerar la falta de agua, al cual pertenecen las llamadas plantas de resurrección (PDR) o anhidrobias. Las PDR están altamente especializadas para contender con la sequía y/o deshidratación, y pueden recuperar rápidamente sus funciones fisiológicas normales aún después de haber perdido hasta el 90% del total de su agua protoplasmática. Dadas las actuales condiciones ambientales y socioeconómicas en el mundo, se requerirá agotar todas las alternativas tecnológicas para que en las próximas dos décadas podamos duplicar la producción de alimentos sin degenerar el ambiente. De ahí que las PDR constituyen excelentes modelos de estudio con enorme potencial científico y biotecnológico para el descubrimiento de nuevos metabolitos, genes, mecanismos bioquímicos y fisiológicos que regulan las respuestas a la desecación, lo que posibilita la generación de novedosas variedades agrícolas tolerantes, en ciertos rangos, a la escasez de agua.

Palabras clave: Plantas de Resurrección, Tolerancia a la desecación

ABSTRACT

Within the Plant Kingdom exists a group of organisms with an astonishing capacity to tolerate the lack of water, which belongs to the so-called resurrection plants (PDR) or anhydrobiosis. PDRs are highly specialized to cope with drought and/or dehydration, and can rapidly recover their normal physiological functions even after losing up to 90% of their total protoplasmatic water. Given the current environmental and socio-economic conditions prevailing in the world, it will be necessary to exhaust all the technological alternatives so that in the next two decades we can double food production without degenerating the environment. This is why PDRs are excellent study models with enormous scientific and biotechnological potential for the discovery of new metabolites, genes, biochemical and physiological mechanisms that regulate responses to desiccation, which makes possible the generation of novel agricultural varieties tolerant, in certain ranges, to water scarcity.

Key words: Resurrection plants, Desiccation tolerance

INTRODUCCIÓN

Cualquier ser humano puede reconocer y admirarse con la gran variedad de *formas vivas* que se han venido desarrollando a lo largo de millones de años en los diferentes Dominios. El Reino Vegetal puede concebirse como un vasto mar de diseños, que se entrelazan con el resto de los organismos en un majestuoso orden natural. Plantas minúsculas y ancestrales, hermosos especímenes que iluminan las facciones de aquel que se acerca a sus bellas flores o imponentes árboles que parecen rozar las nubes y que inminentemente están en contacto con energías más sutiles y pulcras, son ejemplos del devenir evolutivo que acarrea nuevos seres, más *funcionales*, más complejos.

Una escueta hojeada a *Historia plantarum generalis*, obra del naturalista inglés John Ray, expone el vivaz interés del hombre por sus congéneres vegetales y la gran cantidad de información que se tenía sobre ellos en la Europa del siglo XVII (sólo por mencionar un ejemplo en extremo particular). Y es precisamente el conocimiento sobre estos seres lo que ha promovido una mejora, o dicho de otro modo, “nuevas posibilidades” en el *modus vivendi* humano, ya sea como placer, como progreso económico-político, e incluso como destello espiritual.

Como un grupo muy peculiar del Reino Vegetal se encuentran las sorprendentes Plantas **Anhidrobias**, organismos capaces de tolerar pérdidas abrumadoras de agua y que pueden recuperarse de pérdidas que oscilan entre el 80 y 90% del total de su agua **protoplasmática** (Oliver *et al.*, 2000); en otras palabras, pueden soportar niveles netos de agua de 0.1 g de H₂O/g (Moore *et al.*, 2008), condición de déficit de agua que es letal para la basta mayoría de plantas con flores. A dichos organismos también se les conoce con el nombre de **Plantas de Resurrección (PDR) o Plantas Tolerantes a la Desecación (PTD)**. Cabe distinguir esta estrategia (tolerancia a la desecación) para contender con ambientes extremadamente secos, de otras estrategias, como son el escape y la evasión (confundida con frecuencia con el término resistencia). En el caso del escape, algunas plantas anuales completan sus ciclos de vida durante la etapa del año abundante

en disponibilidad de agua y condiciones de crecimiento favorables, evitando así exponerse a la falta de agua; ejemplo de ellas son las plantas efímeras del desierto. Otras especies vegetales, en general perenes como lo son los cactus, han desarrollado estructuras por demás exóticas que les permiten capturar y retener enormes cantidades de agua y evadir su pérdida (raíces largas, tejidos suculentos, cutícula cerosa, espinas en lugar de hojas), lo que las ha llevado a extender su conquista a una mayor variedad de hábitats (Levitt, 1980).

Es interesante que uno de los primeros reportes concernientes al fenómeno de resurrección estuvo desligado de las plantas. Se dio en una sesión de la *Royal Society* (la primera sociedad científica inglesa), en 1743, cuando Sir Henry Baker anunció el descubrimiento de algunos animales que podían deshidratarse hasta alcanzar un equilibrio con el aire y una vez que se les suministraba el agua necesaria, podían regresar a sus funciones habituales. Aunque por demás poético, este argumento es cierto, ya que en la naturaleza es posible encontrar animales, como tartágrados, rotíferos y nemátodos, capaces de soportar largos periodos de sequía en estado de latencia (Alpert, 2006).

I. BREVE INFORMACIÓN EVOLUTIVA.

De acuerdo con estudios enfocados a develar el origen y la evolución temprana de las plantas terrestres, se considera que los ancestros de las PDR estaban ligados completamente al medio acuático (Algas Verdes de la Clase Charophyceae), por lo tanto, es lógico pensar que la capacidad de tolerar la desecación fue una particularidad que propició la construcción de nuevos nichos en el medio terrestre (Graham *et al.*, 2000). Dicha característica aún puede observarse en estructuras reproductivas como esporas, semillas y polen, y hasta cierto punto puede considerarse común en muchas especies de la Super División Bryophyta, linaje basal de las Embriófitas. Sin embargo, también se presenta en algunas pteridofitas y angiospermas, pero no en gimnospermas. Las PDRs representan en total más de 1300 especies, incluyendo cerca de 300 especies de angiospermas (Porembski, 2011). Sin duda el número de especies de PDRs aumentará en la medida en que se enfoquen más estudios a su descubrimiento.



Más tarde (evolutivamente hablando), la tolerancia a la desecación se vio poco favorecida una vez que las presiones selectivas beneficiaron a plantas que habían estado desarrollando sistemas novedosos y eficientes para la retención de mayores volúmenes de agua en su interior, propiciando una menor dependencia de la disponibilidad de agua circunvecina. De manera paralela, estas nuevas plantas habían aumentado sus tasas de crecimiento así como su complejidad estructural-funcional (Oliver et al., 2000). Sin embargo, como una ley natural, las oscilaciones ambientales beneficiaron nuevamente a aquellas plantas con mayor capacidad de sobrevivir en ausencia total o parcial de agua, en estos instantes surgen las **licofitas** tolerantes a la desecación: *Selaginella lepidophylla*, *Selaginella tamariscina*, entre otras.

La naturaleza **Parafilética** (un grupo es **parafilético** cuando incluye al ancestro común de sus miembros, pero no a todos los descendientes de este) del grupo de PTD invita a pensar en las continuas oscilaciones ambientales que generaron nuevas especies tolerantes a la desecación o las ya existentes aumentaron su *fitness* biológico. Dicho de otra manera, si observamos una Filogenia Vegetal podemos llegar a conjeturar la posible re-evolución del Fenómeno de Resurrección o más bien de las características que permiten dicho fenómeno (Oliver et al., 2000). Por lo tanto, es natural imaginarnos a las PDR en regiones con poca disponibilidad de agua atmosférica. Las regiones áridas de los continentes Africano y Americano, sin olvidar el oeste Australiano, son hábitats predilectos para estos organismos. Es común encontrarlas en zonas rocosas, donde crecen sobre pequeñas porciones de suelo poco profundas y arenosas; sin embargo, se han encontrado también tanto en ambientes polares como selvas tropicales (Scott, 2000; Phillips et al., 2008).

II. NOMBRES... NOMBRES

Dentro de la Super División Bryophyta (que incluye a los musgos y las hepáticas) se puede mencionar al musgo *Andreaea rothii*, el cual crece en forma de pequeñas almohadillas negruzcas sobre suelos ácidos en montañas rocosas. Este musgo puede recuperar totalmente su capacidad fotosintética tras permanecer hasta 12 meses en estado deshidratado a 32% de humedad relativa y 20°C (Fig. 1A) (Richardson, 1981; Proctor y Tuba, 2002).

Continuando con los musgos, podemos mencionar un par de especies modelo, que han saltado al escenario científico mundial por sus increíbles cualidades. Se trata de *Tortula* (*Syntrichia*) *ruralis* (Fig. 1B) y de *Physcomytralla patens* (Blewley, 1973; Cove et al., 2006).

Tabla I. Géneros que integran especies de Plantas Tolerantes a la Desecación en Traqueófitas

Grupo	Taxón	Géneros	Núm. especies de PTD				
Pteridófitas	Lycopodiopsida	<i>Isoetes</i>	1				
		<i>Selaginella</i>	13				
		Pteropsida	<i>Actinopteris</i>	2			
			<i>Adiantum</i>	1			
			<i>Anemia</i>	1			
			<i>Arthropteris</i>	1			
			<i>Asplenium</i>	8			
			<i>Ceterach</i>	2			
			<i>Cheilanthes</i>	27			
			<i>Ctenopteris</i>	1			
	<i>Doryopteris</i>		3				
	<i>Hymenophyllum</i>		3				
	Angiospermas Monocotilédneas	Cyperaceae	<i>Afrotrilepis</i>	1			
			<i>Carex</i>	1			
			<i>Coleochloa</i>	2			
			<i>Cyperus</i>	1			
			<i>Fimbristylis</i>	2			
			<i>Kyllingia</i>	1			
			<i>Mariscus</i>	1			
			<i>Microdracoides</i>	1			
<i>Triplepis</i>			1				
<i>Borya</i>			3				
Angiospermas Dicotilédneas	Poaceae	<i>Brachyachne</i>	1				
		<i>Eragrostiella</i>	3				
		<i>Eragrostis</i>	4				
		<i>Mieraira</i>	5				
		<i>Microchloa</i>	3				
		<i>Oropetium</i>	3				
		<i>Poa</i>	1				
		<i>Sporobolus</i>	7				
		<i>Tripogon</i>	10				
		<i>Aylythonia</i>	1				
Angiospermas Dicotilédneas	Velloziaceae	<i>Barbacenia</i>	4				
		<i>Barbaceniopsis</i>	2				
		<i>Nanuzia</i>	1				
		<i>Pleurostima</i>	1				
		<i>Vellozia</i>	124				
		<i>Xerophyta</i>	28				
		Angiospermas Dicotilédneas	Myrothamnaceae	<i>Myrothamnus</i>	2		
				Cactaceae	<i>Blossfeldia</i>	1	
					Acanthaceae	<i>Talbotia</i>	1
						Gesneriaceae	<i>Boea</i>
<i>Haberlea</i>	1						
<i>Ramonda</i>	3						
Scrophulariaceae	<i>Chamaecigala</i>						1
	<i>Craterostigma</i>						3
	<i>Ilysanthes</i>						1
	<i>Limosella</i>						1
	<i>Lindernia</i>	> 15					
	Lamiaceae	<i>Micromeria</i>	1				
		<i>Satureja</i>	1				

* Tomado y modificado de Proctor y Tuba, 2002.

En el grupo de investigación de la Dra. Analilia Arroyo y el Dr. Miguel Angel Villalobos (CIBA-IPN) se han identificado especies mexicanas de musgos con tolerancia extrema a la pérdida de agua. Como ejemplos podemos mencionar a *Pseudocrossidium replicatum* y *Bryum billardieri*, los cuales son musgos aislados en la zona volcánica del centro de México. Sorprendentemente, estos musgos pueden recuperar niveles normales de fotosíntesis en minutos a pesar de haber permanecido en estado desecado por más de 7 años (Rios-Meléndez et al., Cervantes-Díaz et al., Chamorro-Flores et al., manuscritos en preparación).

Para el caso de las Traqueófitas, hay varios géneros con especies tolerantes a la desecación. A continuación, se muestra una lista con los géneros que integran PDR (Tabla I) (Proctor y Tuba, 2002), seguida de algunos ejemplos con una breve descripción por demás interesante:

ALGUNOS EJEMPLOS EN LICOFITAS:

Selaginella lepidophylla. Pertenece a la familia Selaginellaceae.

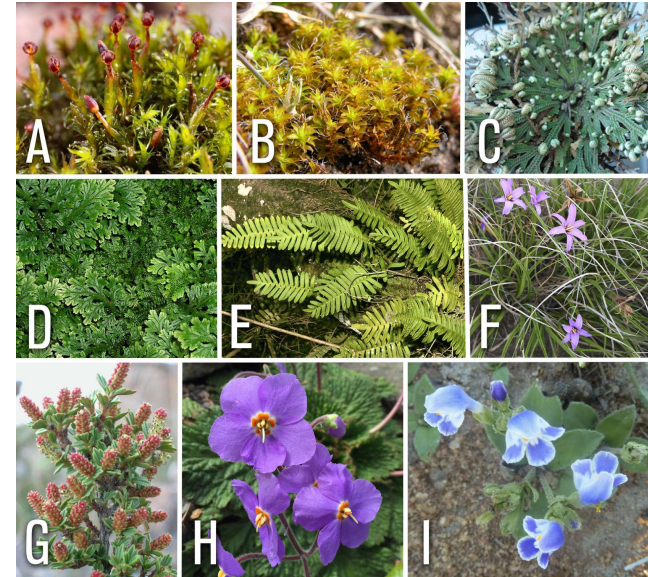


Figura 1. Imágenes representativas de diversas plantas de resurrección

- A. *Andreaea rothii* (http://www.biopix.com/quality/ed-moss-andreaea-rothii_photo_54468.aspx)
 B. *Tortula* (*Syntrichia*) *ruralis* (http://www.biopix.es/syntrichia-ruralis_photo-53892.aspx)
 C. *Selaginella lepidophylla* (CC BY-SA 3.0. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=290142>)
 D. *Selaginella bryopteris* (CC BY-SA 2.1 es. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=139610>)
 E. *Polypodium polypodioides* (By Korai - Own work, CC BY 3.0. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8776273>)
 F. *Xerophyta viscosa* (By Marco Schmidt [1] - Own work, CC BY-SA 2.5. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1864194>)
 G. *Myrothamnus flabellifolius* (By Nlio - Own work, CC BY 3.0. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10633502>)
 H. *Ramonda sericea* (By Sir Wolf - From en-wiki File:Ramonda_sericea.jpg, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=11261100>)
 I. *Craterostigma plantagineum* (By JPK - Own work, CC BY-SA 4.0. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=54119283>)
 (las imágenes C a I fueron tomadas de Wikipedia.org/ commons.wikimedia.org)

Su reproducción es a través de esporas, sin producción de flores. Necesita de suelos bien drenados y la poca disponibilidad de agua no es un problema para su supervivencia. Su altura promedio es de 5 cm. Es nativa de América del Norte (zonas áridas del estado de Chihuahua). Sus nombres comunes son: planta de la resurrección, rosa de Jericó, siempre viva, flor de piedra, doradilla, flor de roca, magóra (en lengua tarámurí tarahumara). Se tiene registro como planta medicinal con actividad contra *Helicobacter pylori* y de su alta capacidad para permanecer latente por años bajo condiciones de deshidratación, debido en gran medida a su gran capacidad de sintetizar trehalosa (Fig. 1C) (Zentella et al., 1999; Walters et al., 2005).

Selaginella bryopteris. Utilizada en la medicina tradicional de la India. Se le conoce por el nombre que significa "la que infunde vida", al ser un remedio efectivo contra algunas complicaciones graves de salud. Entre sus propiedades medicinales están: mitigación y/o alivio del ardor al orinar; restauración de los ciclos menstruales tras irregularidades,

facilita el alumbramiento, cura la ictericia. Esta especie crece en colinas de áreas tropicales, particularmente en regiones alejadas a la montaña *Arawali*. Durante la época de lluvias, crecen exuberantemente, y una vez que llega el verano sufren una severa desecación, que se manifiesta en la disposición contraída de sus frondas (Fig. 1D) (Sah et al., 2005).

Selaginella tamariscina. Especie que puede hallarse en el continente asiático, ya sea en rocas expuestas o en laderas, y se le adjudican propiedades medicinales contra cáncer (Liu, 2008).

UN DIGNO REPRESENTANTE EN PTERIDOFITAS:

Polypodium polypodioides. Helecho de resurrección que usa como substrato ramas de árboles, rocas o regiones de tierra seca. Presenta largos y delgados rizomas, que pueden extenderse a través de grietas o de surcos en la corteza de los árboles. Las hojas (15 cm

de largo y 4 cm de ancho) se disponen a lo largo del rizoma. Una vez que *P. polydoides* se encuentra en estado deshidratado, se torna de color gris y sus hojas se rizan, estrategia muy común entre las plantas de resurrección (Fig. 1E) (Helseth y Fischer, 2005).

ALGUNOS EJEMPLOS EN ANGIOSPERMAS:

Sporobolus stapfianus. Es un pasto de la Familia Poaceae, **angiosperma monocotiledónea** que se le encuentra en el continente africano, y es capaz de recuperarse rápidamente del estado desecado, potencial de agua equilibrado a 2% de humedad relativa (Gaff et al., 2009).

Xerophyta viscosa. Planta endémica del Sur de África con propiedades medicinales (Fig. 1F) (Farrant et al., 2015).

Myrothamnus flabellifolia. Su tamaño es superior al de muchas plantas de resurrección. Es un arbusto leñoso que puede llegar a una altura de 1.5 m. y suele crecer sobre rocas (Fig. 1G) (Moore et al., 2007).

Ramonda serbica. Especie de la familia Gesneriaceae, cuyos integrantes crecen principalmente en el hemisferio norte e inclusive pueden soportar inviernos congelantes (Fig. 1H) (Quartacci et al., 2002).

Craterostigma plantagineum. Es el miembro más estudiado de la tribu Linderniae, perteneciente a la familia Scrophulariaceae, muchas de ellas son endémicas del continente africano, parece presentar estrategias moleculares únicas y algunos genes son capaces de conferir tolerancia a especies sensibles (Fig. 1I) (Fischer, 2004; Villalobos et al., 2004).

IV. CLASIFICACIÓN DE LAS PLANTAS TOLERANTES A LA DESECCACIÓN

Oliver et al. (2000) clasificó a las Plantas Tolerantes a la Deseccación en dos grupos artificiales:

- **Plantas tolerantes a la desecación**
 - Sus procesos de deshidratación e hidratación son rápidos (de minutos a horas)
 - La relación de ácidos grasos saturados presentes en sus membranas es baja en ambos estados (hidratado-deshidratado)
 - El contenido de azúcares solubles y sistemas antioxidantes se mantiene en niveles altos en ambos estados (Moore et al., 2007)
 - Este grupo se compone de plantas no vasculares

(musgos, hepáticas y antocerofitas)

- **Plantas con tolerancia modificada a la desecación**

- Pierden agua lentamente, en periodos que van de algunas horas a varios días
- Se valen de una estrategia vinculada con el Ácido Abscísico para contender con el estrés hídrico y evitar futuros daños a la estructura y organización celular
- Grupo compuesto por angiospermas y pteridofitas
- Esta clasificación podría cambiar con los nuevos abordajes "ómicos" en PDR conocidas y las que aún sin duda faltan por conocer.

Esta clasificación podría cambiar con los nuevos abordajes "ómicos" en PDR conocidas y las que aún sin duda faltan por conocer.

Otras clasificaciones incluyen aspectos de **tolerancia constitutiva o inducida**; el nivel de retención de clorofila en el estado seco, dividiendo a las plantas en **homioclorófilas** cuando conservan el aparato fotosintético y membranas cloroplásticas, y **poiquioclorófilas** cuando lo desmantelan y pierden la clorofila, misma que deben resintetizar durante la rehidratación (Proctor y Tubo, 2002; Rascio y La Rocca, 2005).

V. POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO ANTE CONTINGENCIAS MUNDIALES: DE LO TEÓRICO A LO PRÁCTICO

La contemplación y estudio de la naturaleza invitan a elucubrar sobre su "propia naturaleza", sobre las leyes que la rigen, e invitan a manipulaciones que elevan nuestro ego, que restablecen el carácter dominante de la especie humana o en la no mayoría de los casos, proponen modificaciones que posibilitan un beneficio colectivo. Un poco de astucia arroja resultados asombrosos, por lo que hasta un observador principiante admite el papel imprescindible que el agua cumple en los procesos biológicos. Su condición como disolvente universal es la connotación moderna del **arjé**, el principio de todas las cosas para el filósofo jónico **Tales de Mileto** (Ledesma-Mateos, 2000).

Por lo tanto, no es necesario hacer vulgares conjeturas acerca del valor (en toda la extensión y aplicación del término) del agua, ya que su escasez, contaminación, mal uso o pésima distribución se muestran como unas de las problemáticas más delicadas a las que se enfrenta y enfrentará la humanidad (Minorsky, 2003).

De esta manera, las circunstancias actuales favorecen un nuevo discurso sobre el recurso agua, pues al aumentar el número de habitantes, mayor será el consumo de alimentos; dicho aumento plantea un mayor consumo de agua. Es necesario tener en mente que, a escala global, el sector agrícola utiliza la gran mayoría de los recursos de agua dulce. De esta manera, un objetivo lógico y recurrente es desarrollar nuevas metodologías que lleven a producir significativamente más alimentos utilizando menos agua (Perspectivas del Medio Ambiente Mundial GEO4, GEOS-Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)).

En este contexto, se hace presente la Biotecnología que, como alternativa científica socialmente responsable, propone soluciones tangibles a los continuos elementos problemáticos, risibles o invisibles. Diversas metodologías científico-tecnológicas son viables para solucionar o de buena forma desviar los problemas ambientales vinculados con el agua: Generación de variedades cultivables tolerantes a tal estrés abiótico, buen manejo del recurso hídrico que involucre la reutilización, etc. Sin embargo, estas metodologías se ven rebasadas e insuficientes ante el problema. Por lo tanto, es necesario contar con nuevos enfoques que brinden soluciones eficientes y que, sobre todo, corrompan lo menos posible al ambiente.

Actualmente, la Biotecnología de Plantas se vale de la Fisiología Vegetal, la Bioquímica, la Biología Molecular y Celular, y de su discípulo causal, la Ingeniería Genética para impulsar mejoras en el terreno agrícola. De esta manera, el conocer a detalle las rutas metabólicas, sus implicaciones a nivel celular y tisular; las cascadas de señalización presentes bajo ciertas circunstancias, sus posibles manifestaciones y/o repercusiones en la transcripción y traducción en las diversas especies de plantas, permitirá comprender con mayor amplitud y detalle el concepto de **homeostasis vegetal**. Dicha información puede complementarse con trabajos en Botánica, Evolución y Sistemática Filogenética. Estos proyectos emergentes pretender disipar las incertidumbres con respecto a la predecible insuficiencia alimentaria.

Las Plantas de Resurrección pueden considerarse una **píldora panaceica** para la Biotecnología de Plantas moderna; su clara tolerancia a la pérdida protoplasmática de agua y su increíble resucitar tras largos periodos de latencia, las convierten en interesantes modelos de estudio, con un inherente mundo casi inexplorado de metabolitos con capacidades terapéuticas en medicina, agricultura e industria en general. Sus características se muestran como una fuente irresistible para el descubrimiento de nuevos metabolitos, genes o estrategias de regulación de la expresión de los genes que les permiten contender con la desecación, los frenéticos mecanismos bioquímicos y fisiológicos, y posibilitan la generación de novedosas variedades agrícolas

tolerantes, en ciertos rangos, a la escasez de agua (Toldi et al., 2009).

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto Politécnico Nacional, SIP IPN y CONACYT por los apoyos otorgados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Albert, P. 2006. Constraints of tolerance: why are desiccation-tolerant organisms so small or rare? *The Journal of Experimental Biology*, 209: 1575-1584.

Bewley, J.D. 1973. Polyribosomes Conserved during Desiccation of the Moss *Tortula ruralis* Are Active. *Plant Physiology*, 51(1): 285-288.

Cove, D., Bezarilla, M., Harries, P., Quatrano, R. 2006. Mosses as model systems for the study of metabolism and development. *Annu. Rev. Plant Biol.* 57:497-530.

Farrant, J.M., Cooper K., Hilgert A., Abdalla K., Bewley J., Thomson J., Dace H., Peton N., Mundree S., Rafudeen M. 2015. A molecular physiological review of vegetative desiccation tolerance in the resurrection plant *Xerophyta viscosa* (Baker). *Plant* 24(2): 407-426.

Fischer, E. 2004. *Scrophulariaceae*. En *The families and genera of vascular plants*. Kubitzki (ed.), Berlin Springer. pp. 333-432.

Gaff D.F., Blomstedt C., Neale A., Le T., Hamill J., Ghasempour H. 2009. *Sporobolus stapfianus*, a model desiccation-tolerant grass. *Functional Plant Biology* 36(7): 589-599.

Graham, L.E., Cook, M.E., Busses, J.S. 2000. The origin of plants: Body plan changes contributing to a major evolutionary radiation. *Proc. National Academic Science*, 97 (9): 4535-4540.

Helseth L.E. y Fischer T.M. 2005. Physical mechanisms of rehydration in *Polypodium polypodioides*, a resurrection plant. *Physical Review E* 71, 061903.

Ledesma-Mateos, I. 2000. *Historia de la Biología*. AGT Editor. México, DF. pp. 26.

Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses, 2nd edn. Academic Press, New York.

Liu, M.S., Cheng, C.T., Lin, T.P. 2008. Constitutive Components and Induced Gene Expression are Involved in the Desiccation Tolerance of *Selaginella selaginoides*. *Plant Cell Physiology*, 49(4): 653-663.

Minorsky, E.V. 2003. Achieving the in silico plant. *Systems biology and the future of plant biological research*. *Plant Physiology*, 132: 404-409.

Moore, J.P., Lindsey, G.G., Farrant, J.M., Brandt, W.F. 2007. An Overview of the Biology of the Desiccation-tolerant Resurrection Plant *Myrothamnus flabellifolia*. *Annals of Botany*, 99 (2):211-217.

Moore, J.P., Tian-Le, N., Brandt, W.F., Driouch, A., Farrant, J.M. 2008. Towards a systems-based understanding of plant desiccation tolerance. *Cell*, 14 (2): 110-115.

Oliver, M.J., Tubo, Z., Mishler, D. 2000. The evolution of vegetative desiccation tolerance in land plants. *Plant Ecology*, 151: 85-100.

Perspectivas del Medio Ambiente Mundial GEO4, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) 2007 pp. 150. Archivo disponible en la web: http://www.unep.org/geo4/report/GEO4_Report_Full_ES.pdf. GEO4: www.unep.org/geo4/report/GEO4_Report_Full_ES.pdf. GEO5: <http://www.pnuma.org/geo5/GEO%205%20ESpanol%202013%20WEB.pdf>

Phillips, J.R., Fischer, E., Baron, M., van den, D.N., Facchinelli, F., Kutzner, M., et al. 2008. *Lindernia breydiana*: a novel desiccation-tolerant vascular plant, endemic to ancient tropical rainforests. *Plant* 15:938-948.

Poyarkovskii, S. 2011. Evolution, diversity and habitats of polydesiccating plants. In: Lutge U, Beck E, Barred D, editors. *Plant desiccation tolerance*. Springer, p. 139-156.

Proctor, M.C.F., Tubo, Z. 2002. Polihydridy and homohydry: antithesis or spectrum possibilities? *Translay Reviews of New Phytologist*, 156: 327-349.

Quaracni, M.F., Oliveira, G., Stevanoni, B., Navari-izzo, F. 2002. Plasma membrane lipids in the resurrection plant *Ramonda serbica* following dehydration and rehydration. *Journal of Experimental Botany*, 53 (378): 2159-2166.

Rascio, N., La Rocca N. 2005. Resurrection Plants: The Puzzle of Surviving Extreme Vegetative Desiccation. *Critical Rev. Plant Sc.* 24(3):209-225.

Richardson, 1981. *The Biology of Mosses*, Blackwell Scientific Publications: New York, pp. 2.

Sah, N.K., Singh, S.N., Saheev, S., Banerji, S., Jha, V., Khan, Z., Hasnain, S. 2005. Indian herb 'Sanjeevani' (*Selaginella bryopteris*) can promote growth and protect against heat shock and apoptotic activities of ultra violet and oxidative stress. *Journal of Bioscience*, 30(4): 499-505.

Scott, P. 2000. Resurrection Plants and the Secrets of Eternal Life. *Annals of Botany*, 85: 159-166.

Tokli, O., Tubo, Z., Scott, P. 2009. Vegetative desiccation tolerance: Is it a goldmine for bioengineering crops? *Plant Science*, 176: 187-199.

Villalobos, M.A., Barred, D., Iruirriaga, G. 2004. Stress tolerance and glucose insensitive phenotypes in *Arabidopsis* overexpressing the *GmHSP10* transcription factor gene. *Plant Phys.* 135: 309-24.

Walters, C., Hill, L.M., Wheeler, L.J. 2005. Dying while Dry: Kinetics and Mechanisms of Deterioration in Desiccated Organisms. *Inser. Comp. Biol.* 45:751-758.

Zentella, R., Mascorro-Gallardo, J.O., Van Dijk, P., Foch-Mallol, J., Bonini, B., Van Vaeck, C., Gaxiola, R., Covarrubias A.A., Nieto-Sotelo J., Thevelein J.M., Iruirriaga, G. (1999). A *Selaginella lepidophylla* trehalose-6-phosphate synthase complements growth and stress-tolerance defects in a yeast *psf1* mutant. *Plant Physiology*, 119(4): 1473-1482.