



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

IZTACALA

Descripción de los ciclos de vida de *Polypodium colpodes* Kunze
y descripción del desarrollo de los gametofitos de *P. arcanum*
Maxon var. *bakerii* (Daven.) Mickel et Tejero y *P. pleurosorum*
Kunze ex Mett.

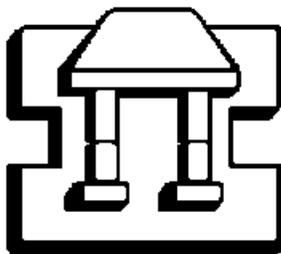
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

B I O L O G O

P R E S E N T A:

SANDRA SALAZAR AGUILAR



F E S
IZTACALA

DIRECTOR DE TESIS: M. EN C. MARÍA DE LA LUZ ARREGUÍN SÁNCHEZ

TLALNEPANTLA, EDO. DE MEX.

2005



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central

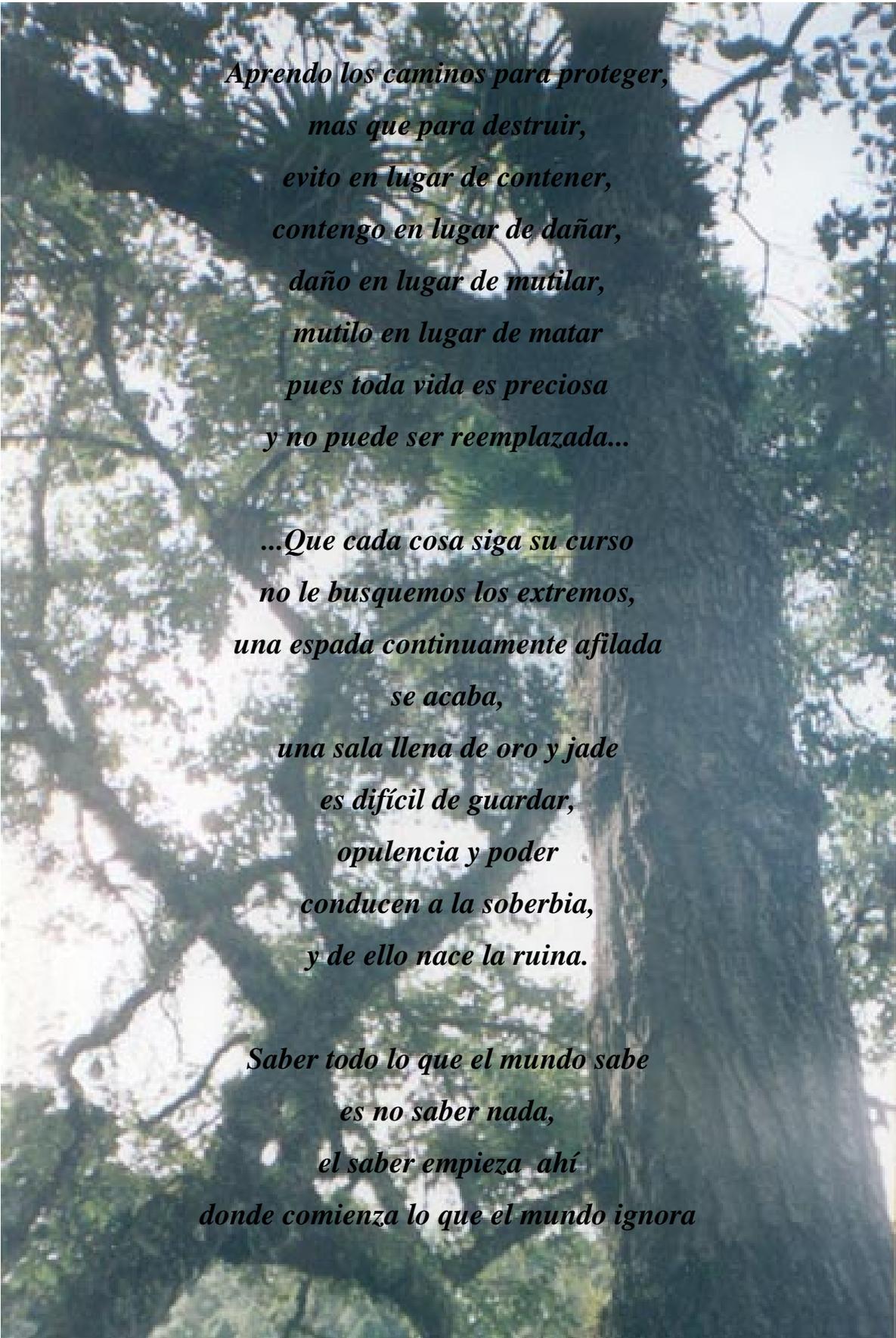


UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



*Aprendo los caminos para proteger,
mas que para destruir,
evito en lugar de contener,
contengo en lugar de dañar,
daño en lugar de mutilar,
mutilo en lugar de matar
pues toda vida es preciosa
y no puede ser reemplazada...*

*...Que cada cosa siga su curso
no le busquemos los extremos,
una espada continuamente afilada
se acaba,
una sala llena de oro y jade
es difícil de guardar,
opulencia y poder
conducen a la soberbia,
y de ello nace la ruina.*

*Saber todo lo que el mundo sabe
es no saber nada,
el saber empieza ahí
donde comienza lo que el mundo ignora*

DEDICATORIA

*A mi madre, **Taide Aguilar Cerón.***

Con gratitud y admiración por ser Padre y Madre a la vez. Por demostrar que a pesar de la adversidad podemos salir adelante; sobre todo por que sus manos se deshicieron para que mis hermanos y yo pudiéramos hacernos. “Gracias ama”.

*A mis hermanos, **Genaro, Fernando, María Luisa y Lourdes.***

Por limpiar el camino de espinas y malas hierbas dejando solo las necesarias para construir el mío propio. Por su gran apoyo y cariño y por los buenos y malos momentos que hemos compartido, siempre juntos.

*A mis sobrinos, **Ricardo, María Fernanda, Armando, Sebastián, Noemí y Esteban.***

Por ser el regalo mas grande y valioso que la vida me ha podido dar (y también mis hermanos), por recordarme que la vida esta llena de cosas sencilla y maravillosas. Los quiero mucho “chamaquitos”.

*A Miss **Cecilia Arreguín Sánchez.***

Por que este logro no solo es mío es de usted también por ser uno de los pilares que me sostuvieron en los momentos mas difíciles y confusos de mi vida. Por su gran apoyo y paciencia, por sus consejos siempre tan valiosos, pero sobre todo por que jamás dejó de creer en mi. Muchas gracias.

AGRADECIMIENTOS

Ningún trabajo por pequeño que parezca se puede lograr de manera aislada, por lo tanto deseo expresar mi mas profundo agradecimiento a todas aquellas personas que de alguna u otra manera intervinieron en la realización del presente y aprovechando a aquellas otras con quienes conviví en mi formación.

*De manera muy, muy especial a mi asesora **M. en C. María de la Luz Arreguín Sánchez**, por su gigantesca paciencia al dirigir este trabajo, por sus consejos y apoyo incondicional , por el tiempo compartido pero sobre todo por ser un excelente persona. Nunca cambie maestra.*

*A **Marco**, del laboratorio de Microscopia de la ENCB por el gran apoyo y ojo clínico para obtener las esas grandiosas imágenes.*

*Al **Dr. Daniel Tejero**, por su gran ayuda para coleccionar el material vegetal, consejos y sugerencias realizadas al presente trabajo.*

*A la **Dra. Silvia Aguilar**, por las sugerencias que apporto al presente.*

*A la **M. en C. Leonor Abundis**, por la paciencia que tuvo conmigo en clases, por las pequeñas charlas que tuvimos y las observaciones realizadas al trabajo.*

*Al **Biol.. Alberto Rodríguez**, por los comentarios hechos al presente.*

*Al **Maestro Manuel Mandujano**, por la frialdad y dureza que demostró en clases, que desde mi perspectiva no era lo mejor manera de enseñar, sin embargo, me sirvió para demostrarme a mi misma que era capaz de salir adelante. Muchas gracias.*

*A la **Maestra Maria Eugenia Heres**, gracias por creer en mi.*

*A la **Bióloga Soledad Chino**, por su paciencia y por impulsarme a entrar de lleno al área de la investigación etnobotánica,*

*A la **Dra. Edith Estrada**, por darme la oportunidad de conocer otra gran rama de investigación, que aunque es un mundo diminuto requiere de una gigantesca dedicación. Por su gran apoyo y accesibilidad. Muchas Gracias.*

*A **Eduardo Pérez (lalito)**, por los grandiosos momentos compartidos en la carrera, por los regaños y el apoyo que siempre me brindaste, donde quiera que te encuentres. MUCHAS GRACIAS.*

*A **Gustavo Ramírez (tavo)**, por el apoyo, los consejos y compañía que me ofreciste en la carrera.*

*A **Susana Ramírez** (le susane), por ser un gran apoyo en la carrera y fuera de ella, por aguantarme toda la lata que daba en tu casa, por los momentos triste y alegres que hemos compartido y los que seguiremos compartiendo. A tu abuelita, **Petra Juárez**, por ser una prueba fiel de que la fe mueve montañas. A tu Mamá **Carmen Sánchez** por darme ánimos para termina la carrera y la tesis.*

*A **Omar Angeles**, por las palabras brindadas en el momento preciso para hecharle ganas ala escuela. Gracias Omarito.*

*A **Irving Ruiz**, por enseñarme que los retos no se acaban hasta que se terminan y que no hay que darnos por vencidos antes de tiempo. Por las grandiosas pláticas y tu agradable forma de ser. Trata de no cambiar.*

*A **Arturo Cortes**, por tu gran apoyo, tus regaños, tus consejos, tu compañía, por los momentos buenos y malos; sobre todo gracias por confiar en mí e impulsarme a seguir siempre adelante aunque todo este en contra.*

*A **Carlos, Uri, Rodrigo, Alfonso, Polo, José, Alfredo, Liliana y Rocio** (chio totis), por los momentos compartidos en la carrera.*

*A **Fernando Salazar**, por enseñarme que nosotros podemos cambiar nuestro “destino”.*

*A **Jesús Acuña, Juan Vanegas, Patricia Chaires y Ruth**, por demostrarme el verdadero trabajo en equipo, por las charlas y debates del feminismo y machismo, pero sobre todo por ser excelentes compañeros y amigos.*

*A **Susana Reyes**, por sus “sutiles” palabras para hacer las cosas con mayor rapidez y responsabilidad.*

*A **Yolanda Murataya**, por darme ánimos para ser cada vez mejor en todos los aspectos.*

Y a todas aquellas personas que sin querer olvide mencionar.

INDICE

RESUMEN.....	2
INTRODUCCIÓN	3
Importancia de las Pteridofitas.....	3
Descripción del grupo.	4
ANTECEDENTES.....	15
OBJETIVOS.....	17
MATERIAL Y MÉTODOS.....	18
RESULTADOS	22
Descripción del ciclo de vida de <i>P. colpodes</i> (maquique).....	22
Descripción del ciclo de vida de <i>Polypodium colpodes</i> (tierra).....	23
Descripción del desarrollo del gametofito de <i>P. arcanum</i> (maquique).	26
Descripción del desarrollo del gametofito de <i>P. arcanum</i> (tierra).....	27
Descripción del desarrollo del gametofito de <i>P. pleurosorum</i> (maquique)	29
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.	31
Cuadro 1.- Comparación de las diferentes etapas de desarrollo.	32
Cuadro 2. Comparación de los ciclos de vida entre diferentes especies de <i>Polypodium</i>	35
FENOGRAMA DE DESARROLLO EN LAS DIFERENTES ESPECIES....	37
BIBLIOGRAFÍA.....	38
FIGURAS.....	42

RESUMEN

En el presente trabajo se describe el ciclo biológico de *Polypodium colpodes* Kunze y el desarrollo del gametófito de *P. arcanum* Maxon var. *bakerii* (Daven.) Mickel et Tejero y *P. pleurosorum* Kunze ex Mett. Los ejemplares botánicos se colectaron en la Sierra de Igualatlaco, en el Estado de Guerrero, México.

Se realizaron dos siembras con esporas maduras de cada especie, una en maquique y otra en tierra de hoja. Cada quince días se tomaron muestras de las diferentes fases de desarrollo y se montaron en un portaobjetos. La germinación de las esporas en las tres especies la cual fue de tipo *Vittaria*; el desarrollo del gametofito para *Polypodium colpodes* y *P. arcanum* que fue de tipo *Drynaria* en maquique y tipo *Drynaria* y *Adiantum* en tierra y en *P. pleurosorum* fue de tipo *Drynaria* en maquique; presentándose diversas formas de gametófito, observándose el espatulado, cordado-lobado, semicircular, reniforme y alado y algunos de ellos presentaron tricomas unicelulares marginales. El desarrollo de los arquegonios se pudo observar en las tres especies, mientras que los anteridios solo se observaron en *P. pleurosorum*. El ciclo de *P. colpodes* tardó en maquique 331 días y en tierra 270 días, mientras que el desarrollo de los gametofitos de *P. arcanum* var. *bakerii* comenzó a 150 días en maquique y a los 77 días en tierra y *P. pleurosorum* se comenzó a observar a los 366 en maquique. El esporofito solo se presentó en *P. colpodes*. En las tres especies se presentó el fenómeno de apogamia, lo cual posiblemente se debe a la manipulación del medio, pues *P. colpodes* es rupícola y *P. arcanum* y *P. pleurosorum* son epífitos, o bien, cabe la posibilidad de que pueda tratarse de helechos que tienen un origen híbrido.

INTRODUCCIÓN

Las pteridófitas son un grupo de plantas que tienen un relativo éxito ecológico; en la actualidad existen alrededor de 10,000 especies en el mundo. En México existen 1009 spp. (Mickel y Smit, 2004), por lo que ocupa el tercer lugar mundial en cuanto a diversidad de helechos. Crecen en ambientes dulceacuícolas, palúdicos, desérticos, rupícolas y epífitos; su mayor diversidad, se encuentra en las montañas del trópico con clima húmedo (Tejero et al, 1998); en bosque de pino encino y en selvas altas perennifolias.

Importancia de las Pteridófitas.

Con mucha frecuencia los géneros *Adiantum*, *Blechnum*, *Pteri*, y *Nephrolepis* son utilizadas como ornamentales en varios países de América. En medicina tradicional, *Lycopodium clavatum* se ocupa para curaciones de pequeñas heridas, *Polypodium arcanum* es utilizado para el reumatismos (Mendoza, et al., 2002), *Davallia canariensis* y algunas especies de *Polypodium* como antifebrífugo (para bajar la fiebre). Los tallos de varios helechos arborescentes como *Cibotium* se utilizan como soporte de cultivos de invernaderos para orquídeas y otras epífitas (Montoya-Casimiro et al., 2000). Las hojas de *Pteridium aquilinum*, *Diplazium* y *Dicksonia* se emplean como alimento. *Lycopodium selago* como insecticida es excelente pues contiene selaginina. Las especies *Selaginella rupestris* y *Cheilanthes bonoreois* retienen el suelo formando alfombras vegetales, evitando la erosión. Varias especies de helechos arborescentes de los géneros *Cyathea*, *Nephrolepis* y *Dicksonia* son utilizados para la elaboración de figuras de ornato (Arreguín- Sánchez, 1987).

La diversidad biológica y la conservación de los helechos dependen del estado que guardan los ecosistemas donde se reproducen, lo que a su vez depende principalmente de la actividad humana que altera la vegetación desmontando áreas para ocuparlas con asentamientos humanos y en actividades como la ganadería, la agricultura y la explotación de recursos forestales (Pérez-García y Reyes-Jaramillo, 1993) Es por esto que desde el punto de vista ecológico algunas especies están en peligro de extinción, en parte por la sobre explotación que de ellas se hace y/o por la agresión que se está haciendo a su hábitat natural (Montoya- Casimiro et al., 2000). Por las anteriores

razones saber el ciclo biológico nos permite tener los conocimientos necesarios para su manejo, ya sea para que se cultiven con fines comerciales o para la preservación de aquellas especies en peligro de extinción. Además, conocer el ciclo biológico nos permite contar con datos que pueden ser empleados en estudios taxonómicos, motivo por el cual se realizó el presente trabajo.

Descripción del grupo.

Las pteridófitas, también llamadas criptógamas vasculares por no producir flores y contar con tejido vascular presentan un ciclo de vida diplobiontico con alternancia de generaciones. La fase esporofítica (diploide) es la más conspicua y esta constituida por órganos como raíz, tallo y hojas. La fase gametofítica (haploide) es pequeña, generalmente independiente de la esporofítica y está formada por un talo multicelular, es decir, no presenta órganos estructurales. En el gametofito se van a formar los anteridios y arquegonios (gametangios) que contienen a las células masculinas o anterozoides y femeninas u ovocélulas respectivamente, una vez efectuada la fertilización, el cigoto produce un embrión que se desarrolla en el nuevo esporofito al tiempo que degenera el gametofito (Tejero *et al.*, 1998.)

Basado en el criterio de agrupación de Mickel y Smith 2004, Las pteridófitas presentan tres tipos de ciclos de vida:

El ciclo isospórico se caracteriza por presentar esporas iguales, las cuales originan un gametofito o prótalo que dará origen a anteridios y arquegonios. Este ciclo lo presentan la gran mayoría de las pteridófitas (Fig. 1).

El ciclo heterospórico se distingue por la presencia de dos tipos de esporas, las megasporas que darán lugar a gametofitos con arquegonios los cuales formaran la ovocélula y las microsporas que producirán anteridios y éstos a los anterozoides. Lo presentan los helechos acuáticos, *Selaginella* e *Isoetes* (Fig. 2).

El Ciclo tipo *Equisetum* el cual se considera intermedio entre el isospórico y heterospórico con esporas morfológicamente iguales; pero algunas de ellas originarán

gametofitos productores de anteridios y otras formarán gametofitos con arquegonios (Fig. 3).

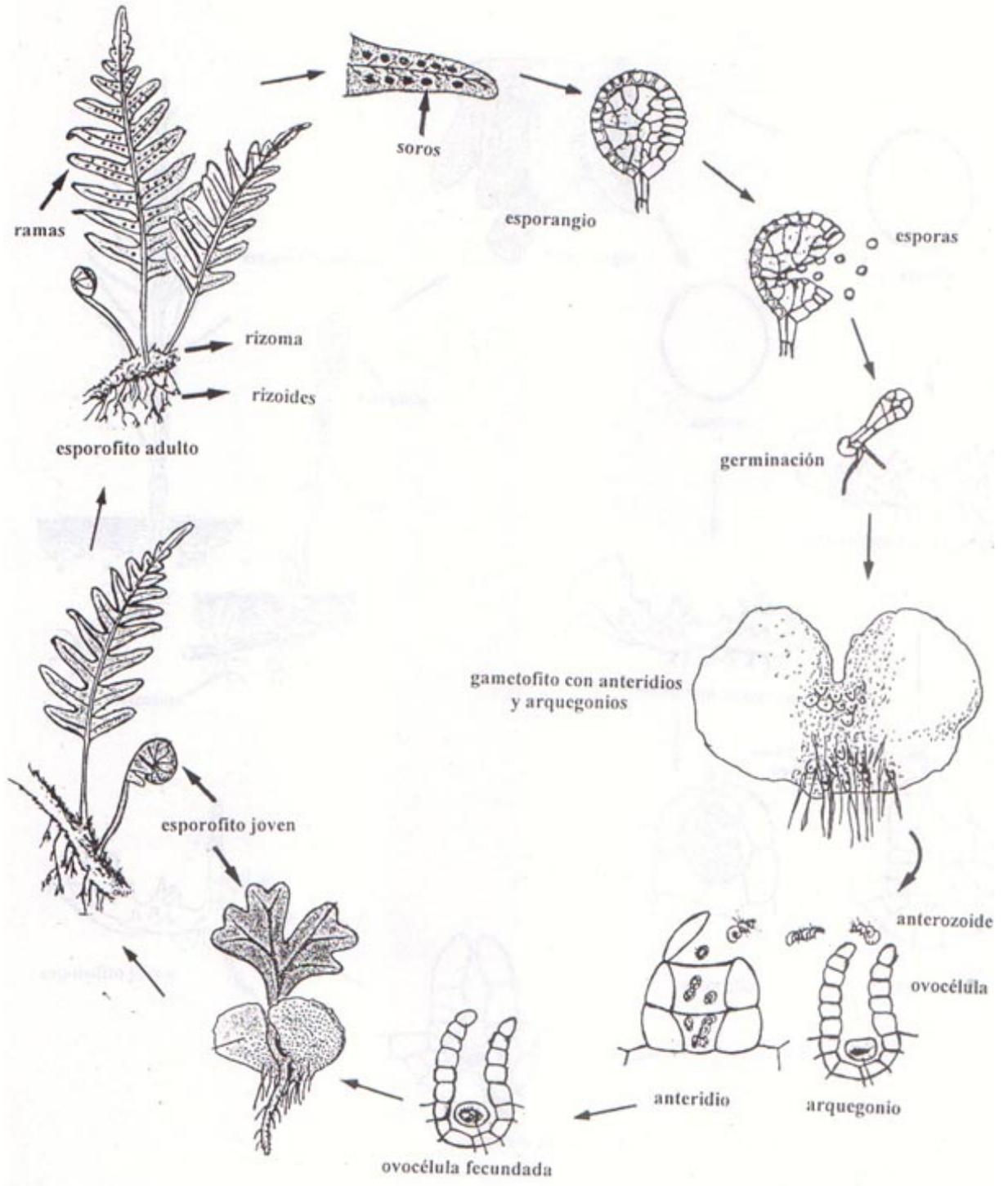


Fig 1.- Ciclo biológico isospórico

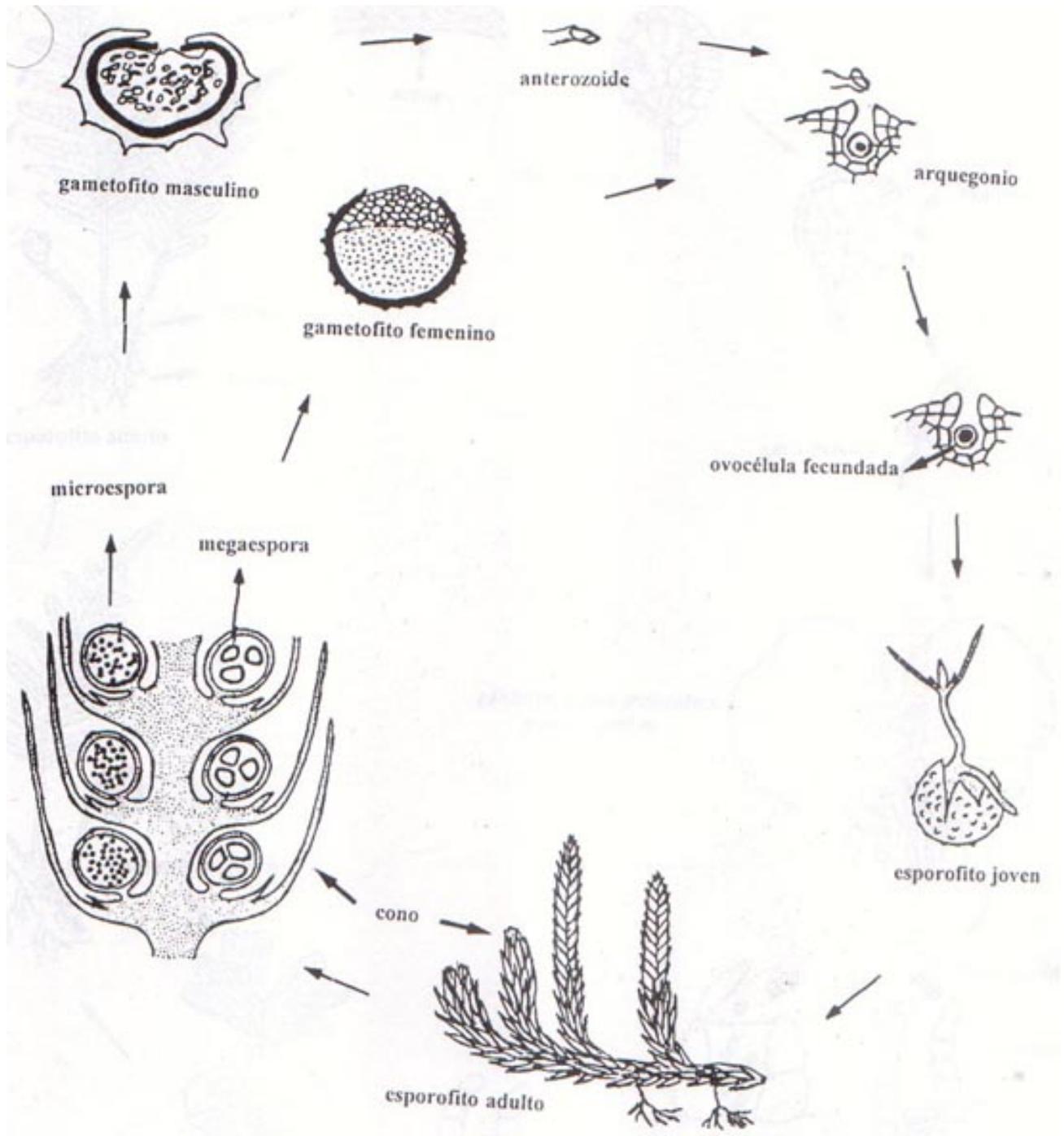


Fig 2. Ciclo biológico heterospórico

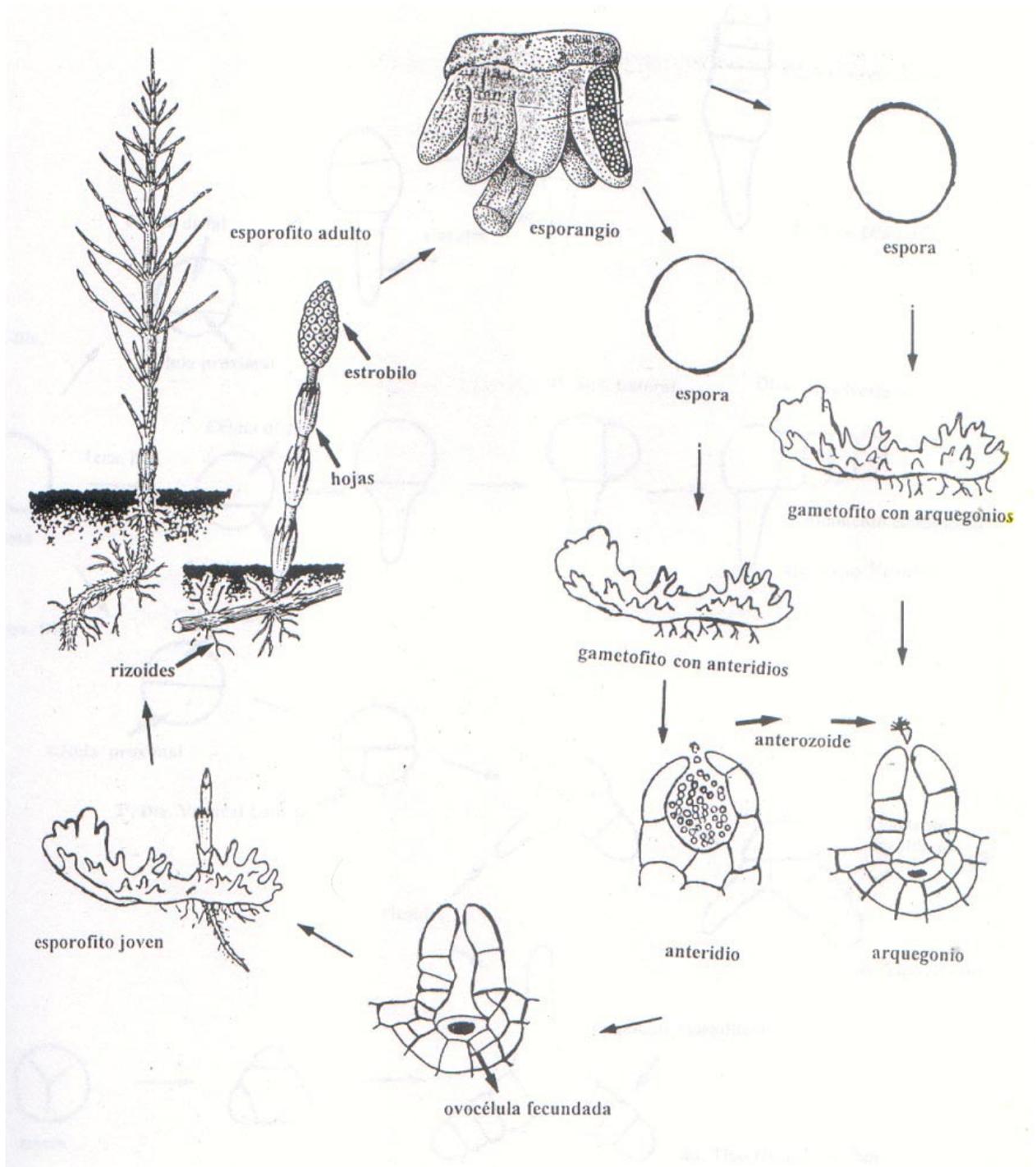


Fig 3. Ciclo biológico tipo *Equisetum*.

En algunos ciclos de vida de Pteridofitas se han observado alteraciones de los mismos como son la aposporia y apogamia, entendiéndose la primera como la transición del esporofito a gametofito sin esporogénesis y la segunda como la transición del

esporofito sin fusión de gametos (Bell, 1992); o como la producción directa de una planta a partir del gametofito mediante brotes, sin la formación de gametos (Lincoln *et al.*, 1986).

Font Quer (1973), señala a la apogamia como el fenómeno en virtud del cual habiéndose perdido en una planta cualquiera la aptitud de reproducirse sexualmente, este tipo de reproducción queda sustituido por otro de multiplicación por una vía asexual.

La definición de apogamia que se tomo en este trabajo es la de Lincoln *et al.* (1986) y Font Quer (1973), es decir, a partir de un gametofito (gametotipo), o una planta cualquiera, se forma otro gametofito sin intervención de gametos.

La formación de los gametófitos comienza con la producción de esporas por medio de la reducción del número cromosómico meiótico, esto se lleva a cabo en estructuras específicas llamadas esporangios, que se forman en el envés de la fronde del esporofito maduro. Las esporas de los helechos son estructuras microscópicas unicelulares, cuyas dimensiones van desde menos de 25 a más de 100 μm . La viabilidad de éstas y la tasa de crecimiento de los gametofitos, son factores básicos para un exitoso establecimiento de los helechos en un nuevo hábitat después de la dispersión. Estos factores están controlados por propiedades intrínsecas como el genotipo, edad y latencia y por factores extrínsecos como son las diferentes condiciones del ambiente, del sitio donde se liberan y depositan las esporas, del pH del suelo, de la humedad, la temperatura, la luz y de los competidores, entre otros elementos (Pérez- García y Reyes-Jaramillo 1993).

De acuerdo a Nayar y Kaur (1968), las esporas presentan cuatro tipos de germinación, las que se describen a continuación (Fig. 4).

Tipo *Osmunda*: la primera división de la espora da como resultado la formación de una célula pequeña llamada proximal y una más grande que es llamada célula distal. La célula proximal da lugar a los rizoides, mientras que la célula distal genera el filamento clorofílico, conservando durante las primeras divisiones una posición lineal.

Tipo *Vittaria*: la espora se divide transversalmente, originando una célula proximal pequeña y una distal más grande, en este caso la célula distal sufre una nueva división longitudinal lateral y ésta se continúa dividiendo formando el filamento verde. Los rizoides se forman en la célula proximal, pero conservan, durante las primeras etapas, un ángulo de 90° entre las divisiones transversales de la célula distal y la célula proximal.

Tipo *Anemia*: la primera división de la espora es a la mitad, es decir, la célula proximal y distal tienen las mismas dimensiones. La célula proximal se divide de manera vertical y lateral, dando lugar a los rizoides, mientras que las células restantes producen el filamento verde.

Tipo *Hymenophyllum* tiene lugar en esporas triletas en donde estas sufren tres divisiones iguales, una de las cuales dará origen a los rizoides y las otras dos al filamento.

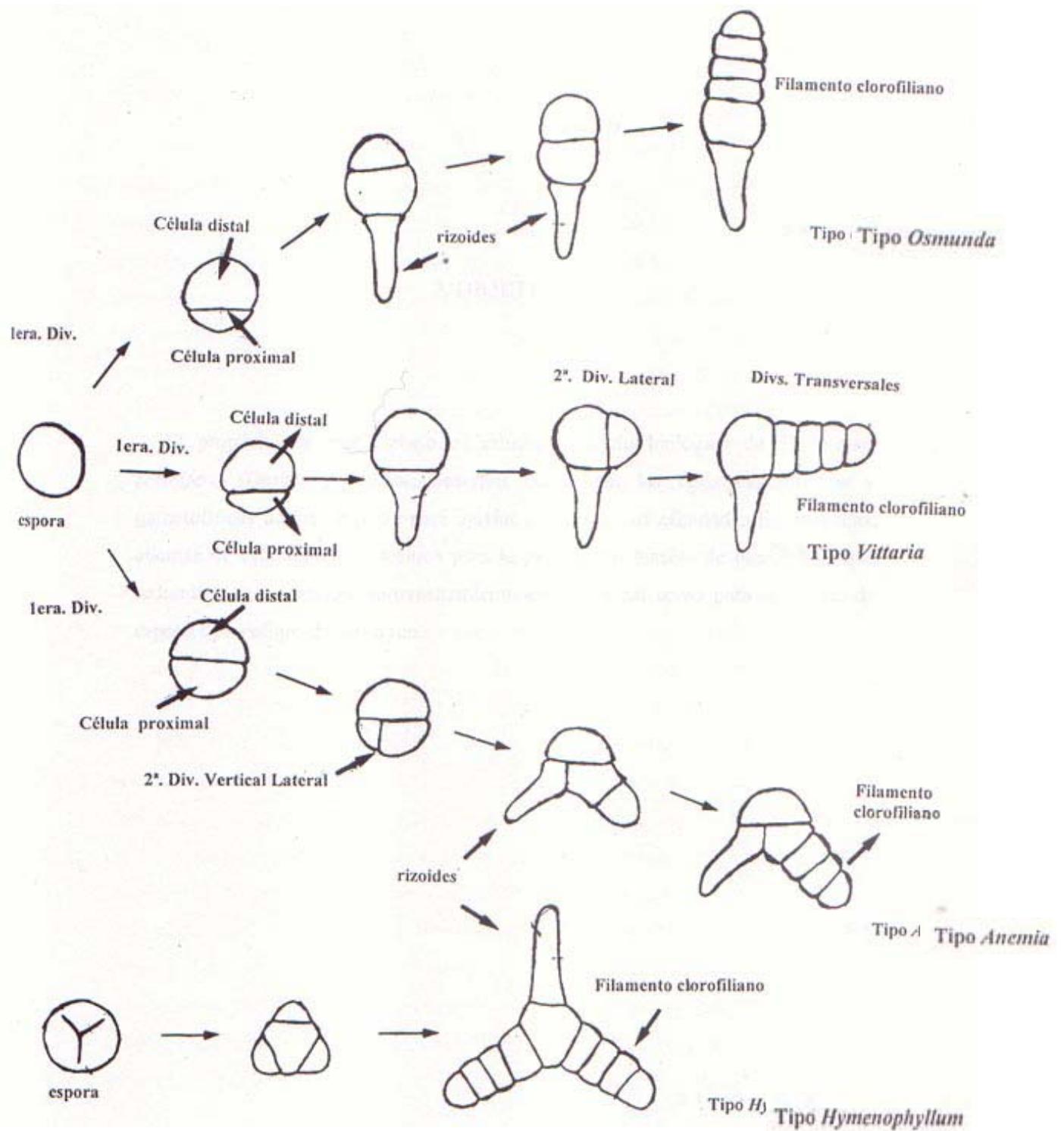


Fig. 4. Tipos de germinación de las esporas según Nayar y Kaur (1968).

La formación posterior del gametófito se realiza de diferente forma en las pteridofitas isosporas según lo señala Nayar y Kaur (1969). Ellos mencionan los tipos: *Cerapteris*, *Kaulinia*, *Marattia*, *Osmundia*, *Aspidium*, *Adiantum* y *Drynaria*.

En las especies trabajadas en este estudio, se presentaron los tipos *Adiantum* y *Drynaria*, por lo cual se describen con precisión a continuación:

Tipo *Adiantum*: la germinación de la espora da como resultado un filamento germinal uniseriado, delgado, generalmente de 3-8 células de largo (1). La célula terminal y 1 ó 2 células por detrás de ella, se dividen longitudinalmente iniciando la formación de la lamina protálica. La célula terminal puede dividirse mediante una pared vertical, seguida por una pared oblicua a ella en una de las célula hijas (2), delimitando una célula meristemática. Debido a la actividad de la célula meristemática, se forma una lámina protálica espatulada (3), en la cual el ápice se va modificando y forma una escotadura (4 y5) y finalmente se hace cordiforme (6). La célula meristemática apical es reemplazada por un meristemo pluricelular. Inmediatamente, se forma una costilla media y resulta un prótalo cordiforme simétrico (Fig 5).

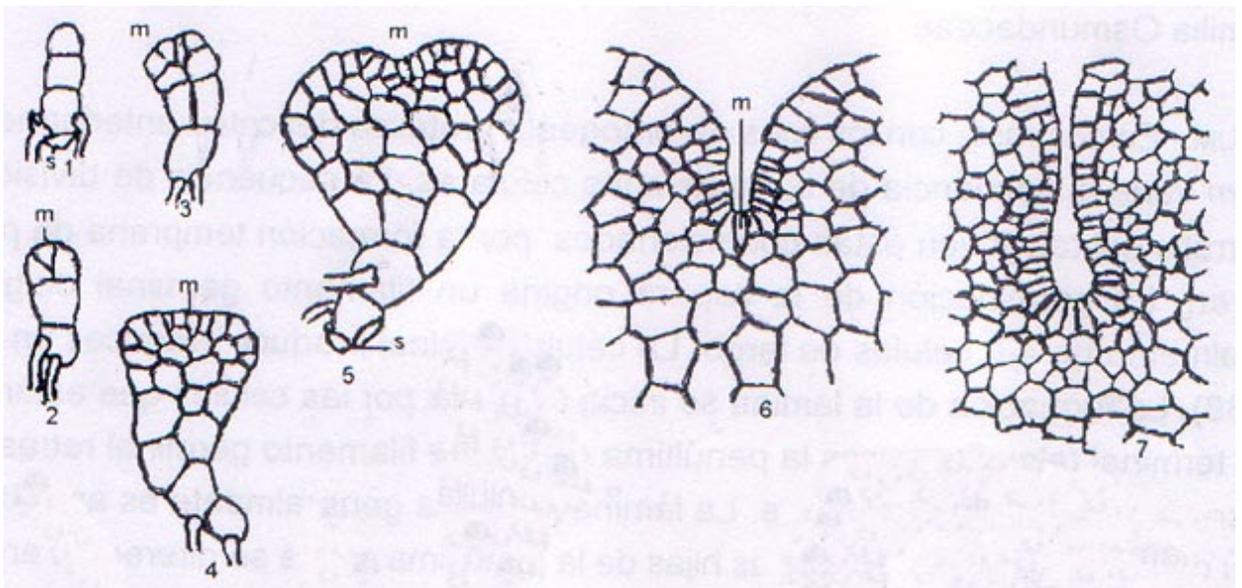


Fig 5.- Desarrollo del gametofito tipo *Adiantum*. m célula meristemática obcónica; s, cubierta de la espora. 1 Filamento germinal uniseriado. 2 y 3 Establecimiento de la célula meristemática apical en la célula terminal del filamento germinal. 4 y 5. Desarrollo del talo cordiforme. 6 Ápice del talo joven con célula meristemática apical. 7. Ápice del talo joven con célula meristemática apical.

Tipo *Drynaria*: difiere del tipo *Adiantum* en que el establecimiento de la célula meristemática apical es mucho más retardado y los protalos generalmente desarrollan pelos en el margen y en las superficies. La germinación de la espora forma un delgado filamento germinal uniseriado. Por las divisiones longitudinales y transversas repetidas de sus células terminales y por la expansión de las células hijas resultantes se forma una lámina protálica ancha y espatulada. La lámina protálica frecuentemente tiene de 5 a 10 células de ancho (ocasionalmente más) y es ampliamente ovada, pero no tienen un meristemo organizado. Más tarde se diferencia una célula meristemática obcónica por medio de dos divisiones oblicuas en una de las células marginales en el extremo anterior de la lámina protálica. El prótalo joven se hace cordiforme, la célula meristemática apical es reemplazada por un meristemo pluricelular y se desarrolla una costilla media. Los prótalos jóvenes son desnudos; los pelos generalmente se forman cuando la lámina protálica se hace cordiforme (Fig. 6).

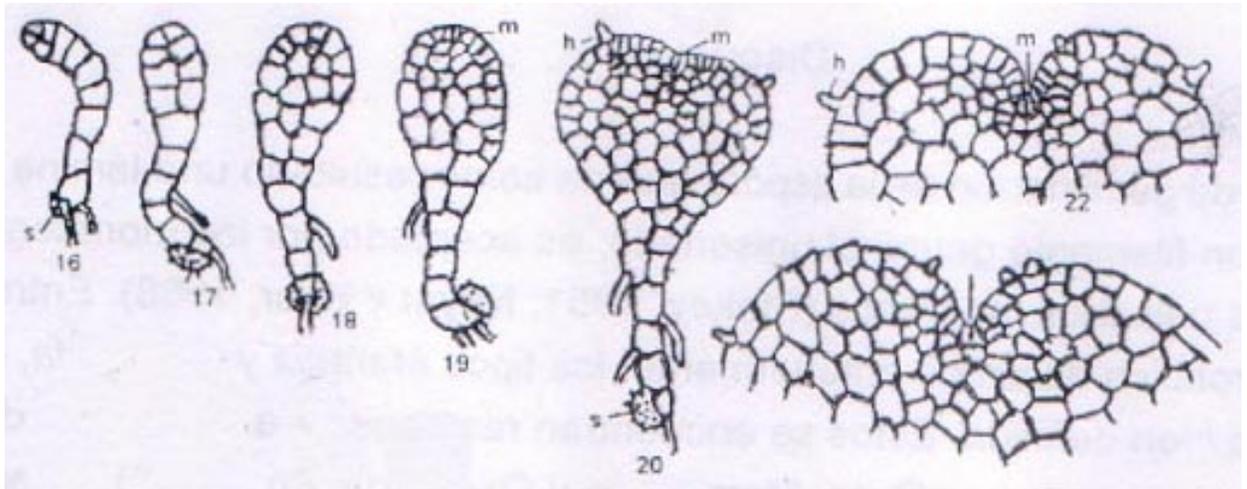


Fig. 6. Desarrollo del gametofito tipo *Drynaria*. h tricoma; m célula meristemática obcónica; s cubierta de la espora. 16-18. Fases en el desarrollo de la lámina protálica amerística. 19. Diferenciación de la célula meristemática apical. 20. Protalo espatulado joven con célula meristemática bien diferenciada. 21. Ápice del protalo cordiforme joven con célula meristemática. 22. El mismo, mostrando la diferenciación del meristemo pluricelular.

La formación de los gametangios (anteridios y arquegonios) se realiza a partir de alguna de las células del prótalo que comienza a diferenciarse; en los anteridios el desarrollo comienza a partir de una célula del gametofito o prótalo que surge como una

protuberancia, se divide y de las dos células resultantes la inferior es la que funciona como la célula basal del anteridio, la superior se divide varias veces, originando el opérculo y la pared del arquegonio (células anulares). Dentro de las células anulares se forma una masa espermatógena que se divide 4 ó 5 veces para diferenciar los anterozoides (Fig. 7).

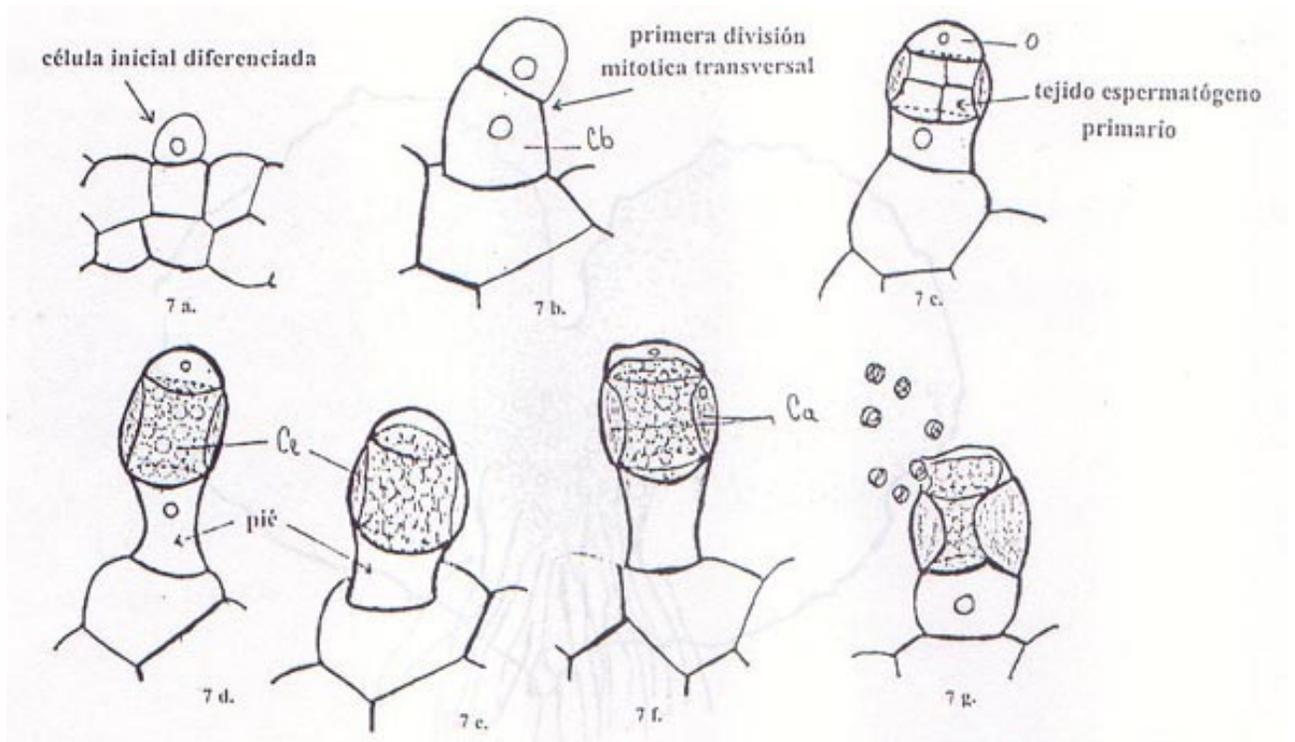


Fig. 7 a-g.- Desarrollo del anteridio. o, opérculo; cb, célula basal; ca, célula anulares, a, anterozoides, ce, células espermatógenas.

Los arquegonios se forman también a partir de una célula del prótalo. Esta célula tiene dos divisiones mitóticas transversales, que originan tres células que alcanzan el tamaño de la célula original. La célula superior se divide longitudinalmente para iniciar la formación de las células del cuello. La segunda célula, por sucesivas divisiones, forma una columna de una a varias células de paredes delgadas, que constituyen las células delgadas del cuello. La tercera célula se divide para dar lugar a la ovocélula y a la célula ventral (Rodríguez, 1973).

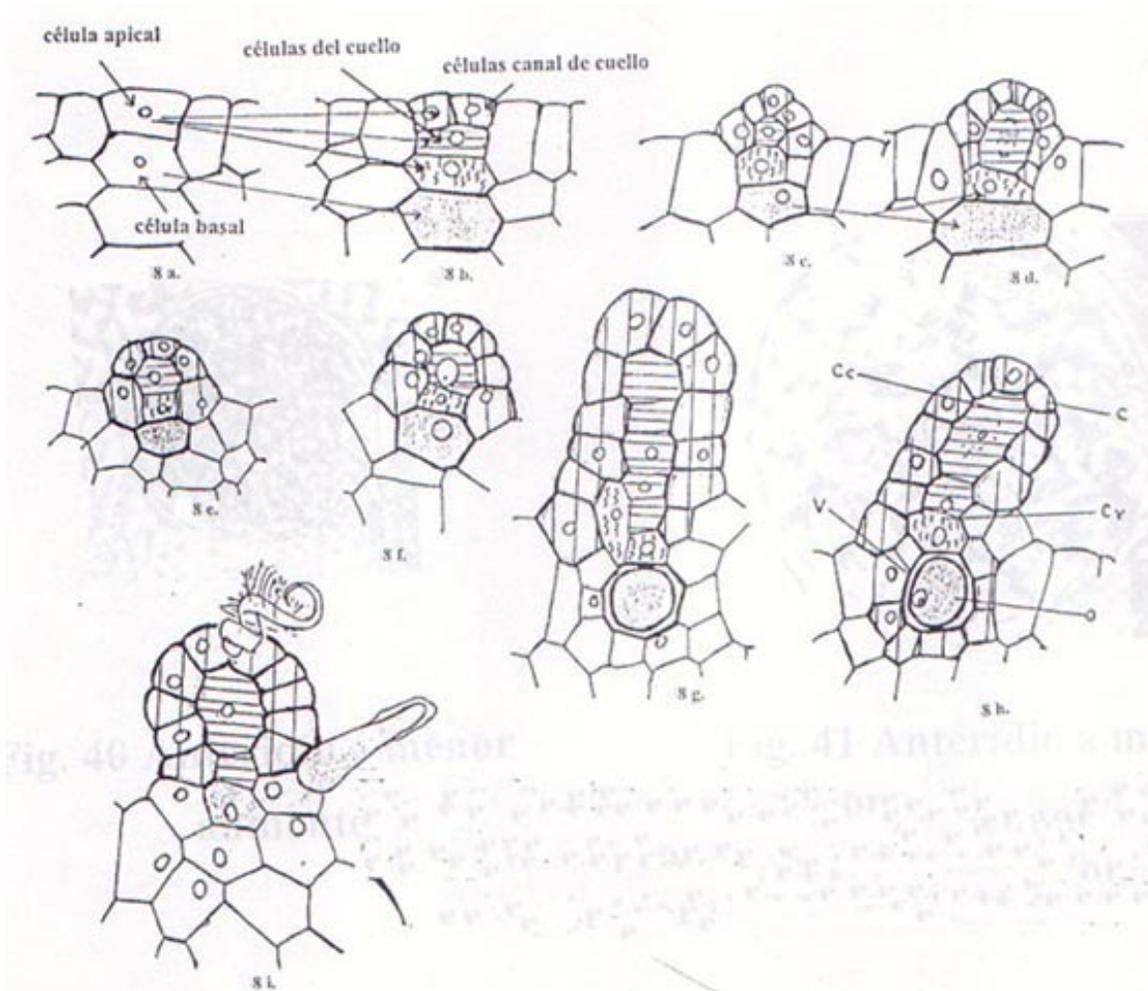


Fig. 8. Desarrollo del arquegonio. o, ovocélula; cv, célula del vientre; cc, células del canal del cuello; c, células del cuello.

El género *Polypodium* comprende aproximadamente 150 especies, la mayoría de ellas se distribuye en América Tropical y algunas otras especies en regiones templadas de América, Europa, Asia y África. De las especies *P. colpodes* Kunze, *Polypodium arcanum* Maxon var. *bakerii* (Daven.) Mickel et Tejero y *P pleurosorum* Kunze ex Mett, no se ha registrado ningún antecedente de estudios de sus ciclos de vida, motivo por el cual se realizó el presente trabajo, como una aportación para el conocimiento de la biología de estas especies.

ANTECEDENTES

Aparte de los anteriores trabajos que definen la Ontogenia de los gametófitos se encuentran los trabajos realizados por Steil (1921), quien estudió el desarrollo de los órganos sexuales en *Polypodium irioides*, describió la posición de los gametangios en los gametófitos y la importancia de la diferenciación de las células para la formación de los gametófitos. Pickett y Thayer (1927), publicaron su trabajo sobre el desarrollo del gametófito en *P. vulgare* var. *occidentale* y *Pellea densa*, en el que explican desde la germinación de la espora hasta la formación del gametófito maduro. Rakin (1934), estudió el ciclo de *Polypodium polypodioides*, germinó esporas en musgo molido. Knudson (1940) observó las modificaciones que los cloroplastos del gametófito de *Polypodium aureum* presentan después de la exposición de los rayos X, obteniendo como resultado que los efectos no alteran los factores genéticos. Stokey (1959), comparó el desarrollo del gametófito de *Polypodium pectinatum* y *P. plumula*, para definir con certeza su pertenencia a la familia Polypodiaceae o Grammitidaceae; concluye que pertenecen a la familia Polypodiaceae. Nayar (1962), describió la morfología de los gametófitos en algunos géneros y especies de helechos y menciona que hay correlación filogenética y evolutiva entre géneros y especies a través de su ciclo de vida. Entre las polypodiaceas que estudio se encuentran *Arthromeris tenicanda*, *A. wallichiana*, *Campylocreurum angustifolium.*, *Colysis griffithianus*, *C. hastalus*, *Lemmaphyllum carnosum*, *Pleopeltis excavata*, *P. normalis* y *Polypodium ammoenun*. Atkinson & Stokey (1970), describieron el desarrollo del gametófito de *Polypodium chnoodes*, en 2 medios de cultivo: barro y musgo y solución de Knop y agar. Nayar y Raza (1970), describieron los protalos de *Lepisorus loriformis*, *L. thunbergianus*, *Polypodium vulgare* y *Weatherbya accedens*. Spiess y Krouk (1977), realizaron un trabajo de fotocontrol en la germinación de las esporas de *Polypodium aureum*, someténdola a cAMP (3' 5' adenosin monofosfato cíclico) F.R. (luz rojo lejano), ácido giberílico, ácido indolacético, fitocromo rojo lejano y luz roja, de donde concluyeron que la germinación de las esporas de *P. aureum* puede ser modificado por luz azul, la kinetina, el ácido giberílico o el AMP cíclico; solo la luz roja es efectiva en la iniciación de la germinación pero el AMP cíclico u hormonas pueden sustituirse por luz roja en el proceso de postgerminación. Agnew y Smith (1985), realizaron un trabajo de fotocontrol sobre el crecimiento del protonema en *Polypodium vulgare* concluyendo que la respuesta de éste a la exposición de la luz azul es mediado por el pigmento de absorción de luz azul y en la luz roja la respuesta es controlada por la reacción del fitocromo de alta energía. Reyes- Jaramillo y Pérez-García (1994), publicaron un artículo sobre la morfología y estrategias reproductivas de *Polypodium lepidotrichum* y mencionan la forma que tienen los gametófitos; ellos encontraron que pueden ser bisexuados o unisexuados; mencionan el tiempo de

germinación de la espora y describen la fase gametofítica. Monroy (2001), describió el ciclo de *Polypodium subpetiolatum* y encontró que los gametófitos son unisexuados, la germinación de la espora fue de tipo *Vittaria* y el desarrollo del gametófito de tipo *Drynaria*.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Describir los eventos ocurridos en los ciclos de vida de *Polypodium colpodes*, *P. arcanum* var. *bakerii* y *P. pleurosorum*, siendo éstos de ambientes mixtos (rupícola o epífita, epífita o terrestre y epífita respectivamente)

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Describir el ciclo de vida de *P. colpodes* Kunze.
- Describir el desarrollo del gametófito de *Polypodium arcanum* Maxon var. *bakerii* (Daven.) Mickel et Tejero.
- Describir el desarrollo del gametófito de *Polypodium pleurosorum* Kunze ex Mett.
- Comparar el desarrollo de estas especies en dos medios de soporte diferentes.

MATERIAL Y MÉTODOS

Las especies fueron seleccionadas por la siguiente característica:

Crece en ambientes diferentes: *P. colpodes* puede ser epífita, terrestre o rupícola, *P. arcanum* var. *bakerii* y *P. pleurosorum* son epífitos en Bosque de pino-encino y Bosque Mesófilo de Montaña respectivamente.

Los ejemplares botánicos con esporas maduras se colectaron en la Sierra de Igualatlaco, Municipio de Heliodoro Castillo en el Estado de Guerrero, México.

ESPECIE	# DE COL	SITIO DE COLECTA	VEGETACION	HERBARIO
<i>Polypodium arcanum</i> var. <i>bakerii</i>	1	Sierra de Igualatlaco. Municipio Heliodoro Castillo. Estado de Guerrero, México.	Bosque de Pino-Encino, en cañada. epífita.	“Herbario IZTA” FES Iztacala UNAM y Herbario de la ENCB, IPN.
	2	8 KM Filo de Caballo hacia Puerto el Gallo. Estado de Guerrero, México.	Bosque Mesófilo de Montaña. Epífita	“Herbario IZTA” FES Iztacala UNAM y Herbario de la ENCB, IPN.
<i>Polypodium pleurosorum</i>	3	13 KM Filo de Caballo hacia Puerto el Gallo. Estado de Guerrero, México.	Bosque Mesófilo de Montaña. Epífita	“Herbario IZTA” FES Iztacala UNAM y Herbario de la ENCB, IPN.
<i>Polypodium colpodes</i>	4	Km ± 28 Filo de Caballo hacia Puerto el Gallo. Estado de Guerrero, México.	Bosque Mixto Pino-Encino con Tropical sobre roca calcárea sedimentaria rupícola	“Herbario IZTA” FES Iztacala UNAM y Herbario de la ENCB, IPN.

Los ejemplares se determinaron con la ayuda de bibliografía especializada en taxonomía de Pteridófitas. El material colectado se encuentra en la colección científica del “Herbario IZTA” en la FES Iztacala con los números de registro 29415 al 2942.

MATERIALES

Frascos de vidrio (para siembra con maquique)

Frascos de unicel (para siembra con tierra de hoja)

Barro molido

Piedra de río

Círculos de tela de mosquitero (4 cm de diámetro)

Maquique (raíces de helecho arborescente)

Tierra de hoja

Sobres de arena

Cuadros de plástico (12 x12 cm)

Alambre de cobre

Olla de presión

Baño maría

Mecheros Bunsen

Cucharas

Pinzas

El material se esterilizó de la siguiente manera: los frascos, el maquique, la tierra de hoja, la piedra de río y el barro molido se hirvieron. El alambre, la arena, las cucharas y las pinzas se colocaron dentro de la olla de presión a 1.16 kgf/ cm², durante una hora. El plástico y la tela de mosquitero en baño maría. La mesa de trabajo con un algodón humedecido con alcohol, alrededor del lugar de trabajo se colocaron los mecheros.

Las esporas para la siembra se obtuvieron a partir de trozos de frondas con soros maduros, las cuales se depositaron en sobres blancos de papel y se guardaron en un sitio oscuro al menos 15 días previos a la siembra.

Una vez esterilizado el material se realizaron dos siembras una en maquique y otra en tierra de hoja. Los medios de cultivo se prepararon colocando en cada recipiente germinador una capa de barro molido, una capa de piedra de río, un círculo de tela de mosquitero y una capa final que en 10

recipientes fue de maquique y en otros 10 fue de tierra. Las esporas maduras, sin tener ningún tratamiento previo, se mezclaron con la arena y se esparcieron en cada uno de los recipientes germinadores con medio de cultivo. Posteriormente se cubrieron los germinadores con el plástico el cual se anillo con el alambre de cobre para evitar su posible contaminación; esto se realizó para las tres especies (Fig. A).

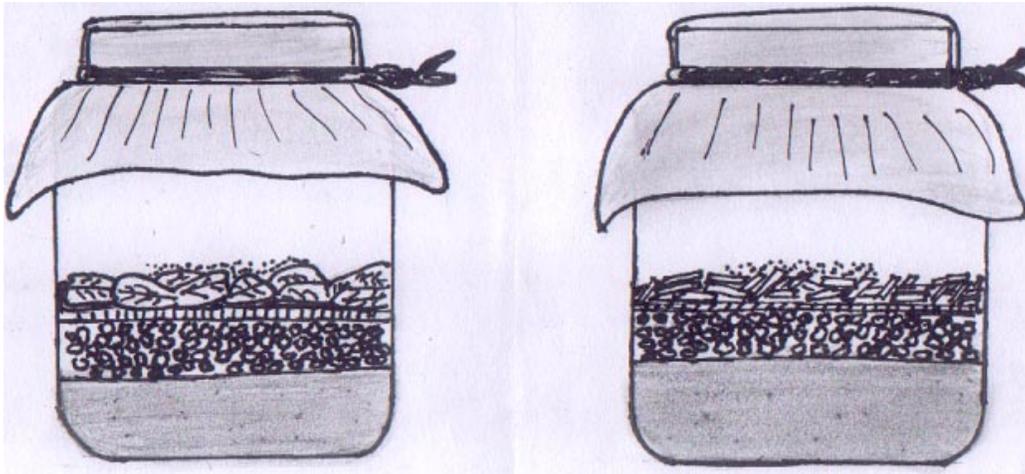


Fig. A. germinadores tierra de hoja (izquierda) y maquique (derecha).

Una vez etiquetados los recipientes germinadores se colocaron dentro de un invernadero sobre una superficie ligeramente inclinada para que la luz solar le diera transversalmente; la temperatura osciló entre los 15 y 27 °C. De los diez recipientes por especie, uno de ellos quedó como testigo. Los otros nueve, fueron utilizados para el seguimiento del ciclo biológico de las especies a describir.

Siguiendo la técnica que sugiere Montoya-Casimiro *et al.*, (2000), en forma limpia y estéril, se tomó la primera muestra a los quince días después de la siembra. Las muestras de sustrato mas esporas se colocaron en cajas de petri con formol al 2% durante 48 hr. para fijar el material. El material se observó al microscopio estereoscópico, tomándose muestras de todas las fases, desde la germinación de las esporas hasta el desarrollo del esporofito en las especies en las que se presentó, las muestras eran extraídas de los recipientes germinadores cada 15 días, obteniendose un total de 20 muestras de maquique y 19 de tierra para *P. colpodes* y *P. arcanun* var. *bakerii* y para *P. pleurosorum* solo 6 muestras en maquique. El material se montó en un portaobjetos con miel de maíz y fenol al 50 % y se tiño con safranina acuosa, se colocó un cubreobjetos y se sello con barniz de uñas transparente.

La biometría de las muestras se realizaron con ayuda de una escala micrométrica incorporada en el microscopio óptico y con escala milimétrica en el microscopio estereoscópico cuando se trataban de estructuras grandes.

Las fotomicrografías se tomaron en un microscopio Esteroscopico marca Stemi SV-11 Zeiss con cámara digital SONY DXC-151 A (640 x 480 a líneas) y en un Microscopio óptico marca Axiophot 1 Zeiss con cámara digital ZUS-47 DE. El programa para procesarlas es KS- 400 Zeiss.

Las diferentes etapas de los ciclos se ilustran con las fotomicrografías ordenadas conforme a las secuencias en que se presentaron. Las descripciones de cada una de ellas están de acuerdo con la secuencia de los mismos.

RESULTADOS

Descripción del ciclo de vida de *P. colpodes* en maquique. (Fig. 9 y cuadro de fenograma)

Espora: es monolete, de forma ovada, con ornamentación en forma de verrugas no muy prominentes; tiene un promedio de 62.5 μm de largo por 45.3 μm de ancho.

Germinación: se presentó a los 52 días después de la siembra, fue de tipo *Vittaria* en la cual la espora se divide transversalmente, originando una célula proximal pequeña y una distal más grande. La célula distal sufre una nueva división longitudinal lateral y ésta se continúa dividiendo formando el filamento verde. Los rizoides se forman en la célula proximal, pero conservan, durante las primeras etapas, un ángulo de 90° entre las divisiones transversales de la célula distal y la célula proximal.

Fase filamentosa: se presentó a los 52 días con 6 células, haciendo un ángulo de 90° con respecto al rizoide. A los 80 días tiene 8 células, en este caso no se observó con nitidez el rizoide.

Fase espatulada: las primeras se presentaron a los 80 días y la mayor abundancia entre los 164 y los 192 días. Se observaron con una base de pequeñas células que forman un ángulo de 90° y 45° con respecto a la parte más ancha del gametofito, en los cuales se encuentran los rizoides ventrales no muy desarrollados y sin tricomas. Otros con forma recta con pocos rizoides y con tricomas en el margen.

Fase cordada: esta fase se presentó de forma discontinua, de los 136 a los 150 días, de los 177 a los 192 días y de los 255 a los 315 días, teniendo su mayor abundancia a los 315 y 351 días. Las formas que se presentaron fueron, cordado, alargado-cordado, simétrico-semicircular, cordado-alado, cordado-asimétrico, ovado-alargado, lobado-semicircular, cordado-alargado, cordado-alargado-lobado, asimétrico-lobado y alargado-lobado. Algunos presentaron pocos rizoides y otros una gran cantidad. Estos presentaron tricomas unicelulares en el margen, lo cual indica un desarrollo tipo *Drynaria*.

Tricomas: se presentaron de los 136 a los 477 días, con mayor frecuencia a los 150 días. Estos son unicelulares y se encuentran en el margen del gametófito.

Anteridios: no fue posible observarlos.

Arquegonios: se observaron de manera discontinua a los 269, 279 y 415 días, en cada intervalo presentó un estadio de madurez mas avanzado. Con 2 células del canal de cuello.

Apogamia: se presentó de una manera acronológica de los 150 a los 477 días teniendo una mayor abundancia de los 315 a los 331 días y posteriormente de los 415 y 477 días. Dió lugar a diferentes formas de gametófitos; alargado-cordado lobado-semicircular cordado-asimétrico asimétrico-lobado.

Esporofito: se presentó uno pobremente desarrollado a los 331 días.

En esta especie cultivada en un medio análogo a la condición epifita, no fue posible observar a los anteridios, sin embargo a los 331 días solo se encontró un esporofito pobremente desarrollado.

Descripción del ciclo de vida de *Polypodium colpodes* en tierra. (Fig. 10 y cuadro de fenograma)

Germinación: se presentó a los 119 días después de la siembra fue de tipo *Vittaria*.

Fase filamentosa: no se observó esta etapa.

Fase espatulada: se presentó de los 119 a los 196 días, siendo su mayor abundancia a los 119 días. A los 196 días se presentaron gametófitos espatulados-alargados, no se observan tricomas pero si presentan varios rizoides.

Fase cordada: a los 119 días se observó un gametófito cordado-semicircular. Posteriormente se presentaron de los 168 a los 270 días con mayor abundancia a los 196 días; se encontraron diferentes formas de gametófitos, el cordado-asimétrico, cordado-alado, cordado-lobado y cordado espatulado. En algunos casos se observó la germinación de la espora dentro del esporangio. Se presentaron dos tipos

de desarrollo del gametófito; el tipo *Drynaria* y el tipo *Adiantum*, este último se observó en el intervalo de los 196 a los 210 días.

Tricomas: se presentaron de los 196 a los 383 días, todos unicelulares marginales, teniendo su mayor abundancia a los 270 y de los 348 a los 370 días.

Anteridios: no se observaron

Arquegonios: se observaron a los 168 días, en estado inmaduros y no se apreciaron claramente las células del canal del cuello.

Apogamia: se presentó a los 210 y posteriormente de los 286 a los 432 días, con mayor abundancia de los 348 a los 432 días. Este fenómeno da lugar a diferentes formas de gametófito, flabelados, con pequeñas protuberancias en el margen, semicircular-lobado, alargado-anchamente ovado, cordado-alargado, semicircular con pliegues y protuberancias, alargado-ovado y cordado-alargado.

Esporófito: se presentó a los 270 días con laminas alargadas flabeladas y venación dicotómica, a los 286 días con laminas flabeladas, con o sin venación evidente y a los 432 días se observaron los últimos esporofitos.

Los esporófitos de los cuales se tomaron las esporas para el seguimiento del ciclo de vida presentaron las siguientes características:

***Polypodium colpodes* Kunze (Fig. 11)**

Descripción

Rizomas 2.5 a 4.5 mm de diámetro; filopodios ortósticos separados de 1 a 1.8 cm; escamas del rizoma con los cuerpos apicales recostados a suberectos, lanceoladas a orbicular-cuspidadas, subuladas, planas a reduplicadas, papiráceas o cartáceas, bicoloras, anaranjada a ferrugínea y ápice piliforme de

0.4 a 2 mm, margen laxa a densamente papilado a microdentado, superficie sin indumento, en ocasiones con papilas. Hojas (12) 37 (52) cm de longitud; pecíolo mediano, pajizo en la superficie adaxial y castaño oscuro a negro brillante en la abaxial, lámina pinnatisecta excepto el primer par de segmentos, triangular o deltada a oblongamente triangular, porción apical con los segmentos reducidos en forma graduada o terminando con un segmento subconforme hasta 6 cm de longitud; segmentos (7) 18 (25) pares, lanceolados a oblongo lanceolados, margen inconspicuamente crenado, opuestos a subopuestos, los del par basal surcurrentes, excavados en el margen basiscópico proximal hasta la vena principal, en ángulo recto a descendentes 95°, segmentos medios y apicales en ángulo recto a ascendentes 70°; raquis y costa bicolora, de color pajiza en la superficie adaxial y castaña brillante a negra en la abaxial, puberulentas a glabrescentes en ambas superficies; venas laxamente puberulentas en ambas superficies y vénulas medianamente visibles a inapreciables, aréolas fértiles pentagonales a hexagonales, aréolas secundarias discontinuas; tejido de la lámina herbáceo grueso a cartáceo, verde grisáceo en la superficie adaxial y glauco en la abaxial, puberulentos o hispídulos a glabrescentes en ambas superficies (en ocasiones glabras en la abaxial), indumento de tricomas simples, erectos, cateniformes, de 0.1 a 0.5 mm, translúcidos. Soros de posición inframedia a media, (0.8) 1.6 (2) mm de diámetro. Esporangios con 0 a 3 epiparáfisis, simples a capitados, de 0.1 mm.



Fragmento con esporangios

Fig. 11.- *Polypodium colpodes* esporofito adulto

Descripción del desarrollo del gametófito de *P. arcanum* en maquiue. (Fig. 12 y cuadro de fenograma).

Espora: es de tipo monolete, ovada, con ornamentación reticulada con lúmenes de $\pm 1 \mu\text{m}$ tiene un promedio de $82.29 \mu\text{m}$ de largo $61.19 \mu\text{m}$ de ancho.

Germinación: se presentó a los 150 días después de la siembra y fue de tipo *Vittaria*

Fase filamentosa: se presentó a los 150 días con 16 células de desarrollo.

Fase espatulada: se presentó a los 177 días después de la siembras, sin tricomas y rizoides alargados.

Fase cordada: se presentó de los 150 a los 213 días y posteriormente a los 442 días. El desarrollo fue tipo *Drynaria* con muchos rizoides; algunos protalos presentaron una base angosta de células con pocos rizoides y otros fueron lobados con una gran cantidad de rizoides. Las formas del gametofito fueron cordado y lobado-asimétrico.

Tricomas: se presentaron a los 150, 192 días y de los 366 a los 442 días teniendo su mayor abundancia a los 415 días, todos unicelulares marginales.

Anteridios: no se observaron

Arquegonios: se observaron a los 442 días en estado inmaduros, con 2 células del canal del cuello.

Apogamia: se presentó de los 366 a los 428 días originando gametófitos de forma espatulada, cordada, reniforme con gran cantidad de rizoides.

Esporófito: no se desarrollo.

A los 428 días se presentaron varios gametófitos en estado de degeneración.

Descripción del desarrollo del gametofito de *P. arcanum* en tierra. (Fig. 13 y cuadro de fenograma)

Germinación: exospórica, se presentó a los 77 días después de la siembra fue de tipo *Vittaria*.

Fase filamentosa: no se presentó este fase.

Fase espatulada: se presentó solamente a los 77 días con un solo gametófito.

Fase cordada: se presentó de los 77 a los 370 días, con mayor abundancia de los 77 a los 119 días. Presentó diversas formas como: cordado, lobado-asimétrico, cordado asimétrico, semicircular, semicircular anchamente ovado, cordado-alado y alargado-lobado. La mayoría presentaron desarrollo tipo *Drynaria* y pocos con desarrollo tipo *Adiantum*. La mayoría con gran cantidad de rizoides.

Tricomas: se presentaron de los 77 a los 432 días, con mayor abundancia de los 91 a los 164 días y de los 321 a los 432 días

Anteridios: no se observaron

Arquegonios: se observaron a los 119 días, con dos células del canal del cuello.

Apogamia: se observó a los 168, 270, 348, 383 y 432 días, con mayor abundancia de a los 168 y de los 348 a los 383 días, dando lugar a distintas formas de gametófito; cordado alado, semicircular anchamente ovado, cordado, cordado asimétrico y reniforme, todos con muchos rizoides.

Esporófito: no se presentó.

Los esporófitos de los cuales se tomaron las esporas para el seguimiento del desarrollo del gametófito presentaron las siguientes características:

***Polypodium arcanum* Maxon var. *bakeri* (Daven.) Mickel et Tejero**

Descripción

Se diferencia de la variedad típica por tener el rizoma más robusto (3.7) 5.1 (7.0) mm de diámetro, 9.5 mm cuando húmedo; las escamas del rizoma orbiculares a ovadas, largamente caudadas, planas, más largas y anchas (5.1) 7.9 (10.4) mm X (1.0) 2.0 (2.6) mm, bicoloras con el punto de adherencia castaño-ferrugíneo a anaranjado y el resto del cuerpo de color marfil brillante, el margen es entero a laxamente dentado y generalmente con algunos cilios hasta de 1 mm. Hojas más largas y anchas, (24) 38 (49) X (9) 11 (16) cm, con mayor número de pares de segmentos, (8) 14 (28), lanceolados a oblongamente lanceolados; la costa es glabra en la superficie superior y glabra a glabrescente en la inferior; venas glabras en ambas superficies. Esporangios sin epiparáfisis.

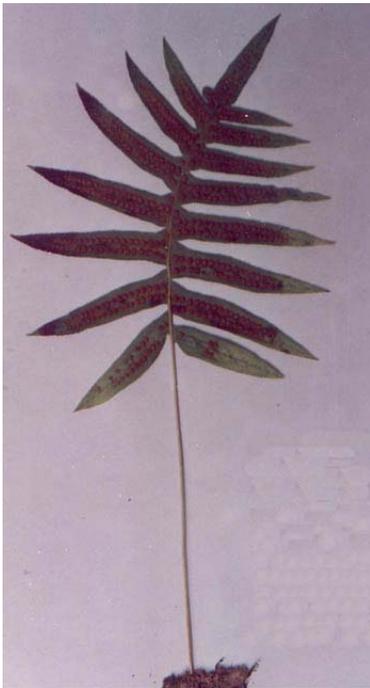
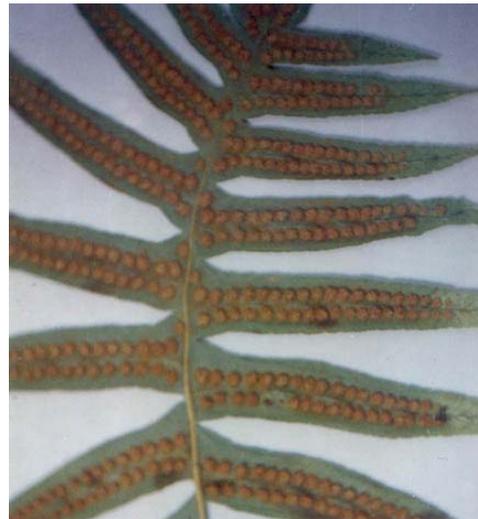


Fig. 14.- *Polypodium arcanum* esporofito maduro



Fragmento con esporangio

Descripción del desarrollo del gametofito de *P. pleurosorum* en maquique. (Fig. 15 y cuadro de fenograma)

La germinación y los primeras fases del desarrollo fue muy tardía hasta los 366 días.

Espora: es monoete ovada, con verrugas prominentes, con un promedio de 37 μm de largo por 26 μm de ancho.

Fase cordada: se pudo observar de los 366, 396 y 477 días, teniendo su mayor abundancia a los 366 días, con una gran cantidad de rizoides, las formas que se presentaron son cordado, cordado alargado, cordado lobulado. El desarrollo tipo *Drynaria*.

Anteridios: se presentaron a los 393 días en estado inmaduros, y a los 415 días en estado maduro. Fue posible observarlos expulsando a los anterozoides.

Arquegonios: se presentaron a los 415 días, observándose con 2, 3 y 4 células del cuello.

Apogamia: se presentó de los 366 a los 477 días, abundante en todo el lapso de tiempo. Los gametófitos que se observaron tenían diferentes formas, cordado alargado, alargado lobulado y alargado.

Tricomas: se presentaron durante todo el lapso de tiempo, estos fueron unicelulares marginales.

Esporófito: no se desarrollo.

Los esporófitos de los cuales se tomaron las esporas para el seguimiento del desarrollo del gametofitos presentaron las siguientes características

***Polypodium pleurosorum* Kunze ex Mett (Fig. 16)**

Descripción

Plantas epífitas; con rizomas 5-15 mm de ancho, pruinoso, las escamas 3-8 x 1-3, lanceoladas a ovadas, ligeramente patentes, no clatradas, denticuladas, pálidas a anaranjado-pardusco oscuro, glabras;

pecíolo $\frac{1}{2}$ de largo de la lámina a tan largo como ella, glabro, pajizo, sin alas; lámina 30-80 x 20-50 cm., 1-pinnada en toda su extensión, deltada a oblonga, glabra entre las nervaduras en ambas superficies, el ápice un segmento terminal similar en forma a las pinnas laterales; pinnas (2-) 4-12 pares, 10-28 (-35) x 2-4 (-5) cm, anchamente redondeadas o angostadas basalmente, subopuestas basalmente a alternas distalmente, sésiles pero no adnatas, enteras, sin cilios; raquis y costas glabros en ambas superficies, pajizos; nervaduras areoladas, con 3-4 aréolas entre la costa y el margen; soros redondeados, densamente agrupados hacia las costas, en 1 hilera entre la costa y el margen, realizadas adaxialmente; esporangios glabros. Selvas pernnifolias, bosques de neblina, bosques de Pinus.



Fig. 16. *P. pleurosorum*. Esporofito adulto.



Fragmento con esporangios.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.

Al comparar los resultados obtenidos en el presente trabajo con los citados en el cuadro 2, en los cuales describen el desarrollo de otros helechos que pertenecen al genero *Polypodium* tenemos los siguiente:

El tiempo de germinación de las esporas en las diferentes especies varia de 7 a 150 días, el número de células de la fase filamentosa para *Polypodium* que se citan en bibliografía es de 3 a 16 células, el gametófito adulto se presenta entre los 45 días a los 366 días. La forma de los protalos varía según las especies, aunque la más común es la cordada, también se encontraron de forma espatulada, lobada semicircular, alada y flabelada. Según las especies se encuentran gametofitos unisexuados y bisexuados. La presencia de anteridios en las diferentes especies varia desde los 56 días a los 415, aunque en *P. arcanun* y *P. colpodes* no se observaron anteridios, los arquegonios se presentaron de los 70 a los 415 días, en algunas especies primero se presentaron los anteridios (*P. ammoenum*, *P. vulgare* var. *occidentale*), en otros primero se observaron arquegonios (*P. chnoodes*) y en otras especies la maduración de gametangios se dió al mismo tiempo (*P. subpetiolatum* y *P. pleurosorum*). La mayoría de los gametófitos presentan tricomas y solo en *P. plumula* no se desarrollaron.

El tiempo de formación del esporofito varió de los 90 a los 940 días. En otros trabajos (cuadro 2) no se menciona si las especies estudiadas lograron la formación del esporofito y en otras más no se desarrolló. La apogamia se presentó en los tres especies que se estudiaron en este trabajo y al parecer, en ninguna otra especie hasta el momento estudiada se ha observado este fenómeno.

Los medios de cultivo han sido variables, se han usado la solución de Knop, Beyrinck agar con nutrientes, musgo molido, barro y solución de Knop y musgo molido, maqui que, tierra y en otros casos no se menciona el medio de cultivo.

Cuadro 1.- Comparación de las diferentes etapas de desarrollo en las tres especies de *Polypodium*.

Especie	<i>Polypodium colpodes</i> (maquique)	<i>Polypodium colpodes</i> (tierra)	<i>Polypodium arcanum</i> var. <i>bakerii</i> (maquique)	<i>Polypodium arcanum</i> var. <i>bakerii</i> (tierra)	<i>Polypodium pleurosorum</i> (maquique)
Germinación	52 días	119 días	150 días	77 días	No se observó
Fase filamentosa	52 a 80 días	No se observó	150 días	No se observó	No se observó
Fase espatulada	80 días	119 a 196 días	177 días	77 a 147 días	No se observó
Fase cordada	136 a 393 días	119 a 270 días	150 a 213 días	77 a 370 días	366 días
Aparición de tricomas	136 a 477 días	196 a 383 días	150 a 442 días	77 a 432 días	366 días
Anteridios	No se observó	No se observó	No se observó	No se observó	415 días
Arquegonios	269 a 415 días	168 días	442 días	119 días	415 días
Apogamia	150 a 477 días	210 a 492 días	366 a 428 días	168 a 432 días	366 días
Esporofito	331 días	270 y 442 días	No se obtuvo	No se obtuvo	No se obtuvo
Tipo de desarrollo del gametofito	<i>Drynaria</i>	<i>Drynaria</i> y <i>Adiantum</i>	<i>Drynaria</i>	<i>Drynaria</i> y <i>Adiantum</i>	<i>Drynaria</i>

En el cuadro 1, se comparan los resultados del ciclo de vida de las tres especies que se estudiaron en este trabajo, y se observó que el desarrollo de las diferentes etapas varia dependiendo del medio, en *P. arcanum* var. *bakerii* el desarrollo fue mas rápido en tierra, en *P. pleurosorum* solo se desarrollo en maquique, en tierra no se desarrolló. *P. colpodes*, los primeros fases fueron mas rápidas en maquique, aunque el esporofito se desarrollo primero en tierra a los 270 días y 60 días después en maquique.

Un aspecto importante de ese trabajo, es que en *P. arcanum* var. *bakerii* y *P. colpodes* , se obtuvieron dos tipos de desarrollo del gametófito, el tipo *Drynaria* y el *Adiantum*; este hallazgo resultó interesante, pues autores como Nayar (1969) propone una clasificación filogenética basada en el desarrollo protálico de helechos homosporicos, así también Nayar y Kaur (1969a) describen siete diferentes tipos de desarrollo protálico y los relacionan con las diferentes familias de helechos. Con lo que se observó en este trabajo consideramos que más bien el tipo de desarrollo del protalo esta en relación con las condiciones ambientales del medio y no tanto con aspectos filogenéticos.

De las tres especies que se estudiaron, solo en *P. colpodes* se obtuvieron esporofitos, en las otras dos especies solo se desarrollaron gametófitos apogámicos y ahí se detuvo el ciclo sin la obtención del esporofito, posiblemente esto se deba a que el desarrollo de esta fase se lleve a cabo en más tiempo como sucede en *P. irioides* (cuadro 2, el cual tardó 940 días) o bien exista algún factor en el medio que impida el desarrollo de esta fase.

Otro aspecto interesante de este trabajo resultó la presencia de apogamia, al respecto Sheffield y Bell (1987) indican que existen dos tipos de apogamia, uno de ellos es la obligada que se presenta cuando se producen anterozoides viables, pero los arquegonios, si se producen, no son funcionales y ha sido atribuido al pobre desarrollo o necrosis de la ovocélula, o bien, cuando el esporofito y gametofito tienen el mismo número cromosómico, debido a la formación de restitución nuclear antes de la meiosis. El otro tipo es la apogamia facultativa que se puede presentar cuando: 1.- Se presenta manipulación en el desarrollo por la escasez de agua, que impide la abertura de los arquegonios y la liberación de los anterozoides. 2.- Altos niveles de iluminación, en donde posiblemente esta incrementa el nivel general de fotosíntesis en las células. 3.- Las altas concentraciones de azúcares atribuidos a los efectos metabólicos y osmóticos.

En *P. arcanum* var. *bakerii* y *P. colpodes*, no se observaron anteridios, y posiblemente en estos casos se deba a la presencia de una apogamia facultativa debido a la manipulación del medio, aunque también cabe la posibilidad de que pueda tratarse de helechos que tienen un origen híbrido (Bell, 199; Wilson, 1958). En nuestras especies es más probable que *P. colpodes*, la especie que formó esporofitos y también produjo apogamia, sea de origen híbrido, pues presentó una situación muy parecida a lo apreciado en *Phlebodium areolatum* (Leyva *et al.*, 2002), que es un híbrido alotetraploide y su comportamiento fue similar al observado en *P. colpodes*, en las mismas condiciones de luz, temperatura y soportes a los utilizados en este trabajo.

CONCLUSIONES

El desarrollo de las diferentes etapas varia dependiendo del medio. La germinación y la fase espatulada fue mas rápido en maqui que para *P. colpodes*, en tierra para *P. arcanum* var. *bakerii* y en *P. pleurosorum* no se observó.

La fase filamentosa solo se presentó en maqui que para *P. colpodes* y *P. arcanum* var. *bakerii* y en *P. pleurosorum* no observó.

La fase cordada se presentó mas rápido en tierra para *P. colpodes* y *P. arcanum* var. *bakerii*, obteniéndose dos tipos de desarrollo del gametófito, el tipo *Drynaria* y el *Adiantum* y solo el tipo *Drynaria* en maqui que, por lo tanto se deduce que el tipo de desarrollo del protalo esta en relación con las condiciones ambientales del medio y no tanto con aspectos filogenéticos. En *P. pleurosorum* se observó el desarrollo tipo *Drynaria*.

La aparición de tricomas se presentó mas rápido en maqui que para *P. colpodes* y en tierra para *P. arcanum* var. *bakerii* en *P. pleurosorum* también se presentaron.

Los anteridios solo se observaron en *P. pleurosorum* a los 415 días.

Los arquegonios se presentaron mas rápido en tierra para *P. colpodes* y *P. arcanum* var. *bakerii* y en *P. pleurosorum* se presentaron a los 415 días.

Los esporofitos solo se obtuvieron en *P. colpodes* y también produjo apogamia, probablemente porque sea de origen híbrido y en *P. arcanum* var. *bakerii* y *P. pleurosorum* solo se desarrollaron gametófitos apogámicos.

Cuadro 2. Comparación de los ciclos de vida entre diferentes especies de *Polypodium*.

Especie	Autor y años	Tiempo de germinación (días)	No. De células del filamento	Gametofito bien formado (días)	Forma del gametofito	Sexo del gametofito	Tiempo de aparición de gametangios anteridios/ arquegonios	Tricomas	Aparición del esporofito (días)	Medio de cultivo	Otras características
<i>Polypodium irioides</i> Poir.	Steil, 1921.	No se menciona	No se menciona	No se menciona	No se menciona	No se menciona	No se menciona	No se menciona	940 días	Solución de Beyrinck	ninguna
<i>P. chnoodes</i> Spreng.	Atkinson & Stokey, 1970.	No se menciona	3 a 6 células por filamento	45	cordado	bisexual	330/180	Simples en margen ramificado en sup.	No se menciona	Barro con musgo y sol de Knop	Ninguna
<i>P. vulgare</i> var. <i>occidentale</i> Hooker	Pickett & Thayer, 1927.	7 días	4 células	No se menciona	Cordado espatulado	No se menciona	130/137-140	Tricomas marginales	149	Solución de Knop y suelo	Ninguna
<i>P. ammoenum</i> Wall	Nayar, 1962	30	8 a 10 células	90	cordado	No se menciona	60 a 90/ no se menciona	Margen con unicelular papilados superficie multicelular ramificados	90 a 150	Solución de Knop	ninguna
<i>P. vulgare</i> L.	Nayar & Raza, 1970.	21 a 30	6 a 8 células	49	Cordados otros tipos	No se menciona Masculinos	No se menciona	Margen con unicelular papilados superficie multicelular ramificados	No se menciona	Medio de agar con nutrientes en cajas de petri	Ninguna
<i>P. polypodioides</i>	Rakin, 1934.	10	No se menciona	No se menciona	Espatulados cordados	Anteridios arquegonios	56 días 70 días	No se menciona	No se menciona	Musgo molido.	Ninguna
<i>P. subpetiolatum</i> Hooker	Monroy, 2001.	14	14	74	Espatulado cordado	Anteridios arquegonios	Ambos 165	Multicelular ramificado sup. ventral	419	Maquique	Ninguna
<i>P. ammoenum</i>	Nayar, 1962	No menciona	8-10	No menciona	cordado	unisexual	No menciona	unicelular	No menciona	No menciona	Ninguna
<i>P. vulgare</i>	Nayar & Raza, 1970	No menciona	6-8	No menciona	Cordado	No menciona	No menciona	unicelular	No menciona	No menciona	Ninguna
<i>P. pectinatum</i>	Stokey, 1959.	No menciona	4-8	No menciona	Cordado	Bisexual	No menciona	unicelular	Se formó	No menciona	Ninguna
<i>P. plumura</i>	Stokey, 1959.	No menciona	4-8	No menciona	Cordado	Bisexual	No menciona	No presentó	No se formó	No menciona	Ninguna

<i>P. chnoodes</i>	Atkinson & Stokey, 1970	No menciona	3-4	No menciona	Cordado	Bisexuado	No menciona	Unicelular	No se formó	No menciona	Ninguna
<i>P. lepidotrichum</i>	Reyes & Pérez-García, 1994.	No menciona	4-5	No menciona	Cordiforme y reniforme	Bisexuado	No menciona	unicelular	No se formo	No menciona	Ninguna
<i>P. colpodes</i> Maxon	Salazar-Aguilar, 2005.	52	6	136	Cordados, lobados, semicircular, cordada alada, espatulada, ovada.	Unisexuado	No observaron/ 269 días	Marginales unicelulares	A los 331 días.	Maquique	Apogamia
<i>P. colpodes</i> Kunze	Salazar-Aguilar, 2005.	119	No se observó	168	Cordada, cordada-alada, lobado, flabelada, semicircular	unisexuado	No se observaron/ 168 días.	Algunos presentaron marginales unicelulares	A los 270 días.	tierra	ninguna
<i>P. arcanum</i> var <i>bakerii</i> Maxon	Salazar-Aguilar, 2005.	150	16	150	Espatulado, cordado, cordado asimétrico, lobado, semicircular, reniforme, alargado	unisexuado	No presenta/ 442 días	Marginales unicelulares	No se formó	Maquique	Ninguna
<i>P. arcanum</i> var <i>bakerii</i> Maxon	Salazar-Aguilar, 2005.	77	No se observó	77	Cordado, lobado asimétrico, semicircular, alados, alado semicircular, cordados alados.	unisexuado	No presenta/ 119 días.	Marginales unicelulares	No se formó.	Tierra	Apogamia
<i>P. pleurosorum</i>	Salazar-Aguilar, 2005.	No se observó	No se observó	366	Alargado cordado, cordado asimétrico, alargados lobulados, espatulado.	unisexuado	415 días/ 415 días.	Marginales unicelulares	No se formó	maquique	Apogamia

FENOGRAMA DE DESARROLLO EN LAS DIFERENTES ESPECIES.

Especies Medio	Tiempo	52	80	136	150	164	177	192	213	255	269	315	331	351	366	379	393	415	428	442	477
	Fase																				
<i>Polypodium colpodes</i> (maquique)	Germinación	x																			
	Filamentosa	x	x																		
	Espatulada		xx			xxx	xxx	x													
	Cordada			x	xx		x	xx		x	x	xxx		xxx		x	x				
	Anteridios																				
	Arquegonios										xx					xx		xxx			
	Apogamia				x				x	x		xxx	xxx				xx	xxx	xxx	xxx	xxx
	Esporofito												x								
Tricomas			x	xxx		x	xx		xx	x	xx		xx		x	x	xx	x	x	x	
<i>P. arcanum</i> (maquique)	Germinación				x																
	Filamentosa				x																
	Espatulada						x														
	Cordada				x		x	x	xxx												x
	Anteridios																				
	Arquegonios																				xx
	Apogamia														xx	xx	xxx	xxx	xx		
	Esporofito														xx	xx		xxx	x	x	
Tricomas				x			x							xx	xx		xxx	x	x		
<i>P. pleurosorum</i>	Germinación																				
	Filamentosa																				
	Espatulada																				
	Cordada														xxx		xx				x
	Anteridios																				
	Arquegonios																				xxx
	Apogamia														xxx		xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
	Esporofito														xxx						
Tricomas														xxx							
	Tiempo																				
	fase	77	91	119	132	147	168	196	210	224	270	286	306	321	334	348	370	383	397	432	
<i>P. colpodes</i> (tierra)	Germinación			x																	
	Filamentosa																				
	Espatulada			xx	x	x		x													
	Cordada			x			x	xxx	xxx	x	xx										
	Anteridios																				
	Arquegonios						x														
	Apogamia								x			x	xx		xx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	
	Esporofito										x	x									
Tricomas							x	x	x	xxx	x	x			xxx	xxx	xx				
<i>P. arcanum</i> (tierra)	Germinación	x																			
	Filamentosa																				
	Espatulada	x		x		x												x			
	Cordada	xxx	xxx	xxx	x	xx	x	x	x	x		x		xxx	x		x				
	Anteridios																				
	Arquegonios			xx																	
	Apogamia						xxx				xx		xx			xxx	xxx	xxx		xxx	
	Esporofito																				
Tricomas	x	xxx	xx	xxx	xxx	x	xxx		x	xx	xx	xx	xxx	xx	xxx	xxx	xxx			xxx	

x poca abundancia xx abundancia media. xxx muy abundante

BIBLIOGRAFÍA.

- Agnew, N. and D. L. Smith. 1985. Photocontrol of protonema growth in *Polypodium vulgare* L. Proc. Roy. Soc. Edinburgh, B86: 448. (Resumen).
- Arreguín-Sánchez, M de L. 1987. Importancia económica de Pteridofitas. Seria Investigación y Desarrollo Tecnológico. Informes Técnicos. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Inatituto Politécnico Nacional.
- Atkinson, L. R. and A.G. Stokey. 1970. Gametophyte of *Polypodium chnoodes*. Phytomorphology 20: 363-367.
- Bell, P. R. 1992. Apospory and apogamy: implications for understanding the plant life cycle. Int. J. Pl. Sci. 53 (3): 126-136.
- Font. Quer, P. 1973. Diccionario Botánico. Ed. Labor. Barcelona, España. 244 p.
- Knudson, L 1940. Permanent changes of chloroplasts induced by X rays in the gametophytes of *Polypodium aureum*. Bot. Gaz. 101: 721-758.
- Leyva, A. C., B. G. Galindo, M. L. Arreguín, H. S. Pérez, y O. M. A. Ramírez. 2002. Ciclos biológicos de *Phebodium areolatum* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) J. Sm. (Polypodiaceae_ Pteridophyta) y *Tectaria heradeifolia* (Willd.) Underw. (Aspleniaceae- Pteridophyta). An. Esc. Nac. Cien. Biól. Méx. 49:52-62.
- Lincoln, R.J., G. A. Boxshall y P.F. Clark. 1986. Diccionario de ecología, evolución y taxonomía. Fondo de Cultura Economica. México. 488 p.

- Mendoza, C. G., R. Lugo y H. Tehuacatl. 2002. La farmacia viviente. UACH. Departamento de Fitotecnia. Programa Universitario de Medicina Tradicional y Terapéutica Naturista. Centro de estudios Integrales y Formación Comunitaria CALTEPETLAHTOCAN, A. C. México. D. F. 289p.
- Mickel, J. T. and A. R. Smith. 2004. The Pteridophytes of México. Mem. N.Y. Bot. Gard. 88: 1-1054.
- Monroy, F. M. G. 2001. Descripción de los ciclos de vida de *Polypodium subpetiolatum* Hooker (Polypodiaceae) y *Mildella intramarginalis* var. *intravarginalis* Kaulfuss ex Link, (Adiantaceae). Tesis Profesional. Instituto Politécnico Nacional. Escuela de Ciencias Biológicas. México D.F. 56p.
- Montoya-Casimiro, M. del C., R. Álvarez- Varela, S. Pérez- Hernández y M. de la L. Arreguín-Sánchez. 2000. Ciclos biológicos de *Blechnum occidentale* L. var *occidentale* (Blechnaceae- Pteridophyta) y *Thelypteris resinifera* (Desv.) Proctor (Thelypteridaceae- Pteridophyta). An. Esc. Nac. Cienc. Biol. 46(3): 317-339.
- Nayar, B. K. 1962. Morphology of spores and protalli of some species of Polypodiaceae. Bot. Gaz. 223-232.
- Nayar, B. K. And R. Kaur. 1968. Spore germination in homosporous fern. J. Palynology. 4: 1-14.
- Nayar, B.K. and R. Kaur. 1969. Types of prothalli development in homosporous fern. Phytomorphology. 19:179-188.
- Nayar, B.K. 1969. Scheme for a phylogenetic classification of the homosporous ferns. Taxon
- Nayar, B. and F. Raza. 1970. The prothalli of some Polypodiaceae – II. *Lepisorus loriformis*, *L. Thunbergianus*, *Polypodium vulgare* y *Weatherbya accedens*. J. Indian Bot.Soc. 49:81-86 (30).

- Pérez- García, B. e I. Reyes-Jaramillo. 1993. Helechos: propagación y conservación. Ciencias. 30:11-17.
- Pickett F.L. and L. Thayer (1927). The gametophytic development of certain ferns. *Polypodium vulgare* var. *occidentales* and *Pellea densa*. Boll. Torrey Bot. Club. 54:249-255.
- Rakin, D. T. 1934. The life history of *Polypodium polypodioides*. (L Hitch. Especially spermatogenesis. Journal Elisha Mitchell Science Society 49: 303-328.
- Reyes-Jaramillo I. y B. Pérez-García. 1994. Morfología y estrategias reproductivas del gametofito de *Polypodium lepidotrichum* (Feé) Maxon (Polypodiaceae). Acta Bot. Méx. 28:71-78.
- Rodríguez-Ríos, R. 1923. Morfología de los protalos y esporofitos jóvenes de algunas especies chilenas de *Blechnum* (Polypodiaceae). Bayana Bot. 22:21-30.
- Sheffield, E. and P.R. Bell. 1987. Current studies of the Pteridophyte life cycle. Bot. Rev. 53(4):442-490.
- Spiess, L. D. and A. G. Krouk. 1977. Photocontrol of germination of spores of the fern *Polypodium aureum*. Bot. Gaz. 138(4): 428-433.
- Steil. W. N. 1921. The development of prothalia and anteridia from the sex organs of *Polypodium irioides* Bull. Torrey Bot. Club 48: 271-284.
- Stokey, A. G. 1959. *Polypodium pectinatum* and *P plumula*- Polypodiaceae or Grammitidaceae. Amer. Fern. J. 49:142-146.

Tejero, D. J. D., S. Aguilar, R., M. del P. Granillo, V., G. N. Pozos, B., R. Rico, M., y L. A. M. Abundiz, B. 1998. *Plantae. Introducción al estudio de las plantas con embrión*. 2da Ed. UNAM. Campus Iztacala. Los Reyes Iztacala. Tlalnepantla Estado de México. 220 pp

Wilson, K. A. 1958. Ontogeny of sporangium of *Phlebodium (Polypodium) aureum*. *Am. J. Bot.* 45(6):317-339.

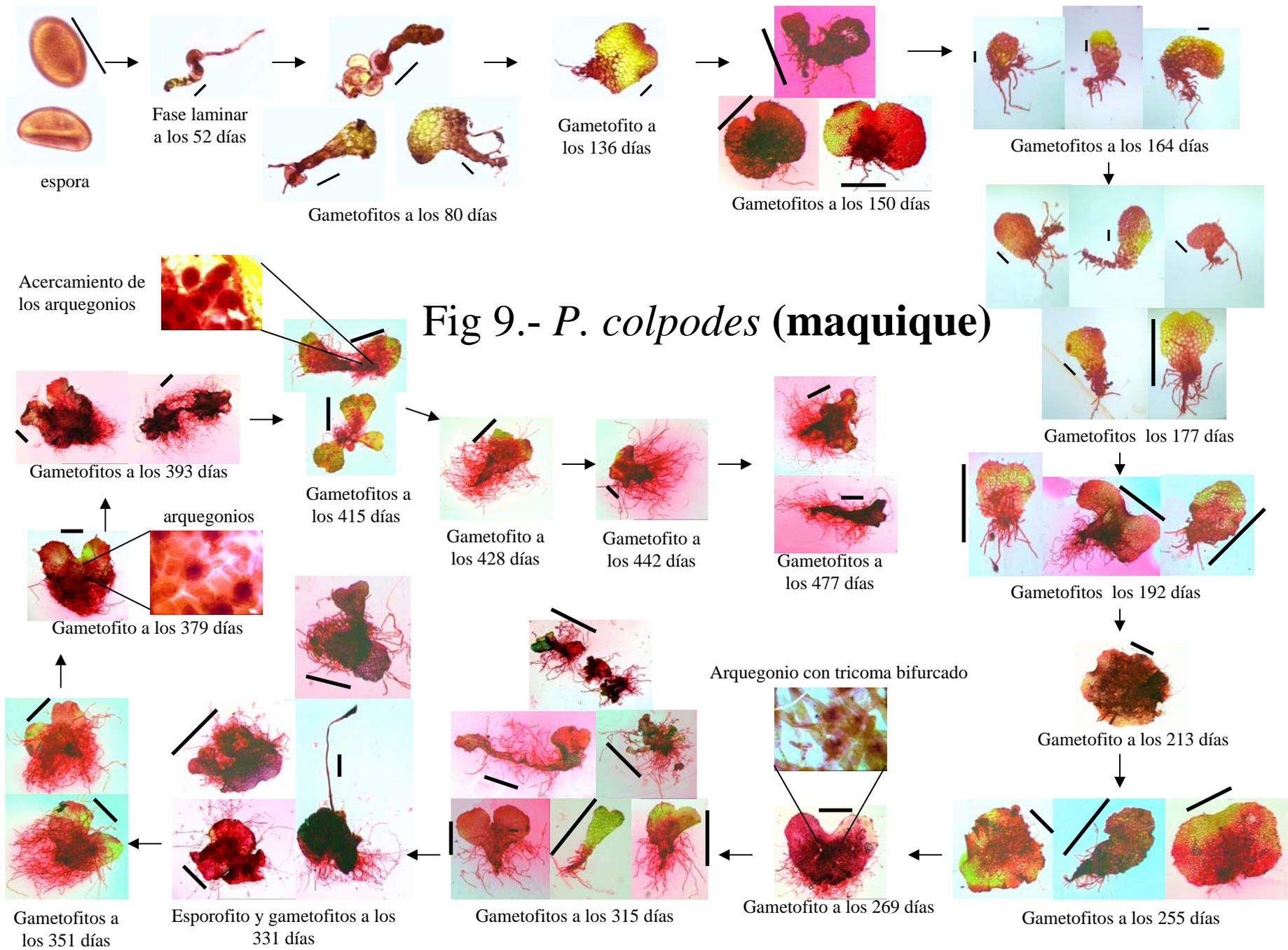
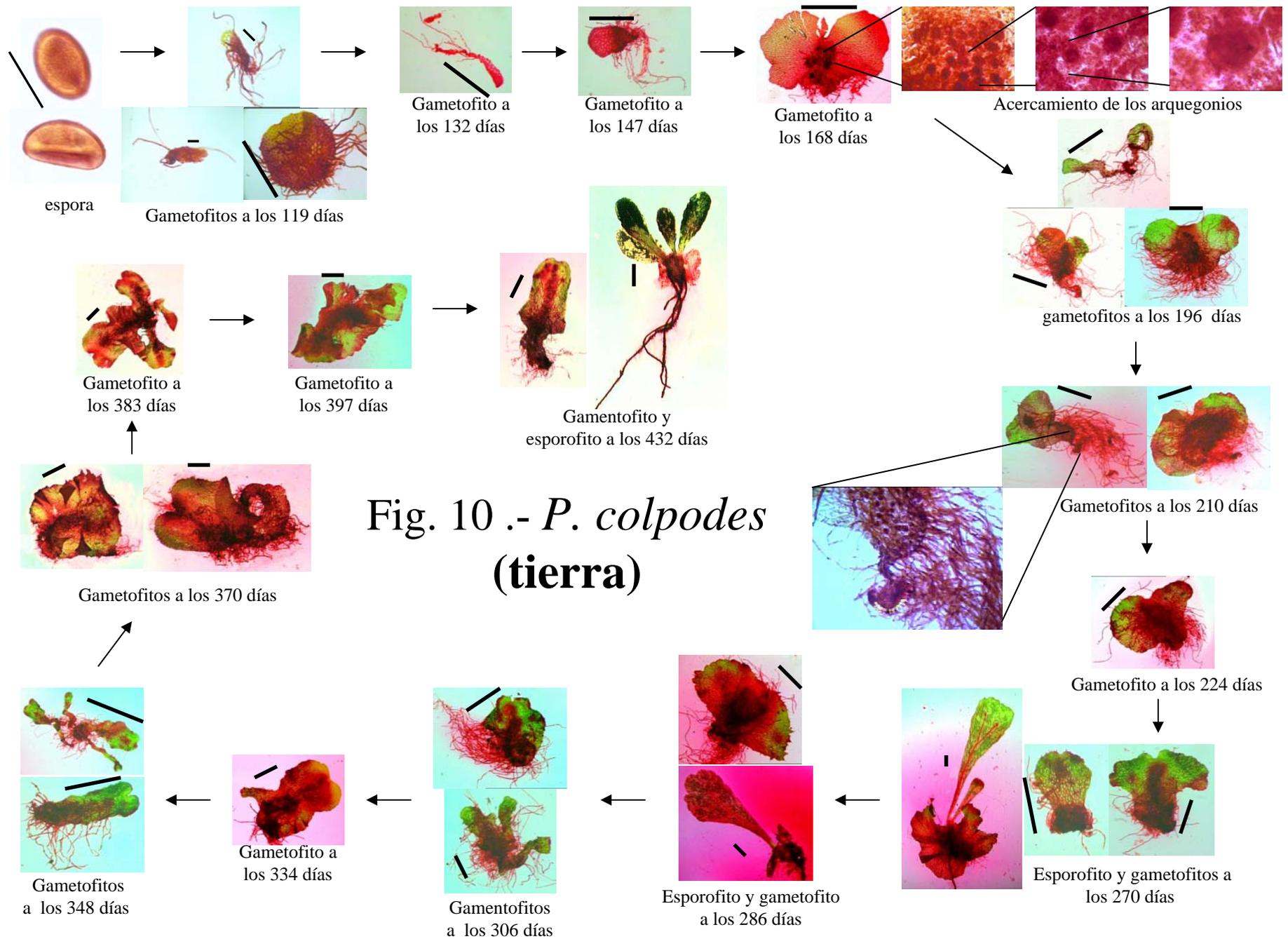


Fig 9.- *P. colpodes* (maquique)



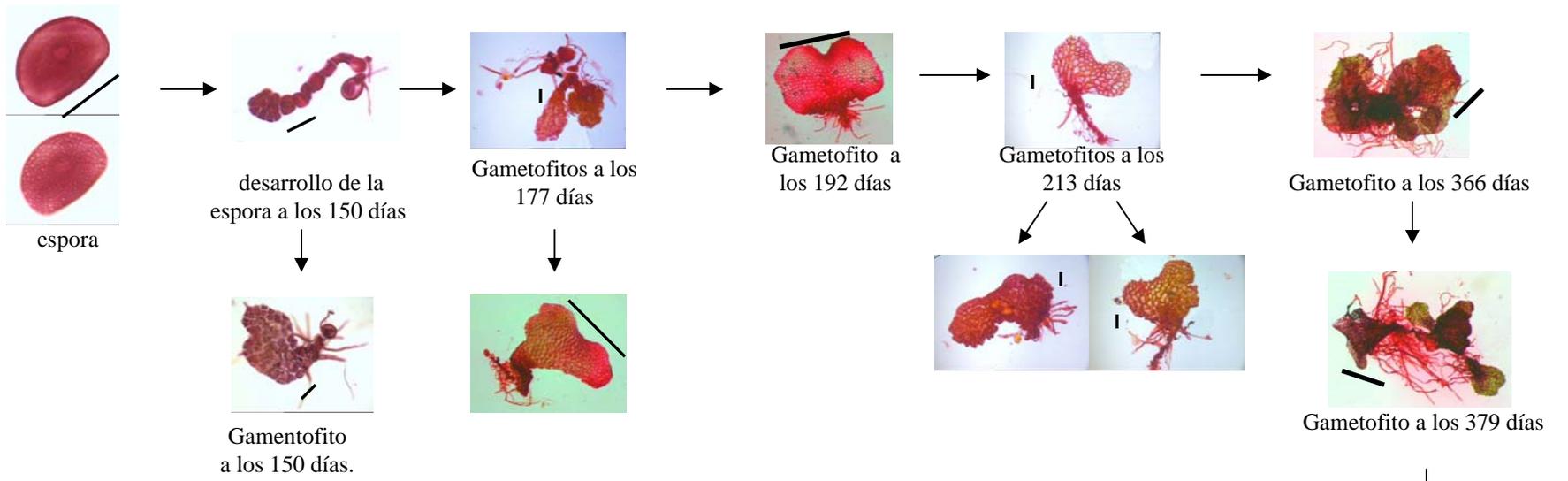
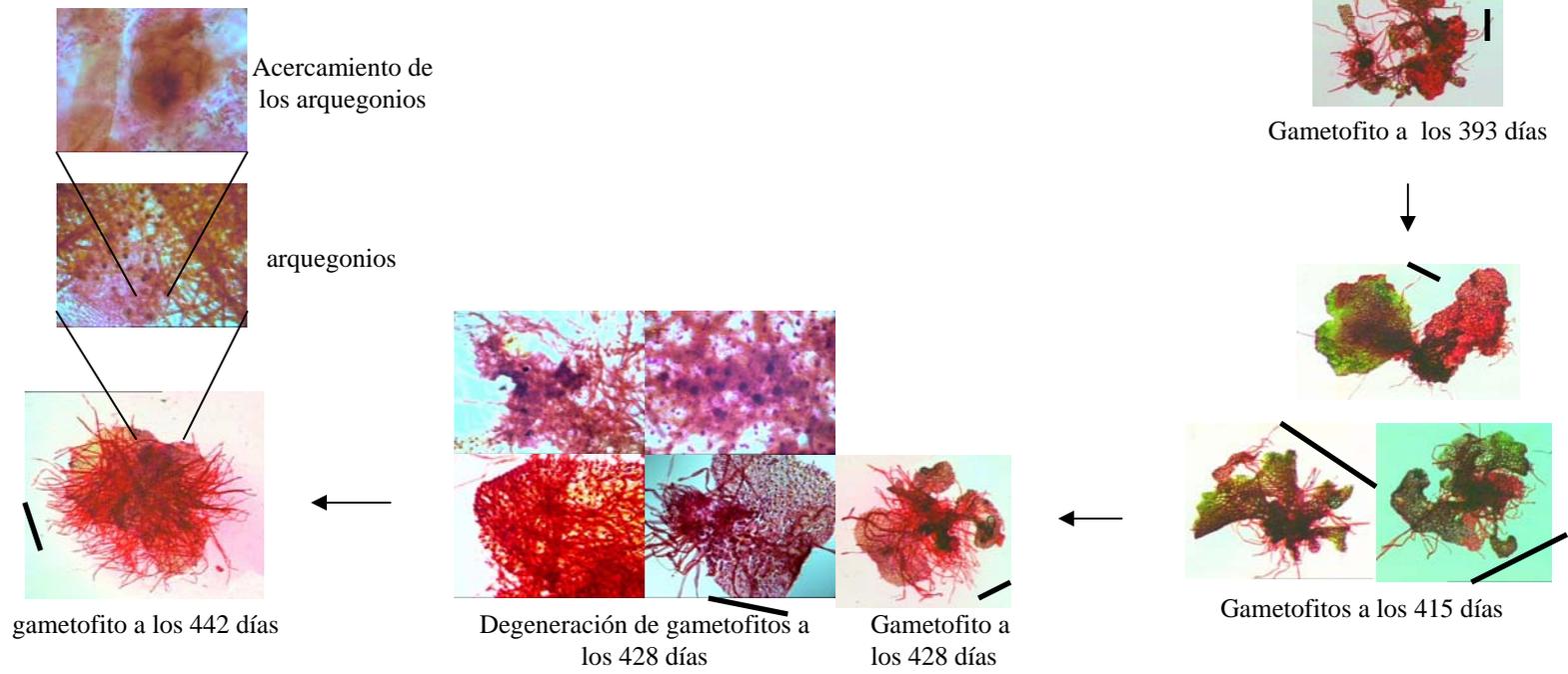


Fig. 12.- *P. arcanum* (maquique)



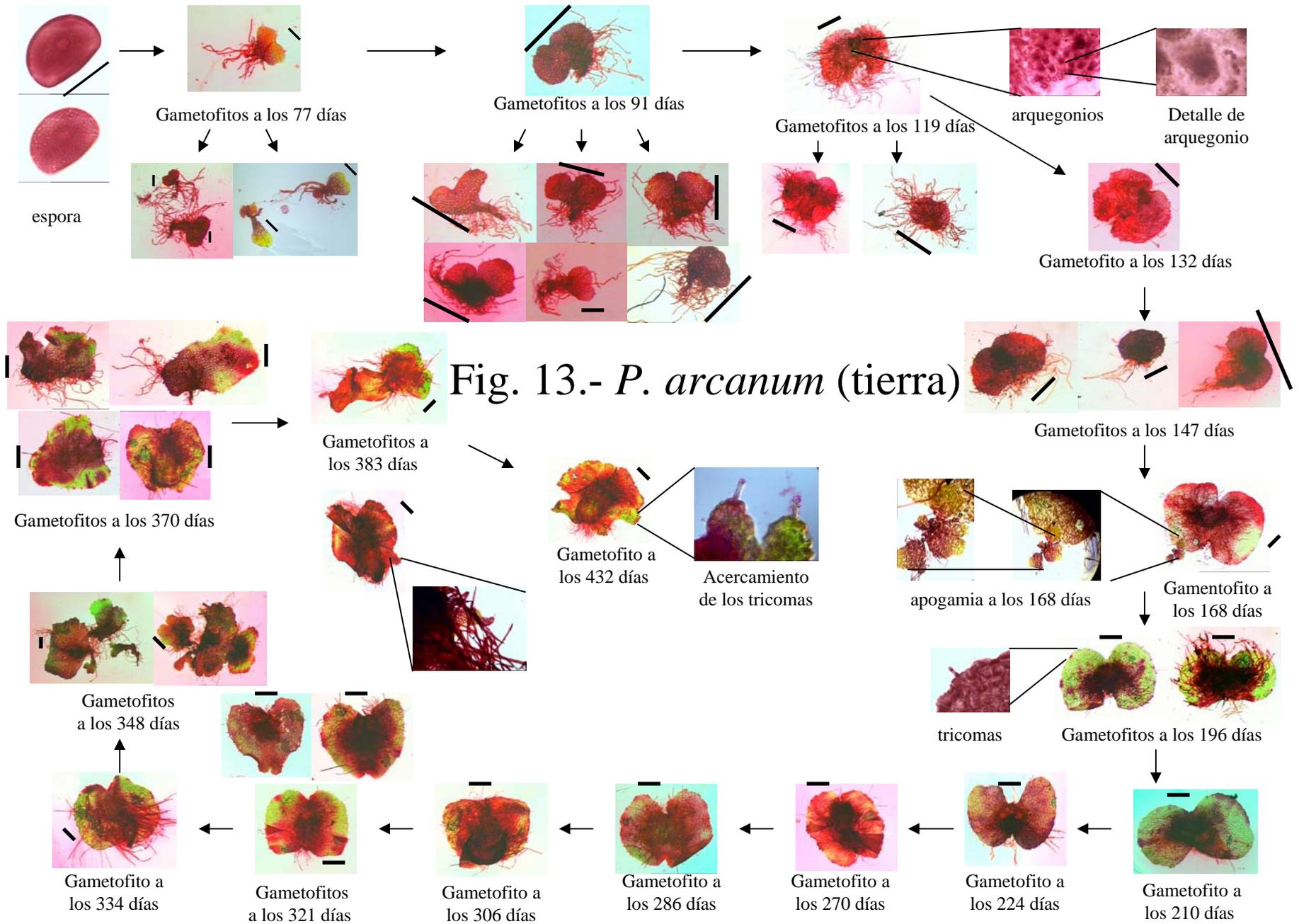


Fig. 13.- *P. arcanum* (tierra)

Fig. 15.- *P. pleurosorum* (maquique)

