

Rovirosa M., Cuitláhuac A.; Rovirosa F., Israel  
PROSPECCIÓN DASOMÉTRICA DE LA FAMILIA CYATHEACEAE EN RESTAURACIÓN EN CUETZALAN,  
PUEBLA

Revista Mexicana de Ciencias Forestales, vol. 4, núm. 20, noviembre-diciembre, 2013, pp. 32-49  
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias  
Distrito Federal, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63433994004>



*Revista Mexicana de Ciencias Forestales*,  
ISSN (Versión impresa): 2007-1132  
[ciencia.forestal2@inifap.gob.mx](mailto:ciencia.forestal2@inifap.gob.mx)  
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales,  
Agrícolas y Pecuarias  
México



ARTÍCULO / ARTICLE

## PROSPECCIÓN DASOMÉTRICA DE LA FAMILIA CYATHEACEAE EN RESTAURACIÓN EN CUETZALAN, PUEBLA

## MENSURATION PROSPECTING OF THE CYATHEACEAE FAMILY IN RESTORATION AT CUETZALAN, PUEBLA

Cuitláhuac A. Roviroso M.<sup>1</sup> e Israel Roviroso F.<sup>2</sup>

### RESUMEN

Los Ciateales o helechos arborescentes con registro fósil se remontan al periodo Jurásico. En la flora actual son parte vital de la biodiversidad del ecosistema del Bosque Mesófilo de Montaña y están amenazados de extinción. El orden incluye ocho géneros y 750 especies que pertenecen a *Cyathea*. Son tropicales y subtropicales y se extienden en regiones templadas de Nueva Zelanda y Sudamérica. Abundan en el estrato inferior de los bosques. Los troncos están ramificados y su altura varía de 1 a 20 m. Los estipes de los ciateales son herbáceos, los rizomas tienen una protostela central, en las partes más viejas, pasa de modo muy variado a un retículo con carácter de sifonostela o polistela, xilema central, floema periférico en el esfuerzo a veces grueso (con raíces caulogenas rígidas). Se determinó la dasometría de *Cyatheaceae* restauradas *in situ* en la área natural protegida Cuetzalan, Pue. El crecimiento ponderado del estipe varía entre 30 y 90 cm por año, a partir del tipo de suelo, la sombra y la competencia de las especies forestales. El  $\bar{\phi}(X)$  es de 15-23 cm y el número de frondas es de 24 por estipe. La maduración del "tallo" para su aprovechamiento es útil después del décimo año. La discusión siempre ha estado orientada hacia su uso comercial en calidad de maquique, cuyos resultados sugieren perspectivas sostenibles.

**Palabras clave:** Bosque Mesófilo de Montaña, *Cyatheaceae*, dasometría, frondas, maquique, rizomas.

### ABSTRACT

Cyatheals or tree ferns with fossil record date back to the Jurassic period. In the present flora, they are a vital part of the biodiversity of the ecosystem of cloud forest and are endangered. The order includes eight genera and 750 species that belong to the genus *Cyathea*. It is tropical and subtropical and extend into temperate regions of New Zealand and South America. They are abundant as understory species in forests. The trunks are branched and their height ranges from 1 to 20 m. The stipes of ciateales are herbaceous, rhizomes have a central protostele in the older parts, which goes in a very varied way to a lattice with a sifonostela or polistela character, central xylem, peripheral phloem in the effort sometimes thick (with caulogenous rigid roots). The mensuration of *Cyatheaceae* Cuetzalan restored *in situ* was determined. The weighted stipe growth varies between 30 and 90 cm per year, depending on soil type, shade and competition of tree species, the  $\bar{\phi}(X)$  15-23 cm, frond number 24 by stipe. The maturation of the "stem" is useful for its use starting from the 10th year. The discussion has always been geared toward its commercial use. Harnessing maquique revealed sustainable results.

**Key words:** Mesic cloud forest, *Cyatheaceae*, mensuration, frondes, maquique, rhizomes.

Fecha de recepción/date of receipt: 31 de mayo de 2013; Fecha de aceptación/date of acceptance: 10 de agosto de 2013.

<sup>1</sup> CEB/MMC A.C. Correo-e: cuitlahuacroviroso@hotmail.com

<sup>2</sup> Conafor/Semarnat

## INTRODUCCIÓN

Los helechos arborescentes (también algunas especies con tallos grandes y postrados) pertenecen a la familia de Cyatheaceae; crecen espontáneamente en los bosques lluviosos tropicales, donde muchos de ellos pueden superar los 20 m de longitud. Son ampliamente cultivados en invernaderos y también fuera de ellos, en climas templado-húmedos como el de la costa del Pacífico (Bold *et al.*, 1989). *Cyathea* (del griego *kyatos* = copa), *Alsophila* (del griego *alsos* = Arboleda + del griego *philein* = vivir) y *Cibotium* (del griego *kibotion* = caja pequeña) a menudo figuran en colecciones de invernadero. Los troncos (tallos) raramente son ramificados y están cubiertos por un denso tapiz de raíces adventicias que emergen en relación con las bases foliares. Las raíces que salen de la porción distal del tronco no llegan hasta el suelo. A una cierta distancia del suelo emergen los tallos rastreros que se dirigen hacia abajo y afuera, además dan origen a nuevos tallos erectos. La porción inferior del tallo, de menor diámetro que la superior, es sostenida gracias a una densa cubierta de raíces persistentes, que actúan a modo de contrafuerte.

A pesar de su notable tamaño, los helechos arborescentes carecen de cambium y de crecimiento secundario. Anatómicamente los tallos jóvenes son simples y protostélcos, pero, si el tallo continúa creciendo, la estela incrementa el diámetro, se convierte en dictiosélica y, finalmente polistélica, la cual es bastante compleja. El ápice del tronco sostiene una corona de hojas que, al principio, muestran vernación circinada. Las hojas pueden alcanzar casi 4 m de longitud y son pinnatocompuestas (Bold *et al.*, 1988).

Botánica descriptiva y sistemática del taxón de los Ciateales. *Cyathea arborea* (L.) Sm.

Descripción del taxón de los Ciateales.

División: Pteridophyta  
Clase: Equisetatae  
Orden: Equisetales  
Familia: Equisetaceae  
Clase: Filicatae  
Orden: Filicales  
Familia: Cyatheaceae  
Especie: *Cyathea arborea*

Listado de las familias de helechos modificado por Holttum (1949):

- Aspleniaceae
- Cyatheaceae
- Davalliaceae
- Dennstaedtiaceae
- Dryopteridaceae
- Gleicheniaceae
- Hymenophyllaceae

## INTRODUCTION

Tree ferns (also some species with large stems and prostrate) belong to the family of Cyatheaceae; they grow in wild tropical rain forests, where many species can exceed 20 m in length. They are widely grown in greenhouses and outside of them, as the humid-temperate Pacific coast climates (Bold *et al.*, 1989). *Cyathea* (Greek *kyatos* = cup), *Alsophila* (from Greek: *Alsos*= coppice + Greek *philein* = live) and *Cibotium* (Greek *kibotion* = small box) often appear in collections emissions. Trunks (stems) are rarely branched and are covered by a dense tapestry of roots emerging warnings regarding leaf bases. The roots emerging from the distal portion of the trunk do not reach the ground. At a certain distance from the ground creeping stems that emerge are directed downwards and outwards, and give birth to new erect stems. The lower portion of the stem, that is of smaller diameter than the top, is supported by a dense cover of persistent roots, which acts as a buttress.

Despite its remarkable size, tree ferns lack cambium and secondary growth. Anatomically young stems are simple and protostelic, but if the stem continues to grow, the stele increases the diameter, it becomes dictiostelic and finally polystelic, which is quite complex. The apex of the stem holds a crown of leaves, which at the beginning show circinnate vernation. The leaves can reach nearly 4 m long and are pinnately compound (Bold *et al.*, 1988).

Descriptive and systematic botany of the Cyatheaales taxon. *Cyathea arborea* (L.) Sm.

Description of the Ciateales taxon

Division: Pteridophyta  
Class: Equisetatae  
Order: Equisetales  
Family: Equisetaceae  
Class: Filicatae  
Order: Filicales  
Family: Cyatheaceae  
Species: *Cyathea arborea*

List of the fern families modifies by Holttum (1949):

- Aspleniaceae
- Cyatheaceae
- Davalliaceae
- Dennstaedtiaceae
- Dryopteridaceae
- Gleicheniaceae
- Hymenophyllaceae
- Lindsaeaceae
- Marsileaceae
- Osmundaceae
- Polypodiaceae

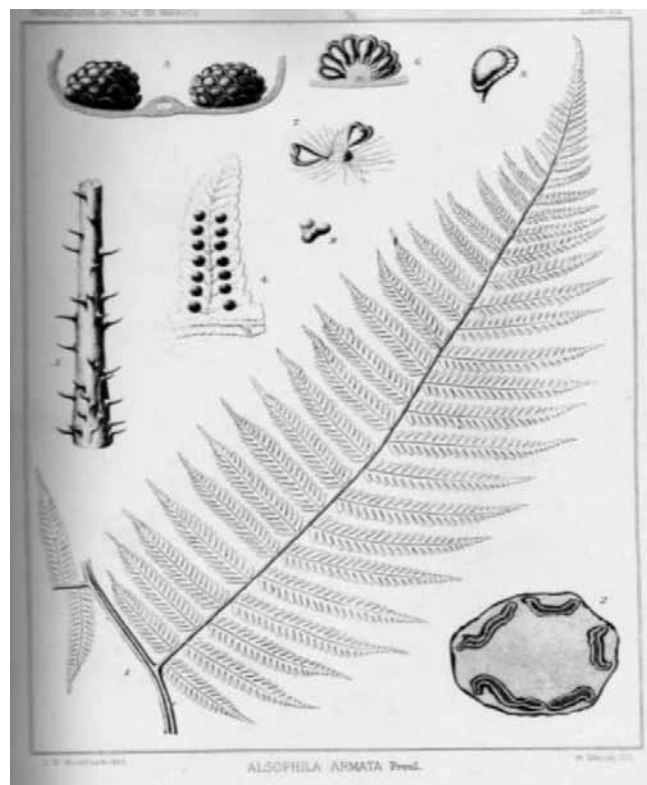
- Lindsaeaceae
- Marsileaceae
- Osmundaceae
- Polypodiaceae
- Pteridaceae
- Schizaeaceae
- Thelypteridaceae.

### Classification of Pteridophytes and other ferns by Holtum (1949)

### Clasificación de los Pteridofitos y otros helechos por Holtum (Johns, 1997)

Por el consenso de organismos científicos y de expertos vinculados a la *Pteridología* se generó una modificación en su clasificación por medio de la agencia internacional de la UNESCO-ONU mediante la notificación SCC/Pt/Fam para el uso de esta nueva jerarquía de los helechos.

By the consensus of scientific organizations and experts linked to Pteridophytology, a modification in its classification was made by UN-UNESCO international agency of the SCC/Pt/Fam for the use of this new hierarchy of ferns (Johns, 1997).



Fuente: J. N. Rovirosa Andrade. 1909 (Pteridografía del Sur de México, Tabasco).  
Source: J. N. Rovirosa Andrade. 1909 (Pteridografía del sur de México, Tabasco).

Figura 1. Descripción morfológica del del helecho arborescente *Alsophila armata* Presl. (Syn.: *C. arborea*).

Figure 1. Morphological description of *Alsophila armata* Presl. tree fern (Syn.: *C. arborea*).

## Descripción Botánica de *C. arborea* (antigua)

Descripción general de los helechos arborescentes Sub Orden Polypodiaceae, A. Involucrat o. Tribu I Cyatheae Gen. *Cyathea*: Estipe inerme o armado de púas, de 6-8-10 m de altura y 8-12-16 cm de diámetro, de color moreno pálido, púrpura oscuro o negro; frondes anchas, bipinnadas; pinas secundarias de 12 a 20 cm de largo, oblongo- lanceoladas, profundamente pinatífidas u otra vez pinnadas, lobos oblongos, subfalcados; indusio cartáceo, globoso al principio y abriéndose por el ápice en forma de copa cuando han llegado los esporangios a su perfecta madurez, de modo que el órgano presenta un bordo igual, y permanece inserto en la parte inferior del receptáculo; cápsulas sésiles, imbricadas, ceñidas por un anillo comprimido e incompleto; receptáculo elevado y globoso o prominente (Roviroso, 1909).

## Modelo para el estudio de la ecología de poblaciones en la estimación de los Ciateales

El modelo propone que en la movilidad de las esporas interoceánicas e intercontinentales que dieron origen a los helechos en diversos sitios del planeta, el Paleoendemismo seguramente fue un factor determinante en el número de individuos y de sus poblaciones, más no así, en el nivel de endemismo en regiones, como es el caso de Hueytamalco, Puebla (ANP-Cuetzalan-Filobobos), México. Esto lo sostenía Frederik Michael Liebmann (1813-1856) sobre el posible endemismo de las especies de Ciateales mexicanas estudiadas en su laboratorio (Roviroso *et al.*, 2007). La fórmula es la siguiente:

$$CPth = nPTh \times 25 / nTCm$$

Donde:

$CPth$ = Cociente de Pteridofitos  
 $nPTh$ = Número de especies de Pteridofitos,  
 $nTCm$ = Número total de especies de cormofitos vasculares.

## Descripción botánica de los helechos arborescentes

Clave General. Plantas sin flores, estambres, óvulos, ni semillas, provistas de raíces, hojas y, a veces tallos bien desarrollados. Las hojas pueden ser enteras, pero con frecuencia aparecen divididas. Sus únicas estructuras reproductoras apreciables son los esporangios, numerosos en la planta adulta, dispuestos en la superficie de las hojas o en el extremo del tallo o ramas (Figura 4) (Scagel *et al.*, 1987).

Los helechos arborescentes forman "tallos (estípites) arbóreos de 6 a 15 m de largo (máximo 25 m) y frondes de 2 a 3 m de largo. Pertenecen a dos familias de Pteridofitas con distribución pantropical; es decir, se desarrollan en regiones tropicales en todos los continentes mayores (África, Asia y América). La

## Botanical description of *C. arborea* (past description)

General description of tree ferns Polypodiaceae Sub order, A. Involucrat o. Tribu I Cyatheae Gen. *Cyathea*: Unarmed stipe or armed with horns, 6-8-10 m tall by 8-12-16 cm of diameter, pale-brown color to dark purple or black; wide bipinnated frondes; secondary pinnes, 12 to 29 cm long, oblong-lanceolated, deeply pinnatifide or once more pinnated, oblong lobes, subfalcated; chartaceous indusium, globose at first and opening by the apex in the form of a cup when sporangia have reached their perfect ripeness, in such a way that the organ shows a regular edge and keeps itself insert in the low part of the receptacle; sessile capsules, imbricated, surrounded by a compressed and incomplete ring; high, globose and outstanding receptacle (Roviroso, 1909).

## Model for the study of population ecology in the estimation of Cyatheae

This model proposes that in the mobility of the inter-oceanic and intercontinental spores that gave birth to ferns in several sites of the planet, for sure Paleoendemism was a crucial factor in the number of individuals and their populations but not in the degree of regional endemism, such as in Hueytamalco, Puebla (ANP-Cuetzalan-Filobobos), Mexico. This was stated by Frederik Michael Liebmann (1813-1856) in regard to the possible endemism of Mexican *Cyathea* species which he studied at his laboratory (Roviroso *et al.*, 2007). Its formula is the following:

$$CPth = nPTh \times 25 / nTCm$$

Where:

$CPth$ = Pteridophytes quotient  
 $nPTh$ = Number of species of Pteridophytes species  
 $nTCm$ = Total number of vascular cormophyte species

## Botanic description of tree ferns

General Key. Plants without flowers, stamens, ovules, no seeds, provided with roots and, sometimes, well developed stems. Leaves may be complete but frequently they appear divided. Sporangia are the only apparent reproductive structures, which are abundant in the adult plant, displayed in the surface of the leaves or in the extreme part of the stem or branches (Figure 4) (Scagel *et al.*, 1987).

Tree ferns form tree stems (stipes) 6 to 15 m long (25 m maximum) and frondes are 2 to 3 m long. They belong to two Pteridophytes families with pantropical distribution (it refers to a area of geographical occurrence). For a taxon to be pantropical it must appear in tropical regions in all the major continents, *i.e.*, Africa, Asia, America. *Cyathea* family: *Cyathea* is the most outstanding and representative family for six hundred million years. It gathers from 1 to 6 genera and around 650 species species (Scagel *et*

familia Cyatheaceae es la más destacada y representativa por seiscientos millones de años; la conforman de uno a seis géneros y aproximadamente 650 especies (Scagel *et al.*, 1987).

Los helechos arborescentes son organismos socio-biológicamente estratégicos para el equilibrio de los ecosistemas. Las condiciones ambientales que prevalecen en el bosque Mesófilo de Montaña (BMM) favorecen su convivencia con taxa forestales vitales como *Liquidambar styraciflua* Oerst. y *L. macrophylla* Oerst., los cuales les brindan soporte. En aprovechamientos forestales no maderables y maderables practicados por los pueblos indígenas de prácticamente todo el mundo, los siguientes géneros: *Alsophila* sp. R. Br., *Cnemidaria* sp. C. Presl, *Cyathea* sp. Sm., *Nephelea* sp. Tryon, *Sphaeropteris* sp. Bernh. y *Trichipteris* sp. C. Presl. desempeñan funciones ambientales muy importantes (Rovirosa, 2007).

Familia Cyatheaceae. Taxon integrado por los helechos arborescentes y algunas especies con tallos grandes y postrados, crecen en los bosques lluviosos tropicales, donde muchos taxa superan los 20 m de longitud. Son ampliamente cultivados en invernaderos, y también fuera de ellos, en climas templados húmedos como de la costa del Pacífico. *Cyathea*, *Alsophila*, *Philein* y *Cibotium* son helechos de tallos grandes o postrados, a menudo forman parte de colecciones de invernadero.

Los troncos (tallos) raramente están ramificados (figuras 3 y 9) y presentan un denso tapiz de raíces adventicias (Bold *et al.*, 1988) que emergen de las bases foliares. Las raíces que salen de la porción distal del tronco no llegan hasta el suelo. A cierta distancia del mismo salen los tallos rastreros que se dirigen hacia abajo y afuera, y dan origen a nuevos tallos erectos. La porción inferior del tallo, de menor diámetro que la superior, es sostenida por una densa cubierta de raíces persistentes, que actúan a modo de contrafuerte.

A pesar de su notable tamaño, los helechos arborescentes carecen de cambium y de crecimiento secundario. Anatómicamente los tallos jóvenes son simples y protostélicos, pero si el tallo continúa creciendo, la estela incrementa el diámetro, se convierte en dictiosélica y, finalmente en polistélica y bastante compleja (Figura 2).

El estipe o tallo a menudo presenta cicatrices foliares y escamas o pelos que con frecuencia están recubiertos por una maraña de raíces. Los troncos altos pueden alcanzar un diámetro de unos 50 cm cerca de la base y se estrechan ligeramente hacia el ápice. La estela varía de una sifonostela sencilla a una dictiostela compleja. No existe el cambium. En algunas especies de *Cyathea* el tronco crece hasta 30 cm en un año y vive menos de 70 años (Scagel *et al.*, 1987).

El ápice del tronco (Figura 3) sostiene una corona de hojas que, al principio, muestran vernación circinada. Las hojas alcanzan casi 4 m de longitud y son pinnatocompuestas (Bold *et al.*, 1988).

*al.*, 1987). They are social and biological strategic species for the equilibrium of ecosystems; in the mesic cloud forest (BMM for its acronym in Spanish) favor the coexistence of vital forest species such as *Liquidambar styraciflua* Oerst. and *L. macrophylla* Oerst., as they bring support to trees. In forest non-wood and woody exploitations carried out by the indigenous people of almost all the world that coexist with them, the following genera, *Alsophila* sp. R. Br., *Cnemidaria* sp. C. Presl, *Cyathea* sp. Sm., *Nephelea* sp. Tryon, *Sphaeropteris* sp. Bernh. y *Trichipteris* sp. C. Presl., perform very important environmental roles (Rovirosa, 2007).

Cyatheaceae family. To this family belong tree ferns (and also some species with big and prostrate stems) that grow spontaneously in tropical rain forests many species may overcome 20 m long. They are widely cultivated in greenhouses as well as out of them, in humid temperate climates such as in the Pacific coast. *Cyathea*, *Alsophila*, *Philein* and *Cibotium kibotion* belong to the Cyatheaceae family, as species of big and prostrate stems, frequently are part of greenhouse genus collections.

Stems are rarely branched and show a dense tapestry of adventitious roots (Bold *et al.*, 1988) that emerge from the foliar bases. The roots that come out from the distal part of the stem do not reach the ground. At a certain distant of it emerge the crawling that are directed down and outwards and give birth to new erect stems. The lowest portion of the stem, that is of a smaller diameter than the upper one, is supported by a dense cover of persistent roots that act as a buttress.

In spite of its prominent size, tree ferns lack cambium and secondary growth. Anatomically, the young stems are simple and prosthetic, but if the stem keeps growing, the stele increases the diameter, that becomes dictyostelic and, finally, polistelic and very complex (Figure 2).

The stipe or stem frequently shows foliar scars and scales or hairs that are often covered by a tangle of roots. The tall trunks may reach a diameter of 50 cm near the base and narrow to the apex. The stele varies from a simple sifonostele to a complex dictyostele. In some *Cyathea* species, the trunk grows up to 30 cm in a year and probably lives less than 70 years (Scagel *et al.*, 1987).

The apex of the trunk (Figure 3) keeps a crown of leaves that, at the beginning, show a circinnated vernation. Leaves may reach 4 m long and are pinnatocompound (Bold *et al.*, 1988).

The pinnated leaves (Figure 5) get up to almost 7 m long and widths of almost 2 m (Figure 6); its venation is open. Sores are founded and are over the nerves and are restricted to receptacles; they are coated by a globose indusium when young and open when they become mature (Scagel *et al.*, 1987).



Figura 2. Corte tangencial del estipe arborescente de *Dicksonia squarrosa* (G Forst.) Sw. Las meristelas que conforman la dictiostela en forma de U, el xilema, esclerénquima y las trazas foliares cambian sus posiciones por especie.

Figure 2. Cross section of the fern stipe of *Dicksonia squarrosa* (G Forst.) Sw. The meristemes that conform the dictyostele in a U shape, the xylem, the sclerenchyma and the foliar traces change their position by species



Figura 3. Estipe de *Dicksonia squarrosa* (G Forst.) Sw. con forcípula Hafglöf y sensores Picus.

Figure 3. *Dicksonia squarrosa* (G Forst.) Sw. stipe with Hafglöf tree calliper and Picus sensors.

Las hojas pinnadas (Figura 5) tienen una longitud de casi 7 m y un ancho de 2 m (Figura 6); su nervadura está abierta. Los soros son redondeados y se sitúan sobre los nervios y se confinan en receptáculos; están revestidos por un indusio globoso, cuando son jóvenes, y se abren con la edad (Scagel *et al.*, 1987).



Figura 4. Ejemplar de *Cyathea arborea* (L.) Sm. producido en agricultura protegida en el ANP-Cuetzalan-Filobobos.

Figure 4. Example of *Cyathea arborea* (L.) Sm. in protected agriculture in the Cuetzalan-Filobobos. Natural Protected Area (BPA) (ANP, for its acronym in Spanish).



Figura 5. Frondes de *Cyathea arborea* (L.) Sm. que muestra el tamaño y proporción con respecto a un muro de ladrillo de 2.50 m.

Figure 5. Fronds of *Cyathea arborea* (L.) Sm. that show the size and proportion in regard to a brick wall 2.50 m high.



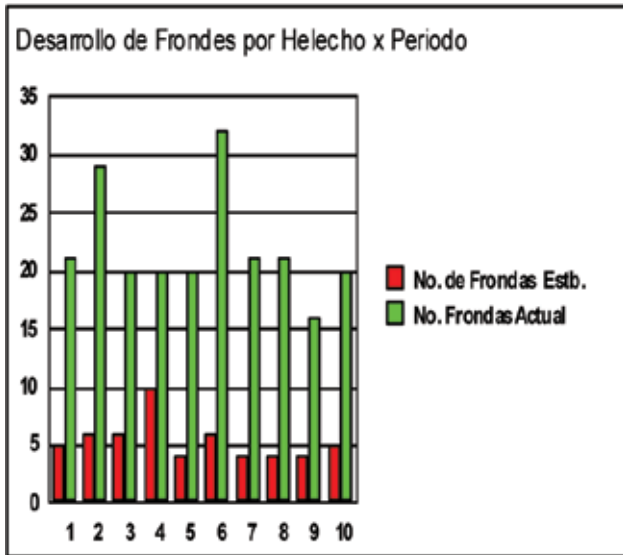


Figura 6. Monitoreo del crecimiento de frondas en el sitio 1. Relación tamaño-número de plantas.  
 Figure 6. Growth of frondes after monitoring site 1. Size -number of plants relation.

La reproducción de los Ciateales y su importancia ecológica y biológica en la restauración natural

La estructura de conservación de las esporas (soros y esporangios) (figuras 6 y 7) de los Ciateales sirve como medio de protección y de dispersión sexual, por la interacción mecánica de los vientos para establecer poblaciones (Figura 8).

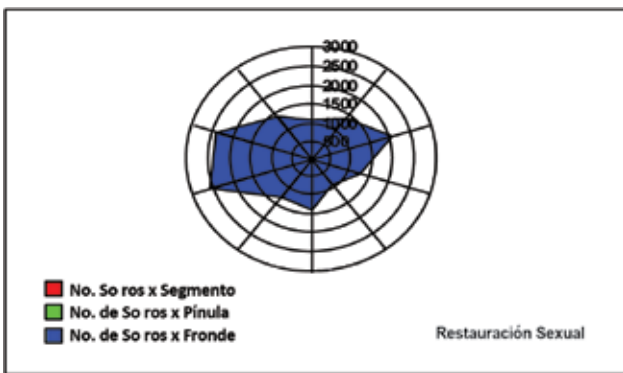


Figura 8. Determinación del potencial de dispersión de esporas en la relación espécimen-número de frondes.  
 Figure 8. Determination of the dispersal potential of spores in the relation specimen-frondes number.

Cyatheal reproduction and its ecologic and biologic importance in natural restoration

The conservation structure of spores (soros and sporangia) (figures 6 and 7) of Cyatheales works as a means of protection and sexual dispersion for the mechanical interaction of winds to establish populations (Figure 8).

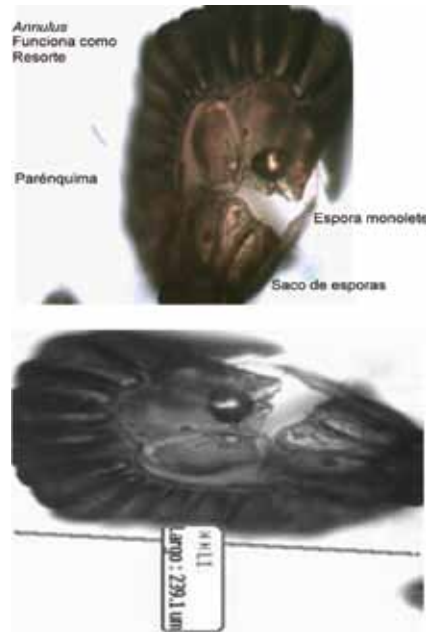


Figura 7. Micrografías de morfología y morfometría de un esporangio de *Cyathea arborea* (L.) Sm. (Imagen en 100x + 2 con su determinación de tamaño en 239.1 μ).  
 Figure 7. Micrographs of the morphology and morphometry of a sporangium of *Cyathea arborea* (L.) Sm. (Image in 100x + 2 with its determination of size in 239.1 μ).

Determination of the sexual potential of Cyatheaes in site 1

Sporangia (Figure 7) are structures of great biologic and ecologic importance and their role is to protect the spores; therefore, the genetic information that they contain have guaranteed their continuity in Planet earth for more than 200 million years (Mesozoic-Jurassic) (Figure 8) with intercontinental population movility (Figure 6), as Raunkiaer (1934) demonstrated by its theory and model of the Oceanity effect by climatic and hydrometeorological phenomena. Thus, a high degree of endemism in all the continents has been given to species that have sexual reproduction by spores or other structures that interact with the wind, for example, Thaloepiphytes (lichens and musk). The great concentration of silicon found in sporangia and spores, which was determined by high resolution spectral nuclear techniques, confirms the former for the studied Cyatheaes (Figure 9).



## Determinación del potencial sexual de los Ciateales Sitio 1

Los esporangios (Figura 7) son estructuras de gran importancia biológica y ecológica y su función es proteger a las esporas; por lo tanto, la información genética que estas contienen ha garantizado su permanencia en el planeta por más de 200 millones de años (Mesozoico-Jurásico) (Figura 8); con movilidad poblacional-intercontinental (Figura 6) como lo demostró Raunkiaer (1934) con la teoría y el modelo del efecto de Oceanidad por fenómenos climáticos e hidrometeorológicos. Así, se ha otorgado un grado de endemismo muy alto en todos los continentes a las especies que se reproducen sexualmente por esporas y otras estructuras que interactúan con el viento; por ejemplo, las Taloeplfitas (líquenes y musgos). La gran concentración de silicio

## Determination of the silicon (Si) concentration in spores and sporangia

Silicon (Si) represents 28% of the elements of the terrestrial cortex after oxygen and it is very important in the geological formation of the planet in the late Jurassic period and in the evolution of the universe. Carbon and silicon together gave birth to thousands of complex living organisms as Cyatheales.

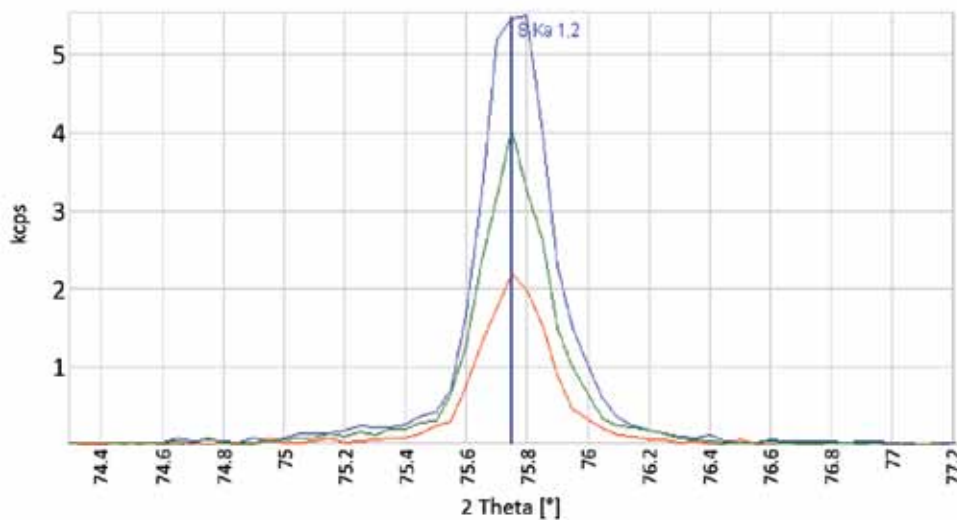


Figura 9. Espectro 1: S 1)-3180 concentración en ppm.  
Figure 9. 1:S 1 spectrum = 3180 concentration in ppm.

detectada en los esporangios y esporas, que fue determinada por técnicas nucleares espectrales de alta resolución, confirma lo anterior para los Ciateales estudiados (Figura 9).

## Determinación de la concentración de silicio (Si) en esporas y esporangios

El silicio (Si) representa 28% de los elementos de la corteza terrestre después del oxígeno y, es muy importante en la formación geológica de la tierra del Jurásico Tardío y en la misma evolución del universo. El carbono y el silicio en conjunto dieron origen a miles de seres vivos complejos como los Ciateales.



## METHODS AND MATERIALS

### Locations and geographic determination of the studied polygons

*Ex situ-in situ* prospection techniques were used by the Geographic Information System (GIS) (Figure 10), for the location of sampling and monitoring sites (Figures 11 and 12); standard quadrants were established (Figures 13 and 14) to limit and divide the lots where the samples to be studied were restored. In the mensuration techniques that were applied, a Hafglöf clipper was used; in addition, ultrasonic measurements were taken with the tomography Picus forest system to determine the morphometry of the stipe, which is the most valuable forest and ecological part, as well as assessments of the sexual production of sporophytes to know the dispersal potential of spores in natural restoration.

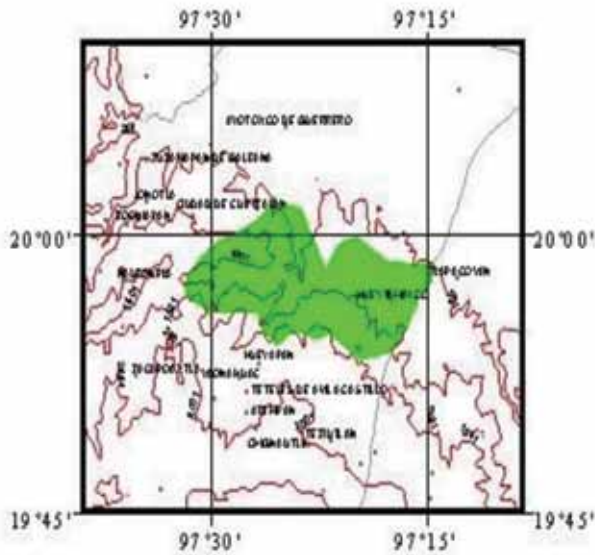


Figura 10. Delimitación geográfica del área de estudio con coordenadas extremas. Municipio Hueytamalco, Puebla, Sierra Madre Nororiental (SMNO), ANP-Cuetzalan-Filobobos. RTP-105, AICA C47.

Figure 10. Geographic delimitation of the study area with extreme coordinates con Hueytamalco Municipio, Puebla state, Northeastern Mother Mountain chain (SMNO), ANP-Cuetzalan-Filobobos. RTP-105, AICA C47.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación y determinación geográfica de los polígonos del estudio

Se utilizaron técnicas de prospección *ex situ-in situ* mediante sistemas de información geográfica (SIG) (Figura 10), para la ubicación de sitios de muestreo y monitoreo (figuras 11 y 12); se establecieron cuadrantes tipo (figuras 13 y 14) para la delimitación y separación de las parcelas donde se restauraron los ejemplares susceptibles del estudio. En las técnicas dasométricas aplicadas se utilizó una forcípula marca Hafglöf; además, se hicieron mediciones ultrasónicas con el sistema forestal de tomografía Pícus para determinar la morfometría del estipe, parte de mayor valor forestal y ecológico, así como evaluaciones de la producción sexual de esporofitos para conocer el potencial de dispersión de las esporas en la restauración natural.

### Sistema de prospección *in situ* para monitoreo en coordenadas X-Y

Modelo de prospección: muestreo y monitoreo *in situ*. Se establecieron cuadrantes X-Y en un área delimitada de 20 x 20 m para la superficie de estudio por parcela numeradas del 1-3.



Figura 11. Estipe arborescente de un *Cyathea* de 7 años producido en agricultura protegida y restaurado *in situ*, con respecto al tamaño de un hombre.

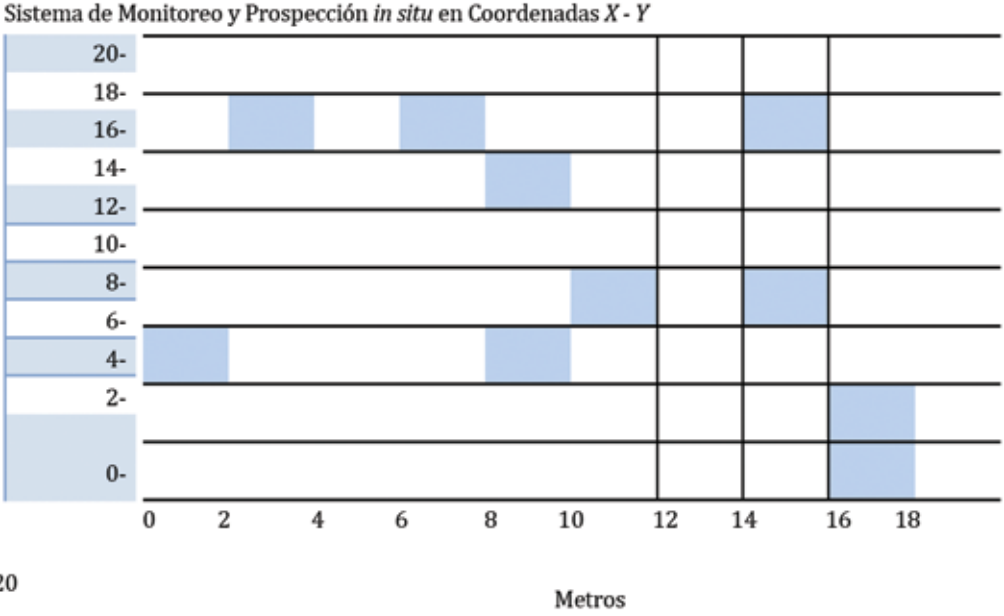
Figure 11. Tree stipe of a *Cyathea* 7 years old produced under protected agriculture and restored *in situ*, compared to the size of a man.



Figura 12. Perfil hipotético de las especies estudiadas con escala de curvas de nivel cada 2 m establecidas a 4 x 4 m.

Figure 12. Hypothetical profile of the studied species with a scale of level curves every 2 m established at 4 x 4 m.





20

Figura 13. Modelo de sistema de prospección utilizada para determinar especímenes estudiados.  
Figure 13. Model of the prospection system used to determine the studied specimens.

	Eje Y	Eje X	# De Plantas
	Coordenadas UTM		

Figura 14. Sistema de ubicación de especímenes muestreados y monitoreados en eje X-Y.  
Figure 14. Location system sampled and monitored specimens in a X-Y axis.

Se capturó y se procesó la información en matrices para determinar los parámetros de crecimiento del estipe o tallo de la población de estudio.  
Se seleccionaron los siguientes parámetros para la integración del estudio de monitoreo:

- Características de la población,
- Estadísticas del tamaño de la muestra mediante el método de plantas / cuadrante para obtener el valor (n=10) y calcular la desviación estándar,

*In situ* prospection system for monitoring in X-Y coordinates

Prospection model: sampling and monitoring *in situ*. X-Y quadrants were established ( $\bar{X}$ ) in a 20 x 20 m area for the study area by lots numbered from 1 to 3.

Information was captured and processed in matrixes to determine the parameters of growth of the stipe or stem of the studied population.

The following parameters were selected to carry out the monitoring study:

- Population characteristics,
- Statistics of the sample size by applying that of plants/ quadrant to obtain the value (n=10) and calculate the standard deviation,
- Population estimation to accomplish a confidence interval in a sample size of a group of 500/400 plants in 4x4 m quadrants.



- Estimación de la población para lograr un intervalo de confianza en un tamaño de muestra de grupo de 500/400 plantas en cuadrantes de 4x4 m.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Técnicas ultrasónicas para medir morfometría del diámetro de *Dicksonia squarrosa* con tomógrafos Picus

Morfometría ultrasónica del estipe. En las figuras 15, 16 y 17, así como en el Cuadro 1 se consignan los resultados correspondientes a los análisis ultrasónicos.

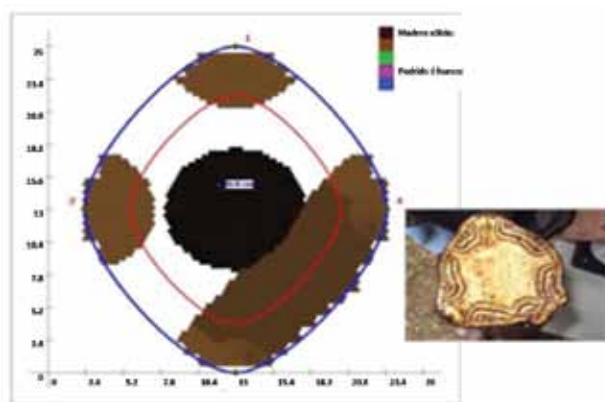


Figura 15. Tomograma ultrasónico de *Dicksonia squarrosa* (G. Forst.) Sw. para la determinación morfométrica, tamaño del diámetro de los tallos y estado general de sanidad forestal de un espécimen juvenil a la altura del pecho.

Figure 15. Ultrasonic tomogram of *Dicksonia squarrosa* (G. Forst.) Sw. for morphometric determination, diameter size of the stems and general state of health in a young specimen at breast height.

## RESULTS AND DISCUSSION

Ultrasonic techniques to measure morphometry of the diameter of *Dicksonia squarrosa* with Picus tomographers.

Ultrasonic morphometry of *Cyathea* stipe. In figures 15, 16 and 17, as well as in Table 1 are the results that came from the ultrasonic analyses.

Ultrasonic results of the morphology and size of the stipe. The results are summarized and illustrated in Table 2 and Figure 18.

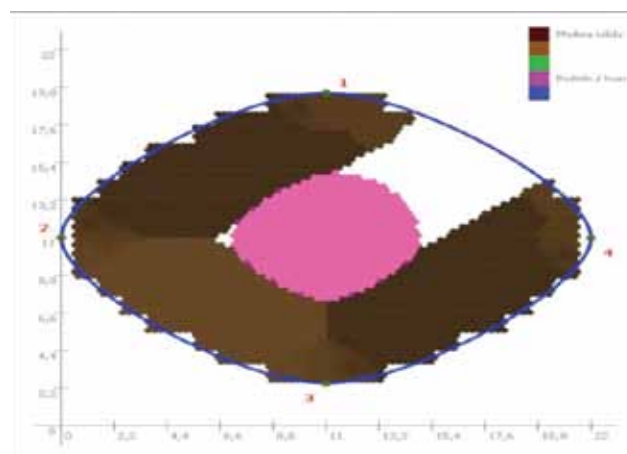


Figura 16. Tomograma ultrasónico de *Dicksonia squarrosa* (G. Forst.) Sw. para la determinación morfométrica, tamaño del diámetro de los tallos y estado general de sanidad forestal de un espécimen adulto.

Figure 16. Ultrasonic tomogram of *Dicksonia squarrosa* (G. Forst.) Sw. for morphometric determination, diameter size of the stems and general state of health in an adult specimen.

Cuadro 1. Emisión de las señales ultrasónicas (valores ultrasónicos generados ( $V = m \text{ seg}^{-1}$ ).

Table 1. Emission of ultrasonic signals (generated ultrasonic values ( $V = m \text{ sec}^{-1}$ ).

Núm. de golpes de martillo	1	2	3	4
Núm. sensor	$*V = m \text{ seg}^{-1}$	$V = m \text{ seg}^{-1}$	$V = m \text{ seg}^{-1}$	$V = m \text{ seg}^{-1}$
1	0	453	519	433
2	427	0	484	626
3	603	483	0	595
4	505	594	578	0

\*Velocidad a la que viaja la señal ultrasónica sobre el diámetro del tallo= metros/segundos.

\*Speed at which the ultrasonic signal travels over the diameter of the stem= meter/second.

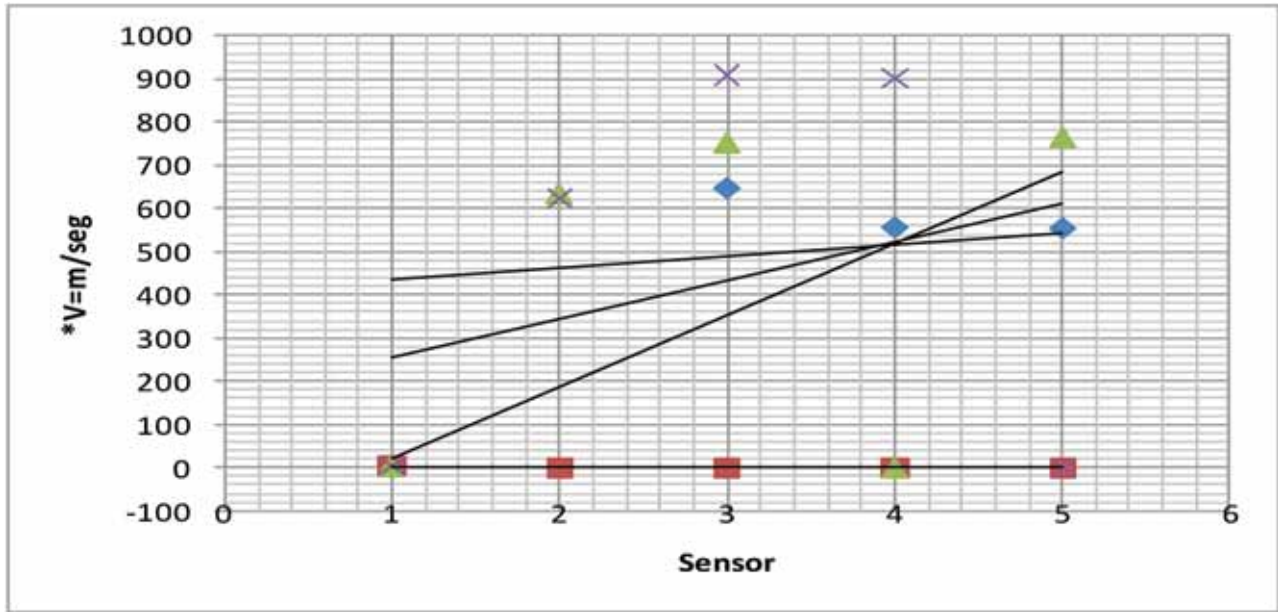


Figura 17. Trayectoria de las señales ultrasónicas entre sensores y estipe para medir el diámetro del estipe ( $V = m \text{ seg}^{-1}$ ).  
 Figure 17. Trajectory of the ultrasonic signals between sensors and stipe to measure the diameter of the stipe ( $V = m \text{ sec}^{-1}$ )

Morfología y tamaño del estipe. Los resultados se resumen e ilustran en el Cuadro 2 y la Figura 18.



Cuadro 2. Valores ( $\bar{X}$ ) del muestreo *in situ*.  
 Table 2. Values ( $\bar{X}$ ) of *in situ* sampling.

Especie Forestal	Madurez Forestal-Sitio de Lectura	Diámetro $\varnothing$ cm. Forcípula Haglóf	Circunferencia $\bigcirc$ cm. Cinta métrica
<i>Dicksonia squarrosa</i> (G. Forst.) Sw.	Juvenil-Altura de base.	22.5	90
<i>Dicksonia squarrosa</i> (G. Forst.) Sw.	Juvenil-Altura de pecho.	23	32

### Determinación de altura del estipe y $\varnothing$ -( $\bar{X}$ ) de *Cyathea arborea*

El crecimiento observado del estipe o tallo (cuadros 3 a 6 y figuras 19 a 21) varía entre 30 y 90 cm por año, en función del tipo de suelo, sombra y competencia con otras especies forestales. El diámetro ( $\bar{X}$ ) es de 15 a 25 cm y las frondes son ( $\bar{X}$ ) de 24 por estipe (Figura 6). La maduración del "tallo" para su aprovechamiento forestal es útil a partir del décimo año. Los resultados se lograron con un buen manejo forestal que incluye fertilización, poda, aclareo y manejo de frondes para cosecha de germoplasma.

### Calculation of the height of the stipe and $\varnothing$ -( $\bar{X}$ ) of *Cyathea arborea*

The observed growth of the stipe or stem (tables 3 to 6, figures 19 to 21) varies between 30 and 90 cm per year, depending on the type of soil, shadow and competition with other forest species. The diameter ( $\bar{X}$ ) is 15 to 25 cm and frondes are ( $\bar{X}$ ) 24 per stipe (Figure 6). The ripening of the "stem" for its forest harvest is useful from the tenth year. Results were accomplished by a good forest management that include fertilization, pruning, thinning and management of the frondes for a germ plasm harvest.



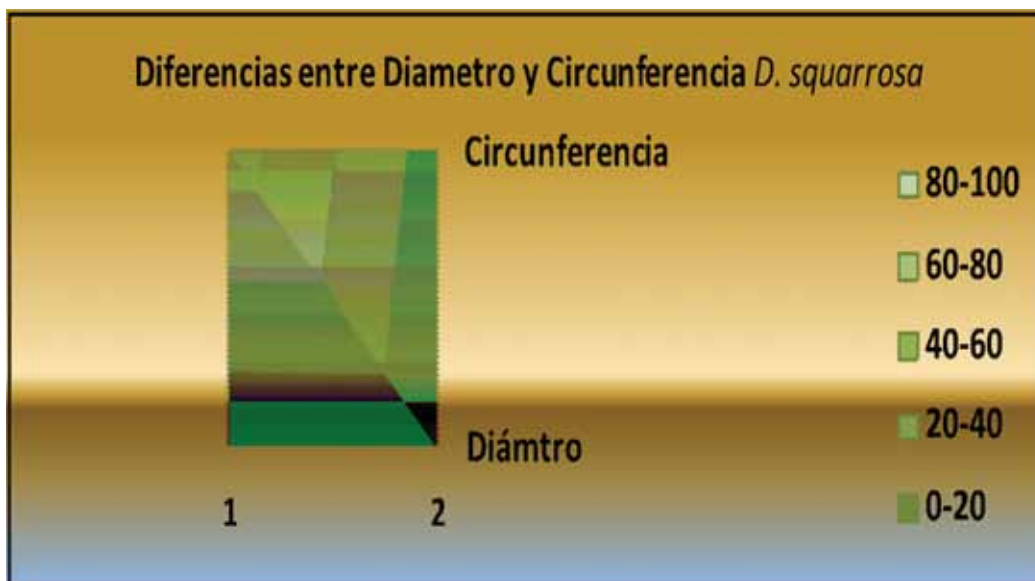


Figura 18. Resultados de la medición ultrasónica del diámetro de *Dicksonia squarrosa* (G. Forst.) Sw.  
 Figure 18. Results of the ultrasonic measurement of *Dicksonia squarrosa* (G. Forst.) Sw. diameter.

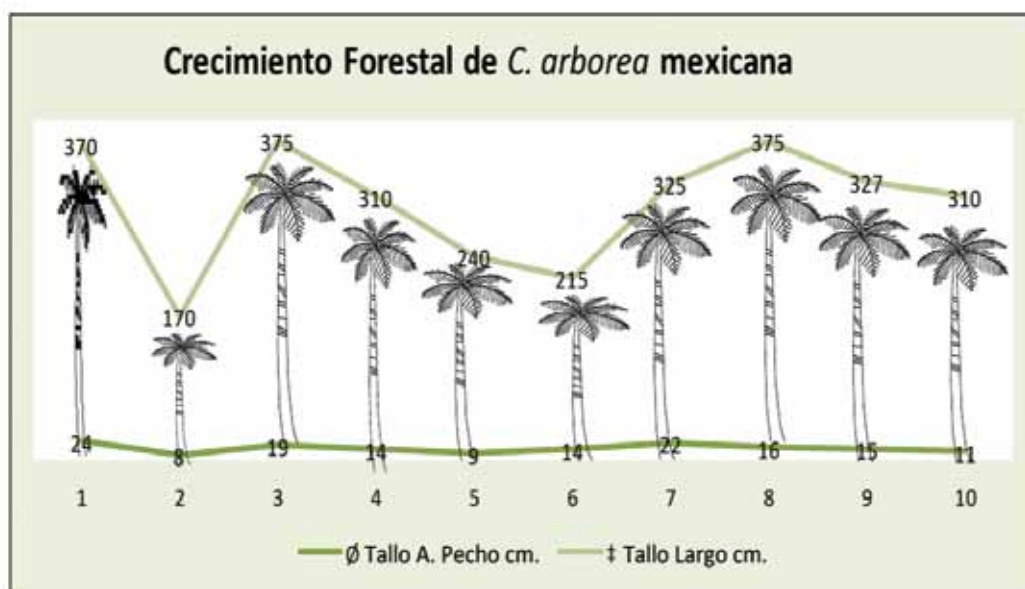


Figura 19. Medición forestal del estipe de *Cyathea arborea* (L.) Sm. en el sitio 1 con dos lecturas: altura del pecho y largo del estipe.  
 Figure 19. Forest mensuration of the the stipe of *Cyathea arborea* (L.) Sm. in site 1 with two readings: breast height and stipe length.



Cuadro 3. Lecturas dasométricas *in situ* del sitio 1.  
 Table 3. *In situ* mensuration readings in site 1.

Espécimen	Ø Tallo A. Pecho	‡ Tallo largo
	cm	cm
1	24	370
1	8	170
1	19	375
3	14	310
4	9	240
5	14	215
6	22	325
7	16	375
8	15	327
1	11	310

Espécimen = specimen; Tallo A. Pecho cm = Stem at breast height cm; Tallo largo = Stem length.

Medición del Ø( $\bar{X}$ ) muestra sitio 1: ( $\bar{X}$ )= (24+8+9+14+9+14+22+16+15+11)=15.2 cm.

- Ø( $\bar{X}$ ) Estipe=15.2 cm

Medición del ‡( $\bar{X}$ ), muestra sitio 1: ( $\bar{X}$ )= (370+170+375+310+240+215+325+375+327+310)=301 cm.

- ‡( $\bar{X}$ ) Estipe = 3.01 m.

Measurement of Ø( $\bar{X}$ ) sample site 1: ( $\bar{X}$ )= (24+8+9+14+9+14+22+16+15+11)=15.2 cm

- Ø( $\bar{X}$ ) stipe=15.2 cm

Measurement of ‡( $\bar{X}$ ), sample in site 1: ( $\bar{X}$ )= (370+170+375+310+240+215+325+375+327+310)=301 cm.

- ‡( $\bar{X}$ ) stipe = 3.01 m.

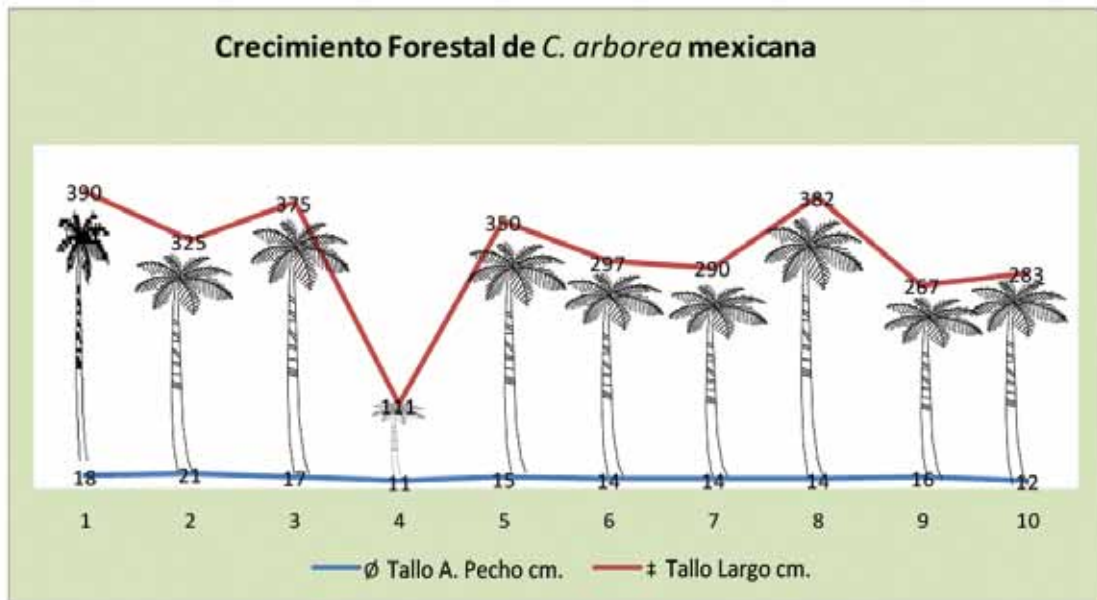


Figura 20. Medición forestal del estipe de *Cyathea arborea* (L.) Sm. en el sitio 2 con dos lecturas: altura del pecho y largo del estipe.

Figure 20. Forest mensuration of the stipe of *Cyathea arborea* (L.) Sm. in site 2 with two readings: breast height and stipe length.

Cuadro 4. Lecturas dasométricas *in situ* del sitio 2.  
 Table 4. *In situ* mensuration readings of site 2.

Especímen	Ø Tallo A. Pecho	‡ Tallo largo
	cm	cm
1	18	390
2	21	325
3	17	375
4	11	111
6	15	350
7	14	297
8	14	290
9	14	382
10	16	267
11	12	283

Especímen = specimen; Tallo A. Pecho cm = Stem at breast height cm; Tallo largo = Stem length.  
 Medición del  $\bar{X}$ , muestra sitio 1:  $(\bar{X}) = (390+325+375+111+350+297+290+382+267+283) = 307$  cm.  
 • ‡  $(\bar{X})$  Estipe = 3.07 m.  
 Medición del  $\bar{X}$ , muestra sitio 2:  $(\bar{X}) = (18+21+17+11+15+14+14+14+16+12) = 152$  cm.  
 • Ø  $(\bar{X})$  Estipe = 15.2 cm  
 Measurement of  $\bar{X}$ , sample site 1:  $(\bar{X}) = (390+325+375+111+350+297+290+382+267+283) = 307$  cm.  
 • ‡  $(\bar{X})$  stipe = 3.07 m  
 Measurement of  $\bar{X}$  in sample site 2:  $(\bar{X}) = (18+21+17+11+15+14+14+14+16+12) = 152$  cm.  
 • Ø  $(\bar{X})$  stipe = 15.2 cm

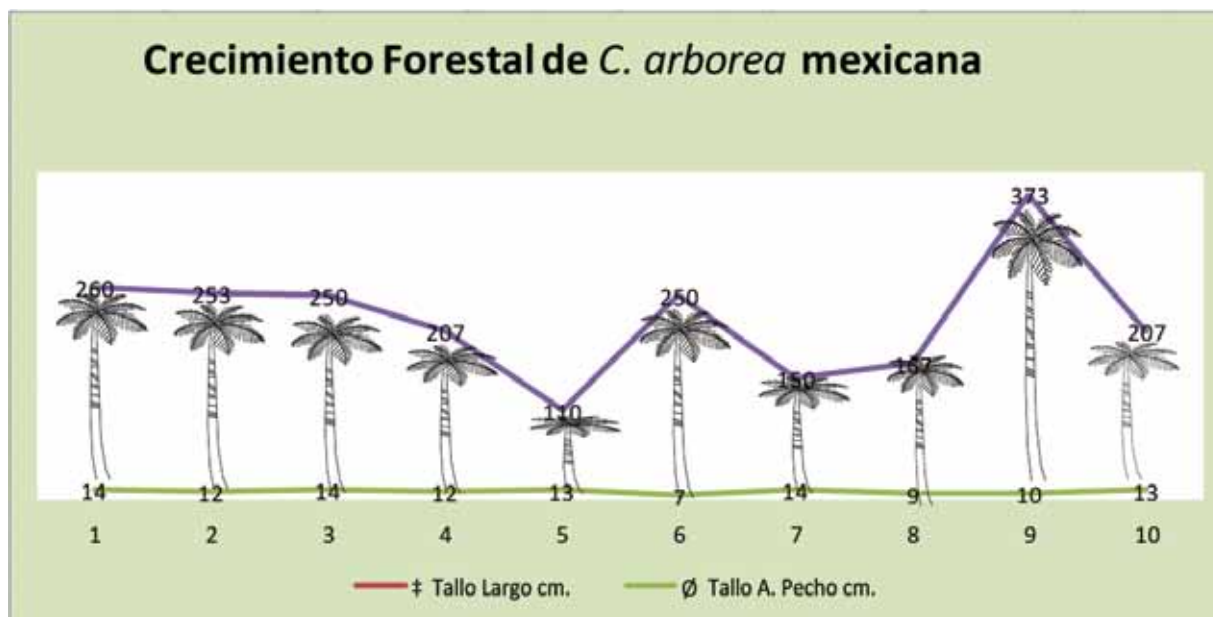


Figura 21. Medición forestal del estipe de *Cyathea arborea* (L.) Sm. en el sitio 3 con dos lecturas: altura de pecho y largo del estipe.

Figure 21. Forest mensuration of the stipe of *Cyathea arborea* (L.) Sm. in site 3 with two readings: breast height and stipe length.



Cuadro 5. Lecturas dasométricas *in situ* del sitio 3.  
 Table 5. *In situ* mensuration readings of site 3.

Espécimen	Ø Tallo A. Pecho	‡ Tallo largo
	cm	cm
1	14	260
2	12	253
3	14	250
4	12	207
5	13	110
6	7	250
7	14	150
8	9	167
9	10	373
10	3	207

Espécimen = specimen; Tallo A. Pecho cm = Stem at breast height cm; Tallo largo = Stem length.  
 Medición del Ø( $\bar{X}$ ) muestra sitio 2: ( $\bar{X}$ )= (14+ 12+ 14+ 12+ 13+7+ 14+9+ 10+ 13)=118 cm.  
 • Ø( $\bar{X}$ ) Estipe= 11.8 cm  
 Medición del ‡ ( $\bar{X}$ ), muestra sitio 1: ( $\bar{X}$ )= (260+253+250+207+ 110+250+ 150+ 167+373+207)=222 cm.  
 • ‡ ( $\bar{X}$ ) Estipe= 2.22 m.  
 Measurement of Ø( $\bar{X}$ ) in sample site 2: ( $\bar{X}$ )= (14+ 12+ 14+ 12+ 13+7+ 14+9+ 10+ 13)=118 cm.  
 • Ø( $\bar{X}$ ) stipe= 11.8 cm  
 Measurement of ‡ ( $\bar{X}$ ), sample site 1: ( $\bar{X}$ )= (260+253+250+207+ 110+250+ 150+ 167+373+207)=222 cm.  
 • ‡ ( $\bar{X}$ ) stipe= 2.22 m.

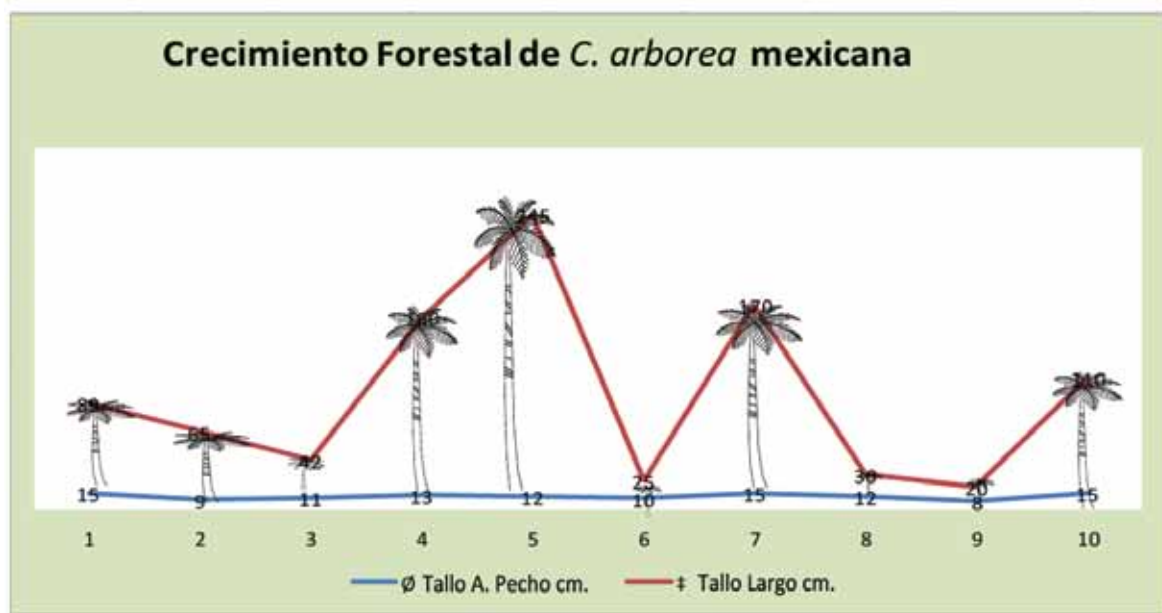


Figura 22. Medición forestal del estipe de *Cyathea arborea* (L.) Sm. en el sitio 4 con dos lecturas: altura de pecho y largo del estipe.

Figure 22. Forest mensuration of the stipe of *Cyathea arborea* (L.) Sm. in site 4 with two readings: breast height and stipe length.

Cuadro 6. Lecturas dasométricas *in situ* del sitio 4.  
Table 6. *In situ* mensuration readings of site 4.

Especímen	Ø Tallo A. Pecho	‡ Tallo largo
	cm	cm
1	15	89
2	9	65
3	11	42
4	13	160
5	12	245
6	10	25
7	15	170
8	12	30
9	8	20
10	15	110

Especímen = specimen; Tallo A. Pecho cm = Stem at breast height cm; Tallo largo = Stem length.

Medición del Ø( $\bar{X}$ ) muestra sitio 4: ( $\bar{X}$ ) = (15+9+11+13+12+10+15+12+8+15) = 12 cm.

- Ø( $\bar{X}$ ) Estipe = 12 cm.

Medición del Ø( $\bar{X}$ ) muestra sitio 2: ( $\bar{X}$ ) = (89+65+42+160+245+25+170+30+20+110) = 956cm.

- ‡( $\bar{X}$ ) Estipe = 15.2 m.

Measurement of Ø( $\bar{X}$ ) in sample site 4: ( $\bar{X}$ ) = (15+9+11+13+12+10+15+12+8+15) = 12 cm.

- Ø( $\bar{X}$ ) stipe = 12 cm.

Measurement of Ø( $\bar{X}$ ) in sample site 2: ( $\bar{X}$ ) = (89+65+42+160+245+25+170+30+20+110) = 956cm.

- ‡( $\bar{X}$ ) stipe = 15.2 m.

Las condiciones de crecimiento del estipe o tallo responden a la orientación y al nivel de competencia forestal; sin embargo se puede observar que el correspondiente a los sitios 1, 2 y 3 es muy homogéneo, si se considera que son especies producidas en agricultura protegida con tecnología forestal desde su germinación en camas de viveros, con malla sombra marca Stupy (70 %), hasta su maduración en contenedores forestales de origen sueco marca BCC-Hiko, sustratos a base de *peat-moss* y Tezontle; esto favoreció un desarrollo radicular (base del maquique) que permitió un crecimiento razonable equivalente a 85 % de productividad del tallo o estipe.

Con respecto a las mediciones ultrasónicas, se logró una eficiencia superior de las lecturas con una forcípula pues hacen posible una precisión del diámetro para calcular el crecimiento y simultáneamente el estado de sanidad, de tal forma que en la planeación forestal y ambiental permite certidumbre y proyecciones en la relación Ø ( X ) /año. Para plantaciones forestales ayudaría en el mercado de productos maderables en un futuro.

The conditions of growth of the stipe or stem react to the direction and level of forest competition; however, it can be observed that the corresponding of sites 1, 2 and 3 is very homogeneous, taking into account that they are species produced under protected agriculture with forest technology since its germination in nursery beds with 70% Stupy shadow mesh until they become ripe in BCC-Hiko forest containers of Swedish origin, substrate based on *peat-moss* and "tezontle" (porous rock); this favored its root development ("Maquique base") and allowed a reasonable forest growth which is equivalent to 85% if the productivity of the stem or stipe.

In regard to the ultrasonic measurements, a greater efficiency of readings made by a clipper was accomplished, since they make it possible to attain a precision in diameter to calculate growth and, simultaneously, the state of health, in such a way that the forest and environmental programming allows certainty and projections in the Ø ( X ) /year relation. For forest plantations it would help the woody products' future market.

## CONCLUSIONS

The prospection, monitoring and sampling of ultrasound and forest statistic that was used here allows the determination of values in environmental restoration, in commercial forest



## CONCLUSIONES

El método de prospección, monitoreo y muestreo de ultrasonido y estadístico forestal utilizado permite determinar valores en la restauración ecológica, en plantaciones forestales comerciales y al estado general de sanidad forestal de los ecosistemas.

Los resultados de crecimiento de los Ciateales producidos en agricultura protegida son correctos por tratarse de especies no comerciales y no incluidos en CITES, pero que resultan convenientes en términos de aprovechamientos y de usos y costumbres de los pueblos indígenas. La explotación comercial del maquique (rizoma), y del estipe se destina a construcciones rurales como material para elaborar travesaños y columnas para sus viviendas.

La dispersión sexual de los esporangios y esporas con la interacción del viento y la saltación es fundamental para cumplir con la teoría de Raunkiaer del efecto de Oceanidad, ya que sin saltación, no ocurre ni reptación ni suspensión. Entre 50 y 80 % del transporte ocurre por saltación. El ascenso de partículas es inferior a 120 cm y la mayoría no supera los 30 cm. Las partículas son ejecutadas y siguen trayectorias características, bajo la influencia de la resistencia del aire y la gravedad, debido a que no pueden mantenerse en suspensión. El intervalo de tamaño de partículas que se mueve por saltación es de 0.05 mm a 0.5 mm, con un predominio de 0.1 a 0.15 mm de diámetro. La altura de rebote es proporcional a la relación entre la densidad del fluido y de la partícula. Si los vientos son de velocidad excesiva, se pueden movilizar por saltación de partículas de hasta de 0.1 mm.

El tamaño promedio de los esporangios es de 250  $\mu\text{m}$  por lo cual la interacción del viento es fundamental para su dispersión geográfica.

## AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Nacional Forestal por haber financiado la publicación del presente estudio como parte de los trabajos presentados en la VIIa. Reunión Nacional de Innovación e Investigación Forestal celebrada en Boca del Río, Ver. en 2013.

## REFERENCIAS

- Bold, H. C., C. J. Alexopoulos y T. Delevoryas. 1988. *Morfología de las plantas y de los hongos*. Ediciones Omega S. A. Barcelona, España. pp. 431-432.
- Gibby, M. and R. Johns. 1996. *Pteridology in perspective*. Proceedings of the Holttum Memorial Pteridophyte Symposium 1995. Kew, London, UK. pp. 231-246.
- Holttum, R. E. 1949. The classification of ferns. *Biol. Rev.* Vol. 24(3): 267-296.
- Johns, R. J. (ed). 1997. Holttum: memorial volume. Royal Botanic Gardens, Kew, UK. 272 p.
- Raunkiaer, C. C. 1934. *The life forms of plants and statistical plant geography*. Oxford University Press, Oxford, UK. 648 p.
- Rovirosa A., J. N. 1909. *Pteridografía del Sur de México*. O sea clasificación y

plantations and in the general health state of ecosystems.

The results of growth of Cyatheals produced under protected agriculture are correct as they are non-commercial species and not included in CITES, and convenient in terms of use and of ways of the indigenous people. Commercial exploitation of maquique (rhizome) and the stipe is destined to rural buildings as material for girders and columns for their houses.

Sexual dispersal of the sporangia and spores with the interaction of the wind and saltation is basic to achieve Raunkiaer's theory of the Oceanity effect, since without saltation there is no creeping nor suspension. Almost from a 50 % to 80 % of transportation occurs by saltation. The ascent of particles is under 120 cm and most of them do not surpass 30 cm. Particles are executed and they followed particular trajectories, under the influence of air resistance and gravity, as they cannot keep themselves suspended. The range of the size of particles that move by saltation is from 0.05 mm to 0.5 mm, with a prevalence of the 0.1 a 0.15 mm diameter interval. The height of rebound is proportional to the relation between fluid density and that of the particle. If the winds have an excessive speed, they can move by particle saltation up to 0.1 mm.

The average size of sporangia is 250  $\mu\text{m}$  which means that the interaction with wind is crucial for the geographic dispersion.

## ACKNOWLEDGEMENTS

To the National Forest Commission (Comisión Nacional Forestal) for having sponsored the publication of the actual study as part of the contributions presented at the VII. National Meeting of Forest Innovation and Research at Boca del Río, Veracruz in 2013.

*End of the English version*



- descripción de los helechos de esta Región, precedida de un bosquejo de la flora general. Sociedad Mexicana de Historia Natural. Imprenta Ignacio Escalante. México, D.F. México. pp. 92, 93, 99, 298.
- Rovirosa M., C. A., M. C. Magallón y F. I. Rovirosa 2007. Estudio ultraestructural de Talopefitas en el estrato del bosque mesófilo de montaña en simbiosis con especies forestales maderables mexicanas. Caso: *P. tinctorum* vs. *C. mexicana*. Conafor, INIFAP, Aguascalientes, Ags. México. pp. 131-132.
- Scagel R., E., R. J. Bandoni y G. E. Rouse 1987. *El reino vegetal*. Department of Botany The University of British Columbia. Ediciones Omega S.A. Barcelona, España. pp. 493-495.