



# YERBA MATE

Reseña Histórica y Estadística.  
Producción e Industrialización  
en el siglo XXI.



## TÍTULO

**YERBA MATE. Reseña Histórica y Estadística. Producción e Industrialización en el siglo XXI.**

## COORDINADOR Y EDITOR GENERAL

Capellari, Pablo Leandro

e-mail: pablocapellari@hotmail.com

## CO-EDITOR GENERAL

Medina, Ricardo Daniel

## COMITE EDITORIAL

Avico, Edgardo - Balbi, Celsa Noemí - Burgos, Ángela María - Galliano, María Cecilia - Ibarrola, Susana - Peichotto, Myriam Carolina - Vidoz, María Laura.

## AUTORES

Burgos, Angela María - Cabrera, María Graciela - Capellari, Pablo Leandro - Dalurzo, Humberto Carlos - Dávalos, Marcos - Dirchwolf, Pamela - Dolce, Natalia Raquel - Fediuk, Ángel - Holowaty, Santiago Alexi - Llera, Valentín - Maiocchi, Marcos - Medina, Ricardo Daniel - Molina, Sandra Patricia - Pinto Ruiz, Gabriel - Mayol, Marcelo - Tarragó, José - Yacovich, Maricel.

## DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Lic. Mariana Cecilia Rodriguez

## FOTO DE TAPA Y PAG. 6

Luis Gurdiel

1ª EDICIÓN - 500 EJEMPLARES

Consejo Federal de Inversiones

San Martín 871 – (c1004aaq) - Buenos Aires – Argentina

Ministerio de Producción

San Martín 2224 – (3400) - Corrientes - Argentina

Yerba mate, reseña histórica y estadística, producción e industrialización en el siglo XXI / Pablo Leandro Capellari ... [et al.]. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Consejo Federal de Inversiones, 2017.

310 p.; 24 x 18 cm.

ISBN 978-987-510-260-6

1. Cultivo. 2. Yerba Mate. 3. Corrientes. I. Capellari, Pablo Leandro  
CDD 633.77

FECHA DE CATALOGACIÓN: 12/2017

QUEDA HECHO EL DEPÓSITO QUE MARCA LA LEY 11.723

IMPRESO EN ARGENTINA - DERECHOS RESERVADOS.

No se permite la reproducción parcial o total, el almacenamiento, el alquiler, la transmisión o la transformación de este libro, en cualquier forma o por cualquier medio, sea electrónico o mecánico, mediante fotocopias, digitalización u otros métodos, sin el permiso previo y escrito de los editores. Su infracción está penada por las leyes 11.723 y 25.446.



# SISTEMÁTICA Y MORFOLOGÍA

## De su identidad, sus aspectos externos y algunos más íntimos

Medina, Ricardo Daniel <sup>1</sup>, Burgos, Angela María <sup>2</sup> (*ex aequo*).  
 Cátedra de Cultivos III, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Nordeste  
 (FCA-UNNE).

<sup>1</sup> Ingeniero Agrónomo, Doctor de la UNNE en el Área de Recursos Naturales, FCA-UNNE.  
 Investigador Asistente, Instituto de Botánica del Nordeste (Universidad Nacional del  
 Nordeste – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas).

<sup>2</sup> Ingeniera Agrónoma, Magister en Producción Vegetal, FCA-UNNE.

## Sistemática

La planta de yerba mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.) se conoció en Europa desde principios del siglo XIX y fue clasificada taxonómicamente entre 1818-1820 como *Ilex theaezans* Bonpl. ex Miers por Aimé Goujaud (médico y naturalista francés cuyo pseudónimo fue Amado Bonpland). Años más tarde (1823), el botánico francés Augustin de Saint Hilaire la describió definitivamente como *Ilex paraguariensis* (Giberti, 2011). El nombre genérico *Ilex* es una palabra griega que significa árbol espinoso, haciendo alusión a la hoja con margen espinoso de la especie tipo de la familia Aquifoliaceae, que es *I. aquifolium* L. o comúnmente conocido como acebo o muérdago de Navidad; por otra parte el epíteto específico *paraguariensis* es un gentilicio latinizado que hace referencia a su procedencia geográfica (i.e.: paraguay) y que era utilizado por los antiguos historiadores españoles para denominar a las personas oriundas de Paraguay (Giberti, 1994). Tal denominación prevaleció sobre otras, las cuales pasaron a ser sinónimos, tales como *Ilex mate* A. St. Hil., *I. curitibensis* Miers, *I. domestica* Reissek, *I. sorbilis* Reissek, *I. theaezans* Bonpl. ex Miers (Giberti, 1994, 2008).

De acuerdo a la clasificación propuesta por Angiosperm Phylogeny Group IV (Stevens, 2001 onwards), la yerba mate (*Ilex paraguariensis*) pertenece actualmente al clado Eudicotyledoneae, gran grupo Gunneridae (o Núcleo de las Eudicotiledóneas), clado Asteridae, clado Campanulidae, orden Aquifoliales, Familia Aquifoliaceae. Considerando sus caracteres diagnósticos, en la actualidad se sabe que, en casi todos los representantes de la familia, los sépalos están soldados y que conforman un cáliz que persiste en el fruto maduro. La corola está integrada por pétalos casi siempre soldados y de prefloración imbricada (Raven y Weyers, 2001). Generalmente los pétalos también están soldados entre sí a nivel basal (Loizeau, 1994), formando una corola la cual se desprende completamente después de la anthesis junto al androceo adnato. No obstante, los limbos de los pétalos a veces parecen estar bien separados, razón por la cual antiguamente en algunos tratamientos sistemáticos de principios del siglo XX (Engler y Diels, 1936) se mencionaba la condición dialipétala para el género *Ilex* y por lo tanto era considerada Archichlamydeae por el sistema Engler-Diels.

Según la bibliografía, la familia Aquifoliaceae se encuentra en la Argentina representada por 7 especies de *Ilex*, entre ellas *I. affinis* Gardner, *I. argentina* Lillo, *I. brasiliensis* Loes., *I. brevicuspis* Reissek, *I. dumosa* Reissek var. *guaranina* Loes., *I. paraguariensis* var. *paraguariensis*; *I. theaezans* Mart. ex Reissek (Giberti, 1994, 1998, 2008; Keller y Giberti, 2011).





## Morfología

La familia Aquifoliaceae Bercht. & J. Presl descrita en 1825 comprende individuos de hábito arbóreo, arbustivo o voluble (raro lianas), habitualmente perennes, infrecuentemente deciduos, en general dioicos. Posee estípulas pequeñas, frecuentemente caducas. Hojas alternas, raramente opuestas o sub-opuestas, simples, raramente pubescentes (en ese caso con pelos simples y unicelulares), ocurriendo heterofilia en algunas especies, láminas a veces con puntuaciones o pequeñas verrugas suberosas (consistencia corchosa) en la cara abaxial, márgenes enteros, aserrados a espinosos. Inflorescencias en general axilares de hojas normales (nomófilas), en ramas de la última brotación o de anteriores periodos de crecimiento; o solitarias en las axilas de brácteas dispuestas en la base de ramitas jóvenes, en tirso, racimos, fascículos corimboideos, dicasios o ejes unifloros. Brácteas y bractéolas de las inflorescencias por lo común diminutas, triangular-lanceoladas. Flores: actinomorfas, unisexuales (raro perfectas), frecuentemente 4-6 (-23)meras; sépalos valvados mas o menos fusionados en la base, que pueden ser glabros o pubescentes y cuyo margen puede ser ciliado o no; pétalos imbricados 1-10 mm de largo, frecuentemente blancos o crema, raramente verdes, amarillos, rosas, violetas, rojos o color chocolate, base usualmente fusionada formando un tubo hasta un poco más de la mitad de la longitud de la corola, menos frecuentemente libres; estambres alternipétalos, anteras introrsas, ovoides o elipsoides; estaminodios más pequeños con anteras estériles comprimidas, presentes en flores pistiladas; gineceo gamocárpico, ovario súpero subgloboso a lageniforme, 1 lóculo por carpelo, estilo terminal, usualmente corto o ausente, estigma pronunciado, pistilodio cónico a subgloboso, sin estigma, presentes en flores estaminadas; placentación axilar apical, óvulos usualmente 1 por lóculo, a veces 2. Fruto drupáceo (nuculanio), con cáliz y estigma persistentes, globoso; con 4 (6) pirenos. Pirenos (propágulos formados por porciones del endocarpo y una o dos semillas) subtrígonos, dorsalmente convexos, carenados. Semillas pequeñas con endosperma abundante (Giberti, 1994a; Giberti, 1994b; Giberti & Gurni, 2008).

Se consideran caracteres diagnósticos de la familia Aquifoliaceae su hábito arbóreo o arbustivo, hojas simples de filotaxis alterna distribuidas en espiral o excepcionalmente opuestas, flores unisexuales con estaminodios presentes en flores pistiladas y pistilodios presentes en flores estaminadas y frutos carnosos con endocarpo leñoso que usualmente contienen de 1 a 6 pirenos (Giberti, 1994; Laboratorio de Sistemática de Plantas Vasculares, 2017).

La yerba mate (*I. paraguariensis*) es una especie diclino dioica, diploide ( $2n = 2x = 40$ ), arbórea o más raramente arbustiva, cuyo hábitat natural lo constituye el sotobosque (Niklas, 1987; Andrés y Saura, 1945; Eibl *et al.*, 2000). Crece espontáneamente en el sur de Brasil, nordeste de Argentina, este de Paraguay y en algunos departamentos de Uruguay (Giberti, 1997; Coelho *et al.*, 2002). Es cultivada en el nordeste de Argentina, el sudeste de Brasil y todo el Paraguay. Las hojas de más de 60 especies de *Ilex* son utilizadas en la fabricación de bebidas. La más conocida es el mate, una infusión

hecha con las hojas y tallos de yerba mate de profunda raigambre y tradición histórica, social y cultural en Sudamérica (Stein *et al.*, 2014), que está siendo introducida en el mercado mundial para consumo directo o como ingrediente en alimentos formulados o suplementos dietarios (Heck y de Mejia, 2007). Además, varias especies de *Ilex* tienen propiedades medicinales, algunas son maderables, otras ornamentales. La madera del árbol de yerba mate es de densidad media ( $0,60 \text{ g/cm}^3$ ) con 15% de humedad, poco compacta, textura fina, de baja durabilidad natural, duramen de color marrón claro con marcas alveolares, destinado a usos secundarios (Laboratorio de Sistemática de Plantas Vasculares, 2017).



Figura 1: Planta de yerba mate (*I. paraguariensis*). Referencias: a, c: porte o hábito de crecimiento de plantas crecidas naturalmente; b: planta bajo cultivo; c: detalle del tronco; d: detalle de su corteza; e: detalle de una tabla obtenida del aserrado de su tronco.

La yerba mate es un árbol perennifolio que puede alcanzar, en su estado silvestre, de 10 a 30 m de altura y un tronco de 50 y 80 cm de diámetro a la altura del pecho.



Bajo cultivo es conducido como un arbusto cuyo porte se mantiene entre los 3 y 6 m de altura por razones de practicidad (Muello, 1946; CRYM, 1971). En la Figura 1 se puede observar individuos de yerba mate con porte arbóreo, tronco prominente y aptitud forestal (Fig. 1a y 1c), o cultivado como un arbusto (Fig. 1b), también un detalle de su corteza gris-cenicienta (Fig. 1d) y de una tabla obtenida del aserrado de su tronco (Fig. 1e), la cual es considerada como una madera blanda.

El cultivo de la yerba mate comienza con la producción de plantines que comercialmente es llevada a cabo mediante la propagación sexual como método más difundido. Las plántulas derivan de la germinación de semillas contenidas en pirenos. La germinación de esta especie se caracteriza por ser fanerocotilar (*i.e.* cuando los cotiledones emergen del episperma, testa o cubierta seminal) según Duke (1969), epigea (*i.e.* cuando el hipocótilo eleva los cotiledones por encima del suelo o sustrato) y foliácea (*i.e.* cuando los cotiledones tienen aspecto de hojas verdaderas o nomófilos). En la Figura 2 se puede observar las etapas de la germinación de la yerba mate, algunas características distintivas de la plántula y su apariencia normal o cuando es afectada por damping-off.

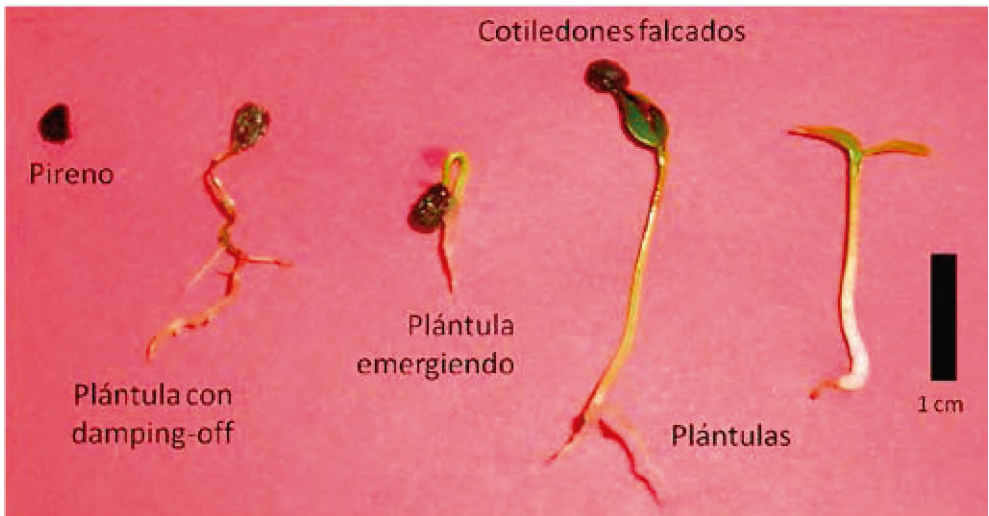


Figura 2: Etapas de la de germinación de la yerba mate (*I. paraguariensis*) y aspecto de plántulas normales o afectada por damping-off.

La plántula se identifica fácilmente por poseer cotiledones falcados y margen liso (Fig. 3a), además presenta un sistema radicular pivotante compuesto por una raíz principal acompañada de raíces secundarias. A los 4 meses de edad, las plántulas exhiben 4 a 6 hojas normales o nomófilos de margen dentado (Fig. 3b) y tradicionalmente este es el estado en que la muda se considera apta para su trasplante (Prat Kricun, 1993).



Actualmente en algunos viveros adelantan su transferencia o repique en el estado de plántula con cotiledones desplegados (Fig. 3b) obteniendo resultados exitosos (Martin Conti *com. pers.*). En la Figura 3 se pueden observar plántulas emergidas (Fig. 3a) y plántulas descalzadas del sustrato (Fig. 3b).



Figura 3: Morfología de la plántula de yerba mate (*I. paraguariensis*). Referencias: a: plántulas emergidas; b: plántulas descalzadas del sustrato. Foto de la izquierda gentileza de la Ing. Agr. Belén Kettler (2016).

La raíz de una planta de yerba mate derivada de la germinación de una semilla es de tipo pivotante y color marrón, con raíces secundarias que se insinúan en el mismo sentido (Fig. 2) (CRYM, 1971). Las raíces derivadas del enraizamiento adventicio de una estaca caulinar plurinodal de yerba mate provista de hojas, se distribuyen formando un sistema homorrizo (Fig. 4). Tarragó et al. (2005) han demostrado que la retención de las hojas de la estaca caulinar usada en la propagación es esencial para el enraizamiento y que la posición de las hojas retenidas guarda relación con el sitio de diferenciación de primordios radicales. El lugar de la emisión de raíces coincide con el mismo ortóstico de la hoja retenida. El incremento del número de hojas de la estaca caulinar propicia la diferenciación y distribución radial de las raíces, así como la inmersión de las estacas caulinares unifoliadas en 30  $\mu$ M de quercetina por 12 h previo al tratamiento de enraizamiento (Caso y Dotta, 1997).



Figura 4: Sistema radical adventicio de un vástago plurinodal unifoliado de yerba mate (*I. paraguariensis*). Referencia: Foto extraída de Tarragó et al. (2005).



El tallo principal maduro o tronco posee una corteza lisa de color grisáceo o ceniciento, con ramas alternas, divergentes y de diferentes grosores según su edad, cuyo número varía si la planta se ha desarrollado como un árbol o como un arbusto (Muello, 1946). En cultivo, las plantas de yerba mate como son sometidas a sucesivas podas de formación y cosecha, modifica su porte arbóreo derivando en un arbusto con tronco corto y que ramifica a escasa altura del suelo. Además el manejo de las podas amplía la copa con el fin de aumentar la luminosidad en su interior, incrementar la ramificación y facilitar el acceso y la labor del tarefero (CRYM, 1971). El tallo principal y sus ramificaciones secundarias constituyen el esqueleto fundamental de una planta en producción, en adelante, las ramas terciarias y subsidiarias se convierten en las ramas cargadoras de la producción o las ramas objeto de la cosecha. Se define rama como una porción de tallo con hojas, derivada de la brotación de una yema axilar. Desde un punto de vista cronológico y grado de lignificación se pueden diferenciar ramas jóvenes, las cuales son angulosas, glabras o raramente algo pubescentes (Fig. 5a) y ramas adultas, las cuales son cilíndricas debido al crecimiento secundario que experimentan durante su ontogenia y cuya corteza es pardo-oscura, pardo-rojiza o pardo grisácea (Fig 5b) con lenticelas poco notables (Giberti, 1979). La ramificación vegetativa se caracteriza por producir ramas con entrenudos largos y de crecimiento indefinido o macroblastos, y la ramificación reproductiva conduce a la formación de ramas con entrenudos cortos con crecimiento definido o braquiblastos, ambos tipos de ramas se presentan en pies masculinos y femeninos (Fig. 6).



Figura 5: Tipos de ramas de yerba mate (*I. paraguariensis*) desde el punto de vista cronológico y grado de lignificación. Referencias: a: ramas jóvenes; b: ramas adultas. Flechas blancas indican hojas jóvenes lustrosas, cuyo brillo se debe a la presencia de secreciones producidas por coléteres.

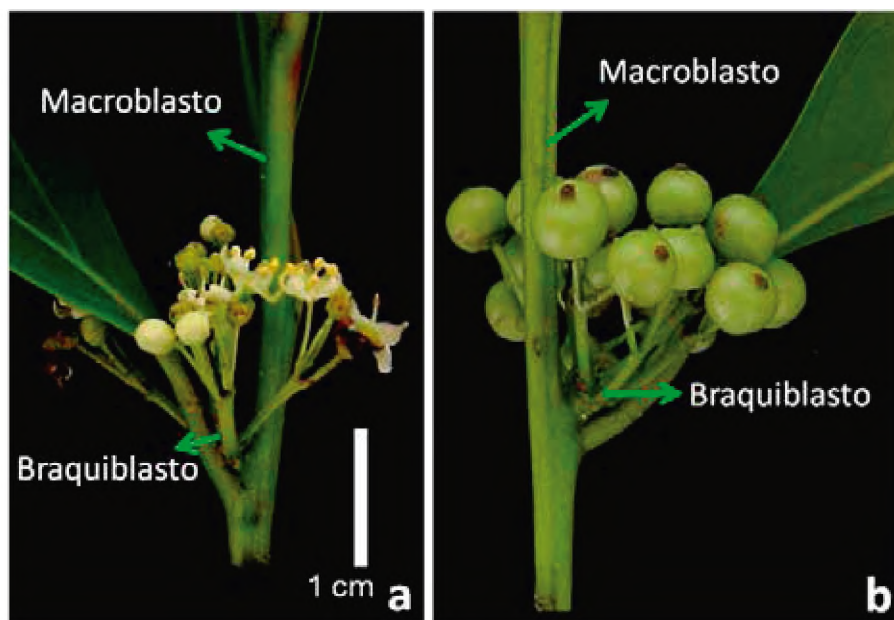


Figura 6: Ramificación vegetativa (macroblastos) y reproductiva (braquiblastos) de la yerba mate (*I. paraguariensis*). Referencias: a: tipos de ramas en pie masculino; b: tipos de ramas en pie femenino.

Desde el punto de vista agronómico es oportuno clasificar los diferentes tipos de ramas que se pueden discriminar en una planta de yerba mate en producción. Las virutas constituyen ramas juveniles dominadas que por lo general emergen en partes internas de la copa y que por su escasa lignificación pueden ser cosechadas con la mano, sin producir heridas de consideración en las ramas de donde provenían. Las melenas son ramas cuya proyección plagiotrópica tienen la función de ampliar el canopeo en sentido perpendicular al eje longitudinal de la copa, colonizando el entrelíneo o el espacio entre plantas y cuya lignificación hace que sea necesario el uso de herramientas de corte para su cosecha. Las ramas banderas son ramas maduras, frondosas y dominantes, con diámetro basal mayor a 2 cm, corteza grisácea, crecimiento ortotrópico y cuya vigorosidad hacen que se proyecten en la parte superior del canopeo, asemejándose el follaje a banderas enarboladas en mástiles. Estas ramas son las de mayor aporte de material de cosecha y cuyo grado de lignificación y dureza implican indefectiblemente el uso de herramientas de corte adecuadas (*i.e.* tijera bien afilada, tijera electrónica o serrucho). También existe un tipo de rama conocida como banderillas, que son las que originarán las ramas banderas en la campaña siguiente y que se caracterizan por tener menor diámetro, una corteza verdosa y que emergen en gran número a partir de las yemas axilares de una rama bandera cosechada con aumento (es decir dejando un puño de distancia de aproximadamente 12-15 cm desde el sitio de emergencia de la rama hasta el corte o entre el corte de la campaña anterior y la actual). En la Figura 7 se ilustran los tipos de ramas descritos desde un punto de vista agronómico y cuya identificación es útil para el momento de la realización de las prácticas de poda y cosecha de la yerba mate.







Figura 7: Tipos de ramas de yerba mate (*I. paraguariensis*) desde el punto de vista técnico, considerando aspectos morfológicos y topofísicos o posicionales, grado de lignificación y dirección principal de su crecimiento.



El tallo y las hojas, que componen una rama, son los principales órganos de cosecha de la yerba mate (Fig. 8a), por ello es importante conocer en detalle los atributos que de alguna manera impactan sobre su productividad o la calidad organoléptica del producto comercial.

Las hojas de yerba mate son persistentes y pueden perdurar en la planta no cosechada unos tres años. Las hojas son simples, alternas (Fig. 8a) y coriáceas, de (20) 60-110 (240) mm x (10) 25-45 (80) mm cuya relación longitud/latitud oscila entre 1,5 y 3,6; limbo obovado (i.e. lámina foliar con forma de huevo invertido) (Fig. 8d y e), a veces también oblanceolado o elíptico, nunca ovado, cortamente pecioladas, pecíolo

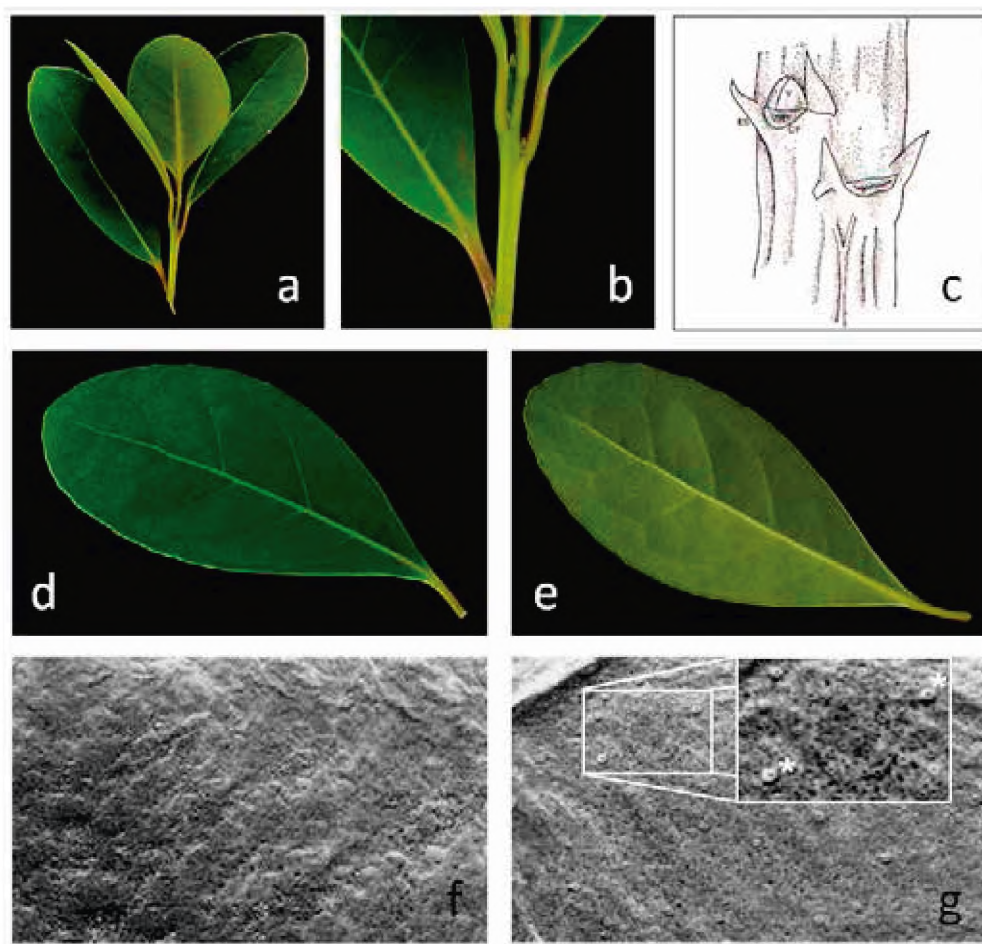



Figura 8: Morfología del tallo y las hojas de la yerba mate (*I. paraguariensis*).

Referencias: a: órganos de cosecha; b: detalle del pecíolo; c: detalle del nudo caulinar extraído de Giberti (1979); d: detalle de la cara adaxial de la hoja; e: detalle de la cara abaxial de la hoja; f: cara adaxial de la hoja vista con microscopio electrónico de barrido (MEB) develando una cutícula gruesa; g: cara abaxial de la hoja y detalle ampliado de la superficie foliar visto con MEB, en donde se observan abundantes ostíolos pequeños de estomas típicos y escasos ostíolos más grandes de estomas gigantes indicados con asteriscos blancos.



de (2) 5-10 (20) mm, a veces giboso en la base (Fig. 8b) inserto en un nudo que posee una yema axilar y escoltado por 2 estípulas triangulares-subuladas, glabras, menores de 1 mm (Fig. 8c). La lámina foliar presenta margen regularmente aserrado, crenado o dentado, inerme (i.e. sin espinas a diferencia de la especie tipo, *I. aquifolium*) y revoluto, glabro y raramente apenas pubescente en la vena media de la cara abaxial; base aguda, largamente aguda o cuneada, decurrente, y ápice obtuso-retuso, zona apical plana cerca de la nervadura media. Limbo de color oliváceo-verde o castaño-verde en la cara adaxial (Fig. 8d), más pálido en la cara abaxial con nervaduras algo sobresalientes a prominentes (Fig. 8e). Venación pinnada, camptódroma–broquidódroma (venas secundarias que se unen en una serie de arcos antes de llegar al margen) (Fig. 8d y e). Vena primaria de recorrido derecho no ramificado y tamaño moderado (1,5 %). Venas secundarias con ángulo de divergencia variando irregularmente, de agudo moderado a ancho (45° a 80°). Las mismas se bifurcan antes de llegar al margen y se unen a secundarias superadyacentes en ángulo que varía de agudo a recto, dejando un espacio irregular entre las venas secundarias. Se observan también venas secundarias decurrentes (Mueller, 1946; CRYM, 1971; Giberti, 1994; Gallac et al., 2016). Gonzalez y Tarragó (2009) describieron para 9 especies de *Ilex*, incluida la yerba mate, la presencia de coléteres. De acuerdo a este estudio, los coléteres observados en yerba mate son siempre solitarios y situados en partes jóvenes de la planta en tres lugares diferentes: en la zona nodal (unión del peciolo con el tallo) reemplazando las estípulas; en las ondulaciones o dientes del margen foliar y en los márgenes de la bráctea floral, en la unión con el pedicelo. Los coléteres son estructuras secretoras externas, caracterizadas por la producción de una sustancia viscosa que cubre, protege y lubrica el brote y las hojas jóvenes de la planta, dándoles aspecto lustroso como se puede observar en la Figura 5a. En relación a esta característica, Gonzalez y Tarragó (2009) sugieren que las secreciones de los coléteres presentes en estas especies podrían estar relacionadas a funciones de protección de las yemas y defensa contra fitopatógenos o insectos. Ya a comienzos del siglo XX, Villiers *et al.* (1909), proponen que el conocimiento de las características anatómicas de una muestra de yerba mate permitirá la comprobación de la genuinidad, pureza o falsificación de su producto con órganos de otras especies vegetales. Actualmente los consumidores están mostrando un mayor grado de exigencia en cuanto a las características del producto adquirido, especialmente en lo referente a la calidad composicional y a la genuinidad de la yerba mate. Por ello es oportuno mencionar, destacar y revalorizar los resultados de estudios que tuvieron como objetivo caracterizar el producto a nivel microscópico y de esta manera tener herramientas para evitar o descartar adulteraciones. La epidermis foliar de la yerba mate presenta una cutícula gruesa y ornamentada en la cara adaxial (Fig. 8f), con células epidérmicas de contornos rectos a diferencia de la cara abaxial que contiene células epidérmicas de contornos levemente ondulados. En ambas caras se encuentran tricomas glandulares unicelulares. Las hojas son hipostomáticas (Fig. 8g) y tiene 4 tipos de estomas típicos o de tamaño normal: anomocíticos (38,7%), ciclocíticos (14,8%), actinocíticos (18,1%) y tetracíticos (28,4%) (Luna *et al.*, 2017). Además, posee estomas gigantes (Giberti, 1979), estomas tipo-D (Luna *et al.*, 2017) e incluso considerados hidátodos (Spegazzini *et al.*, 2002), los cuales son marcadamente más grandes que los estomas típicos. La presencia de este tipo de estomas o hidátodos ha sido confirmada

para yerba mate, *Ilex dumosa* var. *dumosa*, *I. dumosa* var. *guaranina*, *I. theezans*, *I. argentina* excepto para *I. brevicuspis* (Spegazzini *et al.*, 2002). En la Figura 8g nótese un detalle de la epidermis abaxial logrado con microscopio electrónico de barrido en donde se observan orificios de dos tamaños, entre ellos aquellos considerados como estomas típicos con ostíolos pequeños y por otra parte los estomas gigantes sobreelevados con ostíolos más grandes. En la epidermis de la cara abaxial también se presentan verrugas suberosas (Gallac *et al.*, 2016). Estas verrugas se reportaron dispersas sobre la epidermis inferior de la hoja madura de *Ilex crenata* Thunb. y se interpretaron como formaciones en respuestas al deterioro de los estomas gigantes o tipo-D (Korn y Frederick, 1973). Según Korn y Frederick (1973), los estomas gigantes son escasos, son grandes, se presentan temprano durante el desarrollo, y son de corta duración en comparación con los estomas típicos.

En la sección transversal, la hoja de yerba mate a nivel de la nervadura media presenta una estructura dorsiventral del mesófilo. En la cara adaxial denota una cutícula gruesa y ornamentada, epidermis uniestratificada, interrumpida por células donde se producen divisiones periclinales y en las que aparece contenido mucilaginoso. El mesófilo exhibe parénquima en empalizada de hasta tres capas de células y párenquima esponjoso con células braciformes. También es posible encontrar drusas (cristales de oxalato de calcio) en las células del mesófilo. El sistema vascular de la nervadura principal presenta un hacesillo perixilemático o anfvasal rodeado por una vaina completa con fibras esclerenquimáticas. En la cara abaxial, la epidermis es uniestratificada con una cutícula gruesa interrumpida por estomas típicos y gigantes (Spegazzini *et al.*, 2002). Los caracteres relevados permiten la identificación de pequeños fragmentos, y aún de la fracción pulverulenta del producto comercial expendido como yerba mate elaborada.

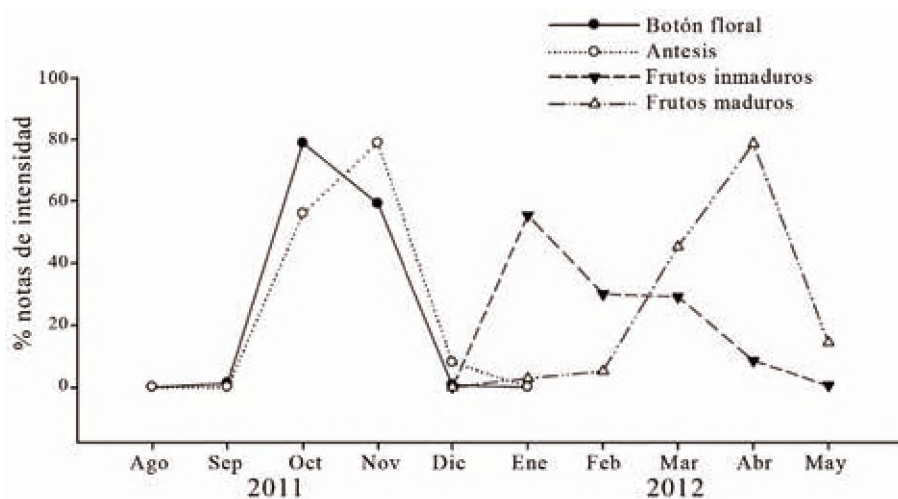


Figura 9: Fenología reproductiva de la yerba mate. Extraído de Pires *et al.* (2014), cuyos datos proceden de la localidad de Nascentes, Urapema, estado de Santa Catarina, Brasil.



La floración de la yerba mate se produce en la primavera entre los meses de octubre a noviembre, e incluso hay autores que mencionan que produce flores hasta diciembre (Muello, 1946; CRYM, 1971) (Fig. 9).

Los ejemplares son diclino dioicos, por lo tanto, poseen flores unisexuales formando una inflorescencia denominada fascículo corimboide en ramas de la última brotación o en ramas más antiguas en las axilas de nomófilos (Fig. 10). En la Figura 10

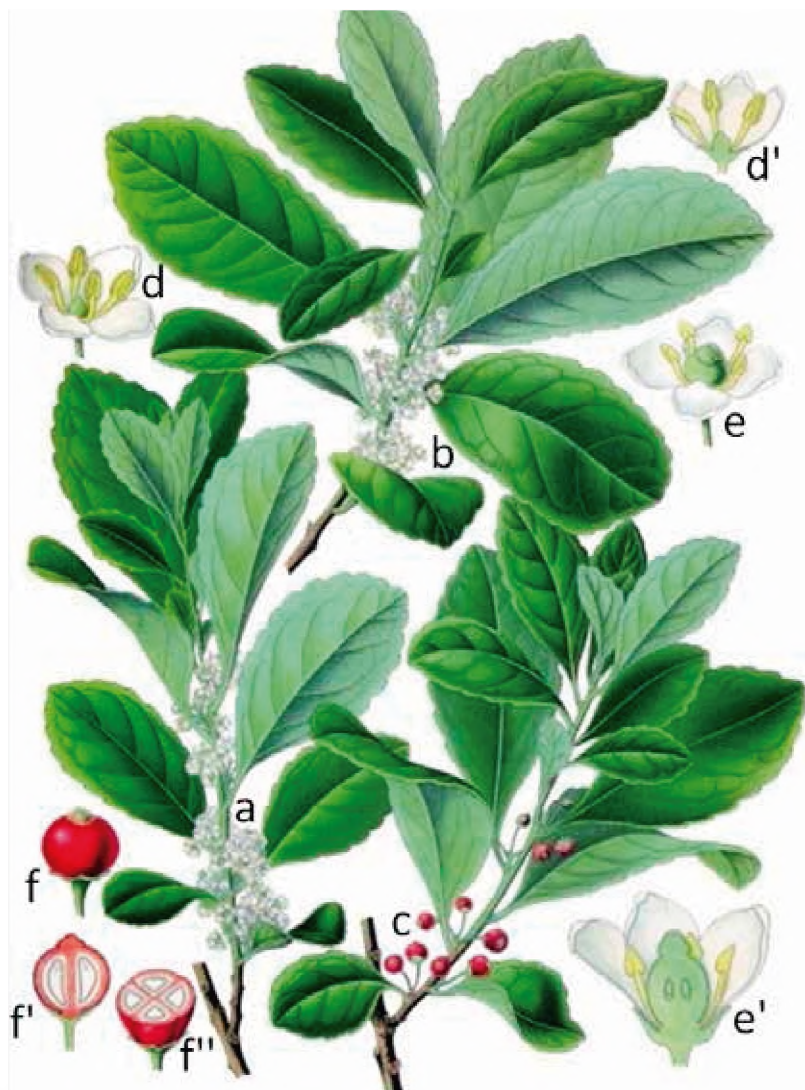


Figura 10: Ilustración botánica de la yerba mate (*I. paraguariensis*), adaptada de Köhler (1897). Referencias: a: ramas floríferas femenina; b: rama florífera masculina; c: rama fructífera; d y d': flor estaminada y detalle en corte longitudinal; e y e': flor pistilada y detalle en corte longitudinal; f, f'' y f''': frutos de la yerba mate en vista superficial, corte longitudinal y transversal, respectivamente.

se puede observar una de las primeras ilustraciones botánicas de la yerba mate que data del año 1897, la que fue publicada en una guía alemana de plantas medicinales. En la lámina se pueden apreciar las ramas floríferas femeninas y masculinas, rama fructífera y detalles de las flores estaminadas, pistiladas y frutos de la yerba mate.

Los fascículos corimboides poseen flores, generalmente dispuestas en dicasios, brácteas triangular-lanceoladas de ca. 1 mm de longitud, pedúnculos de (1) 2-7 (13) mm de largo, generalmente glabros y bractéolas pequeñas. En individuos con flores estaminadas (pies masculinos), los fascículos corimboides están compuestos por 3-11 dicasios, 3-7 (11)- flores, raramente por ejes unifloros, cuyas flores tienen corola grande de hasta 7 mm de diámetro, formando un braquiblasto (Fig. 6 y Fig. 11a). En individuos con flores pistiladas (pies femeninos), la inflorescencia predominante son los fascículos corimboides de 3-11 ejes, unifloros y/o dicasios 3 (7)-flores, (raramente dicasios 3-flores solitarios) también formando un braquiblasto (Fig. 12 a,c) (Giberti, 1994a). En ambos pies, pueden observarse a veces flores solitarias en axilas de brácteas dispuestas en la base de ramitas jóvenes (Giberti, 1994b). Las flores son tetrámeras a pentámeras, con cáliz de 2-3 (4mm) de diámetro, sépalos suborbiculares u ovados, de borde no ciliado, de ca. 1 mm x 1 mm, corola blanca de (5) 6-7 mm de diámetro, pétalos obovados u obovado-elípticos de  $\pm 3$  mm x 2 mm. Las flores estaminadas poseen estambres alternipétalos en igual cantidad que los pétalos (Fig. 11b-c) y son de 3 mm (filamentos de hasta 2 mm y anteras 1-2 mm) y en el centro presentan un pistilodio o rudimento del gineceo subgloboso, inconspicuamente lobulado, no rostrado de aproximadamente 1 mm de diámetro (Fig. 11c). Los granos de polen se clasifican como tricolporados gemados (Pire et al., 2004) (ver detalle en Fig. 11c). Las flores pistiladas poseen estaminodios o estambres infértiles de 2 (3) mm, con anteras estériles cordado-sagitadas de  $\pm 1$  mm (Fig. 12c), un ovario súpero tetralocular subgloboso u ovoide de aproximadamente 3 mm de altura y 2 mm de



Figura 11: Inflorescencia masculina y flores estaminadas de la yerba mate (*I. paraguayensis*). Referencias: a: fascículo corimboide masculino; b: flor estaminada con anteras fértiles; c: detalles de la flor estaminada, extraído de Giberti (1979).

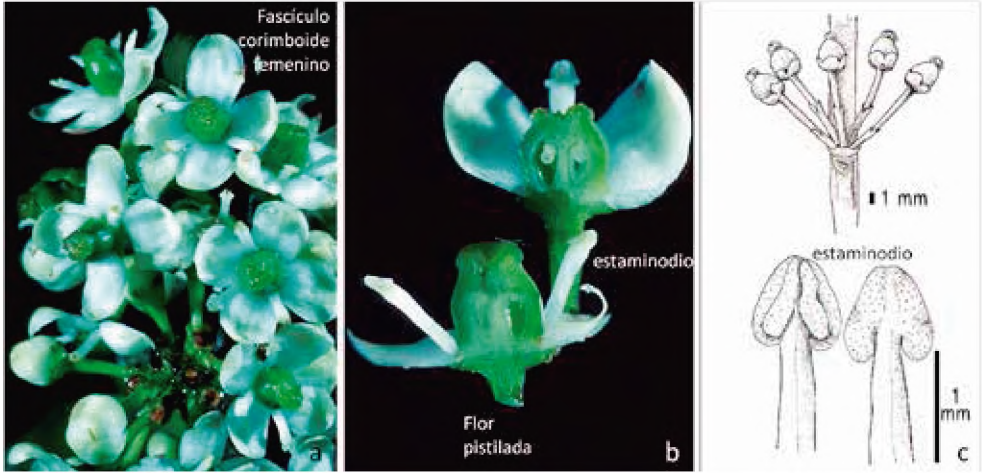


Figura 12: Inflorescencia femenina y flores pistiladas de la yerba mate (*I. paraguariensis*). Referencias: a: fascículo corimboide femenino; b: flor pistilada con estaminodios; c: detalles de la flor pistilada, extraído de Giberti (1979).

diámetro muy inconspicuamente lobulado y estigma sésil (Fig. 12a-b), presentando uno o dos óvulos anátropos por lóculo. En relación a esto, Copeland (1963), notó la presencia excepcional de un segundo óvulo abortado en un mismo lóculo en otras especies de *Ilex*, como así también dos células arquesporales por óvulo. Para profundizar detalles de la embriología de la yerba mate revisar la obra de Niklas (1987).

La polinización es entomófila y los visitantes más frecuentes son del orden Coleoptera, Diptera e Hymenoptera e infrecuente Lepidoptera (Pires et al., 2014).

Después de la fecundación, se cae la corola de las flores pistiladas y se comienzan a desarrollar frutos carnosos del tipo nuculanio con cáliz y estigma persistentes (Fig. 12c), globoso o elíptico de 5-7 mm de diámetro, al principio de color verdoso, luego variegado rojizo (o pintón), volviéndose violáceo-oscuro a negro violáceo a la madurez, de aspecto rugoso cuando seco, conviviendo diferentes estados de madurez de los frutos en una misma inflorescencia (Fig. 13; Fig. 14a). Algunos autores datan la maduración de los frutos de enero a marzo, otros de febrero a abril y algunos lo extienden hasta junio, variando con la latitud, clima y otros factores que alteren el desarrollo de los mismos (Muello, 1946; Hernández Bermejo y León, 1992; Prat Kricun, 1993; Pires et al., 2014). En la Figura 9 se pueden observar las variaciones temporales de las distintas etapas de la floración y la fructificación de yerba mate, en particular, desde la aparición de los botones florales, anthesis y la maduración de los frutos. La diseminación de la especie es endozoica por aves (Hernández Bermejo y León, 1992).



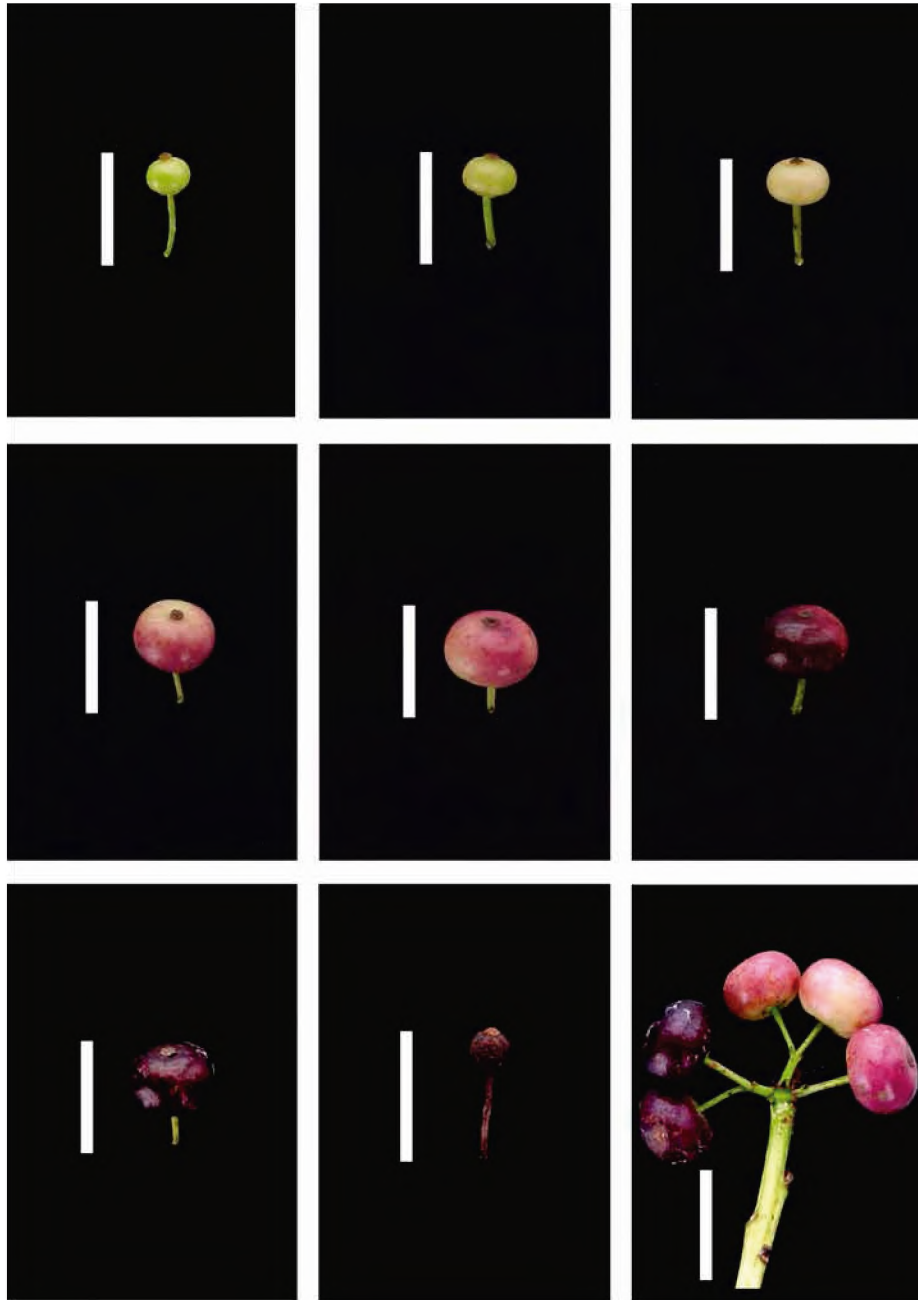


Figura 13: Morfología y ontogenia de la maduración de los frutos de la yerba mate (*I. paraguariensis*). Barras = 1 cm.

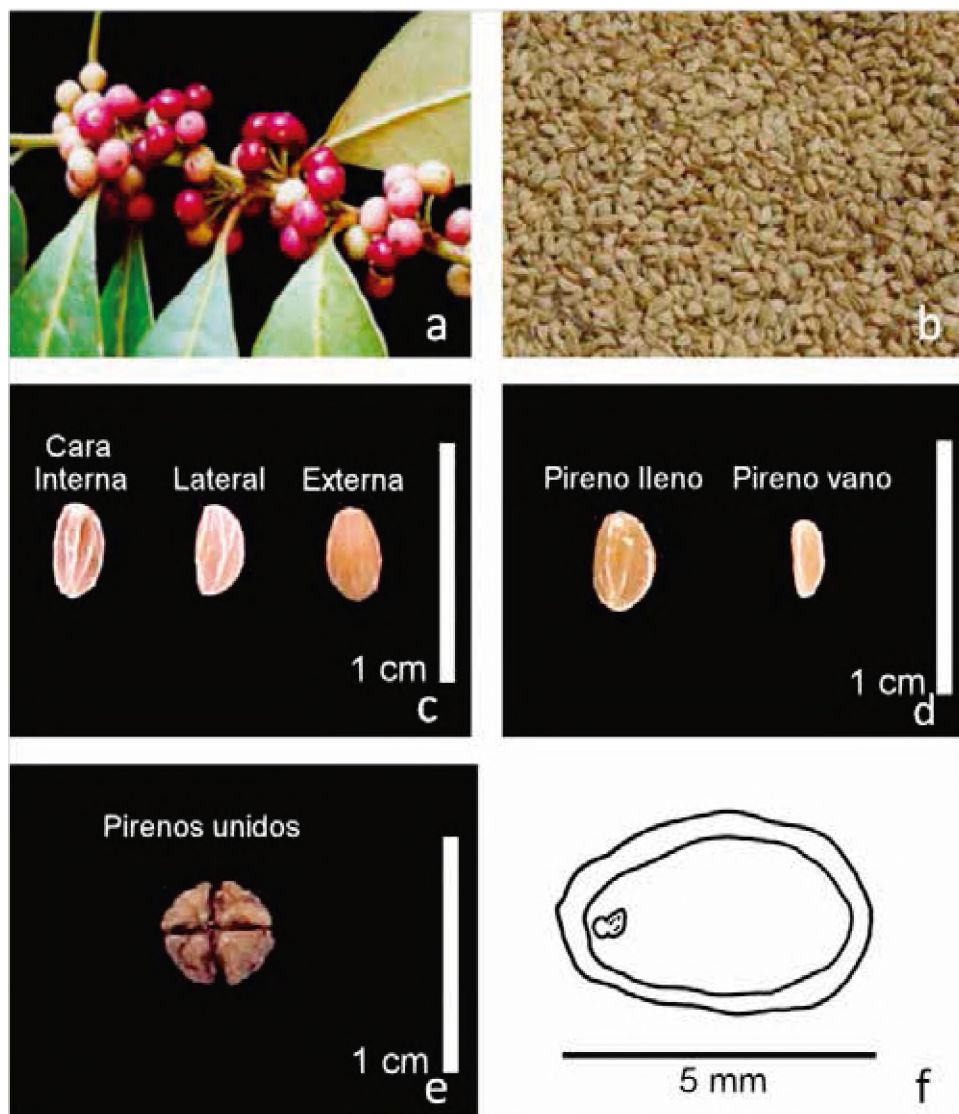


Figura 14: Morfología de frutos y pirenos de la yerba mate (*I. paraguariensis*).

Referencias: a: rama fructífera con nuculanios en distinto grado de maduración; b: pirenos; c: detalle de las tres caras del pirenio; d: pirenos llenos y vacíos; e: pirenos unidos sin hollejo, es decir desprovistos del exo y mesocarpo carnosos; f: esquema de un pirenio en corte longitudinal mostrando una semilla en su interior y un embrión cigótico rudimentario o inmaduro.

Cada nuculanio contiene generalmente 4 pirenos (Fig. 14e), dispuestos como segmentos o gajos de naranja de 3,5 mm x 2 mm o 4 mm x 3 mm de color amarillo pálido, lisos o dorsalmente o lateralmente surcados y ventralmente carenados (Fig. 14c-d). Los pirenos son las unidades de dispersión de la familia (Fig. 14b-f) y constituyen propágulos formados por porciones del endocarpo leñoso y una semilla (*i.e.* pireno uniseminado, Fig. 14f y Fig. 15a), rarísimo biseminados (Fig. 15b) (Giberti, 1979).

Las semillas de yerba mate son endospermadas. De acuerdo a Mariath *et al.* (1997), el endosperma de las semillas de yerba mate es del tipo celular de acuerdo a la clasificación de Di Fulvio (1983). Al inicio del desarrollo las células del endosperma presenta almidón como compuesto de reserva para ser posteriormente sustituido por reservas lipoproteicas a la madurez (Heusser *et al.*, 1993). Estas semillas poseen un embrión rudimentario, incluso en estado globular (Fig. 15c) aún en muchos casos presentándose los frutos externamente maduros, lo que determina un largo período de germinación desde el momento de la siembra (Hernández Bermejo y León, 1992). A este fenómeno caracterizado por presentar diferentes grados de maduración del embrión cigótico al momento de que los frutos están maduros lo han denominado embriogénesis

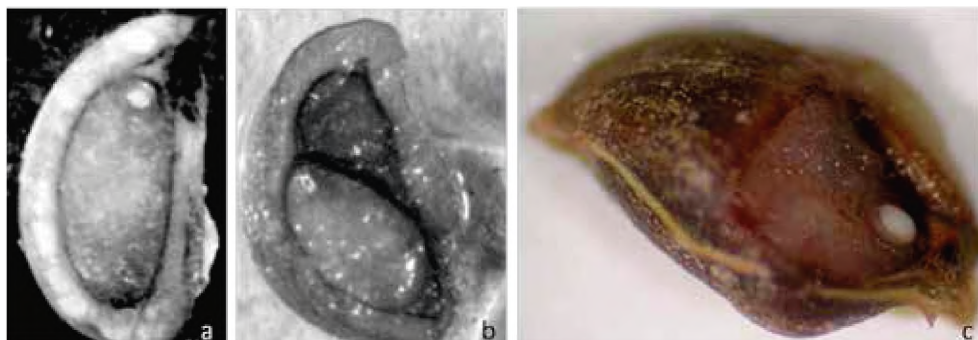


Figura 15: Morfología de pirenos y semillas de la yerba mate (*I. paraguariensis*).

Referencias: a: pireno uniseminado; b: pireno biseminado, ambos extraídos de Niklas (1987); c: pireno cortado revelando una semilla en su interior con un embrión cigótico en estado globular, gentileza de la Dra. Natalia Dolce.

tardía (Heusser *et al.*, 1993). Se ha determinado que cuando el fruto está totalmente maduro los embriones cigóticos se encuentran en diferentes estados, en su gran mayoría inmaduros (2,6% en estado globular (Fig. 15c); 70,24% en estado corazón; 23,3% en estado postcorazón y 2,62% en estado torpedo) y sólo el 0,96% en estado cotiledonar o maduro (Niklas, 1987). Estos embriones continúan evolucionando dentro de la semilla aún cuando las mismas se encuentran en condiciones de germinar (ya sembradas) y por ello un lote puede tener una germinación que transcurre entre los 60 a 360 días.

Las semillas de yerba mate aparentemente no solo presentan el problema de la inmadurez de los embriones cigóticos para germinar eficientemente. Souza Medeiros (2001) ha sugerido que la causa de la dormancia de las semillas de yerba mate se debe a





una combinación de razones, adicionándose al inconveniente de la embriogénesis tardía, la diferenciación de un endocarpo leñoso y la producción de compuestos fenólicos que podrían interferir en el desarrollo de los embriones.

Finalmente, Urfer et al. (2006) teniendo en cuenta distintos parámetros morfofisiológicos en donde se consideraron grado de ramificación secundaria, la plagiotropía de las ramas, número de hojas en 20 cm desde el brote, presencia de pigmentos rojos en brotes, tamaño, color, brillo y aspecto de hojas y tamaño de pirenos, pudieron identificar hasta 7 morfotipos en las plantaciones de yerba mate, destacando su importancia para llevar adelante programas de mejoramiento genético del cultivo y la necesidad de correlacionarlos con caracteres de calidad del producto final.

El conocimiento de la morfología y la anatomía de la yerba mate contribuirán de manera sustancial al establecimiento de prácticas racionales de manejo del cultivo o su optimización, así como a la certificación de la genuinidad del producto elaborado.

Ambos autores deseamos dedicar este Capítulo a nuestro Profesor de Cultivos III de la Facultad de Ciencias Agrarias (FCA) de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), Ingeniero Agrónomo Pedro Jorge Cenóz, ex Docente-Investigador de la mencionada Casa de Altos Estudios, quien con sapiencia, sabiduría, generosidad y paciencia nos ha involucrado no sólo en la actividad científica sino también en el ámbito educativo universitario, enseñándonos día a día con la acción, la labor profesional con fundamentos éticos y humanitarios.

BIBLIOGRAFÍA:

- Andres, J.M. & F. Saura. 1945. Los cromosomas de la yerba mate y otras especies del género *Ilex*. Publ. Instituto de Genética de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de Buenos Aires 2: 161-168.
- Caso, O.H. & L.A. Dotta. 1997. Propagación clonal por enraizamiento de estacas de yerba mate (*Ilex paraguariensis*) y su promoción por 4-clororesorcinol. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata 102 (1): 91-95.
- Coelho, C., De Araujo, M.T. & E. Schenkel. 2002. Populational diversity on leaf morphology of maté (*Ilex paraguariensis* St. Hil., Aquifoliaceae). Brazilian Archives of Biology and Technology 45:47-51.
- Comisión Reguladora de la Producción y Comercio de la Yerba Mate (CRYM). 1971. La Yerba Mate. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Buenos Aires. 40 p.
- Copeland, H.F. 1963. Structural notes on hollies (*Ilex aquifolium* and *I. cornuta*, family Aquifoliaceae). Phytomorphology 13: 455-454.
- Di Fulvio, T.E.D. 1983. Los tipos de endosperma y de haustorios endospermicos. Su clasificación. Kurtziana 16: 7-31.
- Duke, J.A. 1969. On tropical tree seedlings. I. Seeds, seedlings, systems, and systematics. Annals of the Missouri Botanical Garden 56(2): 125-162.
- Eibl, B., Fernandez, R., Kozarik, J., Lupi, A., Montagnini, F. & D. Nozzi. 2000. Agroforestry systems with *Ilex paraguariensis* (American holly or yerba mate) and native timber trees on small farms in Misiones, Argentina. Agroforestry Systems 48:1-8.
- Engler, A. & L. Diels. 1936. A Engler's Syllabus der Pflanzenfamilien. Elfte Auflage, G. Borntraeger, Berlin: XLII.
- Gallac, S.V., Mercado, M.I., Guantay, M.E., Zamier, M.L. & G.I. Ponessa. 2016. Morfoanatomía y arquitectura foliar de *Ilex argentina* e *Ilex paraguariensis* var. *paraguariensis* (Aquifoliaceae). Lilloa 53 (1): 32-45.
- Giberti, G.C. 1979. Las especies argentinas del género *Ilex* L. (Aquifoliaceae). Darwiniana 22 (1-3): 217-240.
- Giberti, G.C. 1994a. Aquifoliaceae. En: Hunziker, A.T. (Ed.), Flora Fanerogámica de Argentina Fascículo 1 (157), Museo Botánico, IMBIV, Córdoba, Argentina.
- Giberti, G.C. 1994b. Aquifoliaceae. En: Spichiger, R. & L., Ramella (Eds.), Flora del Paraguay – 24. Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève & Missouri Botanical Garden, Ginebra, Suiza.
- Giberti, C. 1997. Recursos fitogenéticos relacionados con el cultivo y explotación de la yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil., Aquifoliáceas) en el cono sur de América. Acta Horticulturae 500: 137-144.
- Giberti, G.C. 1998. Hallazgo de *Ilex brasiliensis* (Aquifoliaceae) en la Argentina. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 33: 137-140.
- Giberti, G.C. 2008. Aquifoliaceae. En: Zuloaga, F.O., Morrone, O. & M. J. Belgrano (Eds.), Catálogo de las Plantas vasculares del Cono Sur (Argentina, Sur de Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay), Vol.



2, Dicotyledoneae: Acanthaceae – Fabaceae (*Abarema* – *Schizolobium*). Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden 107: 1143-1146.

-Giberti, G.C. & A.A. Gurni. 2008. Anatomía floral comparada de once especies sudamericanas de *Ilex* L. (Aquifoliaceae) relacionadas con la yerba mate. *Dominguezia* 24 (2): 77-94.

-Giberti, G.C. 2011. La “yerba mate” (*Ilex paraguariensis*, Aquifoliaceae) en tempranos escritos rioplatenses de Bonpland y su real distribución geográfica en Sudamérica austral. *Bonplandia* 20 (2): 203-212.

-Gonzalez, A.M. & J.R. Tarragó. 2009. Anatomical structure and secretion compounds of colleter in nine *Ilex* species (Aquifoliaceae) from southern South America. *Botanical Journal of the Linnean Society* 160: 197-210.

-Heck C.I. & E.G. De Mejia. 2007. Yerba mate tea (*Ilex paraguariensis*): a comprehensive review on chemistry, health implications, and technological considerations. *Journal of Food Science* 72:138-151.

-Heuser, E.D., Ferreira, A.G. & J.E.A. Mariath. 1993. *Ilex paraguariensis* (Aquifoliaceae). Endosperma e embrião durante a embriogênese tardia. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 29 (1-2): 39-48.

-Hernández Bermejo, J.E. & J. León. 1992. Cultivos marginados otra perspectiva de 1492. FAO, Italia, p. 245-252.

-Keller, H.A. & G.C. Giberti. 2011. Primer registro para la flora argentina de *Ilex affinis* (Aquifoliaceae), sustituto de la “yerba mate”. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 46 (1-2): 187-194.

-Köhler, H.A. 1897. *Ilex paraguariensis* A.St. Hil. Descripción e Ilustración N° 60. En: Köhler, F. E. (Ed.), Köhler's Medizinal-Pflanzen in naturgetreuen Abbildungen mit kurz erläutendem Texte. Atlas zur Pharmacopoea germanica, austriaca, belgica, danica, helvetica, hungarica, rossica, suecica, neerlandica, british pharmacopoeia, zum Codex medicamentarius, sowie zur Pharmacopoeia of the United States of Amerika. Volumen 3. Gera-Untermhaus, Alemania, p. 107-110.

-Korn, R. & G. Frederick. 1973. Development of D-type stomata in the leaves of *Ilex crenata* var. *convexa*. *Annals of Botany* 37: 647-656.

-Laboratorio de Sistemática de Plantas Vasculares. 2017. Aquifoliaceae Bercht. & J. Presl. Website del curso de Sistemática de Plantas Vasculares de la Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Uruguay. [http://www.thecompositaehut.com/www\\_tch/webcurso\\_spv/familias\\_pv/aquifoliaceae.html](http://www.thecompositaehut.com/www_tch/webcurso_spv/familias_pv/aquifoliaceae.html). Fecha de última consulta: 30/06/2017

-Loizeau, P.A. 1994. Les Aquifoliaceae péruviennes (Eléments pour une révision des Aquifoliaceae néotropicales). *Boissiera* 48.

-Luna, C.V., Gonzalez, A.M., Mroginski, L.A. & P.A. Sansberro. 2017. Anatomical and histological features of *Ilex paraguariensis* leaves under different in vitro shoot culture systems. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 129: 457-467.

-Mariath, J.E. de A., Santos, R.P. & E.D. Heuser. 1997. Biología reproductiva da ervamate. En: Anais Congresso Sul Americano da Erva-Mate, 1.; Reunión Técnica do Cone Sul Sobre a Cultura da Erva-Mate, 2. EMBRAPA-CNPQ, 1997 Curitiba, Brasil. p. 121-132.

-Muello, A.C. 1946. Yerba Mate. Su cultivo y explotación. *Enciclopedia Agropecuaria Argentina*. 31. Edit. Sudamericana, Bs. As. 217 p.



- Niklas, C.O. 1987. Estudios embriológicos y citológicos en la yerba mate *Ilex paraguariensis* (Aquifoliaceae). *Bonplandia* 6(1): 45-56.
- Pire, S.M., L.M. Anzótegui & G.A. Cuadrado. 2004. Estudios palinológicos en el litoral fluvial argentino. *INSUGEO, Miscelánea* 12: 139-146.
- Pires, E.Z., Stedille, L.I.B., Machado, S., Mantovani, A. & R. Lopes da Costa Bortoluzzi. 2014. Biología reproductiva de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.) em remanescente de floresta ombrófila mista altomontana. *Revista de Ciências Agroveterinárias* 13: 171-180.
- Prat Kricun, S. 1993. Yerba mate. Técnicas actualizadas de cultivo. *Miscelánea N° 27. INTA Cerro Azul, Misiones, Argentina.* 14 p.
- Raven, J.A. & J.D.B. Weyers. 2001. Significance of epidermal fusion and intercalary growth for Angiosperm evolution. *Trends in Plant Science* 6: 111-113.
- Souza Medeiros, A.C.D. 2001. Aspectos de dormência em sementes de espécies arbóreas. *EMBRAPA Florestas, Colombo, Paraná, Brasil,* 12 p.
- Spegazzini, E., Castro, M., Carpano, S. & M. Nájera. 2002. Taxonomic determination of therapeutic argentine species of *Ilex*. *Pharmaceutical Biology* 40:2-15.
- Stein, J., Luna, C., Espasandín, F., Sartor, M., Espinoza, F., Ortiz, J.P., Sansberro, P. & S. Pessino. 2014. Construcción de un mapa genético preliminar de yerba mate (*Ilex paraguariensis*). *Ciencias Agronómicas* 23: 7-13.
- Stevens, P. F. (2001 onwards). Angiosperm Phylogeny Website. Version 14, July 2017 [and more or less continuously updated since]. <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>.
- Tarragó, J., Sansberro, P., Filip, R., López, P., González, A., Luna, C. & L. Mroginski. 2005. Effect of leaf retention and flavonoids on rooting of *Ilex paraguariensis* cuttings. *Scientia Horticulturae* 103: 479-488.
- Urfer, B.P., Scherer, R.A. & M.J.J. Janssens. 2006. Caracterización morfofisiológica de plantas de yerba mate seleccionadas en la región productora argentina. En: 4° Congreso Sudamericano de la Yerba Mate, 4° Reunión Técnica de la yerba Mate, 2° Exposición de Agronegocios de la yerba Mate. INYM, INTA y FCEQyN-UNAM, Posadas, Misiones. p. 222-225.
- Villiers, A., Collin, E. & M. Fayole. 1909. Aliments sucrés. Aliments stimulants. En: *Traité des falsifications et altérations des substances alimentaires.* Octave Doin et Fils, Editeurs. Paris, Francia. 395 p.