

DESCRIPCIÓN ULTRAESTRUCTURAL DE LA HOJA DE TRES ESPECIES DE ARÁCEAS (ARACEAE) CON CARACTERÍSTICAS HIDROFÓBICAS

M. Jiménez-Chavarría^{a,*}, A. Rodríguez-Arrieta^{a,b}, F. Salas-Fumero^{a,c}, A.P. Retana-Salazar^{a,d}

^a Centro de Investigación en Estructuras Microscópicas (CIEMIC), Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica 2060.

^b Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica 2060.

^c Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica.

^d Escuela de Nutrición, Facultad de Medicina, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica 2060.

*Autor de correspondencia: marisol.jimenezchavarría@gmail.com (506) 87482283. Fax (506) 25113182

Recibido: Octubre 2015. Aprobado: Junio 2016.

Publicado: Junio 2016.

RESUMEN

El estudio de los principios funcionales y estructurales de ciertas superficies biológicas permite su utilización en sistemas artificiales hechos por el hombre, campo denominado biomimetismo. Uno de los más importantes atributos de la cutícula de una planta es la hidrofobicidad, que permite a las plantas superar problemas físicos y fisiológicos ligados al medio ambiente-la desecación. El presente estudio describe ultraestructuralmente la superficie foliar de tres especies vegetales de Aráceas mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) y la medición del ángulo de contacto, para identificar y describir patrones en la ultraestructura de la superficie foliar de diferentes especies de aráceas que presenten el fenómeno del efecto loto, para crear nuevos conocimientos para el posible desarrollo de nuevos materiales con dicha característica. Se utilizaron muestras de *Xanthosoma roseum*, *Xanthosoma sagittifolium* (tiquizque) y *Philodendron strictum*. Los resultados obtenidos para los ángulos de contacto en la superficie foliar para el caso de *X. roseum* fue de $146.34 \pm 3.92^\circ$; *P. strictum* $138.32 \pm 4.02^\circ$ y *X. sagittifolium* $143.63 \pm 0.42^\circ$. Las imágenes de MEB, indican una estructura binaria (micro y nanoestructura) en la superficie foliar de las Aráceas que es similar a la observada en diferentes estudios para la hoja "loto". Estas superficies desarrollan una propiedad de autolimpieza y se caracterizan por el incremento de la repelencia al agua, pues son superficies hidrofóbicas $CA \geq 90^\circ$ y $< 150^\circ$, donde las gotas de agua que caen sobre las superficies, pueden rodar de forma rápida y eliminar eficazmente un gran número de partículas de polvo que se adhieren a ellas.

Palabras clave: Araceae, biomimetismo, goniómetro, ángulos de contacto, células epidérmicas.

ULTRASTRUCTURAL DESCRIPTION OF LEAVES FROM THREE ARACEAE WITH HYDROPHOBIC CHARACTERISTICS

ABSTRACT

The study of functional and structural principles of some biological surfaces allows for their application in artificial man-made systems, a field called biomimetism. One of the most important attributes of the plant cuticle is hydrophobicity, it permits to overcome environmentally related physical and physiological issues, such as desiccation. This study describes ultrastructural features from the foliage of three species of Araceae by means of scanning electron microscopy (SEM) and a contact angle goniometer. This allowed us to identify and describe certain patterns from the leaves surface of different species which present the lotus effect which in turn will help to explain it in order to generate knowledge that later may translate in materials that retain such behavior. *Xanthosoma roseum*, *Xanthosoma sagittifolium* and *Philodendron strictum* samples were collected and studied, resulting surface contact angles were $146.34 \pm 3.92^\circ$, $143.63 \pm 0.42^\circ$ and $138.32 \pm 4.02^\circ$. Noteworthy, SEM images indicate a binary structure (micro and nanostructurally) for the above mentioned species which is similar to that observed in similar studies. Frequently, these surfaces exhibit a self-cleaning property and are characterized by a high hydrophobicity ($CA \geq 90^\circ$ and $< 150^\circ$) and water repellence where water drops roll rapidly over the leaves surface and thus eliminating an abundant number of dust particles adhered to them.

Keywords: Araceae, biomimetism, goniometer, contact angle, plant epidermal cells.

INTRODUCCIÓN

El estudio de los principios funcionales y estructurales de ciertas superficies biológicas permite su utilización en sistemas artificiales hechos por el hombre, siendo gran parte de un nuevo campo interdisciplinario denominado biomimetismo [1]. Como ejemplo se cita el efecto “Loto” (planta de loto) para producir superficies autolimpiables ultrahidrofóbicas [2]. La habilidad de la hoja de loto y otros materiales naturales de promover la repelencia al agua y la auto-limpieza induciendo a las gotas de agua a rodar fuera de la hoja, ha inspirado a numerosos grupos de investigación a preparar análogos sintéticos [3]. Este efecto es llamado efecto loto ya que, según tradiciones religiosas asiáticas, el loto es un símbolo de pureza. Esta idea proviene del hecho que las hojas de la planta de loto se encuentran siempre limpias, aunque la planta sea sacada de o se encuentre en agua fangosa [4].

En los 90's una gran cantidad de datos concernientes a la humectabilidad de la superficie de las plantas ya estaban disponibles, pero con pocas publicaciones. Uno de los campos activos de investigación se enfoca en la diversidad de las estructuras de superficies vegetales, la cual se basa en la variabilidad de las formas celulares, micro y nano estructuras en la superficie celular, y en la formación de estructuras multicelulares [5]. Estas estructuras les proporcionan a las superficies propiedades particulares y de interés, como por ejemplo, superhidrofobicidad, el cual es uno de los fenómenos que llaman la atención de diversos grupos de investigación actualmente [6].

Las hojas de loto tienen superficies texturadas con estructuras jerárquicas de tamaño micrométrico y nanométrico. Por otra parte, se ha demostrado que las gotas de agua sobre estas superficies texturizadas se sientan fácilmente en el ápice de las nanoestructuras, porque las burbujas de aire llenan los valles de la estructura bajo las gotitas. Las gotas de agua sobre este tipo de superficie no pueden penetrar en las micro o nanoestructuras y humedecer la superficie, dando lugar a un alto ángulo de contacto (CA), por lo que estas hojas naturales exhiben considerable superhidrofobicidad [7].

Cuando las gotas de agua ruedan completamente fuera de la hoja, arrastran partículas contaminantes no deseadas [6] [8] [7]

Este fenómeno ha sido buscado y descrito en un gran número de plantas y de diferentes grupos taxonómicos, algunas de ellas bastante conocidas, como lo son *Nelumbo nucifera* (loto), *Persea americana* (aguacate), *Oryza sativa* (arroz), *Origanum amanum* (orégano), *Taxodium sp.* y *Metasequoia sp.* (ambas gimnospermas de la familia Taxodiaceae), *Picea abies* (Pinnaceae, gimnosperma) y *Ginkgo biloba* entre otras [9] También se ha descrito en helechos flotantes, como por ejemplo, especies del género *Salvinia*, los cuales tienen pelos hidrofóbicos que varían en tamaño entre especies. Estas superficies logran mantener aire retenido por varios días inclusive manteniendo las hojas bajo el agua [10]. *Colocasia esculenta* también presenta este efecto, y es una de las plantas más estudiadas en este aspecto [11].

En nuestro país, las Aráceas son muy abundantes y diversas en bosque muy húmedo de bajura y en bosque nuboso. La familia es generalmente fácil de reconocer por sus pecíolos y tallos suculentos, láminas foliares gruesillas, usualmente glabras, entero marginadas, y frecuentemente con venación reticulada. Por tanto son especies que tienen un gran potencial para el estudio ultraestructural de la cutícula de sus hojas para desarrollar sistemas artificiales que copian o emulan algunas de las funciones de las naturales u originales. La gran eficiencia de este tipo de fenómenos de superficies vegetales se debe al hecho de que el curso de la naturaleza los lleva a evolucionar por selección natural, un mecanismo exhaustivo de prueba y error que ha tomado mucho tiempo para depurar sus diseños, acumulando adaptaciones y mejoras [12].

El presente trabajo identifica y describe patrones en la ultraestructura de la epidermis foliar hidrofóbica de tres especies vegetales de Aráceas que presenten el fenómeno del efecto loto, mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) y la técnica de medición del ángulo de contacto (CA).

MATERIALES Y MÉTODOS

Especies estudiadas. Para el análisis ultraestructural se utilizaron tres especies de la Familia de las Aráceas: *Xanthosoma roseum* Schott, *Xanthosoma sagittifolium* (L) Schott y *Philodendron strictum* G. S. Bunting, de las cuales se obtuvieron muestras frescas que fueron recolectadas en el Campus Universitario Rodrigo Facio, el Campus de la Ciudad de la Investigación y el Campus de las Instalaciones Deportivas, todos pertenecientes a la Universidad de Costa Rica, San José. Las recolectas se efectuaron entre marzo y agosto de los años 2011-2012.

Microscopía electrónica de barrido (MEB). Las hojas de las tres especies de aráceas, fueron fijadas en solución Karnovsky [13] siguiendo la metodología de Jiménez y colaboradores [14], se tomaron secciones de hoja de aproximadamente 1 cm² para su fijación en reactivo de Karnovsky al 2,5% por al menos 24h. Se lavaron 3 veces por 10 min. con amortiguador de fosfatos de sodio (0,1M, pH 7.4). Luego se pos-fijaron en tetraóxido de osmio (OsO₄) al 1% en amortiguador de fosfatos de sodio, por aproximadamente 1h, y se lavaron 3 veces durante 15 min. con agua destilada. Posteriormente se deshidrataron con etanol en concentraciones ascendentes con concentraciones de 30%, 50%, 70%, 80%, 90%, 95% y 2 veces al 100%, cada una por 10 min. Luego se aplicaron 4 lavados de 15 min. en alcohol terbutílico (Mallinckrodt) y secado por sublimación (sublimador Eiko ID-2). Se cubrieron con 40nm de platino/paladio en un cobertor iónico y se observaron en un Microscopio Electrónico de Barrido (Hitachi S- 570 y S-3700) a 15KV.

Medición de ángulos de contacto (CA). Los ángulos de contacto se midieron utilizando segmentos frescos de las hojas de las diferentes especies de 0.5 cm², adheridos a una base de aluminio cilíndrica de 1 cm de altura y 1 cm de diámetro. Las mediciones de los ángulos se efectuaron utilizando un goniómetro Ramé-Hart Instrument Co., modelo 250-F1 del Centro de Investigación en Electroquímica y Energía Química (CELEQ) de la Universidad de Costa Rica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ángulos de contacto. El ángulo de contacto en la superficie foliar para las tres especies seleccionadas fue en el caso de *X. roseum* de $146.34 \pm 3.92^\circ$; en *P. strictum* $138.32 \pm 4.02^\circ$ y en *X. sagittifolium* $143.63 \pm 0.42^\circ$. Nuestros resultados de acuerdo a Kock y colaboradores [15] se clasifican como una superficie hidrofóbica pues se encuentra en el rango CA (ángulo de contacto) $\geq 90^\circ$ y $< 150^\circ$, lo que le confiere dicha categorización. Estas superficies muestran un bajo ángulo de rodaje del agua. Como resultado, las gotas de agua que caen sobre las superficies de las hojas, pueden rodar de forma rápida y eliminar eficazmente un gran número de partículas de polvo que se adhieren a ellos [16]. No obstante de acuerdo con Fernández [17], a partir de los estados de Wenzel y Cassie se clasifica como súper-hidrofóbica y ultra-hidrofóbica. Sin embargo de acuerdo con Shirtcliffe y colaboradores [18] se da un alto error en estas mediciones debido a la curvatura de la superficie de la hoja, lo que indica que estas tienen una estructura química diferente en la superficie al resto de la hoja.

En un estudio con pétalos de rosas rojas se demostró que estas poseen propiedades superhidrofóbicas con alta adhesión. Una gota de agua depositada sobre estas superficies estaba en el estado de impregnación Cassie-Baxter (estado intermedio entre el Wenzel y los estados Cassie-Baxter), de hecho, el agua podía entrar en los grandes espacios entre las grandes micropapilas, pero no dentro de los nano-pliegues [19]

Descripción ultraestructural de la superficie abaxial.

La forma de las células de la hoja, en el caso de *X. roseum* y de *X. sagittifolium*, es poligonal cúpula o papila (Fig. 1a y b), mientras en el caso de *P. strictum* es tetraédrica elongada hemisferial (Fig. 1c). Las paredes anticlinales son desiguales y muestran ondulaciones con perfiles rectos en las tres especies (Fig. 2).

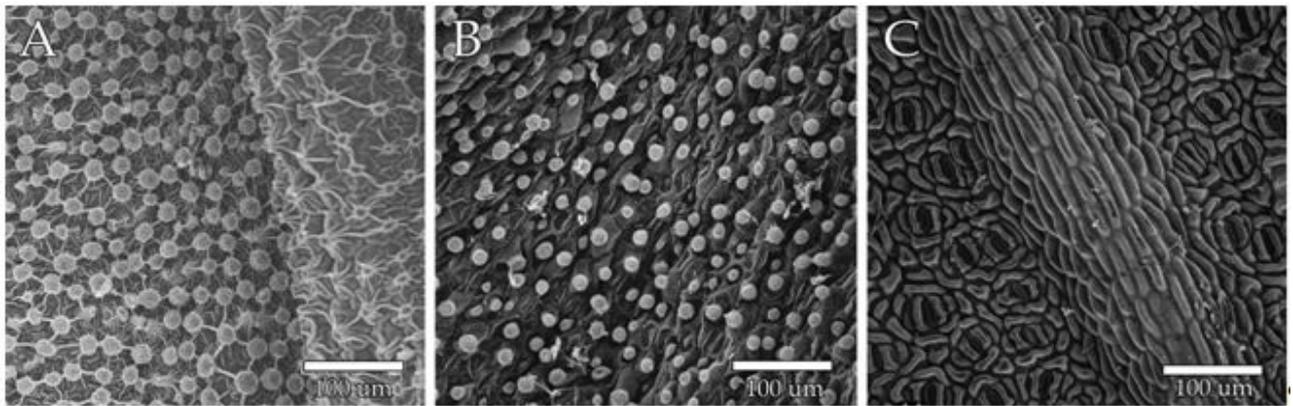


Fig.1. Forma de las células en la estructura primaria de la hoja, en su superficie abaxial. A) Poligonal en *Xanthosoma roseum*, B) Poligonal en *Xanthosoma sagittifolium*, C) tetraédrica elongada en *Philodendrum strictum*.

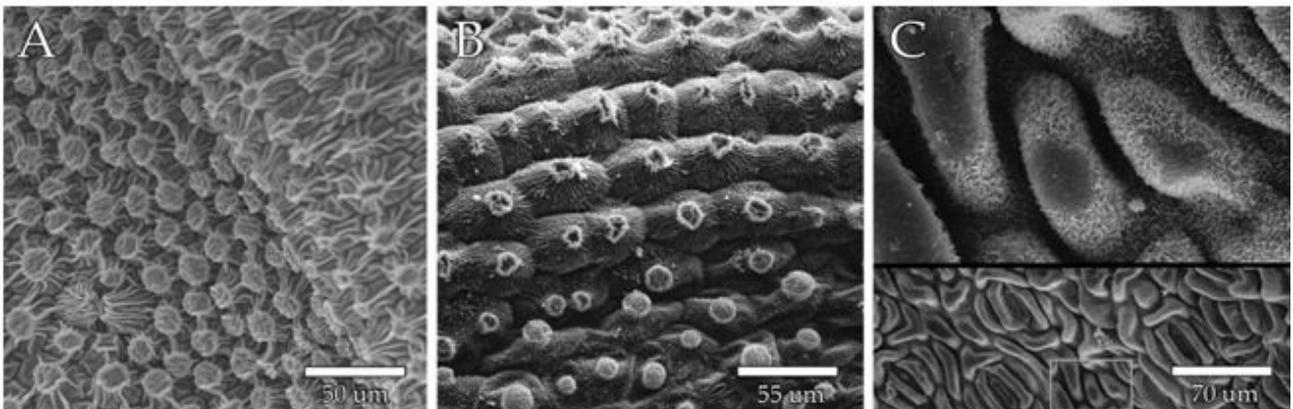


Fig.2. Paredes anticlinales. A, B y C) son desiguales con ondulaciones y perfiles rectos. A) Modelo de plegamiento de la cutícula, en *Xanthosoma roseum*, células irregulares y lisas (tubulares) con nodos o papilas en los campos centrales expuestos de la célula.

La curvatura de la pared periclinal de la epidermis en las tres especies se observó una curvatura convexa (Fig. 1). Adicionalmente en cuanto al modelo de plegamiento de la cutícula las muestras del género *Xanthosoma*, presenta células irregulares con nodos o papilas (Fig. 3a-b). De acuerdo con Kock y colaboradores [15] el tipo de células convexas son las más comunes de las superficies epidérmicas y siempre forma una superficie micro estructurada, que a menudo se encuentran en las flores, tallos y hojas, originándose por expansión de las células epidérmicas externas y pueden ser divididas como papilosas, cónicas o con pelos. Igualmente en un estudio realizado por Thierry y Frédéric [19], los pétalos de Rosa montaña (*Brownea macrophylla*) consisten en células cónicas (micropapilas) convexas y con una cutícula nano plegable. Conforme con Kock y colaboradores [15] muchas hojas que repelen el agua se caracterizan por presentar células epidérmicas papilosas,

tal es el caso de *Nelumbo nucifera* y *Lupinus polyphyllus* donde cada célula epidérmica forma una papila que son superpuestas por una densa capa de cera epicuticular; en el caso de *Gladiolus watsonioides* y *Sinarundinaria nitida* las células epidérmicas son subdivididas en varias papilas y cubiertas de igual manera por ceras epicuticulares.

Kock y colaboradores [20] suponen que las ondulaciones de las paredes anticlinales aumentan los mecanismos de estabilidad del tejido epidérmico además, la escultura de la célula o curvatura de la pared epidérmica exterior tiene una gran influencia en la superficie rugosa en la escala micrométrica.

En lo referente a las ceras epicuticulares en la hoja, *X. sagittifolium* se muestra la cutícula con una capa de cera tubular (Fig. 3b). En el caso de *P. strictum* las ceras epicuticulares están arregladas como plaquetas organizados en forma de rosetas (Fig.3c), y en el caso

de *X. roseum*, presenta una delgada película de cera (Fig.3a). En estudio de Kock y colaboradores [20] las películas de ceras tienen forma bidimensional como en el caso de *X. roseum* en la superficie abaxial; mientras que las costras y capas de ceras son tridimensionales como en el caso de *P. strictum*.

En la estructura superficial jerárquica en *P. strictum* y *X. sagittifolium* se observa, una escultura convexa con ceras epicuticulares en 3D (Fig. 4b y c), en el caso de *X. roseum*, la escultura es convexa con plegamiento cuticular (Fig. 4a).

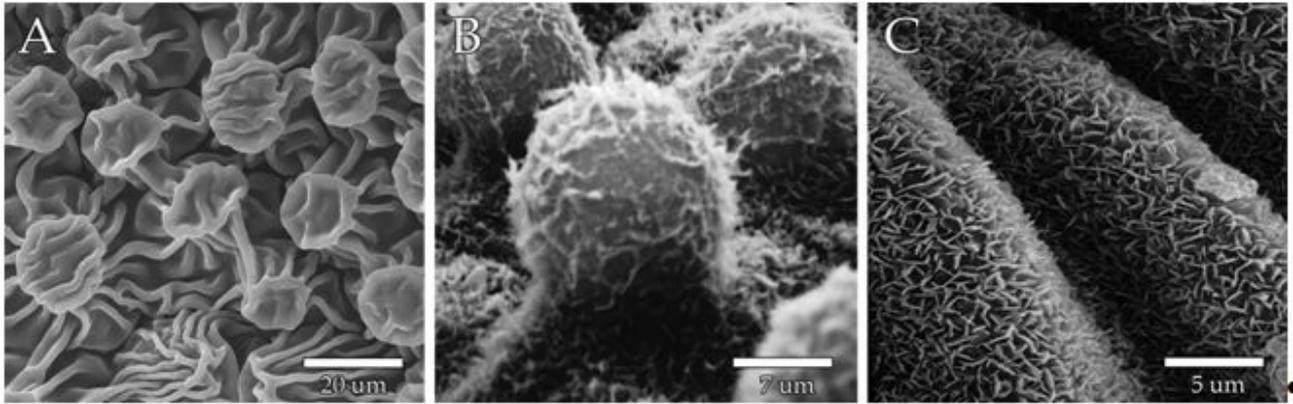


Fig.3. Ceras epicuticulares de la hoja. A) *Xanthosoma roseum*, presenta una delgada película de cera. B) *Xanthosoma sagittifolium*, cutícula con una capa de cera tubular. C) *Philodendrum strictum*, ceras epicuticulares arregladas como plaquetas.

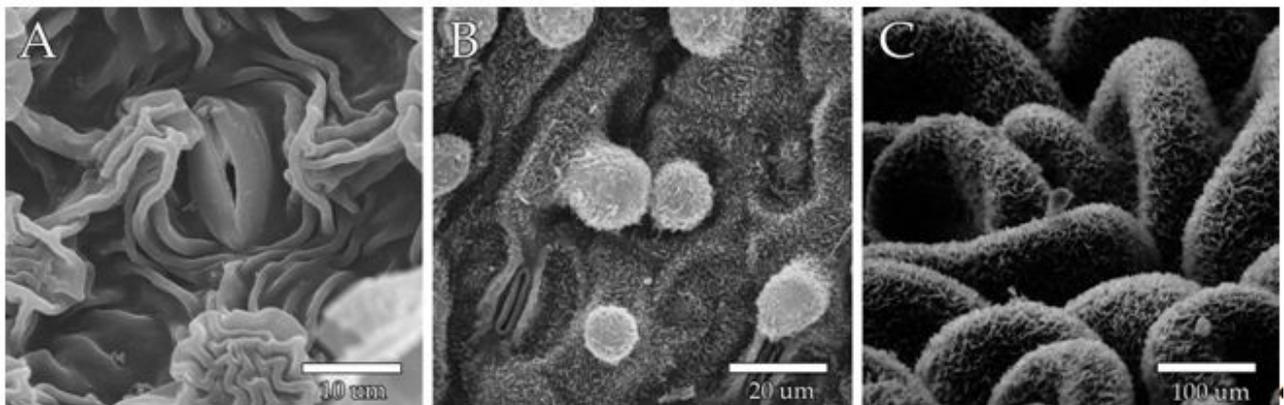


Fig.4. Estructura superficial jerárquica. A) *Xanthosoma roseum*, escultura convexa con plegamiento cuticular. B y C) *Philodendrum strictum* y *Xanthosoma sagittifolium*, escultura convexa con ceras epicuticulares en 3D.

Descripción ultraestructural de la superficie adaxial

La superficie de la hoja en su superficie adaxial, la forma de la célula en el caso de *X. roseum* y *X. sagittifolium*, es tetragonal (Fig. 5a y b), mientras en el caso de *P. strictum* es poligonal (Fig. 5c). Por otro lado las paredes anticlinales son desiguales y muestran ondulaciones con perfiles rectos en las dos especies del género *Xanthosoma* (Fig. 6a y b), en el caso de *P. strictum* los límites entre células son ondulados V (Fig. 6c).

En la curvatura de la pared periclinal de la epidermis

de las especies del género *Xanthosoma* se observa una curvatura convexa con forma hemisferial (Fig. 6a y b), mientras que en *P. strictum* tiene una curvatura convexa con forma convexa (Fig. 6c).

Con respecto a las ceras que recubren la cutícula de la hoja, en *X. sagittifolium* y en *X. roseum* se muestra la cutícula con una capa de cera tubular (Fig. 7a y b), mientras en *P. strictum* las ceras epicuticulares están dispuestas como costras que cubren la cutícula (Fig. 7c).

Se observó cómo *X. roseum* no posee una jerarquía de

doble estructura, ya que presenta un comportamiento de humectabilidad similar a las plantas de superficies lisas con propiedades superhidrofóbicas que no poseen una nano escala de cristales de ceras epicuticulares. De igual forma en un estudio realizado por Mockenhaupt y colaboradores [21] en *Alocasia macrorrhiza*, (reportada como similar en apariencia a *X. sagittifolium* por Brown [22] y/o como una especie totalmente diferentes por Ghani [23]) determinó que no posee una jerarquía de doble estructura, pues ésta no presentó una nanoestructura donde las micro gotas no tienen un área de contacto reducida y muestra un comportamiento de humectabilidad similar a la de superficies lisas con propiedades superhidrofóbicas con una microestructura pero sin una nano escala de cristales de ceras epicuticulares.

La estructura jerárquica de la superficie de la planta en las tres especies estudiadas, se observa, una escultura convexa con ceras epicuticulares en 3D (Fig. 7). De acuerdo a Guo y Liu [8], en estudios realizados en hojas de “Loto”, se presenta superficies texturizadas con protuberancias y valles con tamaños variados que van entre los 3-10 μm , estas superficies texturizadas son decoradas con partículas nanométricas de 70-100 nm de material ceroso hidrofóbico. Para el caso de las Aráceas en estudio, igualmente se puede observar gran cantidad de material ceroso que recubre la superficie

tanto abaxial como adaxial, igual que en la planta de “Loto” con estructuras de nano-bastones distribuidos aleatoriamente en la capa subsuperficial. Nuestros resultados de MEB, para todos los casos, indican una estructura binaria (micro y nanoestructura) en la superficie foliar que es similar a la observada en la hoja de “Loto” (Fig. 7a-b).

En la flor de loto, además de la capa de cera bidimensional, existe otra tridimensional de filamentos de cera cristalizada. La rugosidad a escala microscópica está constituida por protuberancias cónicas. Además toda la superficie se haya cubierta por la capa hidrofóbica tridimensional de cera cristalizada, La perfecta combinación de composición química y arquitectura o topografía de la superficie consigue que la gota de agua no moje la superficie sino que sea repelida por ella, demostrando así un comportamiento hidrofóbico, tal como el observado en nuestros resultados y los cuales se verificaron con el CA. De acuerdo con Fernández [17], debido a la alta tensión superficial y a la hidrofobicidad de la superficie, una gota de agua que descansa sobre ella solamente se apoyará en las puntas de las protuberancias, quedando el aire atrapado entre el espacio de separación y la lámina de agua de la gota, esto hace que la gota mantenga la forma quasi-esférica como si estuviera envuelta sólo de aire.

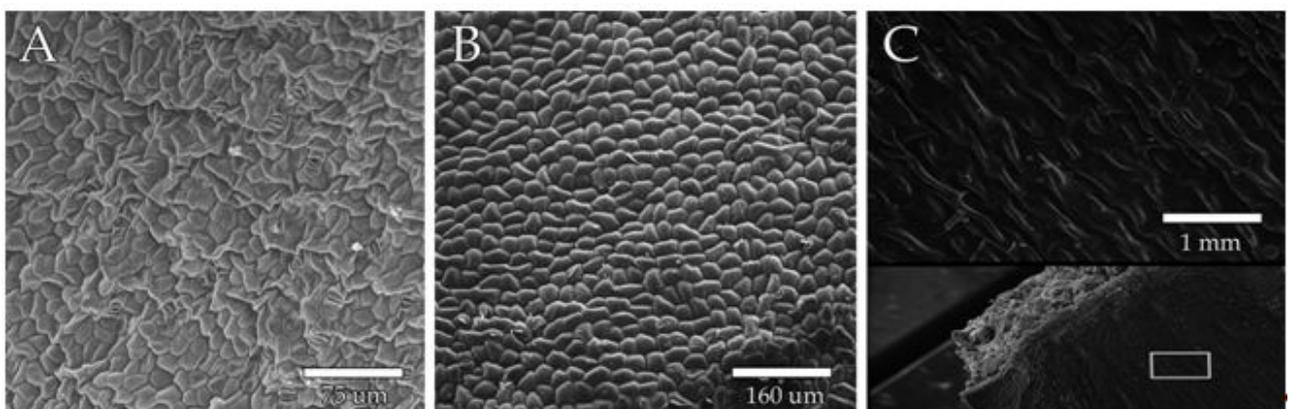


Fig.5. Estructura primaria superficie adaxial. A y B) *Xanthosoma roseum* y *Xanthosoma sagittifolium*, células triangulares. C) *Philodendrum strictum*, células poligonales

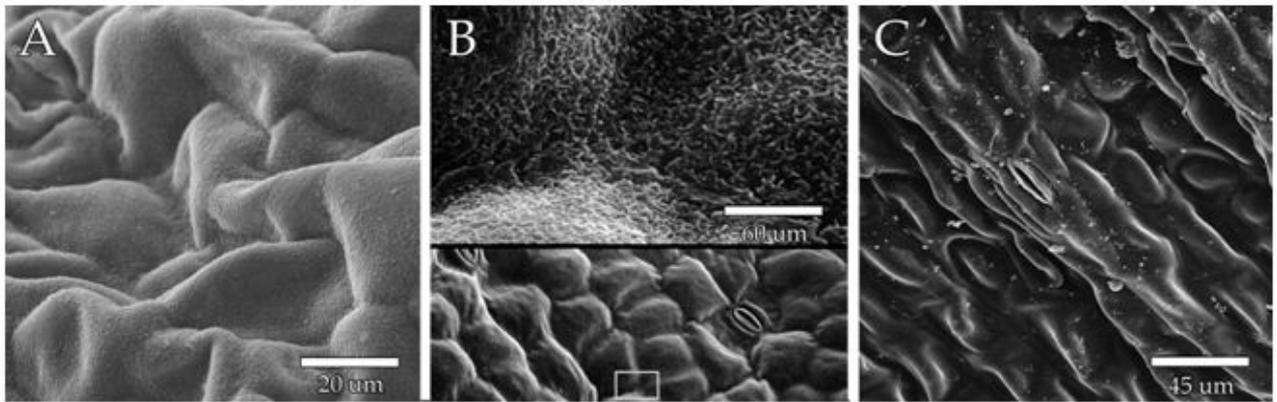


Fig.6. Paredes anticlinales. A y B) *Xanthosoma roseum* y *Xanthosoma sagittifolium*, desiguales y con ondulaciones y perfiles rectos. C) *Philodendrum strictum* límites entre células son onduladas en forma de V.

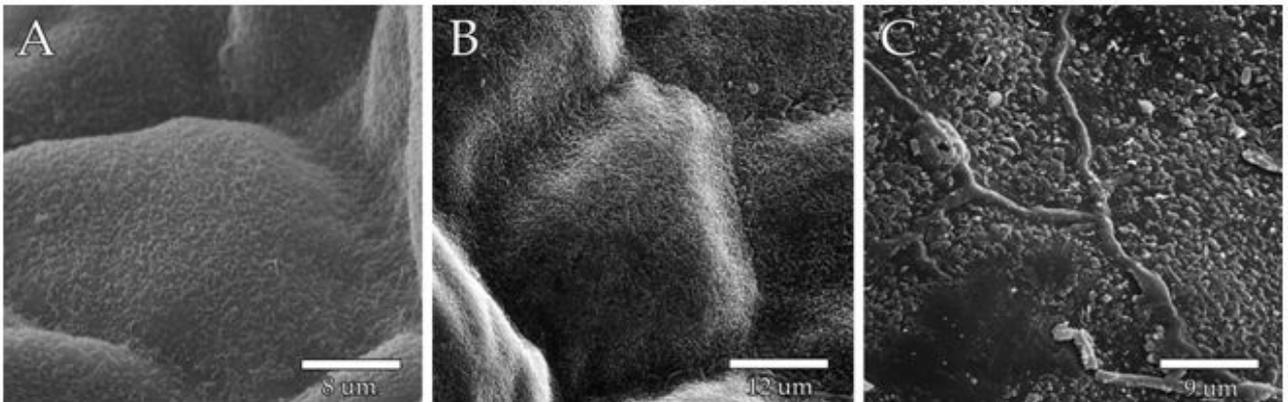


Fig.7. Ceras que recubren la cutícula de la hoja. A y B) *Xanthosoma sagittifolium* y *Xanthosoma roseum* cutícula con una capa de cera tubular. C) *Philodendrum strictum*, ceras epicuticulares dispuestas como costras que cubren la cutícula.

CONCLUSIÓN

Con dichos resultados, se describe ultraestructuralmente patrones en la ultraestructura de la superficie foliar de aráceas (*X. roseum*, *X. sagittifolium* (tiquizque) y *P. strictum*), que presentan el fenómeno del efecto loto, para crear nuevos conocimientos para el posible desarrollo de nuevos materiales con dicha característica.

Nuestros resultados permiten clasificar estas Aráceas como hidrofóbicas, con una estructura binaria (micro y nanoestructura) en la superficie foliar de las Aráceas, lo que permite observar que es similar a la hoja “loto”.

Las tres Aráceas en estudio, varían entre ellas en su morfología superficial a nivel micro y nano-estructural encontrándose diferencia en su superficie cuticular tanto en su superficie abaxial como en su superficie adaxial.

AGRADECIMIENTOS

A PhD Leslie Pineda del CELEQ por la ayuda brindada en el uso del goniómetro y a la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica por la financiación del proyecto.

REFERENCIAS

- [1] Arslan S., Sorguc A. G. (2004) “Similarities between “structures in nature” and “man-made structures”: biomimesis in architecture” *Design and Nature* 2: 45-54.
- [2] Favret E., Andrada N. (2009) “Descripción de la micro-nano-topografía de superficies foliares ultrahidrofóbicas” *Acta Microscópica* 18 (C): 699-700.
- [3] Gao L., McCarthy T. J. (2006) “The “lotus effect” explained: two reasons why two length scales of topography are important” *Langmuir* 22: 2966-

- 2967.
- [4] Barthlott W., Neinhuis, C. (1997) "Purity of the sacred lotus, or escape from contamination in biological surfaces" *Planta* 202: 1-8.
- [5] Koch K., Barthlott W. (2009) "Superhydrophobic and superhydrophilic plant surfaces: an inspiration for biomimetic materials" *Phil. Trans. R. Soc. A* 367:1487-1509.
- [6] Marmur A. (2004) "The lotus effect: superhydrophobicity and metastability" *Langmuir* 20: 3517-3519.
- [7] Xi J., Jiang L. (2008) "Biomimic superhydrophobic surface with high adhesive forces" *Ind. Eng. Chem. Res* 47: 6354-6657.
- [8] Guo Z., Liu W. (2007) "Biomimic from the superhydrophobic plant leaves in nature: Binary structure and unitary structure" *Plant Science* 172: 1103-1112.
- [9] Neinhuis C., Barthlott W. (1997) "Characterization and distribution of water-repellent, self-cleaning plant surfaces" *Annals of Botany* 79: 667-677.
- [10] Bhushan B. (2009) "Biomimetics: lessons from nature—an overview" *Philosophical transactions of the Royal Society* 367: 1445-1486.
- [11] Arvind R., Yoon E., Jackson R. L. (2009) "Biomimetics: the science of imitating nature" *Tribology and Lubrication Technology* 65(2): 40-47
- [12] Pérez A., Gómez F. (2009) "Natural structures: strategies for geometrical and morphological optimization" Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium. Evolution and Trends in Design, Analysis and Construction of Shell and Spatial Structures. Valencia, 28 Set- 2 Oct. pp 893- 906.
- [13] Karnovsky M.J. (1965) "A Formaldehyde-Glutaraldehyde Fixative of High Osmolarity for use Electron Microscopy" *Cell Biol.* 27:137 A.
- [14] Jiménez M., Gatica A., Sánchez E., Valdez, M. (2012). "Ultrastructural analysis of the ontogenetic development of shoot induced from embryonic axes of Costa Rican bean varieties (*Phaseolus vulgaris* L.) under in conditions by scanning electronic microscopy vitro" *American Journal of Plant Sciences* 3: 489-494.
- [15] Koch K., Bohn H. F., Barthlott W. (2009) "Hierarchically sculptured plant surfaces and superhydrophobicity" *Langmuir* 25 (24): 14116-14120.
- [16] Qu M., Zhao G., Cao X., Zhang J. (2008) "Biomimetic Fabrication of Lotus-Leaf-like Structured Polyaniline Filmwith Stable Superhydrophobic and Conductive Properties" *Langmuir* 24: 4185-4189.
- [17] Fernández, A. (2013). "Estudio de la hidrofobicidad y autolimpieza en materiales con nano tratamientos superficiales". Universidad Autónoma de Barcelona. Ingeniería de Materiales.
- [18] Shirtcliffe N. J., McHale G., Newton M. I. (2009) "Learning from Superhydrophobic Plants: The Use of Hydrophilic Areas on Superhydrophobic Surfaces for Droplet Control" *Langmuir* 25(24), 14121–14128
- [19] Thierry, D., Guittard, Frédéric. (2015). "Superhydrophobic and superoleophobic properties in nature". *Materialstoday* 18(5), 273-285.
- [20] Koch K., Bhushan B., Barthlott W. (2009) "Multifunctional surfaces structures of plants: An inspiration for biomimetics" *Prog. Mater. Sci* 54: 137-178.
- [21] Mockenhaupt B., Ensikat H., Spaeth M., Barthlott W. (2008) "Superhydrophobicity of biological and technical surfaces under moisture condensation: stability in relation to surface structure" *Langmuir* 24: 13591-13597.
- [22] Brown D. 1988. (1988) "Aroids plants of the arum family" *Timber press*, Portland USA, 199p-
- [23] Ghani F. D. (1988) "The potential of aroids in Malaysia" En *Edible Aroids*, Oxford University Press, New York.