

Algas fósiles del sitio paleontológico La Gallina en El Salvador

Olga Lidia Tejada^{1,2} y Daniel Isaí Alvarenga³

¹ Laboratorio de Ficología Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Matemática Universidad de El Salvador. olga.tejada.32@ues.edu.sv

² Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UES

³ Museo de Historia Natural de El Salvador. dalvarenga@cultura.gob.sv

Resumen. En el año 2015 se realizó una excavación de prospección a raíz del desarrollo del by pass de San Miguel. En dicha inspección se descubrió la quebrada llamada La Gallina en la cual se encuentra expuesta la estratigrafía de la zona, formada por un horizonte portador de improntas vegetales en una matriz de lutitas. Las improntas albergaban fragmentos de madera y de ramitas; además de hojas y algas. El sitio paleontológico en cuestión, se ubica a 600 metros de la carretera principal que conduce al Departamento de La Unión, entre los 13°26'56.10" LN y 88° 6'46.98" LO. El piso portador de las improntas tiene un espesor de 1.20 metros y está constituido por lutitas laminadas de color blanquecino y pertenece al miembro c1 1 de la Formación Cuscatlán y de edad Pleistoceno. La forma aleatoria en que se encontraron los fósiles, la falta de evidencias para determinar el evento responsable de la sedimentación del cuerpo de agua y el descubrir que la mayoría de los talos algales corresponden a formas marinas, representó un reto importante para el estudio de dichas improntas. El objetivo fundamental fue determinar hasta el taxón más bajo posible a las algas encontradas. La determinación consistió en examinar bajo la luz de un estereomicroscopio binocular y lupas de alto alcance, veinticuatro talos de algas, a las cuales se les efectuó mediciones morfométricas y análisis de caracteres de identificación taxonómica que permitieran ser contrastados con los presentados por los géneros de algas actuales. En el estudio se determinó que diez talos pertenecen a algas verdes, de los géneros aff. *Codium*, aff. *Rhizoclonium*, aff. *Cladophora*, aff. *Nitella* y aff. *Cladophoropsis*. Doce talos corresponden a aff *Dictyota* un alga café y dos talos poseen características de algas rojas, del orden Gracilariales. Por el tipo de flora algal encontrada se puede inferir que en la antigüedad el sitio paleontológico La Gallina estuvo influenciado por agua marina o salobre. La información generada, permitirá reconstruir la historia geológica de la zona y las condiciones climáticas prevalecientes hace más de un millón de años en el país.

Abstract

In 2015, a prospecting excavation was carried out due to the development of the San Miguel bypass. In this inspection the ravine called La Gallina was discovered in which the stratigraphy of the area is exposed, formed by a horizon bearing vegetable imprints in a shale matrix. The imprints host fragments of wood and twigs; in addition to leaves and seaweed. The paleontological site in question is located 600 meters from the main road that leads to the Department of La Unión, between 13 ° 26'56.10 "LN and 88 ° 6'46.98" LO. The floor bearing the imprints has a thickness of 1.20 meters and is constituted by whitish laminated shales and belongs to the member c11 of the Cuscatlán Formation and Pleistocene age. The random way in which the fossils were found, the lack of evidence to determine the event responsible for the sedimentation of the body of water and the discovery that most of the algae imprints correspond to marine forms, represent an important challenge for the study about this imprints. The main objective was to determine the lowest possible taxon to which belong the algae found. The determination consists in examining under the light of a binocular stereo microscope and high magnification magnifier, twenty-four seaweed imprints, to which they were make morphometric measurements and taxonomic identification character analysis that allow to be contrasted with the presented by the genera of current algae. The study determined that ten imprints belonged to green algae, of the genus aff. *Codium*, aff. *Rhizoclonium*, aff. *Cladophora*, aff. *Nitella* and aff. *Cladophoropsis* Twelve imprints corresponds to aff *Dictyota* a brown seaweed and two imprints have characteristics of red algae, of the order Gracilariales. By the type of algal flora found it can be inferred that in ancient times the paleontological site La Gallina was influenced by sea or brackish water. The information generated, will allow reconstruct the geological history of the area and the prevailing climatic conditions over a million years ago in the country.

Keywords: Imprints, Pleistocene, lutitas, Ochrophyta, Chlorophyta, Rhodophyta

Introducción

Aun cuando existen evidencias de que la flora marina se originó en el periodo Cámbrico hace más o menos 700 millones de años, el registro fósil de algas con el que se cuenta en la actualidad no es tan completo como el de las plantas terrestres.

Los fósiles de organismos semejantes a algas rojas que se han informado

recientemente, sugieren que la vida multicelular puede haber surgido en la Tierra unos 400 millones de años antes de lo que se pensaba. Los especímenes más antiguos de estas algas fueron encontrados por Bengtson y colaboradores (2017), en un lugar de la India llamado Chitrakoot. Los autores refieren que las rocas portadoras están compuestas principalmente de calcio y carbonatos de magnesio; pero las esteras microbianas y los fósiles de algas

se conservaban en improntas en calcio y fosfato. Las algas que ellos encontraron datan de 1.600 millones de años y se trata de dos tipos de colonias multicelulares, una formas filamentosas con apariencia de hilos llamada *Rafatazamia chitrakootensis* y otra con formas lobuladas a la que llamaron *Ramathallus lobatus*. (Bengtson et al 2017).

Graham et al (2016) al referirse a las algas verdes del phylum Chlorophyta, “algas verdes”, afirman que son las que más registros presentan, principalmente las especies pertenecientes a los órdenes Dasycladales, Bryopsidales, Chladophorales y Charales; debido a su gran capacidad de calcificar la superficie de sus talos, lo que representa una ventaja para su conservación. Los autores refieren que algunos ejemplos notables de estas algas fósiles, son del género *Acetabularia* encontradas principalmente en regiones de Europa central y del Este de Asia, cuyos fósiles datan del mioceno Terciario; es decir, 63 millones de años. Existen otros fósiles de algas verdes que datan de 700-750 millones de años de edad, especies muy parecidas al género *Cladophora* que ahora conocemos.

En el caso de las algas pardas, distintos

autores coinciden en afirmar que el registro fósil es bastante escaso; posiblemente, porque la mayoría de éstas no producen partes duras o muy calcificadas. Los fósiles de algas pardas que se informan en su mayoría son Kelps de los órdenes Fucales, Dictyotales y Laminariales cuyas estructuras morfológicas y anatómicas se asemejan mucho más con las plantas superiores (Graham et al 2016).

El hallazgo de algas fósiles en nuestro país, ha generado información muy valiosa que va permitir reconstruir la historia geológica de la zona y las condiciones climáticas prevalecientes hace más de un millón de años, tomando en cuenta que son los registros fósiles la base fundamental para la datación de los suelos de una región determinada.

Materiales y métodos

En el año 2015, personal técnico de la sección de paleontología del Museo de Historia Natural de El Salvador, realizó una excavación de prospección a raíz del desarrollo del by pass de San Miguel. En dicha inspección se descubrió el sitio paleontológico La Gallina, una quebrada ubicada a 600 metros al suroeste de la carretera principal que conduce a La Unión, en el municipio de San Miguel, Departamento de San Miguel. Las coordenadas geográficas de la zona

donde se realizó la excavación son N 13°26'56.10" y O 88° 6'46.98". En ese terreno, la escorrentía de aguas lluvias ha generado una ampliación y brecha que ha

expuesto los sedimentos de interés. Dicha quebrada posee en algunos puntos hasta siete metros de profundidad (Fig.1)

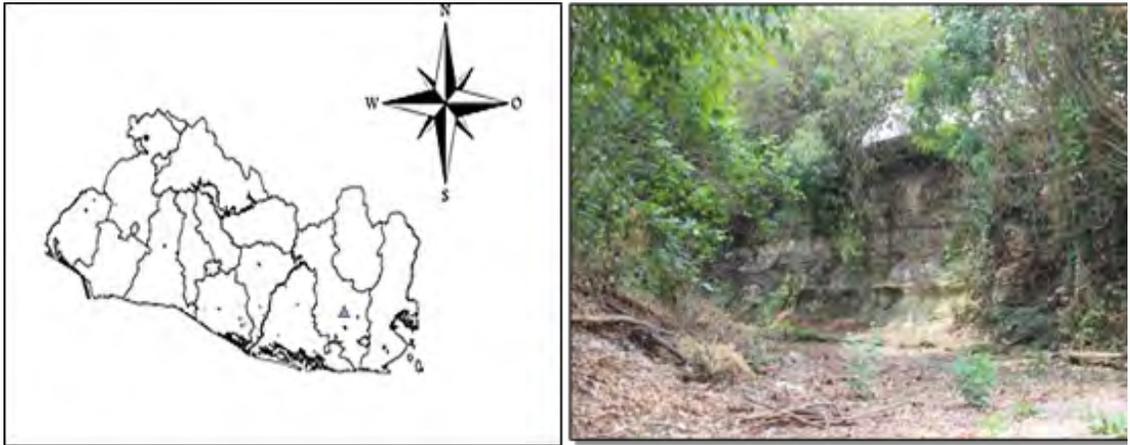


Fig. 1. A) El triángulo muestra la ubicación de la quebrada La Gallina en el departamento de San Miguel. B) Vista del cañón creado en la quebrada.

Geología del lugar

De acuerdo con Baxter (1985), los suelos excavados pertenecen al miembro c11 de la Formación Cuscatlán y corresponden a sedimentos aluviales o fluvio-lacustres y por estar en contacto con suelos de la formación San Salvador, que han sido datados para mediados y finales del Pleistoceno se considera que el piso de la quebrada podría poseer la misma edad pleistocénica (Hernández, 2005).

La quebrada está orientada de Norte a Sur y posee una profundidad relativa del hombro a la base de 5.45 metros de altura a nivel promedio, el piso es arenoso y seco con algunas intercalaciones de

sustratos sedimentarios correspondientes a deposiciones de arenas mezcladas con arcillas y limos. Los horizontes observables se disponen de manera ordenada y con poca incidencia geológica, es decir, no poseen alteraciones debido a fenómenos geológicos observables como fallamientos y desprendimientos que hayan afectado al suelo portador desde su origen hasta la fecha. Las zonas en las que se desarrollaron las excavaciones son equivalentes de ambos lados, es decir, que no se perciben alteraciones ni esfuerzos en el piso de la quebrada y son paredes que tienen continuidad uniforme de un lado a otro del río.

Los sedimentos portadores se encuentran en tres capas principales de un paquete de 16 estratos, que se disponen de forma ordenada y horizontal, compuesta principalmente por cenizas y lutitas laminadas que se mezclan junto a otros sedimentos de re-depositación, que se observan en las partes más altas. Estos sedimentos

superiores se han cohesionado con algunos limos blanquecinos que se vuelven muy deleznable fuera del contexto (figura 2).

De los horizontes levantados, solamente 3 son portadores de improntas vegetales que incluyen maderas en fragmentos, hojas y algas.



Fig. 2. Estratigrafía de la zona de excavación.

Trabajo de campo.

Para la extracción de los fósiles, se asignaron dos puntos de excavación, el primero en el margen oeste de la quebrada y el segundo en el margen este; luego, se seleccionaron secciones de 6 metros y se identificaron los horizontes portadores en todos los frentes aflorantes.

Para extraer los bloques de la matriz sedimentaria y poder identificar el material orgánico fósil, fue necesario el uso de martillos geológicos y espátulas. Cada bloque se limpió con a fin de eliminar elementos orgánicos y eliminar bacterias. Cuando los bloques o los especímenes contenidos en estos lo requerían, se les aplicaba también un reactivo químico

consolidante a fin de garantizar la estabilidad estructural. En algunos casos, también fue necesario hacer cortes en los bloques para eliminar el exceso de la matriz sedimentaria, de manera que estos se volvieran más manipulables para el embalaje y traslado al taller de conservación y restauración de fósiles del Museo de Historia Natural de El Salvador, en donde se dejaron expuestos sobre las mesas para que se secaran a temperatura ambiente.

Trabajo de laboratorio

Cuando los bloques se secaron completamente, se procedió a retirar las capas de sedimento que cubrían las improntas auxiliándose con bisturís, agujas de disección y exploradores dentales. Una vez realizada la limpieza total, cada pieza fue consolidada con una solución de polímeros sintéticos disueltos en thinner.

La identificación de las algas se llevó a cabo de febrero a mayo de 2017 y de marzo a junio del 2018. Inicialmente se observaron y analizaron un aproximado de cincuenta piezas conteniendo improntas de material orgánico. De todas ellas, solamente se seleccionaron veinticuatro piezas conteniendo material morfológicamente similar a talos de algas.

Debido a la escasa matriz orgánica presente en las improntas no se realizaron

cortes histológicos y el estudio se limitó a realizar mediciones morfométricas y al reconocimiento de aquellos caracteres sobresalientes que permitieran contrastarse con los presentados por los géneros de algas actuales; por ejemplo, cicatrices que permitieran conocer el arreglo de los cloroplastos, evidencias de paredes celulares, estructuras de fijación y estructuras reproductivas, entre otros.

Las observaciones y mediciones morfométricas se hicieron bajo la luz de un estéreo-microscopio marca MEIJI TECNO y de lupas de alta resolución; así mismo se hicieron registros fotográficos para su análisis posterior.

Para determinar los posibles géneros, se utilizaron las claves taxonómicas de Abbott, I. A., and J. M. Huisman. 2004; Abbott, I. A. 1999; Lee. R.E. 2008; Ortega M. 1984, Schnetter & Bula-Meyer. 1982, Taylor, W. R. (1945, 1960), Norris (2010), las descripciones de algas de Fernández Alvarado (2012) y también se consultó la base de datos AlgaeBase (Guiry & Guiry, 2018).

El análisis morfométrico permitió comparar las características de las algas fósiles con géneros de algas existentes en la actualidad, encontrando grandes similitudes entre ellas; sin embargo, debido a que aún no se han realizado cortes de lámina fina o

análisis bajo un microscopio tomográfico de rayos X, en este informe preliminar se asignaron los géneros usando el prefijo aff. Las algas fósiles fueron depositadas en la colección paleontológica del Museo de Historia Natural de El Salvador y constituyen parte del patrimonio de la nación.

Resultados y discusión

Los análisis de laboratorio permitieron determinar seis géneros, del Phylum Chlorophyta; aff. *Codium* (Fig. 3, a) aff. *Cladophora* (Fig. 3b) aff. *Rhizoclonium*

(Fig. 3c). aff. *Cladophoropsis* (Fig. 3d) y aff. *Nitella* (Fig. 3e). También se identificaron doce talos de aff *Dictyota* (Fig. 4 a, b y c) del Phylum Ochrophyta y aff. *Gracilaria* del Phylum Rhodophyta (Fig.5)

A pesar de que las muestras fueron extraídas de una quebrada que muestra evidencias de haber albergado una laguna dulceacuícola, la mayoría de géneros que se encontraron son característicos de aguas marinas y salobres. En la actualidad solamente *Nitella* se desarrolla en ambientes lenticos de agua dulce y en ambientes salobres.

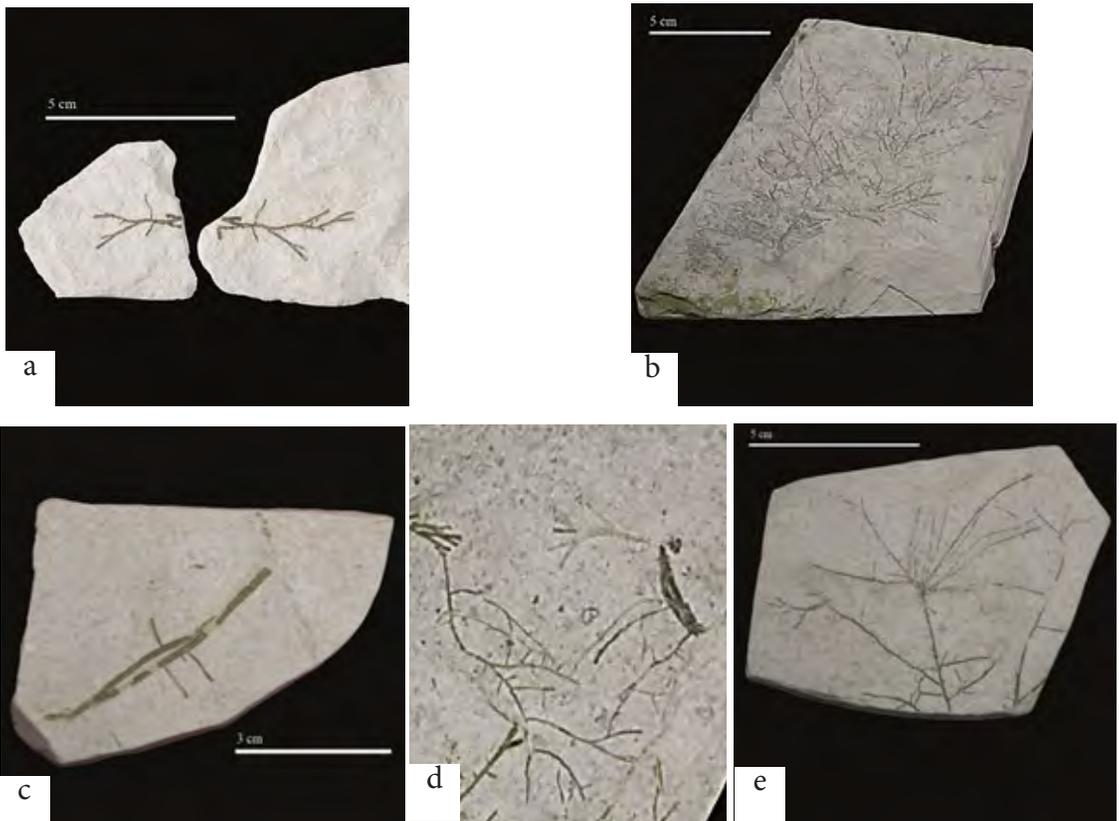


Figura 3. aff. *Codium*, color verde intenso, mostrando una ramificación entre dicotómica e irregular (a) aff. *Cladophora*, talo filamentosos formando mechones laxos y ramificación irregular (b) aff. *Rhizoclonium*, talo verde intenso, mostrando rizoides de fijación prominentes, cicatrices de cloroplastos parietales y paredes celulares engrosadas y blanquecinas (c). aff. *Cladophoropsis* mostrando ramificación simpodial de primer orden en varios planos, irregular (d) y aff. *Nitella* (e). Mostrando la típica ramificación verticilada en forma de candelabros.

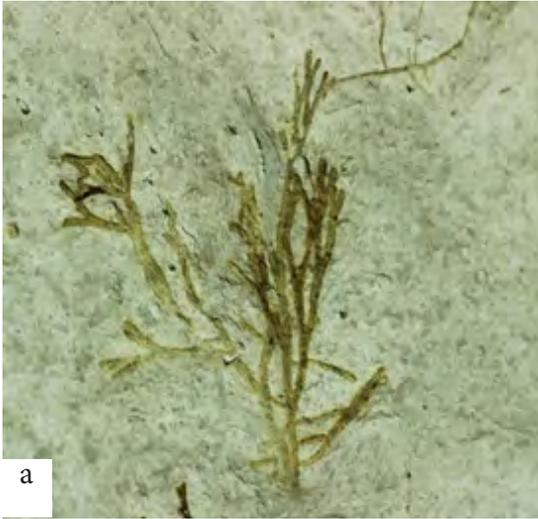


Figura 4 a, b, c. Talos aff. *Dictyota*, mostrando una marcada coloración café, con puntos claros y ramificación dicotómica. Se evidencian estolones basales para la fijación al sustrato (a y b).

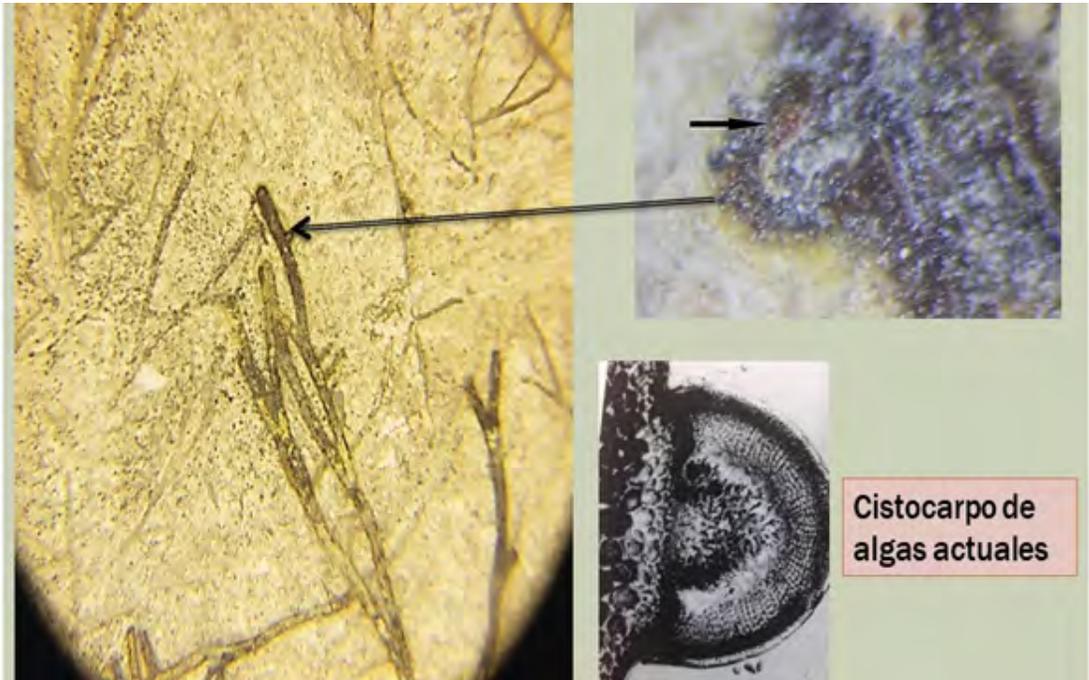


Fig. 5. Se muestra el talo de aff. *Gracilaria* (a). En la imagen b, se observa un acercamiento de los abultamientos que presentaba el talo en la superficie, que se asemeja a un cistocarpo, estructura de reproducción que presentan las algas actuales de ese mismo género.

De acuerdo con Lee (2008), algunos ordenes de algas verdes han podido dejar registros debido a que las especies tienden a calcificar las partes externas de sus talos, lo cual representa una ventaja para la conservación de fósiles ya que las características morfológicas se preservan bastante bien aunque las estructurales van desvaneciéndose gradualmente hacia el centro del talo a medida que se fosiliza la matriz orgánica ; este es el caso de algas de los órdenes Dasycladales y Bryopsidales, que incluye especies de algas calcificadas que se remontan al Período Triásico, aproximadamente 252 millones a 201 millones de años. Este autor reseña que

existen registros del género *Acetabularia* cuyos fósiles corresponden al Terciario y algas del género *Paleocodium* que corresponden al Carbonífero. Según Graham et al (2016), existen otros fósiles que datan de 700-750 millones de años que comparten características distintivas con algas modernas; se trata de algas filamentosas ramificadas que se parecen mucho al alga verde moderna *Cladophora* y que fueron encontrada en los depósitos de Spitsbergen, Noruega. En cuanto al género *Nitella*, los primeros fósiles de estas algas se informan para el Silúrico Superior (Lee 2008).

Los talos de aff. *Codium*, aff. *Cladophora*, aff. *Cladophoropsis*. aff. *Rhizoclonium* y aff. *Nitella* encontrados en el sitio paleontológico La Gallina, se observaban bastante bien preservados en cuanto a su forma y color, e inclusive en aff. *Rhizoclonium* se pudieron observar marcas que evidencian el arreglo reticulado de los cloroplastos, así mismo, en este talo se observa una gruesa pared celular sin pigmento y la presencia de un gran rizoide que funcionaba como estructura de fijación al sustrato (Fig. 3c); por su parte, aff. *Codium* conservo muy bien su forma y color y aun se evidencia parte de la matriz orgánica.

Rivera Charún (2019) afirma que en la actualidad las especies de algas del orden Charales son muy utilizados como marcadores bioestratigráficos para la datación de formaciones geológicas y reconstrucciones paleoambientales, debido a la alta calcificación de sus talos, pero sobre todo porque el órgano reproductivo femenino llamada oogonium secreta carbonato de calcio una vez que ocurre la fertilización y se deposita en las paredes que lo rodean para formar la girogonita, la estructura comúnmente fosilizada. (Rivera Charún 2019). Los talos de *Nitella* encontrados en La Gallina mantienen sus características morfológicas que le

caracterizan; es decir, la ramificación en forma de candelabros en la que prevalece un eje principal con filoides que se dividen en forma de Y, sin que se origine un eje principal (Figura 3e).

Se encontraron también diez improntas de algas morfológicamente muy similares al género *Dictyota*. Los talos encontrados presentan tallas que oscilan entre 1 a 5 cm, excediendo a las tallas de las algas actuales, informadas para el Pacífico de Centroamérica. Es importante remarcar que algunos talos de aff. *Dictyota* además de su color café y la típica ramificación dicotómica, también presentan puntos más claros sobre la superficie, lo cual podría indicar la presencia de puntos iridiscentes típicos de este tipo de algas; así mismo, algunas de ellas poseen evidentes estructuras estolóníferas de fijación (Fig. 4 a, b y c).

Haber encontrado a aff. *Dictyota* en el sitio paleontológico La Gallina parece estar indicando que este ambiente estuvo inundado por aguas marinas, ya que se trata del género más diverso en aguas tropicales y sub tropicales (Graham et al 2016).

Los mismos autores afirman que los depósitos del Mioceno han permitido determinar especímenes similares a los órdenes existentes Dictyotales,

Laminariales y Fucales que son eminentemente marinos. El orden Dictyotales ostenta una gran variedad de talos conspicuos y en el Pacífico tropical oriental, es una de los componentes conspicuo o incluso dominante de la ficoflora marina (Fernández 2012).

En relación a las algas rojas, a excepción de las algas coralinas, la mayoría de especies presentan talos con médulas gelatinosas y aunque existen muchos informes de algas fosilizadas, la identidad de tales restos es a menudo controvertida, cuando no poseen rasgos que permitan contrastarlas claramente con algas modernas; es por esta razón, que los informes de macroalgas rojas son escasos (Graham et al 2016). En nuestro estudio solamente se encontraron dos improntas de talos con características similares al alga roja del género *Gracilaria*. En este talo fue sorprendente encontrar una serie de abultamientos superficiales que se asemejan a las estructuras de reproducción sexual llamados cistocarpos, (Fig.5)

Lee (2008), afirma que los fósiles más antiguos y que proporcionan una fuerte evidencia de algas rojas, fueron encontrados en depósitos de 1200 millones de años en Somerset, Isla ubicada en el Ártico de Canadá, algas a las cuales nombraron *Bangiomorpha pubescens*, se trata de

filamentos anchos dispuestos radialmente con células en forma de cuña, parecidos al alga moderna llamada *Bangia*. Sin embargo, Bengtson et al (2017) informan dos algas multicelulares aún más antiguas que datan de 1.600 millones de años. Se trata de una colonia formada de algas filamentosas como hilos a la que llamaron *Rafatazmia chitrakootensis* y otras con formas lobuladas *Ramathallus lobatus*, que presentan talos talo pseudoparenquimatosos con crecimiento apical, lo que sugiere que se trata de algas algas florideoficeas. Los autores reseñan que, si estas inferencias son correctas, *Rafatazmia* y *Ramathallus* representan los rodófitos multicelulares más antiguos que se han descubierto.

A la luz de lupas de gran magnificación y del microscopio estereoscópico podemos inferir que en El Salvador hace 1 millón trescientos mil años existió un mar interior ubicado en el sitio paleontológico La Gallina y que probablemente con el correr de cientos de millones de años, debido a la dinámica geológica local o por algún evento climatológico extremo, este mar se convirtió en una laguna sedimentaria de agua dulce. La identificación de algas fósiles de origen marino constituye ahora un valioso hilo conductor para reconstruir la historia natural de nuestro país.

Esperamos que este primer acercamiento a la composición de la flora lagal fósil, sea el inicio de estudios más profundos para determinar si se trata de nuevos paleogéneros marinos.

Agradecimientos.

Agradecemos a Eunice Esther Echeverría Directora del Museo de Historia Natural y a Ana Martha Zetino, Directora de la Escuela de Biología por haber hecho posible esta investigación conjunta. A los Doctores Juan Manuel López Bautista y Cindy Fernández Alvarado por sus comentarios y ayuda con el género Dictyota, a Jennifer Benavides por su apoyo y a Daniel Aguilar por las largas tertulias en las que intentábamos dar una explicación a los hallazgos de algas marinas en la quebrada de La Gallina.

Referencias Bibliográficas

Abbott, I. A. 1999. Marine red algae of the Hawaiian Islands. Bishop Museum Press, Honolulu, Hawaii.

Abbott, I. A., and J. M. Huisman. 2004. Marine green and brown algae of the Hawaiian Islands. Bishop Museum Press, Honolulu, Hawaii.

Baxter, S., 1985. Léxico Estratigráfico de El Salvador. Comisión Hidroeléctrica del Río Lempa, CEL. 128 pp.

Bengtson S, Sallstedt T, Belivanova V, Whitehouse M (2017) Three-dimensional preservation of cellular and subcellular structures suggests 1.6 billion-year-old crown-group red algae. PLoS Biol 15(3): e2000735.doi:10.1371/journal.pbio.2000735

Fernández García C. 2012. Taxonomía y biogeografía de las familias Caulerpaceae (Chlorophyta), Dictyotaceae (Ochrophyta) y Corallinaceae (Rhodophyta) en el Pacífico de Centroamérica. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Marinas y Costeras.

Graham L.E, Graham J.M; Wilcox L.W y Cook M.E. 2016. Algae. 3ª Ed. LJLM Press.

Guiry, M. D., Guiry, M. D. & Guiry, G. M. (2019). AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Recuperado en mayo 08, 2019, disponible en [http:// www.algaebase.org](http://www.algaebase.org).

Hernández, W., 2005: Nacimiento

y Desarrollo del Río Lempa. Servicio Nacional de Estudios Territoriales de El Salvador, Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales.

Taylor, W. R. (1960). *Marine Algae of the Eastern Tropical and Subtropical Coasts of the Americas*. Michigan, EE.UU.: University of Michigan Press.

Lee, R.E. 2008. *Phycology*. 4^a Ed. Cambridge University Press.

Norris, J.N. 2010. *Marine algae of the Northern Gulf of California: Chlorophyta and Phaeophyceae*. Smith. *Contr. Bot.* 94: 1-276.

Ortega M. 1984. *Catálogo de algas continentales recientes de México*. Coordinación de la Investigación Científica, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México 565 pp.

Rivera Charún M. L. 2019. *Identificación y determinación de carofitas fósiles de las formaciones del cretáceo superior y paleoceno inferior. Región Cusco*. Tesis. Universidad Ricardo Palma. Perú.

Schnetter, R. & Bula-Meyer, G. 1982. *Marine Algen der Pazifikküste von Kolombien: Chlorophyceae*. *Bibliotheca Phycologia*. 287 pp.

Taylor, W. R. (1945). *Pacific Marine Algae of the Allan Hancock Expedition to the Galapagos Islands*.: University of Southern California Press, Los Angeles California.