

HISTORIA NATURAL

Tercera Serie | Volumen 16 (2) | 2026/51-64

VITRIFICACIÓN DE ARENAS POR IMPACTOS DE PALEORELÁMPAGOS EN LA ISLA YACYRETÁ, DEPARTAMENTO DE ITAPÚA, PARAGUAY

*Vitrification of Sands by Paleolightnings Impacts on Yacyretá Island, Itapúa
Department, Paraguay*

Moisés Gadea¹, Sergio Galeano², Carmen Rojas³, Karla Golin⁴, Alex
Matos⁵, Fernando Marsal⁵, Silvio Báez⁶, Eduardo Giangreco⁶, Fernando
Benítez⁷, Alcides Caballero⁸, y Diego López¹

¹Universidad Nacional de Asunción. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.
Laboratorio de Sismología.

²Entidad Binacional Yacyreta. Programa de Reservas y Biodiversidad del Sector Medio Ambiente.

³Universidad Nacional de Misiones. Ciencias Básicas y sus Tecnologías, Paraguay.

⁴Investigadora asociada.

⁵Universidad Nacional de Asunción. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Laboratorio de
Análisis Moleculares y Elementales Mole.

⁶Universidad Nacional de Asunción. Departamento de Ingeniería en Ciencias de los Materiales.
Facultad Politécnica,

⁷Instituto de Pesquisas Energéticas y Nucleares, IPEN – SP, Brasil.

⁸Universidad Nacional de Asunción. Departamento de Ingeniería en Ciencias de los Materiales.
Facultad Politécnica.

AZARA
FUNDACIÓN DE HISTORIA NATURAL

umai Universidad
Maimónides

Resumen. Se reporta la presencia de vidrios naturales generados por descargas eléctricas de paleorelámpagos en el entorno del extremo oriental de la isla Yacyretá. El protolito original que fuera metamorfozado trata de sedimentos arenosos de la Formación Los Laureles, expuestos en dos descampados aislados entre sí. Dentro de los materiales vitrificados se identificaron numerosas fulguritas, con sus estructuras fusiformes y cavernosas evidentes. Además de las mencionadas, existen otras expresiones de vidrio en forma de trizas, astillas, costras y cáscaras dispersas en medio de los arenales.

Palabras clave. Fulgurita, isla Yacyretá, arenas, río Paraná, relámpagos.

Abstract. The presence of natural glasses generated by electrical discharges from paleolightning is reported in the surroundings of the eastern end of Yacyretá Island. The original metamorphosed protolith consists of sandy sediments of the Los Laureles Formation, exposed in two mutually isolated open sandy areas. Within the vitrified materials, numerous fulgurites were identified, displaying their characteristic fusiform and cavernous structures. In addition to these, other glassy expressions occur as shards, splinters, crusts, and shell-like fragments scattered across the sandy deposits.

Keywords. Fulgurite, Yacyreta island, sand, Parana river, lightnings.

INTRODUCCION

El vidrio suele asociarse con la producción industrial de ventanales y recipientes. No obstante, la Tierra, a través de sus propias fuerzas y procesos naturales, ha generado vidrio desde hace miles de millones de años, un fenómeno que persiste en la actualidad (Elburg, 2022).

Los vidrios naturales son materiales amorfos que en muchos casos se forman a partir de procesos geológicos y cósmicos de alta energía, cuando los minerales cristalinos no alcanzan a desarrollarse debido al rápido enfriamiento del fundido, entre ellos, los vidrios volcánicos, las fulguritas, las tectitas y las impactitas.

Estos materiales terrestres resultan relevantes por su registro de fenómenos extremos, y que aportan información valiosa sobre la dinámica de la Tierra y del sistema solar. El presente trabajo pretende comunicar la existencia de vidrios naturales en la isla Yacyretá dentro del contexto geológico nacional y describirlos de manera sintética.

Entre los vidrios más conocidos se encuentran los de origen volcánico, como la *obsidiana*, que fuera descrita por Plinio el Viejo en su Historia Natural bajo el nombre de *obsiana*, debido a su semejanza con una piedra muy oscura hallada en Etiopía por Obsius (Block, 2011; Cicconi et al., 2022).

Los vidrios naturales pueden originarse de diferentes maneras y presentar composiciones químicas diversas. Cicconi y Neuville (2019) distinguen los vidrios de acuerdo a factores relacionados a la temperatura, temperatura-presión, temperatura-presión-volátiles y otros.

Según O'Keef (1984; en Arcioni y Giménez, 2015), se clasifican como sigue: los volcánicos, relacionados al enfriamiento del magma; de impactos, por fundido y enfriamiento veloz luego del choque de un meteorito sobre la superficie de la tierra; tectónicos, por fricción de macizos rocosos;

fulguritas, fundido y enfriamiento de material terrestre por descargas eléctricas relacionadas a relámpagos; de combustión-metamórfico, fusión por quema de sedimentos con materia orgánica.

También existen los vidrios de alta energía generados por acción antrópica, como la *trinitita*, o vidrio nuclear, formado de manera incidental durante la prueba nuclear *USA Trinity* en las proximidades de Alamogordo en Nuevo México en 1945; y aquellos vitrificados en zonas de tendidos eléctricos y líneas de transmisión de alto voltaje. Se han realizado ensayos experimentales en laboratorio según los modelos físico-químicos naturales y fue posible sintetizar fulguritas artificiales (Block, 2011; Ende et al., 2012; Çalışkanoğlu et al., 2023).

Las *tectitas* e *impactitas* se conocen como vidrios relacionados a impactos de material extraterrestre sobre la tierra. Las tectitas se componen por vidrios puros, alejados del cráter, químicamente muy homogéneos, con bajo contenido de agua y volátiles generados por la fusión del material expulsado hacia la atmósfera vitrificado al vuelo. Las impactitas (o vidrios diapléticos) se presentan como vidrios de composición química heterogénea que se localizan en y en las cercanías del cráter, y resultan del metamorfismo de las rocas impactadas (Koeberl, 1994).

El grupo de vidrios originados por choque comprende a las *australitas*, el *vidrio de Darwin* (Tasmania), *indochinitas*, *javanitas*, *vidrio del Desierto en Libia* (Sahara), *moldavitas*, *filipinitas*, *bedaisitas*, *vidrio tipo-Muong Nong* y el *vidrio del cráter Aouelloul* (impactita) (Kumar, 2012).

Taquilita, término conocido para designar el vidrio basáltico, de baja densidad y se destaca por su velocidad de fusión. Del griego, *tachys*, veloz, y *lytos*, soluble, fusible. Vitrifica como consecuencia de procesos volcánicos y se despliega rodeando los contornos de diques de doleritas o rocas

hipabisales. La pseudotaquilita, de origen tectónico, se configura a lo largo de zonas de fracturas por alta presión al momento del roce entre macizos rocosos que desencadenan grandes terremotos (Spray, 1995; en Block, 2011; Holmes, 1987; Huang, 1980).

Otros materiales amorfos naturales se originan por procesos metamórficos, como el así denominado vidrio pirometamórfico que resulta de la combustión de hidrocarburos u otros contenidos orgánicos. Así también, los procesos de biomineralización de organismos marinos silíceos sintetizan mineraloides, como el ópalo ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), una sílice amorfa hidratada estabilizada a bajas temperaturas (McCloy, 2019; en Cicconi y Neuville, 2019).

El nombre fulgurita deriva de la expresión latina *fulgur*, que significa “rayo”, o “relámpago”; e ita, del griego *lithos*, “piedra”, siendo así “roca rayo”, o “roca relámpago”. Algunos autores aluden a este vidrio como “rayo fósil” o “rayo petrificado”, y las de mayor renombre provienen del desierto del Sahara (Viemeister, 1983; Kumar, 2012; Ende *et al.*, 2012).

La primera descripción de las fulguritas naturales en sedimentos arenosos fue realizada por Herman en el año 1706, y la publicación pionera sobre estos vidrios, llevada a cabo por Myers y Peck en el año 1925 luego del hallazgo en South Amboy en Nueva Jersey, Estados Unidos. Charles Darwin, en su famosa expedición en el Beagle, reportó hallazgo de fulguritas en las cercanías de Maldonado - Uruguay, frente al estuario del Río de la Plata en el año 1932 (Çalışkanoğlu *et al.*, 2023; Arcioni y Giménez, 2015).

Su formación ocurre por el impacto de un relámpago sobre la superficie de la tierra constituida por material no consolidado o roca, donde existe una transferencia de energía térmica y la consecuente fusión y vitrificación de los térreos en lapsos de milisegundos. El producto final del mencionado proceso resulta en morfologías tubulares y

dendríticas o con rasgos de costras y cáscaras superficiales esparcidas en la superficie (Arcioni y Giménez, 2015; Çalışkanoğlu *et al.*, 2023).

En Paraguay, los antiguos pobladores de San Cosme y Damián en Itapúa, sostenían que los rayos que impactaban sobre las dunas se transformaban en la denominada *Flor de Duna* o *Duna Poty*, en guaraní (C. Barbosa, comunicación personal, 2025), en alusión a las fulguritas y vidrios formados en esos eventos.

Los procesos observados en fulguritas modernas permiten comprender cómo los paleorelámpagos pudieron vitrificar arenas en el pasado. Bindi *et al.* (2023) muestran que las descargas de rayos alcanzan temperaturas superiores a 1200 °C, provocando la fusión rápida de la arena y la reducción extrema de minerales como óxidos de hierro y fosfatos, lo que da lugar a fases poco comunes como siliciuros de hierro y fosfito de calcio.

La combinación de altas temperaturas y enfriamiento súbito genera vidrios que preservan minerales reducidos, constituyendo una firma diagnóstica de descargas eléctricas. Estos procesos son coherentes con lo que se esperaría en paleorelámpagos, por lo que la presencia de vidrio silíceo con minerales reducidos puede utilizarse como indicador de vitrificación de arenas por rayos antiguos (Bindi *et al.*, 2023)

Estos vidrios representan rasgos geológicos jóvenes que incluso pueden colectarse luego de escaso tiempo de haberse generado. Las de mayor antigüedad conocidas datan del Pérmico (Arcioni y Giménez, 2015; Elmi *et al.*, 2017).

La fulgurita y lechatelierita son términos utilizados frecuentemente como sinónimos, a pesar de que en rigor no se trata de lo mismo. Ciertamente ambos son vidrios naturales, pero la fulgurita se distingue por asumir el molde del rayo como geoforma. Asimismo, presenta heterogeneidad com-

posicional, incluso conteniendo la propia lechatelierita, asociada con diversos elementos químicos accesorios y otros polimorfos de la sílice. No obstante, la lechatelierita se constituye por sílice amorfa y casi pura (Pasek *et al.*, 2012).

Las fulguritas naturales pueden presentar composiciones y colores diversos, los cuales dependen de la química del protolito y de sus posibles interacciones y reacciones, así como de la difusión química entre las fases en contacto durante la fusión. Estas fulguritas comparten ciertas características morfológicas generales; comúnmente exhiben secciones transversales subcirculares caracterizadas por una cavidad central (abierta, parcialmente cerrada o cerrada) que representan la trayectoria de propagación del rayo en el material de destino (Çalışkanoğlu *et al.*, 2023; Figura 1).

La geometría de la cavidad central puede exhibir morfologías tortuosas, con ramificaciones que reflejan las trayectorias conductoras secundarias a lo largo del eje principal de propagación de la descarga eléctrica. Las superficies externas de las fulguritas natura-

les suelen presentar texturas rugosas y cubiertas parcialmente por restos del material pristino y por cristales fundidos adheridos a la masa vítrea fulgurítica (Çalışkanoğlu *et al.*, 2023).

Las fulguritas han sido halladas en todo el mundo, pero son relativamente raras en relación a los demás materiales terrestres debido a su fácil devitrificación o meteorización en condiciones superficiales. La mayoría de las muestras se localizan en zonas litorales marítimas o desérticas, donde la arena es seca, muy limpia de limo y arcilla y la cobertura vegetal es escasa (Cicconi y Neuville, 2019; Kumar, 2012).

El relámpago es un fenómeno ubicuo en la Tierra, aunque su ocurrencia varía según la región. Las condiciones geográficas ecuatoriales favorecen su frecuencia, con una media de impacto en la superficie terrestre de aproximadamente 65 veces por segundo (Cicconi *et al.*, 2022; Krider *et al.*, 1969; en Block, 2011).

Esta manifestación común es extremadamente energética, y un destello puede disipar $\sim 10^9$ J, incrementando a escala menor

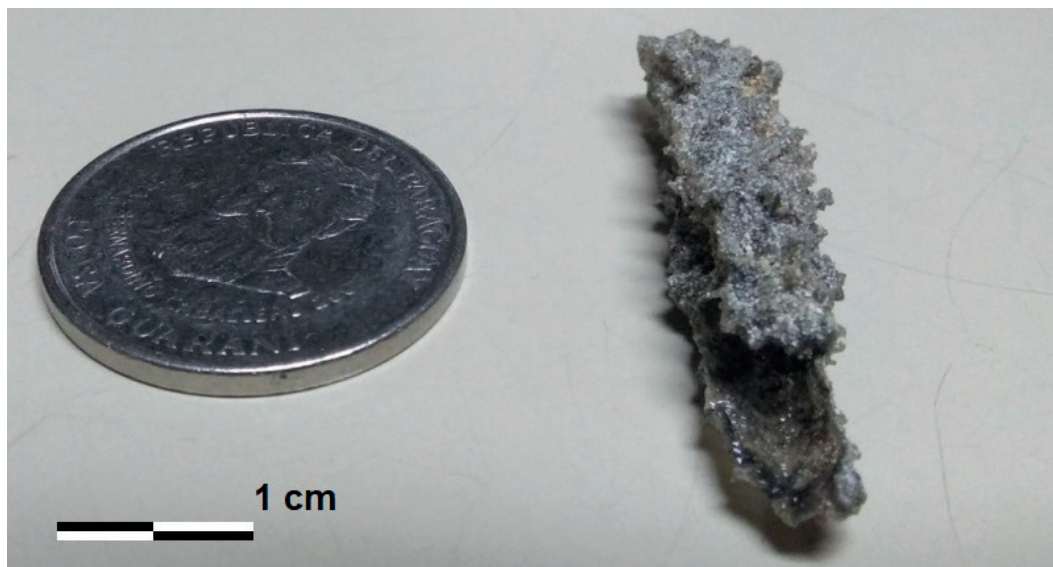


Figura 1 - Fulgurita. Su morfología tubular y de cavidad central explícita, así como su textura externa rugosa.

de milisegundos la temperatura del aire a 10₅ K (99.727 °C). Cuando esta cantidad superlativa de energía golpea el material de superficie, aumenta la temperatura a valores superiores de 1700 °C, lo cual incinera los componentes orgánicos induciendo a la formación de cavidades y vesículas por la liberación de volátiles (Cicconi *et al.*, 2022).

Carl Ege, del Servicio Geológico de Utah (EE.UU) advirtió que todos los relámpagos que impactan la superficie conllevan el potencial de formar fulguritas. Se requiere una temperatura de 1800 °C para fundir instantáneamente la arena y que luego de cuestión de muy escaso lapso se configure una fulgurita (la temperatura de la mayoría de los rayos, en promedio, alcanza los 2500 °C) (Viemeister, 1983; Kumar, 2012).

Cicconi *et al.* (2022) clasifican las fulguritas en cinco tipos según el criterio de composición química y estructura: del *Tipo I*, formadas en arenas, que contienen uno o más fundidos donde prevalece la lechatelierita acompañada por Al₂O₃ y/o FeO; *Tipo II*, presenta una porción de vidrio con mayor espesor en relación al Tipo I, la composición del vidrio es variada (<50% lechatelierita) debido a su formación en ambientes con minerales arcillosos y pequeños clastos diversos de líticos; *Tipo III*, consiste en lechatelierita y vidrios feldespáticos con calcita en matriz; *Tipo IV*, de material heterogéneo y parcialmente vitrificados de rocas y granos minerales. Se originan en lugares rocosos; *Tipo V*, son pequeñas gotas que presentan una matriz vítrea homogénea. Los dos óxidos principales contenidos en estas gotículas de tipo V son SiO₂ y K₂O, los cuales se encuentran enriquecidos en relación a la fulgurita de origen, mientras que otros óxidos se encuentran empobrecidos.

El tamaño de las fulguritas puede variar de centímetros hasta metros. El hallazgo del ejemplar de mayor extensión jamás excavada se realizó en Camp Blanding, en las cercanías de Starke, Florida Central en

1996. Dicho descubrimiento fue llevado a cabo por un equipo de investigadores de la Universidad de Florida, dirigido por el profesor Martin A. Uman, experto en descargas eléctricas (Wright, 1998; Pasek, 2012; Pasek y Hurst, 2016; University of Florida, 2017).

La fulgurita excavada presentaba tres ramificaciones principales, de aproximadamente 4,8 m, 4,3 m y 2,4 m de longitud, respectivamente. Este hallazgo fue reconocido por el Guinness World Records como la fulgurita excavada de mayor tamaño documentada a nivel mundial. Para su localización y extracción, el equipo empleó excavaciones manuales complementadas con radar de penetración terrestre (Wright, 1998; University of Florida, 2017).

La isla Yacyretá

Luego de Apipé Grande (las islas Apipé conforman un archipiélago fluvial, con una isla que sobresale por mucho entre las demás por sus dimensiones, y que pertenecen al territorio argentino) según Fontana (2008), la isla Yacyretá se constituye en la segunda de mayor dimensión en esa región del río Paraná. Se despliega espacialmente en forma triangular arqueada, con una superficie aproximada de 85 km² y cuyo eje máximo mide aproximadamente 29 km en sentido este-oeste (Figura 2).

El borde sur-sureste de la isla delinea sus costas con el embalse de la represa; en su norte con el brazo del río denominado *Aña Cua*, que proviene de la hidroeléctrica y que comparte con los extremos sur de los departamentos de Misiones e Itapúa en Paraguay; en el sector sur-suroeste de la isla es rodeada por el brazo *San Jose mi* del río y que comparte costas con las islas Apipé de Argentina.

A partir del segmento ecuatorial imaginario que divide a la isla en dos, la porción norte presenta una mayor cobertura vege-

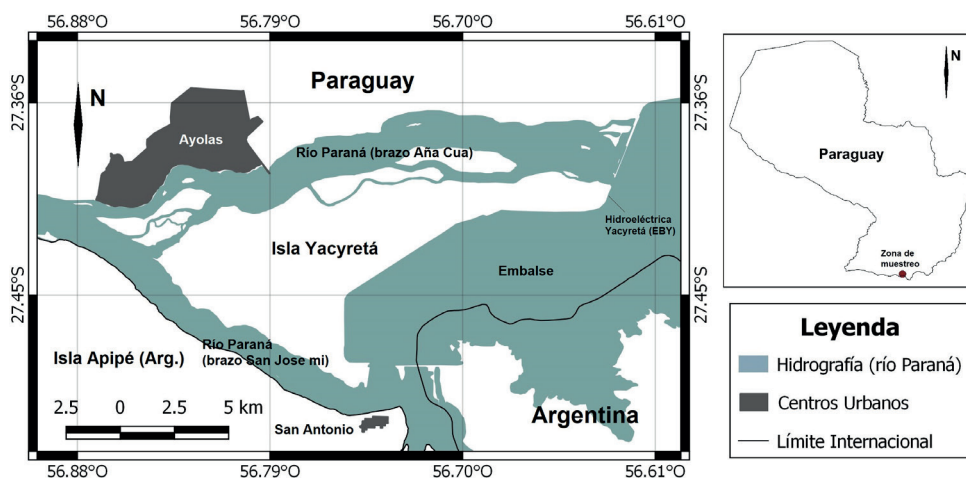


Figura 2 - Contexto geográfico regional de la isla Yacyretá.

tal, con bosques en galería y un predominio de vegetación acuática de poca altura. En cambio, hacia el sur la vegetación se vuelve escasa o prácticamente nula, dando lugar a extensos descampados arenosos de origen eólico, aislados entre sí. Mediante imágenes satelitales también fue posible identificar paleocauces en la zona central de la isla.

Actualmente, el remanente de la Isla Yacyretá se conforma por: zona de seguridad de presa y central hidroeléctrica, zona de reserva, zona del Proyecto Aña Cua y zona urbanizada. La cabecera sur de la esclusa de Yacyretá (EBY) descansa estructuralmente sobre el borde oriental extremo de la isla, en la zona de seguridad de presa y central hidroeléctrica.

El marco geológico

El río Paraná data del Cenozoico Superior, de 3 a 4 millones de años. Se lo incluye entre los nueve sistemas fluviales de mayor envergadura a nivel mundial en virtud de su caudal medio anual superior a 17.000 m³/s, con una carga sedimentaria de 112 millones de toneladas al año. Estos megarríos comparten la característica de presentar

un patrón *anabranching*, término próximo a anastomosado, en el cual los brazos fluviales se bifurcan y ramifican en múltiples canales que rodean islas de diversos tamaños y morfologías (Popolizio, 2003; Latrubesse, 2003; Pereira, 2016).

La historia del Alto Paraná (desde su nacimiento en la confluencia de los ríos Paranaíba y Grande en Minas Gerais - Brasil, hasta su confluencia con el río Paraguay en las cercanías de Corrientes-Argentina) señala una sucesión de eventos climáticos con sus respectivas consecuencias durante el Pleistoceno Superior - Holoceno.

En primer lugar, el desarrollo del curso hídrico con su estilo anastomosado - trenzado, concomitante con la generación de depósitos de grava y arena; seguido de una reactivación eólica formando así las dunas y depresiones eólicas, a lo que posteriormente siguió la excavación de la llanura aluvial y los bosques alcanzaron su máximo desarrollo (Latrubesse, 2003).

Los bancos de cauce se forman mayoritariamente por material arenoso transportado y depositado en gran parte como carga de fondo, que emergen hasta aguas bajas o a lo sumo medias, además de presentar un amplio rango de estabilidad espacial y

morfológica y carecer de vegetación. Uno de los procesos de formación de islas es generado por la acción invasora de la vegetación, que consolida la geoforma transformándola en isla, con el incremento de la rugosidad del flujo sobre ella propicia la deposición del material arenoso en suspensión y el acopio de limos y arcillas por acreción vertical sobre su superficie (Pereira, 2016).

Estos materiales clásticos limpios que conforman algunos sectores litorales puntuales del río, barjanes y bancos, provienen de la meteorización de las areniscas eólicas Mesozoicas de la Formación Misiones, unidad geológica así consignada en Argentina, Paraguay y Uruguay (Iriondo, 1993; Proyecto PAR 83/005, 1986), a los que Gómez Duarte (2001) denominó Formación Los Laureles, a la cual describe como los paleosedimentos más recientes del río Paraná, estimando su edad como del Holoceno.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo en el campo

Se han realizado al menos dos viajes con el objetivo de georreferenciar y fotografiar los entornos donde se sabe de la existencia de las arenas vitrificadas. Así también, fue llevado a cabo un muestreo abundante de suelos y vidrios, que posteriormente fueron derivados a los laboratorios pertinentes.

Bibliografía

Para la comprensión de la naturaleza de los materiales terrestres estudiados, fue fundamental el acopio de material bibliográfico, especialmente de publicaciones en revistas científicas, que sirvieron como respaldo en cuanto a los antecedentes, las nociones generales y la descripción de los resultados. Asi-

mismo para la contextualización geológica del sitio investigado.

Análisis de suelo

Una muestra de suelo fue analizada en el Laboratorio de Suelos (Área de Suelos y Ordenamiento Territorial) de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Asunción, por medio del cual se obtuvo información sobre la composición textural y granulométrica de sedimentos asociados a las muestras de fulgurita.

Microscopía electrónica

Se realizó un análisis mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) con el fin de observar la microestructura de la muestra. Para dicho análisis, la superficie fue recubierta con carbón, a fin de minimizar los efectos de acumulación de carga sobre las irregularidades del material. El recubrimiento se efectuó aplicando un voltaje de 4 V durante un lapso de 8 segundos. Las imágenes en modo de electrones secundarios (SE) se obtuvieron utilizando un microscopio electrónico de barrido Coxem CX-200 Plus, operado a 20 kV.

Espectrometría

La composición química se midió en áreas específicas de la muestra mediante un espectrómetro de dispersión de rayos X por energía (EDS) con un detector EDS OXFORD Xplore30.

Cartografía

El mapa fue confeccionado por medio del *software* de libre distribución QGIS 2.18 Las

Palmas, y complementariamente *Google Earth Pro 7.3.6.10201 (64-bit)* para el georreferenciamiento de los lugares de muestreo.

RESULTADOS

El muestreo fue realizado en dos lugares dentro del predio de la Reserva de la Entidad

Binacional Yacyretá, en la isla homónima. El primer punto de muestreo, designado como PM1, localizado en un descampado de la Reserva Natural Yacyretá, según 27.410889°S, 56.699750°O, a 7.5 km hacia el suroeste de la represa (Figuras 3 y 4).

El segundo punto de muestreo, PM2, corresponde a la zona afectada al Proyecto de Maquinización del Brazo Aña Cua, en la

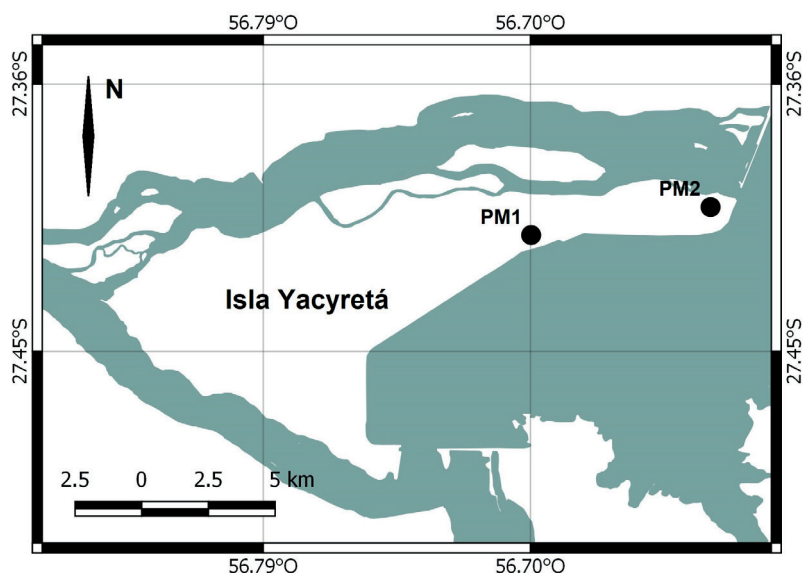


Figura 3 - La isla Yacyretá y los lugares de muestreo.



Figura 4 - Aspecto general del Punto de Muestreo 1. Los fragmentos oscuros en el arenal son en su mayoría los materiales vitrificados.



Figura 5 - Punto de Muestreo 2. Los lugares naturales propensos a generar abundantes vidrios por descargas eléctricas suelen presentar escasa vegetación.

coordenada 27.401455°S, 56.639291°O, casi al extremo del borde oriental de la isla, aproximadamente a 1 km del dique (Figuras 3 y 5).

Análisis textural del suelo

Se ha determinado por medio de un ensayo granulométrico del suelo en el Punto de Muestreo 1 (PM1), que el contenido de los clastos de arena alcanza el 90%, subor-

dinadamente limo con 8% y arcilla con el restante 2%, expresado en el diagrama ternario arena-limo-arcilla (Figuras 6-7).

Este suelo, de tonalidad castaño claro y textura arenosa, fue fulminado por descargas eléctricas en varios puntos, lo cual provocó su metamorfismo en vidrio natural. En consecuencia, proponemos que las fulguritas aquí estudiadas corresponden al Tipo I, de acuerdo con el esquema de clasificación de Cicconi *et al.* (2002).

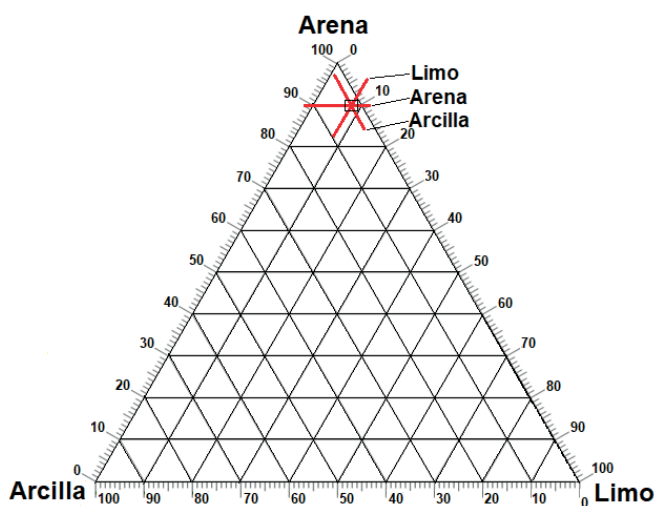


Figura 6 - Diagrama ternario arena-limo-arcilla con el resultado del ensayo de suelo, al cual se lo consigna como un suelo areno-limo-arcilloso.

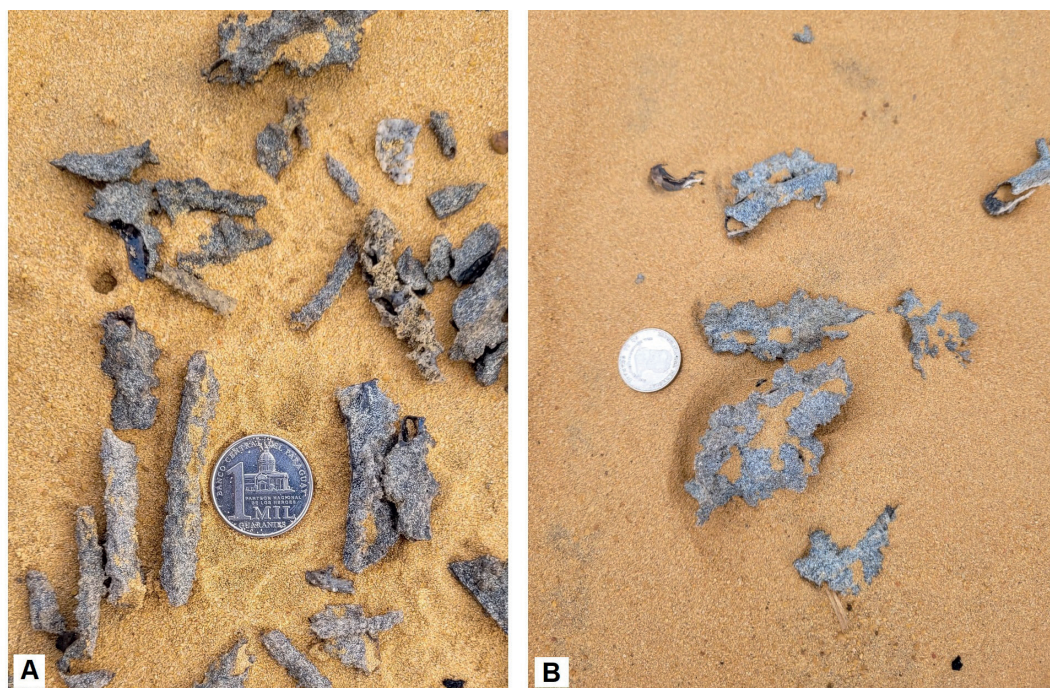


Figura 7 - Yacencia de vidrios dispersos en medio del material arenoso **A.** Fulguritas. **B.** Trizas y cáscaras de vidrio.

Descripción macroscópica del material vitrificado

Se ha comprobado que numerosos vidrios observados y muestreados que yacen en medio de arenas, desarrollaron la estructura propia y característica para identificarlas como fulguritas. Sin embargo, muchas otras, se insinúan longitudinalmente sin alcanzar la configuración de las microbóvedas (Figura 7A). Además advertimos la abundancia de material fragmentado, astillas, trizas y cáscaras amorfas de diferentes tamaños. Una de las costras, según se reconoció en el campo, supera los 30 centímetros; aunque en promedio, incluida las fulguritas, no superan los 5 centímetros (Figura 7B).

Presentan una coloración gris en diferentes tonos y no son opacos. Así también muestran superficies exteriores mayormente rugosas, ásperas y hasta filosas; rígidas, de baja densidad y de paredes milimétricas.

Microscopía

Por medio de la técnica de microscopía de barrido (SEM) observamos el carácter protolítico del sedimento arenoso, el cual se expresa conteniendo clastos angulosos y sub-angulosos (Figura 8).

Posterior a la descarga eléctrica, devino a fulgurita por metamorfismo de alta temperatura. La microestructura cavernosa de la fulgurita resulta notable, así como la recristalización de la arena tras su fusión y posterior solidificación, con formación de gotículas de bordes romos y pérdida de porosidad (Figura 9).

Composición química

La espectrometría de rayos X indica que la fulgurita contiene oxígeno y silicio de 91.6 en porcentaje en peso, a partir de lo

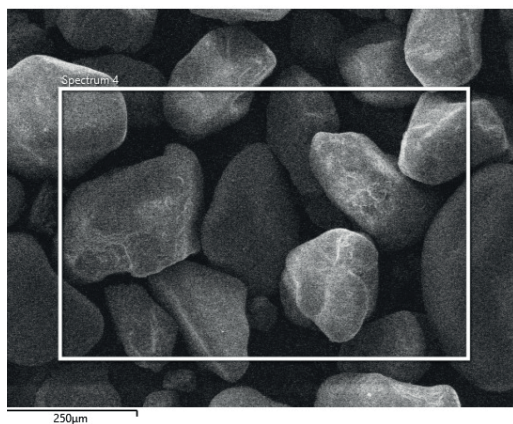


Figura 8 - Clastos de cuarzo como material prístino.

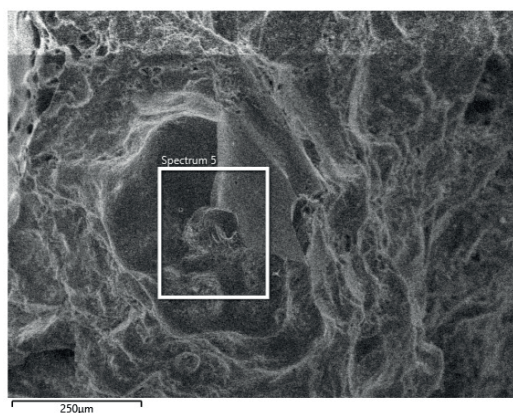


Figura 9 - Material vitrificado como fulgurita.

cual se deduce el carácter silíceo del vidrio en forma de lechatelierita. Este resultado se aproxima al del laboratorio de suelos con su análisis granulométrico. Así también, presentes como accesorios el aluminio y el hierro (Figura 10).

DISCUSION

Como se ha visto en diversos tramos del manuscrito, existen varios tipos de vidrios naturales, y se comunica la existencia de vitrificación de arenas por descargas eléctricas en Paraguay.

Baez (2016) reportó vidrios diapléticos (impactitas) en las cuarcitas chaqueñas del Cerro León; así también en varios lugares al norte de la Región Oriental del Paraguay (Baez *et al.*, 2016). Por lo demás, R. Souberlich (comunicación personal, 2025), asegura haber reconocido material vitrificado en rocas en la zona de Capitán Bado, departamento de Amambay.

Además, el geólogo M. Tondo (comunicación personal, 2018) informó sobre el hallazgo de material vítreo en una cantera de rocas volcánicas alcalinas en la zona de Villa Hayes, el cual fue preliminarmente interpretado como posible obsidiana negra. No obs-

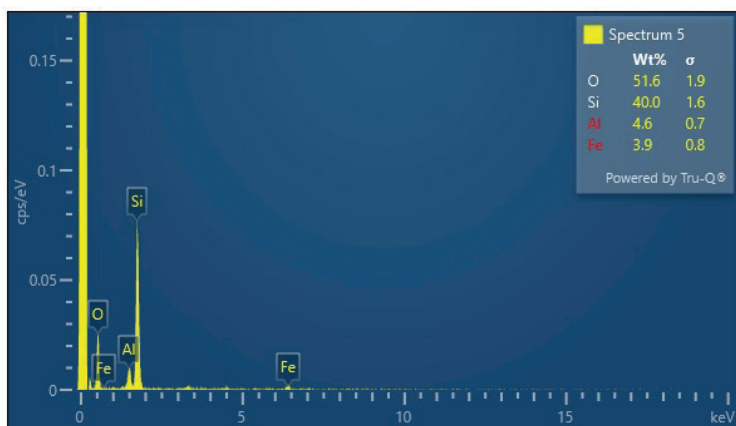


Figura 10 - Espectrograma del análisis químico.

tante, este registro no fue objeto de estudios posteriores ni de avances investigativos que permitieran confirmar su naturaleza.

En la zona de Guairá, lugareños enviaron material audiovisual de un yacimiento de material vitrificado de color verde al margen de un curso hídrico menor. Se solicitó permiso de visita, el cual fue denegado por temor de sabotaje de bienes en su propiedad. Siendo esto así, sólo quedan interrogantes y la conjeturas, que por contexto geológico podría tratarse de taquilitas.

En relación a los vidrios reportados aquí, no sería sorpresa otros hallazgos de este tipo en el país, especialmente en zonas donde la presencia del follaje vegetal es mínima o nula.

CONCLUSIONES

Los materiales vitrificados localizados en la Isla Yacyretá fueron configurados por descargas de paleorelámpagos en dos descampados distintos.

El material sedimentario original fue evaluado como arenoso, y pertenece a la unidad geológica conocida como Formación Los Laureles. En virtud de su carácter granulométrico, se consigna a las fulguritas muestreadas como del Tipo 1.

Entre los vidrios estudiados, existen diversas expresiones geométricas, en la que destacan las fulguritas, con su forma tubular y microestructura cavernosa. Además de las mencionadas, se encuentran en forma de trizas, astillas o cascarras.

AGRADECIMIENTOS

Al Profesor Higinio Moreno, del Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Asunción. Al geólogo Miguel Figueredo, por su participación en las campañas de campo.

BIBLIOGRAFIA

- Arcioni, J. y Giménez, J. (2015). Las fulguritas: los rayos a tierra petrificados y tubulares. *Revista Ingeniería Eléctrica*, 305, 88-95.
- Baez J. (2016). Muy probables mega estructuras de impacto en Paraguay: I-El Chaco most probable mega impact structures in Paraguay: I-Chaco. *Reportes Científicos de la FaCEN*. 7 (1), 5-31.
- Baez J., Fariña S., Larroza F., Rocca M., Alonso R., Acevedo R., Cabral N., Baller L., Zarza P., y Sekatcheff J. (2016). Mega Impact Structures in Paraguay: II - The Eastern Region. *Boletín del Museo de Historia Natural del Paraguay*, 20 (2), 205-213.
- Bindi, L., Feng, T., y Pasek, M. A. (2023). Routes to reduction of phosphate by high-energy events. *Communications Earth & Environment*, 4(1), 70. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00736-2>
- Block, K. (2011). *Fulgurite classification, Petrology, and Implications for Planetary Processes*. Thesis for Master of Science. Department of Planetary Sciences. University of Arizona.
- Bunch, T., Hermes, R., Moore, A., Kennettd, D., Weaver, J., Wittke, J., DeCarli, P., Bischoff, J., Gordon C. Hillman, George A. Howard, David R. Kimbel, Gunther Kletetschka, Lipo C., Sakai, S., Revay, Z., West, A., Firestone, R. and Kennett, J. (2012). Very high-temperature impact melt products as evidence for cosmic airbursts and impacts 12,900 years ago. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(28), E1903-E1912.
- Cicconi, M., Neuville, D. (2019). Natural glasses. *Springer Handbook of Glass*, Springer Handbooks.
- Cicconi, M., McCloy, J., Neuville, D. (2022). Non-magmatic glasses. *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, 87, 965-1014.
- Çalışkanoğlu, A., Camara, A., Cimarelli, C., Dingwell, D., Hess, K. (2023). Experimental generation of fulgurite under realistic lightning discharge conditions. *Scientific Reports*. 13, 11685.
- Elbur, M. (2022). The ancient history of natural glass. *Quest*, 18, 5-7.
- Elmi, Ch., Chen, J., Goldsby, D., Gieré, R. (2017). Mineralogical and compositional features of rock fulgurites: A record of lightning effects on granite. *American Mineralogist*, 102, 1470-1481.
- Ende, M., Schorr, S., Kloess, G., Franz, A., Tovar, M. Shocked quartz in Sahara fulgurite. *European Journal of Mineralogy*, 24, 499-507.
- Fontana, J. (2008). Vegetación y diversidad de ambientes en la Reserva Natural Isla Apipé Grande,

- Provincia de Corrientes, Argentina. *INSUGEO Miscelánea*, 17(2), 407-424.
- Gómez Duarte, D. (2001). Bosquejo geológico de los esteros del Ñeembucu. Informe técnico. *Geología del Paraguay*. geologiadelparaguay.com.py/Bosquejo-GeologicodellosEsteros.pdf
- Holmes, A. (1987). *Geología Física*. Ediciones Omega.
- Huang, W. (1980). *Petrología*. Primera Edición en Español. Mexico DC, Mexico: Unión Tipográfica Editorial HispanoAmericana. 246 pp.
- Iriondo, M. (1993). Geomorphology and late Quaternary of the Chaco (South America). *Geomorphology*, 7(4), 289-305.
- Koeberl, C. (1994). Tektites, impact glasses, and shocked materials: A short review. In Dressler, B. O.
- Kumar, A. (2012). Fulgurite: a unique mineral formed by impact of lightning. *Popular Issue*, V, 1-8
- Latruesse, E. (2003). The Late-Quaternary palaeohydrology of large South-American fluvial systems. En K. J. Gregory & G. Benito (Eds.), *Palaeohydrology: Understanding Global Change* (pp. 193-212). John Wiley & Sons.
- Pasek, M., Block, K. and Pasek, V. (2012). *Fulgurite Morphology: A Classification Scheme and Clues to Formation*. School of Geosciences Faculty and Staff Publications. 617.
- Pasek, M. and Hurst, M. (2016). A Fossilized Energy Distribution of Lightning. **Scientific Reports**, 6, 30586.
- Pereira, M. (2016). *El Río Paraná: geomorfología y morfodinámica de barras e islas en un gran río anabranching*. (Tesis de doctorado). Universidad Nacional de la Plata, Argentina.
- Popolizio, E. (2003). El Paraná, un río y su historia geomorfológica (Tesis de doctorado). Universidad del Salvador, Argentina.
- Proyecto PAR 83/005. (1986). *Mapa Geológico del Paraguay*. Texto. Comisión Nacional de Desarrollo Regional. Ministerio de Defensa Nacional. Asunción, Paraguay. 270 pp
- Rogers, A. (1930). A unique occurrence of lechatelierite or silica glass. *American Journal of Science*, 5, 195-202.
- Switzer, G. and Melson, W. (1972). Origin and composition of fulgurite rock glass. *The Earth Scientist*, 9, 1-12.
- Tar buck, E. y F. Ludgens. (1999). *Ciencias de la Tierra*. 6a Edición. Editorial Prentice Hall. Madrid. España. 736 pp.
- University of Florida (2017). Experts From UF Dig Up World's Longest Solidified Lightning Bolt. *UF*. Recuperado de: [<https://archive.news.ufl.edu/articles/1997/05/experts-from-uf-dig-up-worlds-longest-solidified-lightning-bolt.html>]
- Viemeister, P. (1983). *Petrified lightning*. The Lightning Book. Mit Press.
- Wright, F. (1998). Florida's fantastic fulgurite find. *Weatherwise*, 51, 156-159.

Recibido: 12/12/2025 - Aceptado: 11/03/2026 - Publicado: 10/08/2026