

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA Y MECÁNICA DE UN COLGANTE DE PIEDRA VERDE, DEL SITIO ARQUEOLÓGICO NUEVO CORINTO, COSTA RICA

MINERALOGICAL AND MECHANICAL CHARACTERIZATION OF A GREEN STONE PENDANT, FROM THE ARCHAEOLOGICAL SITE OF NUEVO CORINTO, COSTA RICA

Geraldine Conejo^{1,2,3*}, Andrés Chavarría^{2,4}, Patricia Fernández^{5,6},
Benjamín Acevedo^{5,6}, Óscar A. Herrera^{2,4,7} y Mavis L. Montero^{1,2}

¹Escuela de Química, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica

²Centro de Investigación en Ciencia e Ingeniería de Materiales (CICIMA)
Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica

³Instituto de Investigaciones en Arte (IIARTE), Universidad de Costa Rica,
San José, Costa Rica

⁴Escuela de Física, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica

⁵Escuela de Antropología, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica

⁶Centro de Investigaciones Antropológicas (CIAN) Universidad de Costa Rica,
San José, Costa Rica

⁷Centro de Investigación en Ciencias Atómicas Nucleares y Moleculares
(CICANUM), Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica

*Autor para contacto: gerardine.conejo@ucr.ac.cr

(Recibido: 30/4/2019; aceptado: 06/6/2019)

RESUMEN: Las piedras verdes fueron objetos de gran importancia dentro de las poblaciones precolombinas del territorio costarricense y fueron producidas desde el año 500 a.n.e hasta 900 n.e. El colgante verde en estudio pertenece al Periodo Terminal (700 a 900 n.e.) y fue hallado en el sitio arqueológico Nuevo Corinto (L72-NC), localizado en la zona de "Línea Vieja", en el Caribe Central de Costa Rica. Se determinó la composición mineral del colgante mediante difracción de rayos X(XRD), que permitió clasificarlo como un "jade social", debido a que su componente mineral principal es cuarzo. El estado de conservación de la pieza mostró una baja estabilidad mecánica que se determinó mediante mediciones de pulso ultrasónico, y que se comparó con muestras de jadeíta y de cuarzo, esta baja estabilidad mecánica esta posiblemente asociada a los procesos de meteorización posdeposicionales del sitio donde se localizó la

pieza. A su vez se observaron características morfológicas generales mediante microscopía de luz y de barrido electrónico (SEM), tal como una superficie irregular, en donde los orificios observados presentaron una mayor presencia de Fe y Al, mientras que las superficies lisas tienen una mayor presencia de Si, lo que coincide con los procesos de meteorización observados. Este estudio permitió realizar una clasificación del colgante, así como determinar el estado de conservación de la pieza y sus procesos de meteorización.

Palabras clave: Jade social, piedra verde, caracterización, estabilidad mecánica, procesos de meteorización.

ABSTRACT: The green stones were objects of great importance within the pre-Columbian populations of the Costa Rican territory and were produced from year 500 BCE up to 900 CE. The green pendant studied belongs to the Terminal Period (700 to 900 CE) and was found in Nuevo Corinto archaeological site (L72-NC), located in “Línea Vieja” zone, in Central Caribbean of Costa Rica. The mineral composition of the pendant was determined by X-ray diffraction (XRD), which allowed to classify it as a “social jade” because its main mineral component is quartz. The state of conservation of the piece showed a lower mechanical stability determined by ultrasonic pulse measurements, and compared to samples of jadeite and quartz. This is possibly associated with postdepositional weathering processes of the site where the piece was located. At the same time, general morphological characteristics were observed through a combination of light microscopy and scanning electron microscopy (SEM), such as an irregular surface, where the orifices observed have a mayor presence of Fe and Al, while the smooth surfaces have a greater presence of Si, which is in agreement with the weathering processes observed. This study allowed a classification of the pendant, as well as to determine the state of conservation of the piece and the associated weathering processes.

Keywords: Social jade, green stone, characterization, mechanical stability, weathering processes.

INTRODUCCIÓN

Las poblaciones precolombinas que habitaron el actual territorio de Costa Rica produjeron y utilizaron una variedad de objetos en diversos materiales, que formaron parte de sus actividades cotidianas y ceremoniales (Fernández, 1999). Entre esta importante producción material, destacan los objetos de piedra de color verde, comúnmente llamados en la literatura arqueológica, y de manera genérica, como “jades”. Existe una clasificación específica otorgada a los jades que incluye dos grupos: el “jade geológico” o “jade mineral”, que se limita a las rocas principalmente compuestas por los minerales jadeíta y nefrita (Harlow y Sorensen, 2005); y el “jade social”, que comprende los objetos elaborados en piedra de color verde, blanca o azul (su composición puede variar), cuya característica principal es que comparten técnicas de manufactura y diseños con los objetos hechos con “jade geológico” (Easby, 1968; Lange, 1993).

En este trabajo se utiliza el término antes de nuestra era (a.n.e.) o nuestra era (n.e.), que se refiere a la fecha calendárica convencional

que indican los años anteriores o posteriores al año 1. Además, las fechas por carbono-14 (^{14}C) se expresan en años AP (Antes del Presente) más una desviación estándar. Esta escala equivale al número de años de radiocarbono transcurridos desde la muerte del ejemplar hasta el presente según las mediciones de ^{14}C , que corresponde al año 1950. Cuando las fechas ^{14}C se calibran a 1σ (sigma) (68,26% de probabilidad) o a 2σ (sigma) (95% de probabilidad), se obtiene una fecha calendárica convencional que se expresa como antes de nuestra era o de nuestra era.

En Costa Rica, los objetos de jade fueron utilizados por más de mil años entre las poblaciones precolombinas, desde aproximadamente el año 500 antes de Nuestra Era (a.n.e), hasta aproximadamente el 900 n.e.

De acuerdo con la información arqueológica relacionada con los estilos de representación, así como el tipo de rocas empleadas, se ha establecido una periodización de la manufactura y uso de los objetos de jade: el Período Inicial (desde el 500 a.n.e. hasta el 300 n.e), el Período Floreciente (300 a 700 n.e.) y el Período Terminal (700 a 900 n.e.) (Guerrero, 1998).

El presente estudio se realiza sobre un objeto procedente de la zona del Caribe Central, región que desde finales del siglo XIX fue objeto de excavaciones ilícitas, por lo que son escasos los ejemplares de piezas de jade que se han recuperado por medio de excavaciones científicas. Entre los pocos objetos encontrados, se pueden mencionar los ubicados en las excavaciones en el sitio arqueológico Mercocha, ubicado en Guácimo, de donde procede una figura humana hecha en jade de color azul cuya fecha de ^{14}C corresponde al año 144 n.e.

En la misma región de Guácimo, en el sitio arqueológico Porvenir, se excavaron objetos en forma de cuentas y colgantes pequeños hechos en toba azul turquesa, jade, cuarzo verde y calcedonia, usados como cuentas en collares y pulseras (Stirling y Stirling, 1997). Otro sitio de la región, el Severo Ledezma, ha provisto información contextual y temporal acerca del empleo de objetos en piedras verdes; tal es el caso de una figura en forma de ave hecha en cuarzo verde (Guerrero, 1998), excavada en un área doméstica asociada a la fase cerámica El Bosque (300 a.n.e.- 300 n.e.) (Snarskis, 1981, 2003).

El objeto de este estudio corresponde a un colgante de color verde perteneciente al Periodo Terminal (700 a 900 n.e.), hallado en una de las excavaciones realizadas en 2011 en el sitio arqueológico Nuevo Corinto.

Sitio Nuevo Corinto

El sitio arqueológico Nuevo Corinto (L72-NC), localizado en la zona de “Línea Vieja”, en el Caribe Central de Costa Rica, sector donde se construyó el antiguo ferrocarril al Atlántico, presenta una extensión estimada en dos kilómetros cuadrados, siendo uno de los de mayor extensión que se han documentado hasta en el momento en el Caribe Central de Costa Rica (Fig. 1). La evidencia arqueológica demuestra que este sitio tuvo una ocupación humana a lo largo de 3000 años, sin embargo hay una sección que presenta mayor concentración de arquitectura, donde la ocupación humana tuvo lugar alrededor de los años 700-1100 de n.e., con una declinación de su ocupación hacia el año 1000-1500 de n.e. (Salgado et al. 2013) El sitio cuenta con varias fechas por carbono-14 (^{14}C), que sustentan esta aseveración (Salgado *et al.* 2013).

Desde 1950 la arqueóloga norteamericana Doris Stone realizó trabajos en el área de Línea Vieja, y menciona el hallazgo de piezas hechas en jadeíta en el sitio Nuevo Corinto, así como en otros sitios del área (Stone, 1966). Pese a la información proporcionada por Stone sobre hallazgos de objetos de oro y jade en Nuevo Corinto, en las recientes excavaciones únicamente se ha encontrado el colgante de piedra verde que se analizó en esta investigación, de ahí la importancia determinar su caracterización mineralógica en función del contexto temporal en el que se descubrió.

Si bien es cierto, existen estudios previos que han contribuido a la identificación mineralógica de los jades geológicos y sociales hallados en Costa Rica (Laguna y Kussmaul 1982; Lange et al 1993; Jones, 1998 y Reynoard, 1993), este colgante en estudio generó el interés por conocer no solamente su composición mineral y clasificarlo en “jade geológico” o “jade social”, por medio de técnicas de análisis no destructivas, sino además por estudiar la afectación de los procesos posdeposicionales vinculados a su estado de conservación, relacionados con las condiciones del suelo donde se emplaza el sitio arqueológico.

METODOLOGÍA

Muestra

La pieza en estudio, un colgante de piedra verde almacenado en el Laboratorio de Arqueología Carlos Aguilar Piedra (Centro de Investigaciones Antropológicas, Universidad de Costa Rica), fue recuperada durante la temporada de trabajo de campo del año 2011, en las excavaciones llevadas a cabo en la denominada plaza 2, ubicada en el sector sureste del centro arquitectónico de Nuevo Corinto. En un posible rasgo funerario, a 80 cm bajo la superficie, el colgante estuvo asociado a materiales cerámicos cuyas tipologías corresponden a la fase arqueológica La Unión, entre 700 y 1100 n.e. (Salgado et al., 2013).

En la manufactura del objeto, se empleó la técnica de la talla por abrasión, es decir, por desgaste, con la que se formó una figura zoomorfa

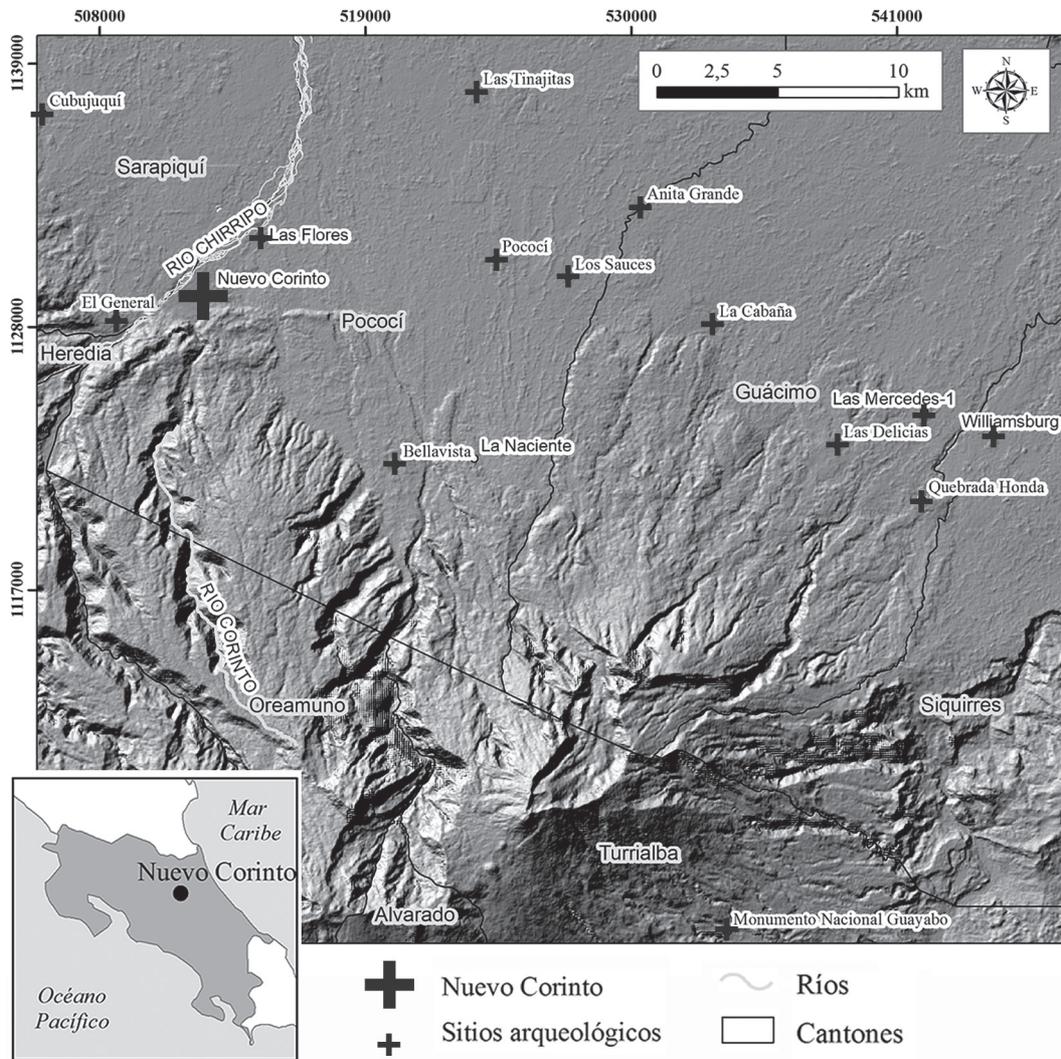


Fig. 1: Ubicación del sitio arqueológico Nuevo Corinto, se observa que el sitio está limitado por los ríos Chirripó y Corinto. Además, se muestra la ubicación de varios sitios arqueológicos aledaños. Fuente: Base de Datos Orígenes, Museo Nacional de Costa Rica. Atlas, Instituto Nacional de Costa Rica, 2014. U. S. Geological Survey National Center for Earth Resources Observation and Science (EROS). Proyección CRTM05. Diseño: Samira Jalet Quesada.

de cuatro patas, de aproximadamente 2.8 cm de largo, sin distinguirse con claridad el tipo de animal representado. En la piedra de color verde, se tallaron las extremidades superiores e inferiores, así como la cabeza, con un delineado que sugiere el hocico y las fosas nasales. En el lugar donde debieran estar ubicados los ojos, se talló un canal tubular, el cual fue diseñado para poder suspender el objeto, ver figura 2.

Técnicas de caracterización

Difracción de rayos x (XRD, por sus siglas en inglés)

Fue realizado utilizando un difractómetro D8 Advance Bruker, con una fuente de $\text{Cu } K\alpha_1\text{-}K\alpha_2$ en una configuración Bragg Bentano y usando un

detector lineal Lynx-eye. Las condiciones medición fueron: 2θ de 5° a 90° , con un incremento de 0.019° y una velocidad de paso de 192 s. Para la radiación de la fuente se usó 40 kV y 40 mA.

Para la identificación de las fases minerales en el patrón de difracción, se utilizó la base de datos PDF-2 del International Centre for Diffraction Data (ICDD). Se comparó el patrón de difracción de rayos X medido con la ficha número 01-085-0457 de la base de datos mencionada, con lo cual se identificó la principal fase mineral observada.

Microscopio de luz

La instrumentación utilizada para realizar las fotografías se llevó a cabo mediante un Estereoscopio Motic SMZ-168 acoplado a una Moticam 2300 de 3.0 MPIXEL. El software

utilizado para realizar las mediciones de distancias fue el Motic Images Plus 3.0.

Microscopía electrónica de barrido con análisis elemental por dispersión de rayos x: (SEM-EDS, por sus siglas en inglés)

Para la toma de las imágenes de microscopía electrónica de barrido se empleó un microscopio electrónico de barrido con presión variable y campo de emisión mediante escaneo ultra FE, marca HITACHI, modelo 3700N, con cámara digital y resolución óptica entre 3 nm y 10 nm. Las mediciones de análisis elemental por dispersión de rayos x (EDS, por sus siglas en inglés) se llevaron a cabo utilizando un equipo de IXRF Systems, modelo 550i, a 15 kV y un ángulo de despegue de 35° , con un tiempo de vida real de 100.0 s.



Fig. 2: Colgante de piedra verde encontrado en el Sitio Arqueológico LNC-72 Nuevo Corinto, A. Fotografía en la región infrarroja (IR) y B. Fotografía en la región visible (Vis), escala en milímetros. (Fotografía realizada por Dr. Eduardo Libby).

Pulso ultrasónico para medición de propiedades mecánicas

El instrumento de medición utilizado para las mediciones de las propiedades mecánicas fue el Pundit®PL-200 de la compañía Proceq®. Particularmente este dispositivo utiliza una técnica no destructiva para evaluar y analizar la estabilidad mecánica de diferentes tipos de materiales. Las mediciones del módulo de Young, habilidad intrínseca de un material para cambiar su longitud al aplicarse alguna fuerza en cierta

dirección, se llevaron a cabo con las siguientes características: ámbito de tiempo para la onda p (10 - 100) μ s y ámbito de tiempo para onda s (100 - 200) μ s. Estas mediciones se realizaron para obtener información del comportamiento elástico de las siguientes muestras: colgante de piedra verde con una densidad de 2700 kg/m^3 (ver figura 3A), muestra de cuarzo con una densidad de 3060 kg/m^3 (ver figura 3B) y muestra de jadeíta (procedente del valle del Motagua, Honduras) con una densidad de 3167 kg/m^3 (ver figura 3C). Estas dos últimas muestras se utilizaron con la

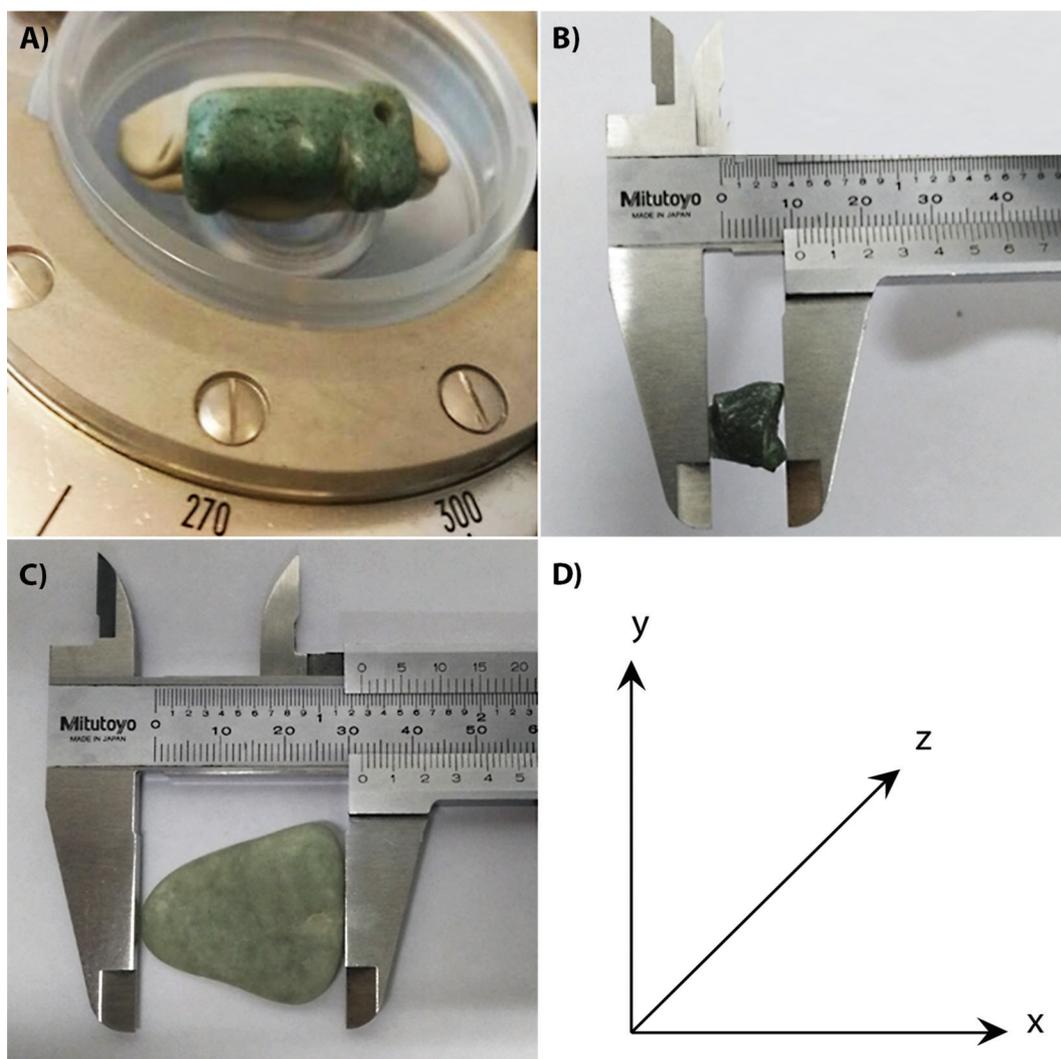


Fig. 3: Descripción de la metodología de medición del Módulo de Young para el colgante de piedra verde (A), muestra de cuarzo (B) y muestra de jadeíta (C). El panel D muestra la orientación definida para las mediciones llevadas a cabo con el módulo de Young.

finalidad de comparar la estabilidad mecánica del objeto de estudio y establecer un parámetro de referencia.

Para las tres muestras descritas anteriormente, la medición del tiempo de duración de la onda acústica (tipo *s* y tipo *p*) se realizó colocando los transductores en las direcciones *x*, *y*, *z* mostradas en la figura 3D. Los transductores fueron colocados de forma perpendicular a las muestras y además se determinó la longitud desde un transductor hasta el otro, utilizando un vernier. Para cada orientación mostrada en el panel D de la figura 3 se realizaron 5 mediciones para todas las muestras de este estudio.

RESULTADOS

Para la caracterización del colgante, se emplearon técnicas de análisis no destructivas. Se determinó la composición mineral mediante difracción de rayos x; por microscopía de luz, se evaluaron las características generales del estado de conservación de la pieza; y mediante microscopía electrónica de barrido con análisis por dispersión de rayos x (SEM-EDS), se obtuvo la composición elemental en varias zonas del colgante; finalmente se realizaron mediciones de pulso ultrasónico para determinar la estabilidad mecánica del mineral por el cual está formando el objeto de estudio, dichas mediciones se pueden asociar al estado de conservación del colgante.

Los análisis físicoquímicos, en primera instancia el patrón de difracción de rayos x (Fig. 4), permitieron establecer que el cuarzo (SiO_2) es el componente mineral principal para este colgante, sin embargo, es posible observar entre 10-20° un pico de difracción ancho asociado posiblemente a material amorfo, el cual podría asociarse a procesos de meteorización del componente principal. Al ser el cuarzo el mineral presente en el colgante, es posible asociar esta pieza con la clasificación de “jade social”.

Una observación más cercana del colgante con microscopía de luz (Fig. 5), permite apreciar con mayor detalle el aspecto de su estado de conservación. Es posible observar cavidades rojizas e incrustaciones blancas sobre todo el cuerpo del

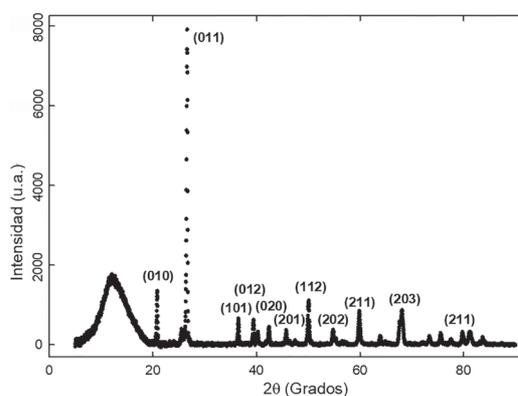


Fig. 4: Patrón de difracción de rayos x del colgante de piedra verde del Sitio Arqueológico Nuevo Corinto. La orientación cristalográfica se indica en los paréntesis (hkl).

colgante, similares a perforaciones (Fig. 5A y 5B). Las cavidades rojizas son del orden de 500 μm aproximadamente (Fig. 5C), mientras las blancas son más pequeñas, en el orden de los 600 μm (Fig. 5D). El material del colgante es claramente no homogéneo, y en consistencia con el patrón de difracción, si bien mayoritariamente es cuarzo, existen incrustaciones de otros materiales, posiblemente constituyentes de la fracción amorfa del mismo. En el caso específico de las incrustaciones blancas, se realizó un mapeo elemental en la zona mediante SEM-EDS, lo que revela la presencia de un mineral con elementos como aluminio y oxígeno, además de la presencia de silicio, sin embargo no es posible identificar el mineral presente únicamente a través de esta técnica.

Tomando en cuenta la heterogeneidad presentada en el colgante tales como la rugosidad y meteorización del material (ver figura 6A), se realizó un mapeo elemental por zonas para determinar la relación de la composición química entre dos tipos de relieves observados en la superficie. El primer tipo de relieve corresponde a los orificios o perforaciones, y el segundo comprende las zonas más planas u homogéneas, tal y como se observa en la figura 6B. La composición química obtenida mediante el mapeo elemental (ver figura 6C), revela un alto contenido de silicio distribuido de manera homogénea por toda el área analizada, asociado a su composición mayoritaria

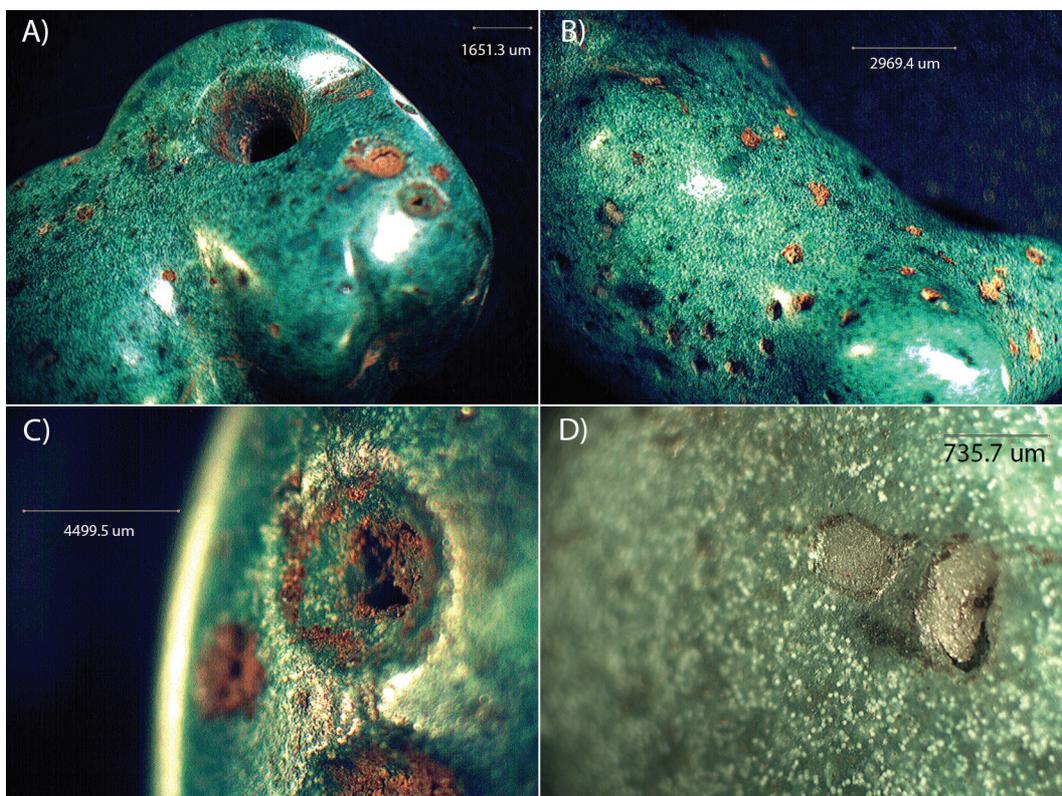


Fig. 5: Fotografías obtenidas en microscopio de luz para el colgante del Sitio Arqueológico Nuevo Corinto. Los paneles A y B muestran el detalle de perforaciones en la parte superior e inferior del colgante. El panel C muestra el detalle ampliado de la perforación de la parte superior observada en A. El panel D muestra la variabilidad de la composición de la muestra estudiada.

de cuarzo, pero existen diferencias importantes en el contenido de hierro y aluminio, siendo mayor la presencia de estos dos últimos elementos dentro de la cavidad.

Es importante destacar la manera en la cual el hierro y el aluminio se complementan, es decir, las zonas oscuras en el mapa de silicio implican una menor concentración de este; mientras que las zonas brillantes que corresponden al hierro y al aluminio indican una mayor concentración de estos elementos; ambos distribuidos dentro de las cavidades de la superficie del colgante a diferencia del silicio que se distribuye en las zonas menos rugosas.

Estas variaciones en la composición del colgante, así como las variaciones superficiales observadas, pueden estar relacionadas con el grado de estabilidad mecánica del objeto analizado. La estabilidad mecánica del colgante

de piedra verde se estudió comparando dos técnicas no destructivas: difracción de rayos x y medición de pulsos ultrasónicos. Como se muestra en figura 4, el patrón de difracción de rayos x tiene señales a diferentes ángulos, los cuales pueden estudiarse para obtener información acerca de su ordenamiento estructural. Lo anterior debido a que imperfecciones en el cristal y distorsiones inducen a un ensanchamiento de las señales características observadas en el patrón. De esta manera, para cada índice de Miller mostrado en la figura 4, se estimó la anchura a media altura (FWHM, por sus siglas en inglés) y además se siguió un procesamiento de datos muy similar al utilizado por los estudios de Venkateswarlu, (2012) y Yogamalar, (2009).

En la figura 7 se muestra la dependencia del ángulo de difracción ponderado con el ancho de banda físico β para cada señal expresado en unidades del vector de difracción en función

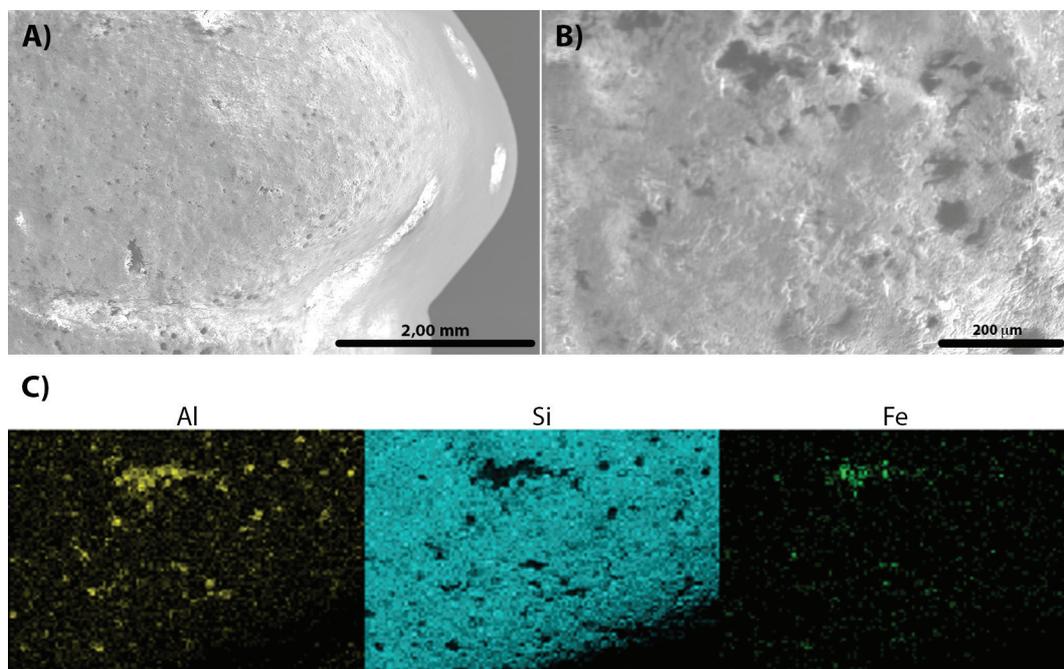


Fig. 6: A. Fotografía del estado de la superficie del colgante tomada en microscopio electrónico de barrido a 20.0 kV. B. Detalle de las variaciones de la superficie del colgante. C. Mapeo elemental para los elementos de silicio, hierro y aluminio.

del ángulo de difracción (estas estimaciones no presentan unidades). Como se puede apreciar, la dispersión de estos datos es grande, no obstante, al realizar un ajuste lineal se obtiene un valor de la constante de elasticidad de la red $\varepsilon \cong 3 \times 10^{-4}$. Con este valor y asumiendo un modelo de deformación uniforme de esfuerzo, es posible estimar el módulo de Young utilizando la Ley de Hooke para deformaciones pequeñas. Por tanto, utilizando esta información del patrón de difracción en conjunto con constantes elásticas y constantes de red del cuarzo (SiO_2), se obtiene que el módulo de Young estimado es de aproximadamente 0,027 GPa. Como estas mediciones fueron realizadas en la dirección y, véase figura 3D, entonces este valor se debe comparar con el obtenido con el transductor acústico en la misma dirección, que corresponde al valor de 0,02 GPa.

En la figura 8 se muestran las mediciones para el colgante de piedra verde, la muestra de cuarzo y la jadeíta, utilizando el transductor acústico. La restricción en la medición del módulo de Young con respecto a la distancia viene dada

por las dimensiones de cada pieza. No obstante, es posible observar tendencias y comparaciones para las muestras estudiadas.

DISCUSIÓN

El colgante de piedra verde de Nuevo Corinto corresponde al denominado Periodo Terminal, que se caracteriza por la escasa presencia de objetos de piedras verdes y por ser la mayoría de los objetos producidos durante este período de tamaño pequeño a partir de cantos o piedras rodadas de los ríos de la zona (Salgado et al., 2013; Salgado y Guerrero, 2005). La composición del cuarzo obtenido en el colgante en estudio coincide con el hecho de una manufactura a partir de un canto rodado, de pequeñas dimensiones, que bien pudo provenir de los ríos que rodean el asentamiento o de otros drenajes de la región Caribe, los cuales pueden acarrear en sus aguas, rocas de diversas composiciones,

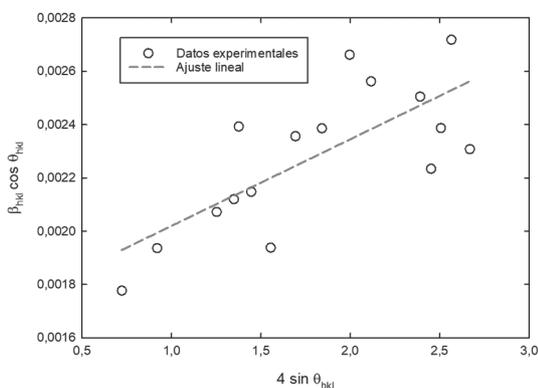


Fig. 7: Modelo Williamson-Hall para los datos experimentales obtenidos por medio de difracción de rayos x, ver Figura 4. La línea discontinua corresponde a un ajuste lineal en donde el coeficiente de determinación es de aproximadamente $R^2 \cong 0,51$.

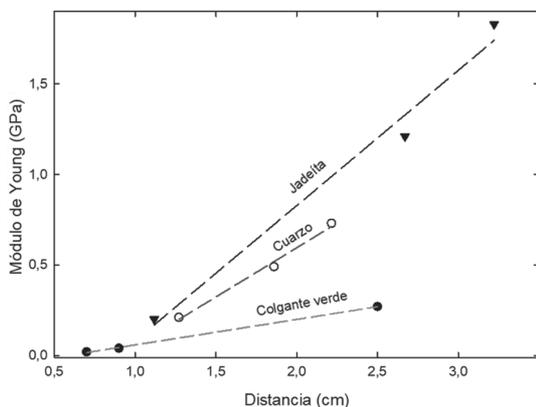


Fig. 8: Módulo de Young como función de la distancia para los diferentes objetos estudiados. Las líneas discontinuas corresponden a un ajuste lineal efectuado como guía para el ojo para las muestras jadeíta, cuarzo y colgante verde, respectivamente.

génesis y colores, asociadas al vulcanismo de la Cordillera Volcánica Central.

Las observaciones por microscopía de luz y de barrido electrónico son claras en cuanto a que el colgante no es liso, ni homogéneo, debido a que existen múltiples perforaciones rojizas e incrustaciones blancas, posiblemente asociadas al desgaste ante el paso del tiempo y las condiciones climáticas del sitio. Las perforaciones están relacionadas con una composición química rica en hierro, aluminio, potasio, sodio, y titanio. El mapeo de

composición química refuerza la idea de la heterogeneidad en la distribución de la composición química, en donde la concentración de hierro y aluminio se localiza en ciertas zonas específicas, que coinciden en su mayoría con las cavidades de la superficie.

El sitio arqueológico Nuevo Corinto se encuentra emplazado en una zona que se caracteriza por la presencia de terrazas aluviales y antiguos cauces, los cuales fueron rellenados por arcillas y arenas. Una característica de estos ambientes aluviales es la presencia de niveles someros de aguas subterráneas, que varían en profundidad a lo largo del año, éstas normalmente llegan a mezclarse con el agua de las precipitaciones. Esta mezcla de aguas provoca que se formen niveles con alta presencia de óxidos de hierro, que incluso pueden llegar a observarse como láminas, debido a la alta concentración del mineral (Reading, 1996). En este contexto, el colgante estuvo enterrado por cerca de mil años.

La presencia de hierro puede estar asociada a la composición rica en óxidos de hierro de los suelos del sitio de la excavación; y el aluminio, a la presencia de aluminosilicatos, como producto de la meteorización, aunque no se puede descartar que fueran parte de la composición original. La heterogeneidad del material original y el paso del tiempo, permitieron un desgaste localizado, en sitios cuya composición fue reactiva ante las condiciones ambientales de humedad, pH de los suelos y presencia de óxidos de hierro.

La estabilidad mecánica del colgante de piedra verde fue medida y comparada con las muestras de jadeíta y cuarzo, que se emplean como muestras de referencia para establecer y comparar la estabilidad mecánica. La determinación de la estabilidad mecánica se realizó mediante dos técnicas no destructivas: difracción de rayos x y transductor acústico.

El valor del módulo de Young de 0,027 GPa, que se obtuvo utilizando el modelo de Williamson-Hall para la única dirección de medición que es posible relacionar, es comparable para las dos técnicas. Lo anterior es destacable pues utilizando este modelo es usual obtener inclusive desviaciones del comportamiento lineal (es decir, el coeficiente de determinación) mayores al obtenido en nuestra

investigación. Además, utilizando el transductor acústico se realizaron mediciones con otras piezas para comparar los valores obtenidos del módulo de Young con el colgante de piedra verde. Nótese que el valor obtenido para el colgante de piedra verde es mucho menor que el de las muestras de cuarzo y de jadeíta. Lo anterior es debido, probablemente, a lo descrito antes sobre el proceso de meteorización de la pieza a través de los años. Asimismo, el cambio en las características mecánicas del colgante puede estar relacionado con el proceso de manufactura utilizado para llevar a cabo la pieza, así como con las condiciones particulares, por ejemplo, temperatura, radiación electromagnética, etc., del sitio donde se encontraba. No obstante, es importante enfatizar que las propiedades mecánicas de este tipo de muestras pueden ser utilizadas como variable para posibles estudios de datación, pues es bien conocido que la estabilidad mecánica es función del tiempo, así como de otros factores.

CONCLUSIONES

Los análisis realizados permitieron determinar que la composición mineral del colgante es cuarzo. A su vez, permitieron clasificar al objeto de estudio como un “jade social”, lo que coincide con el Período Terminal al cual pertenece el colgante y, por tanto, con las características del material empleado para su producción.

Además, fue posible establecer el estado de conservación actual del colgante a través de las mediciones de pulso ultrasónico, donde se obtuvo un valor de Módulo de Young menor para el colgante en comparación con una muestra de cuarzo. Esto dejó en evidencia la variación en la estabilidad mecánica del colgante y su relación con la heterogeneidad y orificios presentes en el objeto.

A su vez, se estableció que los posibles procesos de meteorización están relacionados con la presencia de óxidos de hierro y aluminio, los cuales podrían estar asociados con las características geológicas donde se encontró la pieza.

La investigación realizada permitió establecer características generales de composición y

de estado de conservación de un colgante verde del Período Terminal mediante el uso de datos científicos y cuantitativos obtenidos a través de técnicas no destructivas.

AGRADECIMIENTOS

A la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica por el apoyo para llevar a cabo este trabajo de investigación. Se agradece a todas y todos los colaboradores del proyecto Nuevo Corinto, sitio donde se encontró la pieza en estudio. Al Dr. Eduardo Libby por su valiosa colaboración con las fotografías de la piedra verde y a la geógrafa Samira Jalet Quesada por el diseño y creación del mapa de ubicación del Sitio Nuevo Corinto.

REFERENCIAS

- Easby, E. (1968). *Pre-Columbian Jade from Costa Rica*. New York: André Emmerich, Inc.
- Fernández, P. (1999). Símbolos de prestigio y expresiones de rango en la Costa Rica Precolombina. En Museo del Oro (ed.), *Oro y Jade: emblemas de poder en Costa Rica* (pp.38-66). Bogotá: Panamericana Formas e Impresos.
- Guerrero J. V. (1998). The Archaeological Context of Jade in Costa Rica. En J. Jones (ed.), *Jade in Ancient Costa Rica* (pp. 23-77). New York: The Metropolitan Museum of Art.
- Harlow, G. E. y Sorensen, S. S. (2005). Jade (Nephrite and Jadeite) and Serpentine: Metasomatic Connections. *International Geology Review*, 47, 113-146.
- ICDD (2007). *PDF-2 2007 (Database)* (edited by Dr. Soorya Kabekkodu). Newtown Square, PA, USA: International Centre for Diffraction Data.

- Jones, J. (1998). Checklist of the Exhibition. En Jones, J. (ed.), *Jade in Ancient Costa Rica* (pp.112-125). Rhode Island: Metropolitan Museum of Art.
- Laguna, J. y Kusssmaul, S. (1982). *Análisis de la colección de jades del Instituto Nacional de Seguros*. San José: Museo del Jade. Manuscrito inédito.
- Lange, F., Bishop, R.L. y van Zelst, L. (1993), Perspectives on Costa Rican jade: Compositional análisis and cultural implications. En F.W. Lange (ed.), *Pre-Columbian Jade. New Geological and Cultural Interpretations* (pp.167-175). Utah: Univ. Utah Press.
- Reading, H. G. (1996). *Sedimentary environments: Processes, facies and stratigraphy* (3ra ed.). Oxford: Wiley-Blackwell.
- Salgado, S. y Guerrero, J. V. (2005). La distribución de la jadeíta en Centroamérica y su significado social. *Cuadernos de Antropología*, 15, 53-64. Recuperado de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/antropologia/article/view/10761>
- Salgado, S., Hoopes, J., Aguilar, M. y Fernández, P. (2013). *El Sitio Nuevo Corinto (L-72-NC): una aldea cacical*. Recuperado de <https://www.antropologia.fcs.ucr.ac.cr/index.php/2-uncategorised/30-proyecto-de-investigaciones-del-sitio-nuevo-corinto-l-72-nc>
- Snarskis, M. (1981). The Archaeology of Costa Rica. En The Detroit Institute of Arts (ed.), *Between Continents, Between Seas: Precolumbian Art of Costa Rica* (pp.15-84). New York: The Harry N. Abrams.
- Snarskis, M. (2003). From Jade to Gold in Costa Rica: How, Why, and When. En J. Quilter y J. Hoopes (eds), *Gold and Power in Ancient Costa Rica, Panama and Colombia* (pp. 159-204). Washington D.C: Dumbarton Oaks Research Library and Collection.
- Stirling, M. y Stirling, M. (1997). *Investigaciones arqueológicas en Costa Rica*. San José: Imprenta Nacional.
- Stone, D. (1958). *Introduction to the Archaeology of Costa Rica*. Edición revisada. San José: Museo Nacional de Costa Rica.
- Venkateswarlu, K., Sreekanth D., Sandhyarani, M., Muthupandi, V., Bose, A. C. y Rameshbabu, N. (2012). X-Ray Peak Profile Analysis of Nanostructured Hydroxyapatite and Fluorapatite. *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*, 2(6), 389-393.
- Yogamalar, R., Srinivasan, R., Vinu, A., Ariga, K., Bose, A. C. (2009). X-ray peak broadening analysis in ZnO nanoparticles. *Solid State Communications*, 149(43-44), 1919-1923.

