

Análisis de Colecciones de Petroglifos Purépechas Antiguos con Descriptor de Forma Contextual

Analyzing Ancient Purépecha Petroglyphs Collections with Contextual Shape Descriptor

Aron Hernandez-Trinidad¹, Armando Perez-Crespo², Ricardo Espinosa-Thirion¹, Rafael Guzman-Cabrera², Teodoro Cordova-Fraga¹

¹División de Ciencias e Ingenierías, Universidad de Guanajuato campus León, Loma del Bosque 103, Lomas del Campestre, 37150 León, GTO, México

²División de Ingenierías, Universidad de Guanajuato campus Irapuato-Salamanca, Carretera Salamanca-Valle de Santiago, km. 3.5 + 1.8. Comunidad de Palo Blanco, 36885, Salamanca, GTO, México
aron.hernandez@ugto.mx¹

Resumen

Este artículo presenta un enfoque original para el análisis de petroglifos purépechas basado en una colaboración interdisciplinaria entre visión por computadora y arqueología. Este trabajo se guía por las necesidades realistas de los arqueólogos y académicos que necesitan de manera crítica apoyo para las tareas de búsqueda y recuperación de colecciones de imágenes purépechas antiguas. Primero, se presenta una descripción general del enfoque interdisciplinario hacia la mejora de la documentación, el análisis y la preservación de los datos pictográficos purépechas. En segundo lugar, se muestra una evaluación objetivo del desempeño del descriptor de forma contextual en tareas de recuperación de imágenes, utilizando una colección de 14 imágenes de petroglifos purépechas. En general, el enfoque aquí propuesto es prometedor, ya que mejora el rendimiento en la tarea de recuperación y puede ser validado desde un punto de vista epigráfico y tiene el potencial de ofrecer conocimientos novedosos en arqueología y soluciones prácticas para el ámbito académico.

Palabras clave: Patrimonio cultural, imperio purépecha, recuperación de imágenes, descriptor de forma, arqueología, epigrafía

Introducción

El análisis de materiales históricos de gran valor mediante tecnologías digitales representa un ámbito de estudio interdisciplinario de gran relevancia para la sociedad en su conjunto (Vicent & Torruella, 2015). Los algoritmos de reconocimiento visual automáticos y semiautomáticos, incorporados en las herramientas de búsqueda y exploración, pueden agilizar considerablemente el quehacer cotidiano de académicos de las humanidades y las artes, incluyendo a historiadores, arqueólogos, antropólogos, lingüistas, conservadores y fotógrafos. Estos profesionales a menudo necesitan consultar, anotar y catalogar documentos visuales o imágenes capturadas. Además, los algoritmos de visión por computadora tienen el potencial de generar nuevos conocimientos al identificar y descubrir patrones y conexiones dentro y entre elementos de una colección digital, enriqueciendo así las teorías existentes en las disciplinas humanísticas (Brarda, 2018). Por último, la búsqueda y navegación visual podrían fomentar la creación de sistemas educativos valiosos tanto para expertos como para el público en general.

El Imperio Purépecha, también conocido como el Reino de los Purépechas o Tarascos, fue una antigua civilización precolombina que floreció en lo que hoy es el estado mexicano de Michoacán, así como en algunas regiones de los estados colindantes (Carot, 2008). Su apogeo tuvo lugar durante el Posclásico Tardío, aproximadamente entre los siglos XII y XVI d.C. Los petrograbados, por otro lado, son un importante aspecto del legado artístico y cultural de los purépechas. Estas son inscripciones o grabados hechos en rocas, particularmente en el sitio arqueológico de Tzintzuntzan, que era la capital del Imperio Purépecha (Hernández Díaz, 2011). Los petrograbados purépechas incluyen símbolos, figuras humanas, animales y elementos decorativos, y ofrecen valiosa información sobre la cosmología, la religión y la vida cotidiana de esta civilización. Estas representaciones grabadas en piedra han sido fundamentales para los arqueólogos y los estudiosos en su comprensión de la cultura y la historia de los purépechas.



El presente artículo contiene dos contribuciones. Primero, se describe el enfoque interdisciplinario, que apunta a desarrollar técnicas automatizadas para trabajar en una serie de problemas relacionados con el análisis, documentación y preservación de datos pictográficos purépechas, tareas que hasta nuestro conocimiento no han sido intentadas previamente y que integran el trabajo en visión por computadora y arqueología. Segundo, analizamos el Descriptor de Forma Contextual (DFC), este descriptor de forma se ha utilizado con éxito en el procesamiento de imágenes y visión por computadora. Se basa en describir y comparar formas en imágenes digitales, ya que representa la información espacial de los puntos de contorno de una forma en relación con otros puntos de contorno. Es decir, mide la distribución de los puntos de contorno alrededor de cada punto de referencia en una forma.

Nuestro método propuesto se evalúa en el contexto del análisis automático de petrograbados purépechas, que constituyen una de las principales manifestaciones del arte rupestre antiguo. Se muestra que el DFC es una metodología prometedora para manejar los petrograbados, que son muy desafiantes por naturaleza (vestigios pintados o grabados sobre rocas) debido a la complejidad y amplia variedad de su contenido pictórico. Además, se muestra que el método conduce a una representación más robusta y computacionalmente eficiente de las formas de los grabados.

Marco histórico del pueblo tarasco-purépecha

El imperio purépecha, se consolidó entre los siglos XV y XVI d.C. como parte de los fuertes grupos culturales del México antiguo, en su fase posclásica; esta sociedad se desarrolló además con una destacada resistencia al imperio mexica del altiplano central mexicano, logrando así su autonomía territorial. Dentro de la cosmovisión purépecha, se tiene la manera como perciben la ocupación de su territorio, y cómo influye este en su concepción religiosa, de ello el padre Francisco Ramírez en su obra *Relación sobre la residencia de Michoacán*, en palabras de Vargas Uribe (2018, págs. 112-113) y de *Monumenta Mexicana* (1959) en Le Clezio (1986), se tiene que la división del territorio se ha determinado en “mano derecha” y “mano izquierda”, y sustentado en el mito de la creación del mundo cuadripartita; expresado por el mismo autor como sigue:

Habiendo destruido por tres veces el mundo y a los hombres, los hombres deciden rehacer el mundo por cuarta vez: “Y, para tornar a restaurar las demás cosas, mandaron al dios del infierno que diese orden de eso. Y concibiendo su mujer, vino a parir todas las demás plantas y árboles, como están. Lo cual todo, decían, salía de las espaldas de una diosa que los dioses pusieron en la tierra, que tenía la cabeza hacia el poniente, y los pies hacia oriente, y un brazo a septentrión, y otro a meridión. Y el dios del mar la tenía de la cabeza, y la madre de los dioses de los pies, y otras dos diosas, una de un brazo y la otra de otro, para que no se cayese”.

Continuando; el imperio purépecha tuvo en el asentamiento llamado Tzintzuntzan junto al gran lago de Pátzcuaro, su última capital administrativa, siendo un asentamiento edificado mediante amplias terrazas y grandes plataformas que se acomodaron en las laderas de los cerros Yarahuato y Tariácueri, identificando espacios rituales dispuestos en plazas y en los basamentos piramidales denominados yácatas (Mediateca INAH, 2023); las cinco yácatas existentes poseen una planta mixta en forma de T, alusiva a lo mencionado con la diosa de la tierra, cuya orientación en el conjunto ceremonial, pareciera ser un cuerpo antropomorfo cuya cabeza apunta a poniente, y sus extremidades (los brazos) hacia el norte y el sur, Punzo (2018, pág. 136) citado por Martínez Vázquez, Punzo Díaz, & Valdés Herrera (2020, pág. 20). De los materiales utilizados en las pirámides, un estudio realizado por Hernández Díaz (2006, p. 197) en el año 2000, registra y ratifica la presencia de lajas grabadas o en bajorrelieve, la mayoría geométricas llamadas *janamus* -en purépecha-, piedras de basalto pulidas y cortadas con precisión en ángulos rectos y formas rectangulares, cuyas medidas promedio son de 45x32 centímetros y espesor de 15, actualmente visibles a manera de revestimiento de piezas aisladas, en los paramentos de las yácatas y del exconvento franciscano en la localidad; siendo entonces, los *janamus* desde el punto de vista histórico para el exconvento, un material de reúso ratificado por López García (2013, pág. 114):

[...] la reutilización de los aparejos prehispánicos debió ser en principio una opción de optimizar recursos, para la construcción del ex convento de Tzintzuntzan, seguramente el traslado de los aparejos provenientes de las yácatas debió ser una medida viable en la obtención de materiales de construcción.



De lo anterior, ciertos *janamus* referidos en el presente estudio están ubicados en el exconvento, cuya ornamentación puede ser variada, con un solo motivo, sencillo o elaborado, y otras con diseños separados, en su mayoría abstractos, en categorías básicas: espiral, círculo, líneas onduladas alargadas, reticulado, geométrico-figurativo (flor, estrella) y antropomorfo (Hernández Díaz, 2006, págs. 204-205); por lo que se percibe en los grabados líticos, una asociación sintética de la cosmovisión con su medio territorial natural.

Proyecto interdisciplinario

La invención de la escritura fue un acontecimiento poco común en la historia del mundo, del que sólo se tuvo testimonio en cinco ocasiones diferentes: en Egipto, el valle del Indo, Mesopotamia, China y América. De una forma u otra, todos los demás sistemas de escritura derivan de estas regiones. Los petrograbados purépechas datan de muchos siglos anteriores y relatan eventos de tipo mítico, calendárico, propiciatorio y astronómico. Estos grabados o inscripciones en piedra realizados por la antigua civilización purépecha, en lo que hoy es el estado mexicano de Michoacán (Morales, 2016). Estas inscripciones son una forma de arte rupestre que se encuentran en varios sitios arqueológicos purépechas, siendo Tzintzuntzan uno de los lugares más destacados. Representan símbolos, figuras humanas, animales y elementos decorativos. Los grabados proporcionan valiosa información sobre la cultura, la religión, la cosmología y la vida cotidiana del pueblo purépecha en la antigüedad. En la Figura 1, se muestran algunos grabados purépechas utilizados en el método propuesto.



Figura 1. Petrograbados purépechas. Testimonio importante de la rica herencia cultural de esta civilización precolombina. Fuente: Elaboración propia.

El objetivo de este proyecto es la aplicación de tecnología de visión por computadora para respaldar el desciframiento de los petrograbados purépechas, por lo que, como resultado de esta fusión entre los estudios del patrimonio tecnológico y cultural, se espera obtener una variedad de herramientas de investigación hechas a medida para satisfacer las tareas específicas de la arqueología (Robles Ruiz). Una de estas herramientas útiles abordaría unas de las necesidades más importantes del desciframiento moderno: desarrollar un catálogo de petrograbados más refinados y actualizados que podría actualizarse periódicamente, con la capacidad de incorporar aportaciones de múltiples académicos que trabajan en descifrar los grabados.

Metodología Propuesta

El presente trabajo consta de 14 imágenes de petrograbados purépechas obtenidas en Tzintzuntzan, Michoacán. La identificación precisa de los contornos de la imagen es esencial, pero algunos grabados están erosionados por el paso del tiempo, en otras, la forma no es muy clara, por lo que se ha realizado una fase de procesamiento de las imágenes con el objetivo de mejorar sus características y el DFC pueda identificar los bordes y contornos de forma rápida, concisa y concreta (Tepper, 2011). Este proceso involucra la aplicación de dos periodos de filtrado digital, con la finalidad de mejorar las características de la imagen y detectar los contornos de ésta. El primero consiste en aplicar filtros de detección de bordes para realzar los contornos y mejorar la calidad de la imagen. En la Figura 2, se ilustra los diferentes tipos de filtrados a la imagen original para mejorar la identificación del grabado (Oltra & Mellado, 2008).

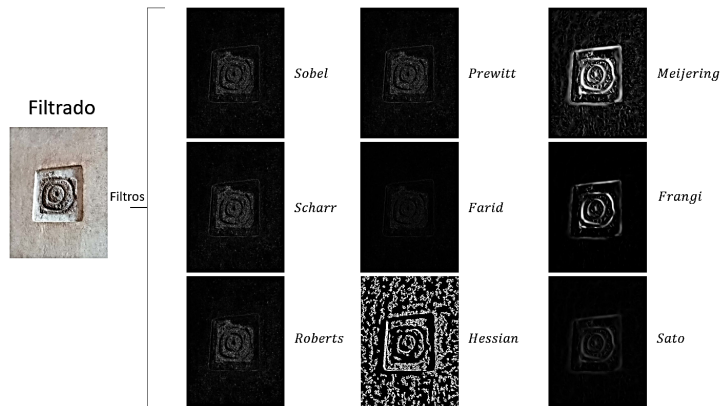


Figura 2. Filtros aplicados a la imagen original para mejorar la detección de contornos.
Fuente: Elaboración propia.

El segundo período de procesamiento consiste en mejorar la naturaleza morfológica de la imagen, por lo que se aplica filtros morfológicos para reducir el ruido binario de las imágenes, ajustando sus estructuras para una mejor comprensión. Los filtros morfológicos son operadores utilizados en el procesamiento de imágenes y en el campo de la morfología matemática (Ruiz Fernández, 2020). Estas técnicas se basan en la teoría matemática de conjuntos y se emplean para manipular y analizar la estructura y la forma de objetos en imágenes binarias (imágenes en blanco y negro donde los objetos de interés están representados en blanco y el fondo en negro). En la Figura 3, se muestran los filtros morfológicos que se utilizaron con dos filtros de la Figura 2: Meijering y Frangi. Estos filtros de contornos demostraron ser más eficaces para realzar los detalles esenciales de los petrograbados en imágenes complejas.

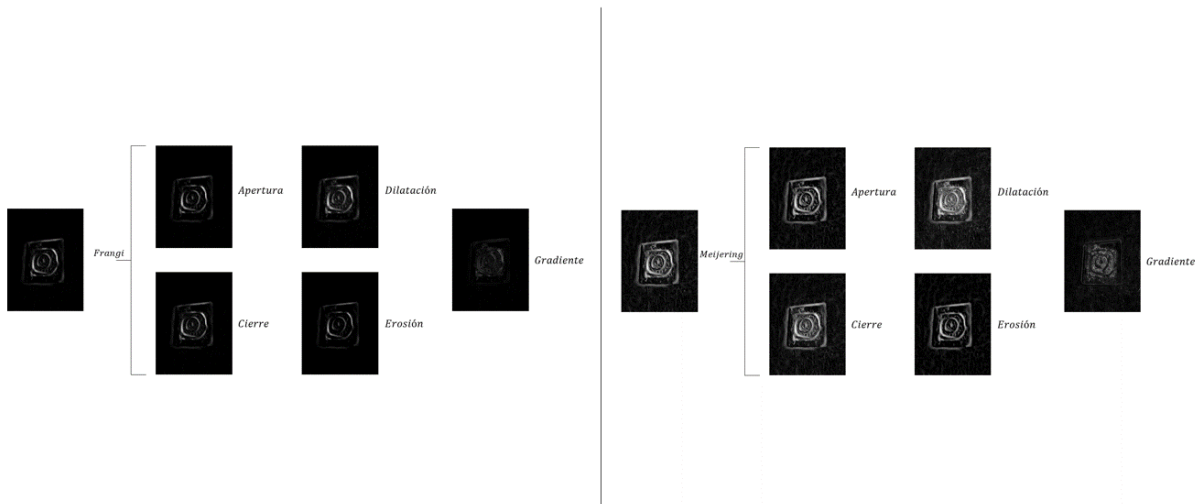


Figura 3. Filtros morfológicos: apertura, cierre, dilatación, erosión y gradiente para la eliminación de ruido, extracción de características y análisis de forma.
Fuente: Elaboración propia.

Algoritmo DFC

Este algoritmo se utiliza para describir y comparar formas en imágenes digitales. Fue desarrollado por Serge Belongie y Jitendra Malik en 2000 (Belongie, Malik, & Puzicha, 2000). Ha sido fundamental en la visión por computadora y ha encontrado aplicaciones en campos como la detección de objetos, la recuperación de imágenes y la identificación de objetos en entornos complejos. Supera las limitaciones en la comparación de formas basada en la geometría y permite una correspondencia más robusta entre formas en imágenes.

El Descriptor de Forma Contextual toma como entrada un conjunto finito de n puntos $2 - D$, que representan los contornos de una forma dada, y lo describe como un conjunto de n histogramas. Más precisamente, para cada punto p_i de la forma P , su histograma sc_i^P , llamado descriptor de contexto de forma se calcula como la distribución de la posición relativa de los $n - 1$ puntos con respecto a p_i . En otras palabras, la k -ésima entrada $sc_i^P(k)$ de sc_i^P se define como (Belongie, Malik, Puzicha, & intelligence, 2002):

$$sc_i^P(k) = \frac{|P_i^k|}{|P| - 1}, \quad k = 1, \dots, K. \quad (1)$$

Donde $|\cdot|$ denota el operador de cardinalidad establecida, K es el número de contenedores en sc_i^P y P_i^k denota el conjunto de puntos de P que caen en el contenedor espacial k con respecto al punto p_i :

$$P_i^k = \{p_j \in P: p_j \neq p_i, (p_j - p_i) \in \text{contenedor}(k)\} \quad (2)$$

Donde $p_j - p_i$ denota diferencia vectorial. Dicho histograma se calcula en 5 intervalos de distancia normalizados que en total abarcan el doble de la distancia media por pares de todos los puntos de la imagen, y 12 intervalos angulares que cubren un perímetro completo alrededor del punto de referencia. Esto da como resultado un histograma de $K = 60$ contenedores, que son uniformes en el espacio polar, lo que hace que el descriptor SC sea más sensible a los puntos cercanos que a los más lejanos. El proceso de construcción del descriptor SC se ilustra en la Figura 4.



Figura 4. Proceso de contexto de forma para descripción y coincidencia de dos glifos Mayas.
Fuente: Roman-Rangel, Pallan, Odobez, & Gatica-Perez, 2009.

Resultados y Conclusiones

En la etapa inicial de nuestros experimentos, se hizo un análisis para evaluar qué tan bien se representan los contornos de los petrograbados purépechas a partir de un glifo Maya a diferentes K de muestreo. Se intentó representar los contornos con el 2%, 3%, 5%, 10% y 15% del número de puntos en las formas originales, y se observó que con proporciones menores al 5% muchos glifos Mayas se representan con menos de 100 puntos, por lo tanto, dando representaciones bastante pobres. Por el contrario, si bien porcentajes del 10% y superiores producen representaciones sólidas, también hacen que el cálculo del SC sea más lento. Empíricamente, el 5% es un buen equilibrio entre representación precisa y eficiencia. Para los experimentos, se decidió utilizar tasas de muestreo del 5% y del 10% con un límite mínimo de 100 puntos, es decir, $n = \max(100, 5\%)$ y $n = \max(100, 10\%)$. En la Figura 5, se ilustra el modelo realizado con glifos Mayas.



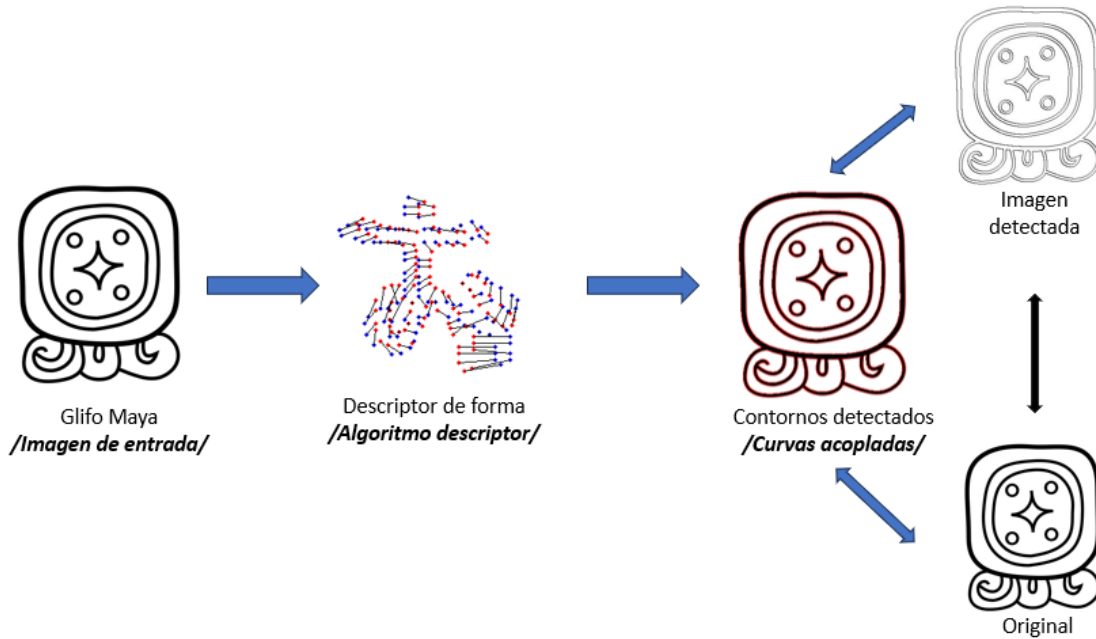


Figura 5. Modelo propuesto con los resultados de la recuperación de las curvas detectadas sobre los glifos Mayas.
Fuente: Elaboración propia.

El modelo se aplicó al conjunto de imágenes de petrograbados purépechas. Al aplicarle filtros morfológicos a la imagen original, se logra obtener dos resultados que muestran efectos que no se ven a simple vista, y las formas detectadas se describen en la Figura 6.

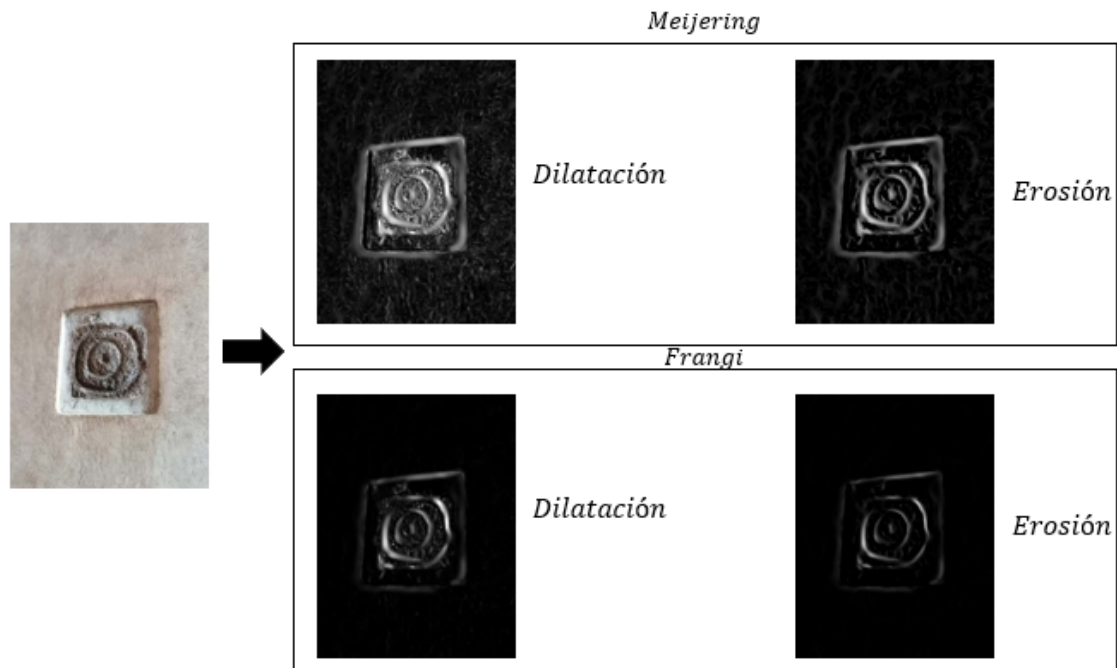


Figura 6. Aplicación de los filtros morfológicos a la imagen original que muestran patrones que no se observan a simple vista de la imagen original, como círculos concéntricos, pero en el proceso de filtrado se observan como dos "C" formando el círculo.
Fuente: Elaboración propia.

Al aplicar el algoritmo descriptor debido a los filtros de la Figura 6, se obtiene:

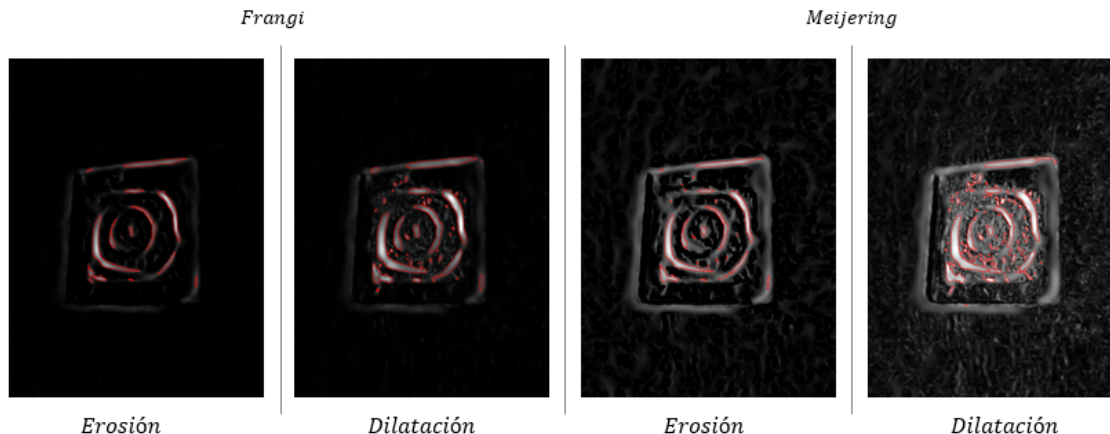


Figura 7. Aplicación del modelo con DFC para detectar los contornos de la imagen de petrograbados purépechas.
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados al aplicar el algoritmo de DFC a las imágenes de petrograbados purépechas son alentadores y destacan la eficacia de la técnica. La combinación de técnicas de preprocesamiento, incluyendo los filtros de Meijering y Frangi, ha demostrado ser efectiva para realzar los bordes en las imágenes, lo cual es esencial para resaltar las características clave de los petrograbados. Además, la aplicación de filtros morfológicos de erosión y dilatación ha contribuido a la eliminación del ruido y a la mejora de la calidad de los contornos detectados. La capacidad de detectar los contornos en las imágenes es un logro significativo, ya que sugiere que el método empleado tiene la capacidad de capturar con éxito las formas y los detalles presentes en los petrograbados. Estos resultados son de gran importancia para la preservación y el estudio de la cultura purépecha, ya que los detalles de los petrograbados a menudo contienen información valiosa sobre su historia y cultura.

Se ha presentado un trabajo hacia la integración de técnicas de visión por computadora en el análisis de materiales del patrimonio cultural purépecha antiguo. Nuestro enfoque es desafiante, ya que aborda genuinamente necesidades y problemas abiertos en arqueología y epigrafía, y plantea una serie de preguntas para la investigación en visión por computadora, lo que resulta en una oportunidad única para integrar conocimientos en arqueología, epigrafía e informática. Para futuras investigaciones, se evaluará aún más la robustez y la estabilidad de este enfoque en diversas condiciones, como variaciones en la iluminación y la calidad de las imágenes. Además, se considerará la colaboración con expertos en la cultura purépecha para una interpretación cultural más precisa de los petrograbados detectados y una base de datos para su interpretación. En última instancia, este estudio ofrece un enfoque prometedor para la preservación y el análisis de la cultura purépecha mediante tecnología de procesamiento de imágenes.

Referencias

- Belongie, S., Malik, J., & Puzicha, J. J. A. i. n. i. p. s. (2000). *Shape context: A new descriptor for shape matching and object recognition*. 13.
- Belongie, S., Malik, J., Puzicha, J. J. I. t. o. p. a., & intelligence, m. (2002). *Shape matching and object recognition using shape contexts*. 24(4), 509-522.
- Brarda, A. N. (2018). *Arquitectura, fotografía y tecnologías digitales. Paper presented at the VII Congreso Internacional y XV Congreso Nacional de Profesores de Expresión Gráfica en Ingeniería, Arquitectura y Carreras Afines (Facultad de Arquitectura y Urbanismo UNLP, 4 y 5 de octubre de 2018)*.
- Carot, P. J. E. J. (2008). *Otra visión de la historia purépecha*. 71, 26-40.



Hernández Díaz, V. (2006). *Los janamus grabados de Tzintzuntzan, Michoacán. Anales del Instituto de Investigaciones Estéticas*, XXVIII(89), 197-212. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36908910>

Hernández Díaz, V. (2011). *Imágenes en piedra de Tzintzuntzan, Michoacán. Un arte prehispánico y virreinal: Universidad Nacional Autónoma de México.*

Le Clezio, J. M. (1986). *La conquista divina de Michoacán. México: Fondo de Cultura Mexicana.*

López García, R. (2013). *Tesis. Geometría y trazo constructivo del ex convento de Tzintzuntzan. Influencia de las prácticas en la tecnología constructiva. 136. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Arquitectura. División de Posgrados. Maestría en Arquitectura, Investigación y Restauración de Sitios y Monumentos.* Obtenido de http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/jspui/bitstream/DGB_UMICH/1582/1/FA-M-2013-1932.pdf

Martínez Vázquez, D. B., Punzo Díaz, J., & Valdés Herrera, A. (2020). *Distribución geográfica de la "Yácata de planta mixta" en Michoacán, México. Historia y Conservación del Patrimonio Edificado(4)*, 22-47. doi:<https://doi.org/10.32870/rhcpe.v0i4.52>

Mediateca INAH. (2023). *Tzintzuntzan.* Obtenido de <https://mediateca.inah.gob.mx/repositorio/islandora/object/sitioprehispanico%3A2296>

Morales, J. A. O. (2016). *Tzintzuntzan: capital del reino purépecha: Fondo de Cultura Económica.*

Oltra, G. N., & Mellado, J. R. A. (2008). *Una introducción a la imagen digital y su tratamiento: Univ de Castilla La Mancha.*

Robles Ruiz, S. M. *Reconocimiento automático de glifos mayas.*

Roman-Rangel, E., Pallan, C., Odobez, J.-M., & Gatica-Perez, D. (2009). *Retrieving ancient maya glyphs with shape context. Paper presented at the 2009 IEEE 12th International Conference on Computer Vision Workshops, ICCV Workshops.*

Ruiz Fernández, L. Á. (2020). *Aplicación de filtros morfológicos en imágenes.*

Tepper, M. (2011). *Detectando agrupamientos y contornos: un estudio doble sobre representación de formas. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,*

Vargas Uribe, G. (2018). *Percepción de espacio y conquistas territoriales de los purépechas prehispánicos, según la Relación de Michoacán de 1541. Memoria del 56o. Congreso Internacional de Americanistas, 402-415. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7645343>*

Vicent, N., & Torruella, M. F. J. E. S. X. (2015). *Arqueología y tecnologías digitales en Educación Patrimonial. 33(1 Marzo), 83-102.*

