

Microlocalización de emplazamientos ingenieriles para el aprovechamiento de energía undimotriz en las costas veracruzanas

José R. Hernández Santana*, Ana P. Méndez Linares*, Alexis Ordaz Hernández**, Ayetsa Martínez Serrano*

* Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, C. P. 04510, Coyoacán, Ciudad de México. santana@igg.unam.mx, patyml@igg.unam.mx, ayetsa.martinez@gmail.com

** Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, Paseo Universidad, Ciudad Universitaria, C. P. 50110, Toluca de Lerdo. Alexisordaz.1978@gmail.com

Resumen

La microlocalización de prototipos ingenieriles con fines de aprovechamiento de la energía undimotriz, como fuente de energía renovable, requiere de diversos factores de la dinámica marina, como las condiciones de profundidad para una mayor asimilación de la energía del oleaje, y de carácter geólogo-geomorfológico, como la resistencia del sustrato geológico y las características morfológicas, morfométricas y morfogenéticas de los tipos de costa, fundamentalmente de las abrasivas. En el caso mexicano, las costas más prometedoras, se localizan en el Pacífico y en las márgenes orientales de la Península de Yucatán, debido a condiciones batimétricas más óptimas. No obstante, dentro de las estrategias iniciales del Centro Mexicano de Innovación en Energía del Océano, se consideró investigar las costas veracruzanas del Golfo de México, mediante la aplicación del levantamiento geológico costero, de la interpretación morfométrica de su relieve, del análisis morfogenético y morfoestructural, y el análisis de los sistemas de llanuras, sus terrazas y fragmentos. Las mayores potencialidades se concentran, de norte a sur, en Punta Pulpo, Miradores, Villa Rica, Punta Roca Partida, Playa Hermosa, Montepío y Balzapote, pudiendo ofrecer diversos niveles de microgeneración a pequeños poblados costeros, como Chaparrales, Barra de Cazones, Palma Sola, Punta Piedra Partida y Montepío, entre otros.

Palabras clave: energía undimotriz, geomorfología costera, Veracruz, México.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad una de las directrices de las políticas energéticas a nivel mundial es el desarrollo de investigaciones con fines de aprovechamiento de las energías alternativas, entre las que destacan las de origen oceánico. En este sentido, la política nacional de México ha impulsado la creación de varios centros de innovación energética, como es el Centro Mexicano para la Innovación de Energía del Océano (CEMIE_O). Con este fin, el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (IGG-UNAM) y la Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de México (FG-UAEM), encaminaron sus esfuerzos hacia la evaluación de las condiciones y de los problemas geológicos y geomorfológicos en la zona costera veracruzana, con la finalidad de seleccionar aquellos sitios más favorables para la ubicación de prototipos ingenieriles, dirigidos al aprovechamiento de las energías undimotriz, siempre velando por garantizar la vida útil de los mismos y la preservación y protección de los ecosistemas naturales, tanto marinos como terrestres. Bajo este prisma de micro-localización potencial para la instalación de prototipos energéticos, se formuló el subproyecto “Evaluación geólogo-geomorfológica detallada de sitios potencialmente idóneos para el emplazamiento de plantas energéticas en la zona costera veracruzana” (2017-2020), dentro de la línea transversal “Ecología e Integración del Ambiente” del CEMIE_O.

A nivel mundial existen algunas experiencias para la asimilación de la energía undimotriz. De con la profundidad costera, los dispositivos ingenieriles para la asimilación de la energía undimotriz pueden ser: (a) de enclave en la costa - “on shore”, (b) cerca de la costa - “near shore” y (c) fuera de la costa - “off shore” (Electricidad que viene del mar, 2017)

En el caso de los prototipos instalados en la costa y desde el punto de vista geólogo-geomorfológico, es necesario conocer la constitución geológica y las condiciones estructurales del sustrato, así como las características morfométricas y morfogenéticas del relieve costero. Las costas acantiladas son, en función de su constitución geológica y de sus dimensiones morfológicas, verdaderos baluartes rocosos, que sobresalen con respecto a la costa y poseen mayores profundidades, propiciando una mayor energía de ruptura del oleaje. En las costas veracruzanas existen aislados promontorios, que durante el Pleistoceno tardío y el Holoceno eran frentes insulares dispersos y frentes lávicos del Terciario con acantilados potentes, mismos que satisfacen el primer requisito de condicionalidad general para la asimilación de la energía undimotriz. Entre los sectores más prometedores se encuentran las zonas acantiladas de Barra de Cazones, de Miradores-Muñecos de Palma Sola,

del Tómbolo de Villa Rica, de Punta Roca Partida y Playa Hermosa, de Montepío, Balzapote, Pajapan y de San Juan Volador.

El presente trabajo recoge los resultados alcanzados durante las investigaciones de campo, encaminadas al levantamiento geológico y geomorfológico de los sitios idóneos potenciales, y su clasificación compleja, con la finalidad de determinar la viabilidad de determinados prototipos ingenieriles, ya existentes a nivel mundial o en fase de diseño nacional, así como de aquellos elementos geólogo-geomorfológicos, que pueden determinar mejores y más eficaces diseños para el aprovechamiento energético.

OBJETIVO GENERAL

Identificar, desde el punto de vista geólogo-geomorfológico, los sitios costeros veracruzanos idóneos para el establecimiento de prototipos ingenieriles de aprovechamiento de la energía undimotriz, con vistas a la microgeneración eléctrica local.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el levantamiento geológico y estructural en sectores abrasivos de la zona costera.
- Precisar los ambientes geomorfológicos y la dinámica de sus procesos actuales, fundamentalmente de las geoformas abrasivas activas.
- Evaluar las características morfológicas y morfométricas de los acantilados abrasivos y abrasivo-gravitacionales activos.
- Establecer una clasificación geólogo-geomorfológica preliminar de los sitios potencialmente idóneos.

METODOLOGÍA (MATERIALES Y MÉTODOS)

Una de las primeras tareas de la investigación fue el análisis de las condiciones geomorfológicas presentadas en los trabajos de Geissert y Dubroeuq (1995), Geissert (1999), Hernández- Santana *et al.* (2007, 2016, 2017) para la selección de los sectores costeros con potencialidades de aprovechamiento energético del oleaje.

Para la identificación de los sectores de costas abrasivas, se procedió a la interpretación de las imágenes de *Landsat* del servidor gratuito de Internet, de los sensores *Geoeye* y *Spot 5*, y de las imágenes *Spot 6/7 Bundle*, con una banda pancromática con 1.5 m de resolución de pixel, y cuatro bandas multiespectrales con resolución de 6 m, todas del año 2017.

El análisis morfogenético del relieve para su reconocimiento con fines aplicados adoptó los métodos siguientes: (1) Interpretación morfométrica del relieve costero; (2) Reconocimiento de las zonas abrasivas acantiladas en las imágenes satelitales; (3) levantamiento geológico de las áreas; (4) Análisis morfogenético y morfoestructural de la zona costera; (5) Identificación de los morfoelementos lineales y de los rasgos estructurales del relieve costero; (6) Comparación de los datos geomorfológicos con la constitución y la estructura geológicas; (7) Análisis de los niveles de cimas y sistemas de llanuras, sus terrazas y fragmentos; (8) Revisión bibliográfica y cartográfica; (9) Método investigativo de campo.

Durante el levantamiento geológico detallado, se identificaron y midieron estructuras tectónicas, especialmente fallas, para su procesamiento estadístico y determinar la dirección de los esfuerzos tectónicos que le dieron origen y su posible correlación con el relieve contemporáneo.

Como los trabajos se desarrollaron a una escala detallada, se adoptó la escala 1:10 000, enriquecida con los datos de los levantamientos LiDAR disponibles para la costa veracruzana, tales como el tómbolo de Villa Rica, Punta Piedra Partida y Pajapan, pues los otros sitios no disponen de información. Para los sitios restantes, se trazaron las curvas de nivel de las cartas digitales 1:20 000, sobre las imágenes satelitales referidas.

RESULTADOS

La constitución geológica de los sectores abrasivos de la región septentrional veracruzana (al norte de la ciudad de Veracruz) es de rocas de origen volcánico, tobas de composición intermedia (andesítica) y aisladamente rocas sedimentarias, especialmente areniscas carbonatadas, éstas en el área de Barra de Cazonas; mientras que en el sector sur se identificaron litologías de composición basáltica, asociadas al complejo volcánico de los Tuxtles. En ambos sectores y sobreyaciendo las rocas consolidadas, afloraban sedimentos no consolidados de granulometría variable, desde conglomerados hasta arenas finas de playa. En cada uno de los sitios, se

identificaron procesos gravitacionales activos (derrumbes y deslizamientos), los cuales requerirán especial atención en etapas posteriores de este proyecto.

SECTOR NORTE

El sitio Barra de Cazonos comprende una serie de areniscas carbonatadas con alto contenido fósil de naturaleza marina (gasterópodos principalmente), en contacto con sedimentos cuaternarios de origen continental, formados por depósitos fluviales y marinos (arenas de playa con conchas). Como punto de referencia se tomó la planicie eólica-marina que forma la barra de cazonos para mencionar que hacia el norte y sur de ese sector, afloran las areniscas carbonatadas con niveles de estratificación no muy claros, sin embargo, se observa en general estratificación delgada. En general, estas rocas presentan dos sistemas de estructuras en la costa abrasiva de Punta Pulpo, donde están presentes acantilados con un promedio de altura de 5-7 metros, con notable oleaje y actividad abrasiva. El primer sistema, que incluye tanto fallas y fracturas, presenta un rumbo preferente hacia el sureste, con inclinaciones que varían entre los 60 a 90°, que se observan de manera muy local y que se pueden extender por varios metros desde la costa. El segundo sistema está representado por un sistema de fracturas paralelas con rumbo preferente hacia el noreste, generándose entre ambos estilos disyuntivos, un sistema estructural de tipo ortogonal, muy bien reflejado en los morfoelementos del relieve costero.

En este sector, se refleja bastante bien el espectro de terrazas marinas abrasivas del Pleistoceno medio al Reciente, actualmente erosionadas y denudadas: 2-3 m del Holoceno tardío, 7-8 m de Holoceno temprano, 10-15 m del Pleistoceno tardío y 20-25 m del Pleistoceno medio.

El sitio “Miradores”, al sur de Palma Sola (Figura 1), comprende un acantilado de 10 a 28 metros de altura, compuesto por rocas de origen volcánico efusivo de composición intermedia (andesitas), con una marcada presencia de fracturas por enfriamiento con rumbo preferente noroeste y sureste. En general, estas rocas representan derrames de composición andesítica con una serie de fracturas continuas conjugadas, con rumbo NW-SE, sin desplazamiento aparente. Destacan los niveles de terrazas abrasivas de 2-3, 10-15 y 20-25 metros.



Figura 1. Acantilado “Miradores”, limitando la playa Andrea por el sur, con rocas volcánicas y sistema de fracturas.

El sitio conocido como “Tómbolo de Villa Rica”, donde el acantilado alcanza 40 a 50 metros de altura, se caracteriza por la formación de un tómbolo que asimiló al “cerro-isla” Las Quebradas a tierra continental. Su evolución es totalmente del Pleistoceno-Holoceno, presentando un basamento de tobas riolíticas. En las acumulaciones costeras se aprecia un horizonte de guijarros pequeños, bien redondeados y pulidos que indican una antigua línea de costa, donde materiales fluviales fueron redondeados en condiciones mecánicas del oleaje; posteriormente el régimen eólico dominó el sitio con la formación de grandes dunas, actualmente activas, que sobreyacen estos depósitos. Al igual que el punto anterior, presenta un sistema de fracturas por enfriamiento con un patrón de rumbos preferentemente hacia el SW, con un promedio de inclinación de 70°.

SECTOR SUR

En el sitio conocido como Punta Roca Partida, se identificaron principalmente basaltos prismáticos y derrames de lava de igual composición, los cuales sobreyacen a varios horizontes de flujos piroclásticos de caída libre (lapilli), en ocasiones la secuencia se invierte o intercala por la presencia de diversos sistemas de fracturamiento. Se identificaron además, flujos de caída libre de tamaño de bombas, las cuales forman estructuras de caída sobre las lavas. El análisis detallado, permitió visualizar la dirección del flujo en los depósitos de lava, así como en los flujos piroclásticos, con una dirección N 120° y SW 36°. Se observa, además, un sistema de fracturamiento principal con rumbo N° 306 y NE 70°. La forma anular del sitio y su composición geológica permiten valorar

la existencia del cráter de un paleovolcán. Por otra parte, la diferenciación litológica y el plano estructural han permitido el desarrollo de grutas marinas y nichos abrasivos profundos, como la gruta del Pirata con una longitud de muchas decenas de metros, quizás centenares (Miguel Lorenzo Mozo, común. pers.). La diferencia altimétrica es de 52-65 m en la parte más elevada, lo que la califica como un acantilado de grandes dimensiones (Figura 2) y con muy buenas condiciones para establecer una batería de prototipos energéticos.



Figura 2. Sitio potencialmente idóneo en el acantilado del lado norte de Punta Roca Partida.

En el sitio de Montepío, se encontraron principalmente derrames de composición basáltica, con textura vesicular y con visible dirección de flujo con rumbo N 352° y con un echado al NE 22° (Figura 3). En algunas ocasiones, se observaron derrames de lava tipo *pillow*, típicos de un vulcanismo en ambiente marino. Además, se identificaron 3 sistemas preferenciales de fracturamiento en el área: N 85° SE 80°, N 309° SE 87° y N 188° NW 76°.

La localidad de Playa Hermosa, a unos kilómetros al sur de Punta Roca Partida, se presenta como otro sitio idóneo. Posee una configuración de meso-ensenada, constituido por un substrato basáltico. Aquí las olas registran de 2 a 3 metros y más, y su ancho es de unos 60 -80 metros.



Figura 3. Frente acantilado de Montepío, con alturas entre 80 y 100 metros.

En el sitio potencial de Balzapote, a unos 3 km al sur de Montepío, se identificaron depósitos de tipo lahar en su base, sobre los cuales se sobreponen derrames de lava de composición basáltica, en los cuales se presentan dos sistemas de fracturamiento principal: N 280° NE 80° y N 142° SW 82°.

En general, se propone una clasificación preliminar de los acantilados en función de algunos rasgos morfológicos y morfométricos como la altura del acantilado (en m), su frente al mar (en m), su penetración de entrada (en m) en los casos de zonas costeras irregulares y la distancia a la isobata de 20 m (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de acantilados veracruzanos.

Sector Costero Norte			Sector Costero Sur	
Tobas de composición intermedia (andesítica) y rocas sedimentarias (areniscas carbonatadas).			Litologías de composición basáltica, flujos lávicos y flujos piroclásticos de caída libre.	
Morfología y morfometría de los acantilados			Morfología y morfometría de los acantilados	
Pequeños	Medianos	Grandes	Medianos	Grandes
- Punta Pulpo: Altura de 5-7 m; Frente al mar de 40 m; Penetración de entrada: 30 m; Distancia a isobata de 20 m: 17.7 km.	- Miradores: Altura de 10-28 m; Frente al mar de 70-80 m; Penetración de entrada: 40-50 m; Distancia a isobata de 20 m: 2.9 km.	- Tómbolo Villa Rica: Altura de 80-100 m; Frente al mar de 400-450 m; Distancia a isobata de 20 m: 3.5 km.	- Balzapote: Altura de 60-80 m; Frente al mar: 400-500 m; Penetración de entrada: 40-50 m; Distancia a isobata de 20 m: 1.7-1.8 km. - Playa Hermosa: Altura de 60-80 m; Frente al mar de 60-80 m; Penetración de entrada: 50-60 m; Distancia a isobata de 20 m: 2.5 km.	- Punta Roca Partida: Altura de 52-65 m; Frente al mar de 1400 a 1500 m; Profundidad de entrada: 150-300 m; Distancia a isobata de 20 m: 1 km. - Montepío: Altura de 100-120 m; Frente al mar: 1600 a 1800 m; Penetración de entrada: 100-150 m; Distancia a isobata de 20 m: 1.5-2.0 km.

CONCLUSIONES

Los ascensos neotectónicos diferenciados al norte de Veracruz (localidad Barra de Cazones), la historia morfodinámica costera (tómbolo de Villa Rica) y las interacciones de los depósitos lávicos de la sierra meridional de Palma Sola (localidad Miradores) y de los volcanes San Martín Tuxtla y Santa Martha (localidades Punta Piedra Partida, Villa Hermosa, Montepío, Balzapote, La Tortuga, Campanario, Peña Hermosa, San Juan Volador) con el oleaje del Golfo de México durante todo el Cuaternario, han propiciado la existencia de costas acantiladas, con fuertes procesos abrasivos e intensidad del oleaje, en las cuales existen condiciones geólogo-geomorfológicas propicias para el emplazamiento de prototipos ingenieriles con fines de aprovechamiento de la energía undimotriz.

Estas condiciones existen en las zonas costeras veracruzanas más marginadas, lo que garantiza la microgeneración durante el emplazamiento de las plantas y su fase experimental con beneficios energéticos a pequeños pueblos costeros, de norte a sur: Chaparrales, Barra de Cazones, Palma Sola, Villa Rica, Punta Piedra Partida, Montepío, Balzapote y otros. Los diseños ingenieriles estarán en función de los tipos de acantilados, en función de sus dimensiones, litología, configuración y profundidad de la costa.

Los acantilados con mayores potencialidades se localizan en Punta Roca Partida, Montepío y Villa Rica; los de mediano alcance en los sectores de Miradores, Balzapote y Playa Hermosa; y los pequeños en Punta Pulpo, el norte de Barra de Cazones y en otras localidades con dichas características.

REFERENCIAS

- Electricidad que viene del mar. <http://www.espores.org/es/conservacion/electricitat-que-ve-del-mar.html>. Consultado el 1 de febrero de 2017.
- D. Geissert, Regionalización geomorfológica del estado de Veracruz, *Investigaciones Geográficas*, No. 40, pp. 23-47, 1999.
- D. Geissert y D. Dubroeuq, Influencia de la geomorfología en la evolución de suelos de las dunas costeras en Veracruz, México, *Investigaciones Geográficas*, No. 3, pp. 37-52., 1995.
- J. R. Hernández-Santana, A. P. Méndez-Linares, M. Figueroa-MahEng, Caracterización del relieve plio-cuaternario del entorno costero del Estado de Veracruz, México, *Cuaternario y Geomorfología*, vol. 21, No. 3-4, pp. 113-131, 2007.
- J. R. Hernández-Santana, A. P. Méndez-Linares, J. López-Portillo, J. C. Preciado-López, Coastal geomorphological cartography of Veracruz State, Mexico, *Journal of Maps*, vol. 12, No. 2, pp. 316-323, 2016.
- J. R. Hernández-Santana, A.P. Méndez-Linares, A. Ordaz-Hernández, A. Martínez-Serrano, J. A. Navarro-Gómez, F. N. Popoca-Vázquez, D. Morales-Méndez, E. Saavedra-Gallardo, A. Mancera-Flores, Selección de sitios potenciales para el aprovechamiento de la energía undimotriz en Veracruz: Primer Reconocimiento. Centro Mexicano de Innovación de Energía Oceánica, Ciudad de México, UNAM, 43 pp., 2017.