

Modelo geoespacial para búsqueda de fosas clandestinas en Baja California, México

Autores: Data Cívica, Elementa DDHH, Centro Geo, Programa de Derechos Humanos de la Universidad Iberoamericana

Antecedentes y contexto:

El estado de Baja California está situado en el noroeste de México. Tiene una superficie de 71.450 km² y una población de 3,7 millones de habitantes (el 3,0% del país), principalmente en zonas urbanas. El municipio de Tijuana, particularmente, ha adquirido una relevancia clave a nivel local y nacional por ser el paso fronterizo más transitado del mundo y el municipio más poblado del país. Además, por varios años Tijuana se ha situado como una de las ciudades del mundo con altos índices de violencia.

Por su ubicación geográfica, en Baja California confluyen diversas dinámicas políticas, culturales, económicas y sociales que contribuyen al tejido de múltiples identidades y perspectivas. En este complejo escenario, sumado a los altos índices de violencia en el estado, es que se ha convertido en uno [de los estados más afectados](#) por el fenómeno de las desapariciones. Según cifras de la Fiscalía General del Estado de Baja California (FGEBC), más de 14.000 personas han desaparecido tan solo de 2007 a 2021.

Además de la tragedia de la desaparición, el estado alberga una crisis forense que alcanza más de 11.000 cuerpos sin identificar, según datos del Servicio Médico Forense. Dentro de esta cifra se encuentran cuerpos y restos que han sido hallados frecuentemente en fosas clandestinas en la región. Estas fosas, en su mayoría, son encontradas por familias y colectivos que organizan jornadas ciudadanas de búsqueda con apoyo de las autoridades locales y nacionales. A pesar de ser obligación estatal la investigación para la determinación de probables puntos de búsqueda, la práctica en el estado de Baja California es que las propias familias indican a las autoridades esos puntos de búsqueda. Ellas, a su vez, obtienen esta información de las investigaciones privadas que realizan o, en algunas ocasiones, de mensajes anónimos que reciben indicando los lugares donde se encuentran los cuerpos.

Debido a la poca información oficial relacionada con el hallazgo de fosas, se hicieron solicitudes de acceso a la información a la FGEBC, de las cuales obtuvimos datos sobre el registro de 144 fosas clandestinas observadas entre octubre de 2009 y febrero de 2021. De este total, 52 registros incluían la latitud y la longitud del lugar donde fueron localizadas por las autoridades. Con esta información y frente al panorama descrito en párrafos anteriores, en un esfuerzo conjunto entre el Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial (CentroGeo), Data Cívica, Elementa DDHH y el Programa de Derechos Humanos de la Universidad Iberoamericana - Ciudad de México, se llevó a cabo un análisis sobre las fosas clandestinas observadas en Baja California por la FGEBC para desarrollar un **nuevo modelo geoespacial** que delimite las zonas de la entidad **donde es probable que se localicen nuevas fosas clandestinas en la región**. Utilizamos estas 52 coordenadas como datos de entrenamiento. Esta nueva aproximación incluye tres métodos

combinados: Análisis de Patrones de Puntuales, Accesibilidad combinada con análisis de visibilidad y análisis hiperespectral.

Usos y aplicación del modelo:

1. Análisis de patrones puntuales

En primer lugar, realizamos un análisis de patrones espaciales de puntos de las 52 fosas que ha localizado la FGEBC. El objetivo es determinar la agrupación de los puntos en la zona de estudio. Si se encuentran varios grupos de fosas muy próximos entre sí, podemos suponer que éstas no se encuentran en una ubicación aleatoria, sino en zonas específicas según su patrón espacial. Además, podemos inferir la distancia de las fosas que aún no se han encontrado basándonos en los patrones de agrupación de los puntos anteriores.

En otras palabras, si nos situamos en un punto donde se ha localizado previamente una fosa, existe una alta probabilidad de que encontremos nuevos hallazgos a una distancia de 18 km-28 km debido al patrón de conglomeración de los puntos.

2. Espacio clandestino

Una de las características de las fosas clandestinas es que obliga a los perpetradores a elegir lugares ocultos, como barrancas o zonas boscosas, para garantizar su privacidad durante el proceso de entierro. Por otro lado, el contexto geográfico impone restricciones de accesibilidad, especialmente porque el traslado de personas en contra de su voluntad o de restos humanos, requiere un transporte rápido y discreto, por lo que la red de transporte y la pendiente del terreno también son importantes en la determinación del lugar de entierro. Estas nociones nos llevaron a conceptualizar el espacio geográfico en términos de dos conceptos clave: la accesibilidad espacial y la privacidad espacial, ambas son muy relevantes para la localización de fosas clandestinas.

Generamos dos capas de Baja California teniendo en cuenta el concepto de Espacio Clandestino (EC). Estas dimensiones fueron, a su vez, cuantificadas en términos de tiempo de recorrido y porcentaje de visibilidad, respectivamente. En principio, el EC presentará una mayor probabilidad de contener fosas clandestinas bajo la premisa de que los perpetradores eligen sitios de rápido acceso y poco visibles al público para reducir el riesgo de ser descubiertos.

3. Acumulación de nitrógeno

Cuando un cuerpo se descompone, libera nutrientes al suelo, entre los que destaca el nitrógeno (N). Un estudio con animales indicó que se podían descubrir entierros a partir de la detección de un crecimiento acelerado en el contenido de clorofila de las hojas de las plantas que se detectaba mediante índices espectrales (Silvan et al., 2021). El contenido del nitrógeno de las plantas está directamente relacionado con la concentración de clorofila en las hojas. Afortunadamente, la concentración de clorofila en las hojas puede cuantificarse mediante índices de vegetación, como el llamado Índice de Clorofila en el Borde Rojo (RECI).

Entre los satélites que adquieren imágenes que pueden utilizarse para calcular el índice de clorofila están los del programa Copérnico de la Agencia Espacial Europea, que empezaron a funcionar en 2015 y 2017, respectivamente, entregando una imagen cada seis días.

Esta medida es utilizada como una tercera capa dentro del modelo geoespacial para delimitar aún más el área de búsqueda.

Resultados

Con estos tres criterios, los resultados se integraron en una aplicación de Google Earth Engine que permite visualizarlos y explorarlos. Identificamos que el 32% del territorio de Baja California cumple con estas características (alta accesibilidad y baja visibilidad). Por lo tanto, éstas podrían ser áreas potenciales para iniciar nuevas búsquedas de personas desaparecidas.

Considerando la extensión del territorio de Baja California, pretendemos reducir aún más esta zona potencial. Para ello generamos topes con un radio de entre 18 y 28 km, alrededor de los puntos de fosas observadas previamente por la FGEBC. Al crear intersecciones de las zonas dentro de los topes con las que cumplen los criterios de espacio clandestino, establecimos que la zona de búsqueda potencial podría reducirse en otro 10%. Por lo tanto, se garantiza que las zonas de búsqueda finales estén a una distancia razonable de la mayoría de los asentamientos urbanos, 39 minutos en el caso de BC.

Retos:

Uno de los retos principales es respecto a los sesgos que implica implementar el modelo únicamente con fosas observadas por la FGEBC.

Las fosas observadas por la FGEBC pueden ser un tipo específico de hallazgos que las autoridades pueden “observar”. Esto se ve limitado por factores como la proximidad a las zonas urbanas, el tipo específico de perpetradores o los recursos a los que las autoridades pueden acceder para realizar brigadas de búsqueda. Para ello, estamos en proceso de incorporar puntos recabados por familiares y brigadas de búsqueda con la intención de realizar el modelo con una fuente adicional a la de la Fiscalía. Adicionalmente, es importante incorporar puntos negativos de búsqueda. Es decir, aquellos lugares donde se realizó alguna búsqueda y no hubo algún hallazgo, para poder trabajar con puntos contrafactuales.

Además, a pesar de que las coordenadas fueron verificadas, existe la posibilidad de inexactitud por algunos metros, dependiendo de cómo las registraron las autoridades locales.

Por otro lado, si bien el modelo reduce significativamente el terreno de búsqueda es importante subrayar que no podemos precisar el lugar o la dirección exacta para las brigadas de búsqueda. Esto es un reto significativo para la búsqueda. En ese sentido, estamos trabajando para realizar pruebas en terreno para identificar qué tan efectivo es el modelo en búsqueda en territorio.

Por último, las acumulaciones de nitrógeno observadas a través de las imágenes de satélite **podrían indicar anomalías en el terreno**, donde se presume que podría haber cuerpos enterrados, complementando los resultados de las máscaras espaciales clandestinas y el análisis de patrones puntuales cuando se ha definido un área.

Siguientes Pasos.

1. Probar el modelo en campo. Esto se hará durante los primeros meses de este año.
2. Intentar reducir aún más el área potencial de búsqueda, complementando con otros enfoques de aprendizaje de máquina.
3. Obtener más información de puntos georreferenciados de fosas clandestinas que provengan de otras fuentes de información para reducir los posibles sesgos del uso de una sola fuente. Principalmente tomaremos en cuenta puntos de búsqueda que hayan recabado brigadas de búsqueda de familiares.
4. Generar estudios de contexto que nos permitan identificar las dinámicas y patrones de desaparición de personas en el área estudiada. Esto nos permitirá complementar mejor los resultados obtenidos.
5. Realizar reuniones y talleres con grupos de familiares en búsqueda de personas desaparecidas y con autoridades federales y locales como la Comisión Nacional de Búsqueda de Personas Desaparecidas y la Comisión de Búsqueda del Estado de Baja California. Creemos que nuestros resultados pueden ser utilizados para programas de búsqueda y exhumación de personas en el estado de Baja California.