Newsletter No. 2
December 2020

GEO-NETWORK OF LATINAMERICAN-GERMAN ALUMNI (GOAL)

CONTENT

1. Editorial Note
2. Geodesia InSAR (Interferometría de Radar de Apertura Sintética) para el análisis cuantitativo de la subsidencia en la Sabana de Bogotá, Colombia
3. Transformaciones de la Línea de Costa en el Sector Urbano e Industrial de Moa (Cuba), en el período 1955-2017
4. Importancia de los esfuerzos tectónicos y su determinación en América Central
5. Desarrollando la Creatividad y la Popularidad de Ciencias durante la Pandemia: 1000 Futuros Cientistas
6. International Scientific Events

1. Editorial Note

Jörg Matschullat, matschul@tu-freiberg.de

Dear friends, dear GOAListas,

First and foremost, Merry Christmas and a beautiful time of Advent. I think that “happiness lies between the ears” and so we can enjoy the season independent of boundary conditions which may often be a lot less appreciable. I really hope that you and your families are well. Stay safe.

Let me express immediately that I am very sad and frustrated that our latest application for DAAD funding did not make it – again. I take that on my shoulders and can only comment that we seem to have adversaries in the independent deciding committees, who we could once more not convince of the relevance of our proposal. However, we shall retry again in 2021 for 2022/2023.

This year, 2020, has been and still is a year with major “new” challenges. I do refer here to the pandemic that causes lots of grief and worry in most if not all of our countries. Being geoscientists, however, we should not forget that pandemics are a natural force which control populations and have been with us humans for as long as we populate our planet. While this argument is of limited consolation, we might like to focus on the positive side: Following a comparatively long period of calmth and steadiness, we currently face a plentitude of social, political and natural perturbations. Any one of those urges us to adapt, to transform.

Transformation processes for almost eight billion people populating our planet may not be an easy task. Climate change, structural changes, energy transition, water issues – we geo-people certainly do not face any shortage of challenges. Yet, for us GOAListas, there is even more…

What, you may ask? Well, our beautiful and most valuable network needs transformation, too. Our magnificent and most dedicated leader, Reinaldo Garcia, cannot stay on forever. Klaus Stanek, whom I envy for his fluency in Spanish and whom I consider to be real friend and major support of GOAL, is now a retiree. He would have engaged in GOAL 2021, but for 2022, he can no longer provide his magnificent services.

GEO-NETWORK OF LATINAMERICAN-GERMAN ALUMNI (GOAL)

And there is me. Jörg Matschullat is – as of November 2020 – the new Vice-Rector for Research at TU Bergakademie Freiberg. This “job” and responsibility is an honorary one, yet demands a very big time commitment. I have to manage all that in parallel to my standard duties as full professor and director of a university research centre – for the next five years.

So we (GOAL) need new faces. The German bridgehead (recently Klaus and myself) needs to be replaced by others. YOU should identify and define them. Make sure that any successor is a strong personality and a name in science. Where do you find them? Well, take a critical look at your German contacts and check, where these colleagues stand (with their impact in science and with their networking capabilities). Identify potential bridge heads and talk to them. Do the same by looking in the mirror and by asking yourselves, who could step in and dedicate her or his energy to carry GOAL forward as coordinator after Reinaldo?

Both Reinaldo and I will do our very best to serve in the transition period that has started already. But neither one of us can do that for too long. Within the next two years, new faces, new forces need to be identified and implemented to carry on – and to push our wonderful network to new horizons.

The ball now lies in your field – please use it. New faces, younger, ambitious, dedicated and full of ideas, are now in demand and should lead our network to new horizons. I do very much look forward to that and I will, just like Reinaldo and Klaus, do everything I can to support the future leaders of our GOAL.

Abrazos, abraços and a big hug

Jörg

PS: This is NOT a farewell. It is just an unmistakable signal to all GOAListas to get busy.

2. Geodesia InSAR (Interferometría de Radar de Apertura Sintética) para el análisis cuantitativo de la subsidencia en la Sabana de Bogotá, Colombia

Héctor Mora-Páez[1], Coordinador GOAL Colombia; Fredy Díaz Mila[2], y Lusette Karime Escobar Rey[3]
Servicio Geológico Colombiano, Dirección de Geoamenazas,
Grupo Investigaciones Geodésicas Espaciales, Bogotá, Colombia
[1]hmora@sgc.gov.co , [2]fdiaz@sgc.gov.co, [3]lkescobar@sgc.gov.co

1. Introducción

La subsidencia puede definirse como el hundimiento paulatino de la superficie terrestre, y puede estar asociada a procesos naturales o antropogénicos (Poland et al., 1972; Poland, 1984) (figura 1). El primero hace referencia a procesos geológicos tales como el resultado de carga isostática de sedimentos, compactación natural de depósitos holocénicos, vulcanismo, fallas y pliegues (Tomas et al., 2014). La subsidencia antropogénica se deriva del impacto de actividades humanas como la extracción de mineral, construcción de túneles, extracción de agua, petróleo o gases, descensos freáticos prolongados, carga de sedimentos, procesos de consolidación de suelos blandos, entre otros (Gambolati et al., 2005; Raucoules et al., 2007; Yuill et al., 2009)

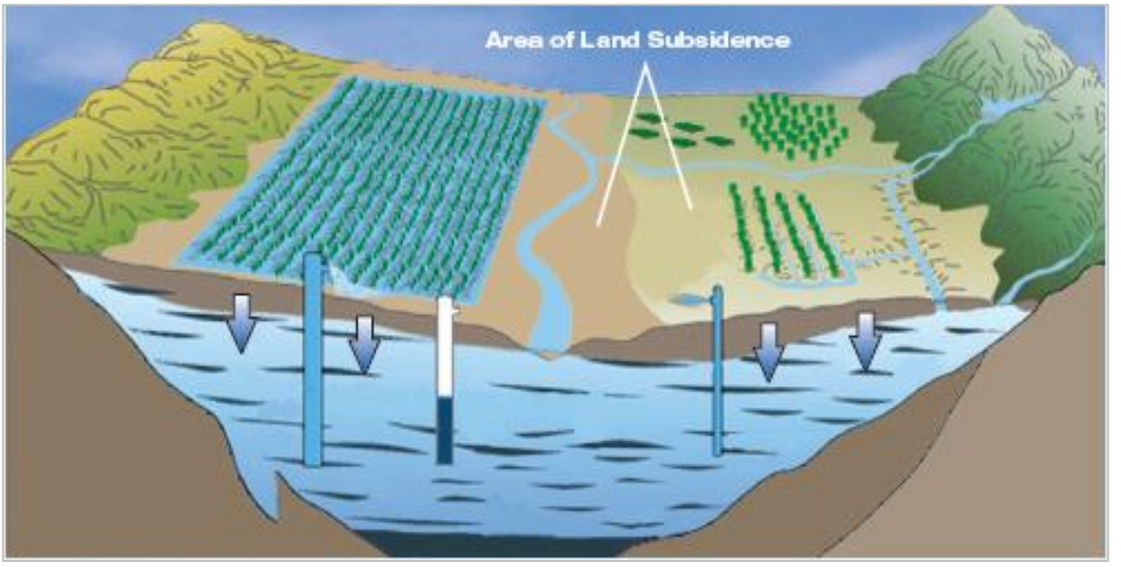


Figura 1. Diagrama esquemático de subsidencia del terreno. Tomado de NASA, 2016.

El fenómeno de la subsidencia ha sido detectado en diversos lugares del mundo, como los observados en México, Estados Unidos, Tailandia, Italia, China, entre otros. En Latinoamérica se destaca cómo la intensa explotación de acuíferos que subyacen diversas áreas urbanas de México ha resultado en altas tasas de subsidencia. En la ciudad de México, la velocidad de subsidencia máxima registrada excede los -370 mm/año, causando daños estructurales a casas de habitación e infraestructura urbana. En otras ciudades del centro de México, el proceso de subsidencia se presenta en niveles relativamente menores, pero aún lo suficientemente altos (-40 a -90 mm/año) para causar fallamiento superficial significativo. Estas altas velocidades de subsidencia son causadas por el incremento de la demanda de agua debido al crecimiento de la población, que conlleva la caída del nivel del agua subterránea y la consolidación de sedimentos. El crecimiento de la economía mexicana, especialmente en la zona más industrializada del centro y norte de México, sugiere que la demanda de agua seguirá creciendo, lo que aumentará el proceso de subsidencia y el riesgo asociado en diversas áreas urbanas del país, (UNAM, 2017; Chaussard et al, 2014).

Chaussard (2013) clasifica el área de influencia de la subsidencia en función de tres patrones espaciales, así:

a) Escala grande, mayores a 100 km2
b) Locales, entre 10 y 100 km2
c) Parches, menores a 10 km2

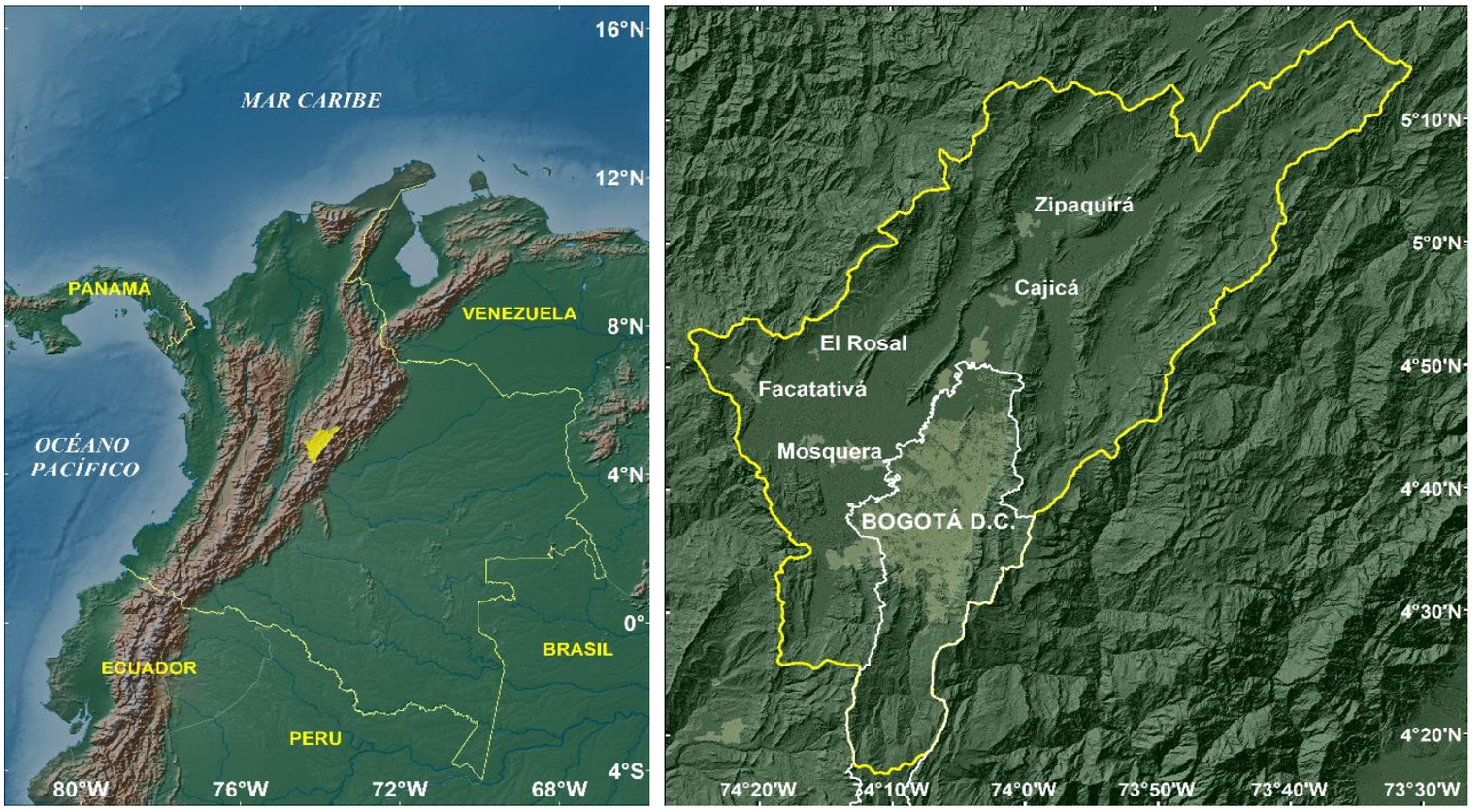
Igualmente, Chaussard (2013) ha propuesto una caracterización de la subsidencia, a partir de datos de subsidencia en Indonesia, la cual sirve como referencia para la generación de una posterior caracterización para la zona de estudio, la cual es presentada en la siguiente tabla:

Caracterización de la subsidencia. (Adaptado de Chaussard, 2013).

PROCESOS DE SUBSIDENCIA		TASAS	PATRÓN ESPACIAL	GEOLOGÍA SUPERFICIAL	USOS DEL SUELO
Natural	Sedimentación holoceno, compactación	< 1cm/año	Amplio	Depósitos compresibles	Todos los depósitos
Antropogénico	Extracción de agua, gas o petróleo	Hasta decenas de cm/año	Amplio o en parches	Depósitos compresibles	Industrial, mixto y agricultura (extracción de agua, gas o petróleo)
	Extracción de material sólido (minería)	Hasta decenas de cm/año	Local o en parches	Todos los tipos de depósitos	Industrial (minería)
	Drenado de agua superficiales	< 5cm/año	Amplio a local	Depósitos compresibles	Industrial, mixto y agricultura (cultivos o áreas recientemente desarrolladas)
Mixto	Carga en los sedimentos (asentamiento)	< 5cm/año	Amplio (carga en los sedimentos), parches (edificaciones)	Depósitos compresibles	Industrial y mixto (construcción masiva de edificaciones)

En Colombia, la subsidencia puede ser observada en ciudades grandes y podría causar daños estructurales tanto a las construcciones como a la infraestructura. Uno de las regiones más representativas del fenómeno de subsidencia en el país es la Sabana de Bogotá, localizada en la Cordillera Oriental de Colombia (figura 2), que corresponde a una cuenca tectónica-sedimentaria consolidada después de la elevación del Norte de los Andes, alrededor de 5 Ma, (van der Hammen et al, 1973; Wigninga, 1996).

Autores como van der Hammen (1998), aseguran que la extracción de agua subterránea de los acuíferos es una de las principales causas del descenso del nivel freático en los cerros, piedemonte y la planicie, incidiendo en la desaparición de un gran porcentaje de fuentes, quebradas, y en la disminución de agua superficial del río Bogotá y afluentes. La sobreexplotación del agua subterránea deja daños ambientales severos, existiendo la posibilidad que se presenten daños en la superficie asociados a subsidencia (Lobo-Guerrero, 2003).



a) **b)**

Figura 2. (a). Localización de la Sabana de Bogotá (polígono amarillo, basado en Montoya, 2007) con respecto a Colombia. (b). Perímetro de la ciudad de Bogotá (línea blanca), tomado de https://datosabiertos.bogota.gov.co/ DECA, 2020).

2. Datos

Con el propósito de cuantificar la subsidencia en la Sabana de Bogotá, el Grupo de Investigaciones Geodésicas Espaciales ha venido incursionando en el concepto de geodesia InSAR, para lo cual ha empleado 201 imágenes interferométricas de radar de apertura sintética, abarcando diferentes períodos de tiempo y de diferentes sensores. Se utilizaron 111 imágenes obtenidas con el sensor alemán TerraSAR-X, órbita descendente, en el rango de banda X con resolución espacial de 3 m, para el período de tiempo septiembre de 2011 a diciembre de 2018; 67 imágenes de la plataforma de ESA Sentinel-1, banda C con resolución espacial de 15 m, órbitas descendente y ascendente, adquiridas entre octubre de 2014 y junio de 2018; e imágenes de los sensores japoneses en banda L con resolución de 30 m, con 15 imágenes ALOS-1, órbita ascendente, abarcando el periodo de tiempo desde diciembre 2006 a Febrero 2011, así como 8 imágenes ALOS-2, órbita descendente, captadas entre noviembre 2014 y abril 2018.

3. Metodología

Bajo el concepto de geodesia InSAR (por sus siglas en inglés Interferometric Synthetic Aperture Radar), es posible realizar mediciones del desplazamiento de la superficie del terreno, principalmente en su componente vertical de manera multitemporal, a partir de la comparación de la fase de las imágenes (Bürgmann, et al., 2000) (figura 3).

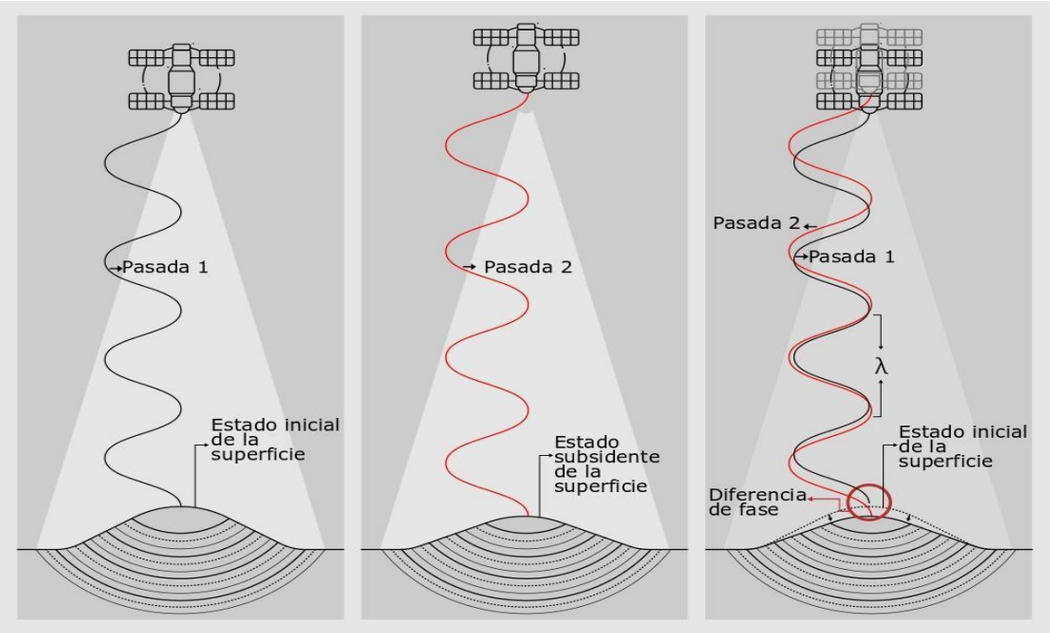


Figura 3. Medición de InSAR. Se aprecia la diferencia de fase entre una primera toma (pasada 1) respecto a una segunda toma (pasada 2); λ corresponde a la longitud de onda. Tomado de Mora-Páez, et al., 2020.

La capacidad de penetración "real" de las ondas de radar en el suelo están asociadas a una serie de factores, entre ellos los más relevantes: presencia de vegetación, el contenido de humedad y la porosidad del suelo. Esta es la razón principal por la que las primeras aplicaciones de los satélites de Radar se centraron en las zonas desérticas (Lasaponara, 2013). Por otra parte, es importante tener en cuenta que la señal de radar no puede penetrar en el agua más allá de unos pocos milímetros (European Space Agency, 2020).

La profundidad de penetración tiende a ser mayor con longitudes de onda más largas. Si se considera el ejemplo de un bosque, la radiación sólo penetrará en las primeras hojas de la parte superior de los árboles si se utiliza la banda X (λ = 3,2 cm), el contenido de información de la imagen está relacionado con la capa superior y la corona de los árboles. Por otro lado, en el caso de la banda L (λ = 23,6 cm), la radiación penetra en las hojas y en las pequeñas ramas; el contenido de información de la imagen está entonces relacionado con las ramas y eventualmente con los troncos de los árboles, en el caso de la banda C (λ = 5,6 cm) este efecto es también observado, sin embargo en menor proporción que la banda L. En la figura 4, se presenta una representación esquemática de la explicación.

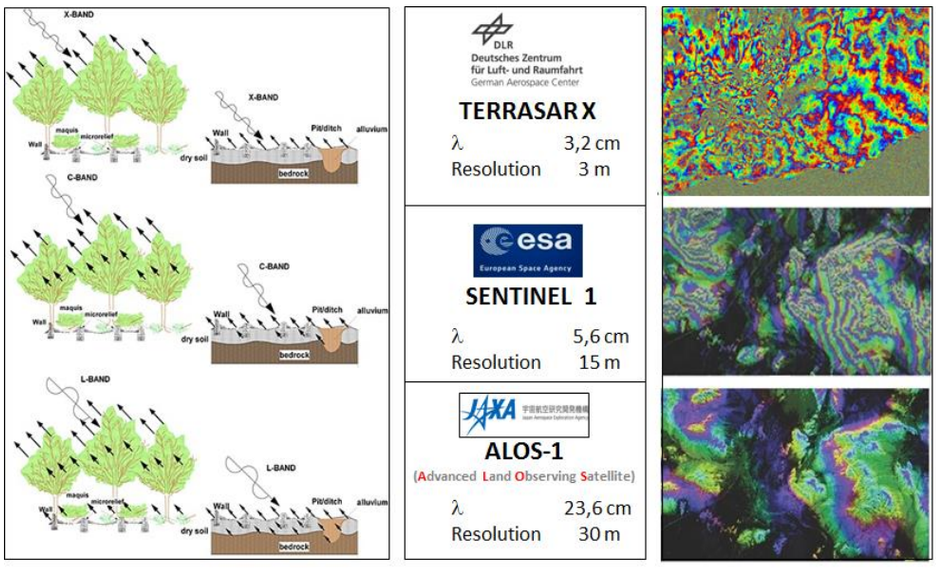


Figura 4. Diferencia entre la capacidad de penetración de los diferentes sensores de radar de acuerdo a su longitud onda (banda). La imagen superior representa una imagen de banda X, la intermedia banda C y la inferior banda L. Modificado de Lasaponara, 2013.

El procesamiento de las imágenes implica, dependiendo el tipo de sensor y la técnica a ser empleada, del uso de diversos paquetes de procesamiento científico, tales como ISCE (InSAR Scientific Computing Environment) (Rosen, 2012), GIAnT (Generic InSAR Analysis Toolbox) (Agram, 2013), Sentinel-1 Toolbox (S1TBX) de la ESA (European Space Agency, 2018) y SNAPHU (Statistical-cost, Network-flow Algorithm for Phase Unwrapping) desarrollado por (Chen, 2001). El proceso de Geodesia InSAR se resume en las siguientes etapas (figura 5):

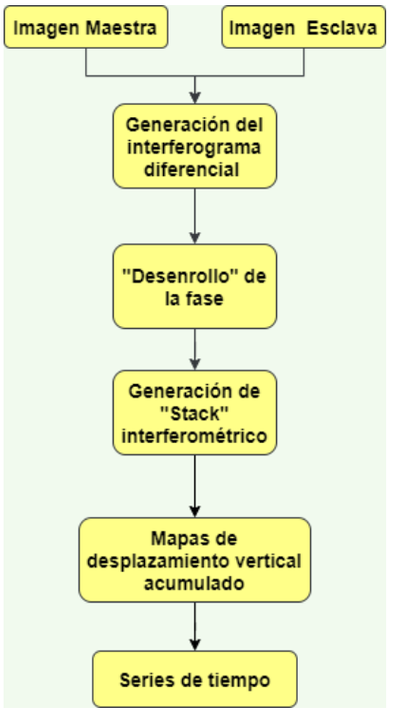


Figura 5. Proceso simplificado de geodesia InSAR.
Fuente: autores.

Generación de interferogramas

Un interferograma es el resultado de la comparación entre dos imágenes, la primera de las cuales se denomina “maestra”, adquirida en una fecha “inicial”, y la segunda “esclava”, con fecha posterior, obteniéndose una imagen que contiene un ciclo de colores conocido como franjas (fringes) interferométricas. La figura 6, representa por medio de un ciclo de colores (rojo, naranja, amarillo, verde, azul, púrpura), la estimación de desplazamientos relativos de la superficie; dependiendo del orden en que se presenten los colores, se puede establecer si la zona se hunde o levanta (USGS, 2020).

Cada ciclo de colores corresponde a la mitad de la longitud de onda del sensor con el cual se obtuvo el interferograma; por lo tanto, se pueden estimar los cambios relativos en la superficie terrestre contando la cantidad de franjas interferométricas respecto a un sitio que aparentemente no presenta cambios, como se presenta en la figura 7.

En la figura 7 se realiza una estimación de desplazamientos verticales negativos que inicia en el punto 1 hasta el punto 2, medida a partir de una rampa de colores que va del cyan a cyan pasando por morado, magenta, amarillo, verde. Este patrón corresponde a un ciclo colores expresado en el módulo 2π, lo que se conoce como “ambigüedad” de la fase ó fase “enrollada” (Ferretti 2007), donde cada ciclo representa un desplazamiento vertical equivalente a la mitad de la longitud de onda del sensor, este caso es de 1,6 cm considerando que las imágenes interferométricas de TerraSAR-X tiene una longitud de onda de 3,2 cm. El sentido del desplazamiento vertical está dado en función del orden de colores de –π a π, indicado en la barra de colores, el cual en este caso indica subsidencia. De esta manera, se podría estimar el desplazamiento relativo de un punto respecto a otro; por ejemplo, si se tiene como referencia un punto denominado 1 y se compara con otro denominado 2, se observa que entre los dos hay una diferencia de 3 ciclos de colores es decir 4,8 centímetros en el sentido de la subsidencia.

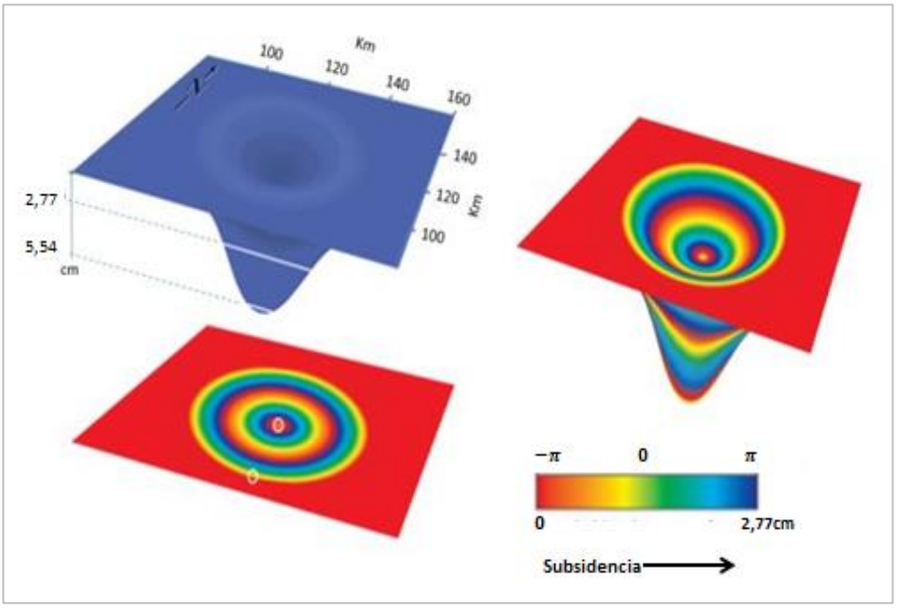


Figura 6. Modelo representativo de subsidencia. Modificado de https://ca.water.usgs.gov/land_subsidence (2020).

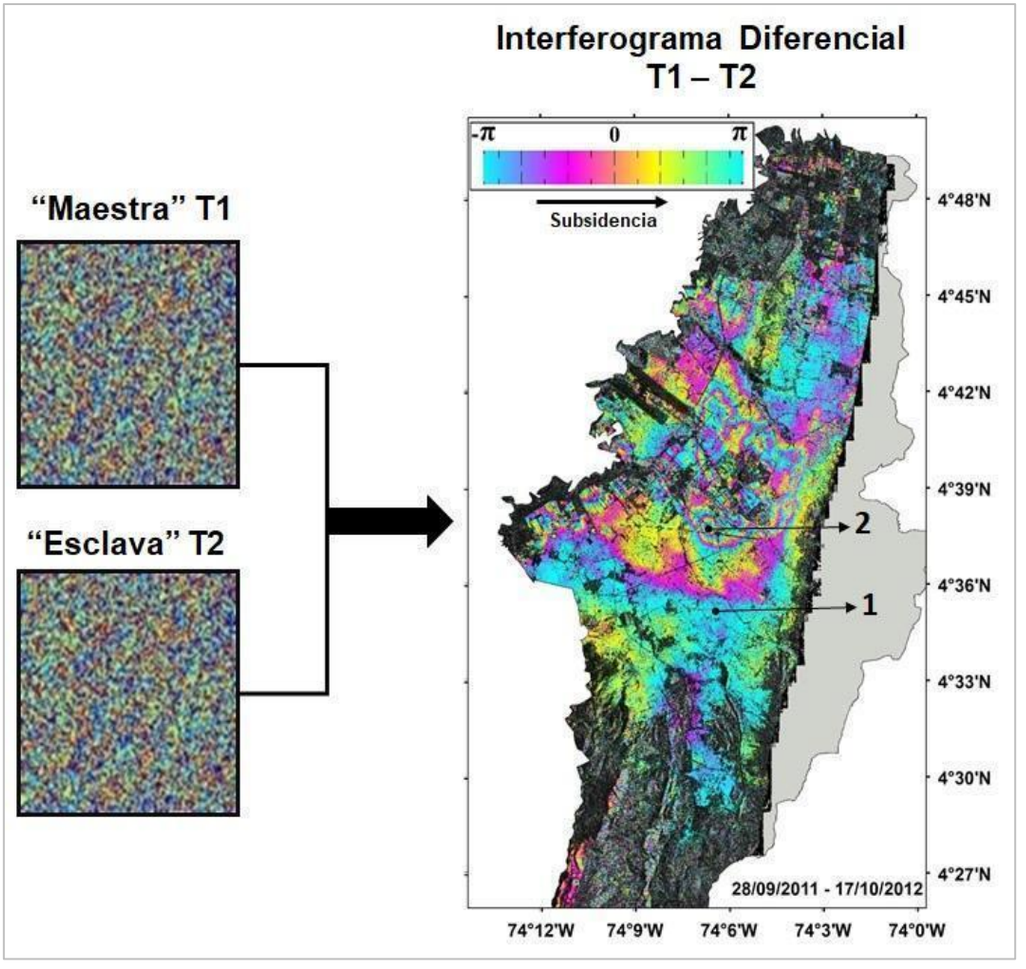


Figura 7. Ejemplo de interferograma diferencial generado a partir de imágenes TerraSAR-X para la ciudad de Bogotá entre el 28/09/2011 y 17/10/2012. Tomado de Mora-Páez, et al., 2020.

Para el cálculo de subsidencia de la Sabana de Bogotá, se realizaron diferentes combinaciones, las cuales dieron lugar a 38 interferogramas diferenciales a partir de imágenes Sentinel-1, y para la ciudad de Bogotá se obtuvieron 32 interferogramas con imágenes ALOS-1, 16 con ALOS-2 y 501 interferogramas con TerraSAR-X, estos interferogramas fueron el producto de una minuciosa selección basada en la línea base máxima según el sensor, para el caso de Sentinel-1 se tuvo en cuenta una línea base no mayor a 200 metros (European Space Agency, 2020), para TerraSAR-X una línea base máxima de 250 metros (Eineder, 2003), en el caso de ALOS1 y ALOS-2 se empleó una línea base máxima de 350 metros (Nonaka, 2020).

Para estimar los desplazamientos verticales pixel por pixel de la imagen "esclava" respecto a la "maestra", al interferograma generado se le aplica un procedimiento conocido como "desenrollo" de la fase. Este método consiste en resolver la "ambigüedad" de la fase expresada en 2π ó "fase enrollada" que corresponde a la medida generada por el sensor (figura 8); el procedimiento comprende una series de algoritmos cuya finalidad es la recuperación de la fase original que es "desenrollada", y así proporcionar la medición de la variación de la altitud real (Ferretti, 2007).

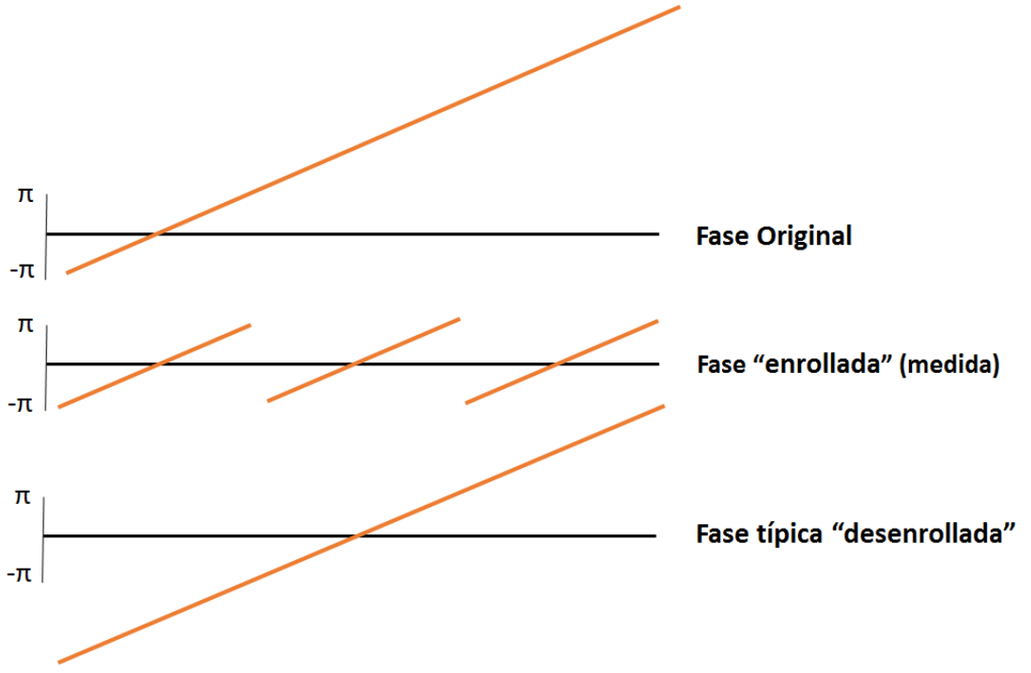


Figura 8 Representación esquemática de "desenrollo" de la fase. Modificado de Fielding. 2018..

3.1. Generación del "stack" interferométrico

Con el fin de analizar conjuntamente los desplazamientos verticales a través del tiempo, se realiza un procedimiento llamado "stacking", que consiste en el "apilamiento" y conformación de un solo archivo digital de tres dimensiones que contiene desplazamientos acumulados en el tiempo respecto a la imagen maestra, como se muestra en la figura 9. Este procesamiento permite generar tanto mapas de desplazamiento acumulados como series de tiempo.

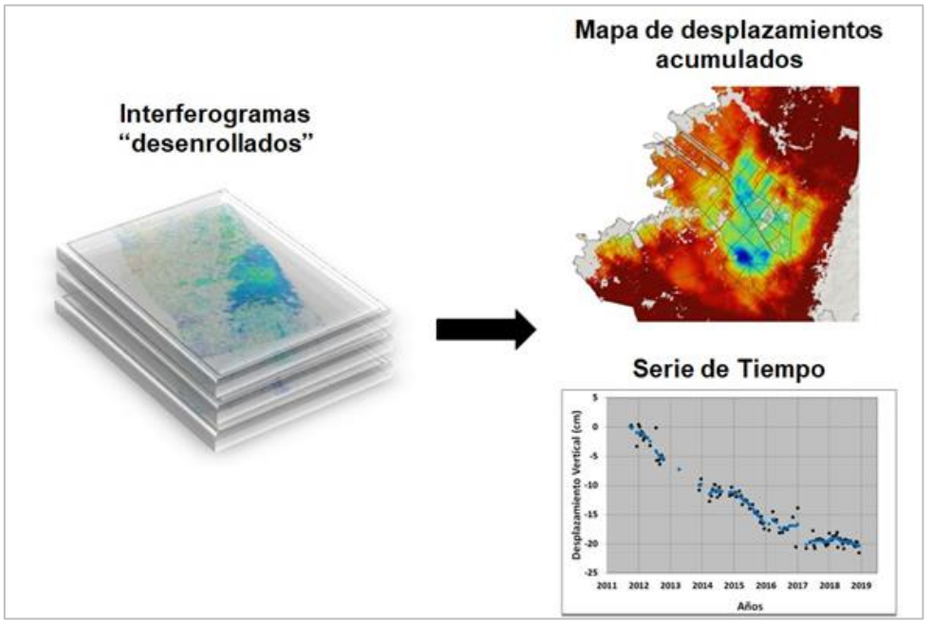


Figura 9. Esquema representativo de un "stacking" ó "apilación" que genera un cubo de datos de desplazamiento acumulados correspondiente a cada periodo de toma de imagen, obtenido a partir de los interferogramas "desenrollados". Mediante este "stack" se obtienen los mapas de desplazamiento acumulado así como series de tiempo. Tomado de (Mora-Páez et al., 2019,2020).

4. Resultados

A continuación, se muestran los resultados de subsidencia obtenidos a partir de técnicas InSAR, haciendo uso de tres diferentes plataformas, SENTINEL-1, TerraSAR-X, y ALOS-1 y ALOS-2.

4.1. Sabana de Bogotá

A partir de imágenes Sentinel-1, se generó un mapa de desplazamiento vertical para la Sabana de Bogotá, que incluye la ciudad de Bogotá y los municipios de Mosquera, Madrid, Funza, Facatativá, Subachoque, El Rosal, Tabio, Tenjo, Cota, Chía, Cajicá, Zipaquirá, Cogua, Soacha, y Bojacá, para el periodo de tiempo comprendido entre octubre de 2014 y junio de 2018. Este mapa es clasificado por rangos de subsidencia. El color rojo representa subsidencia mayores a 4 cm; el color naranja, en el rango de 2 a 3,9 cm; el color amarillo, entre 1 y 1,9 cm; y en azul zonas con valores menores a 1 cm o nulos, tal como se muestra en la figura 10.

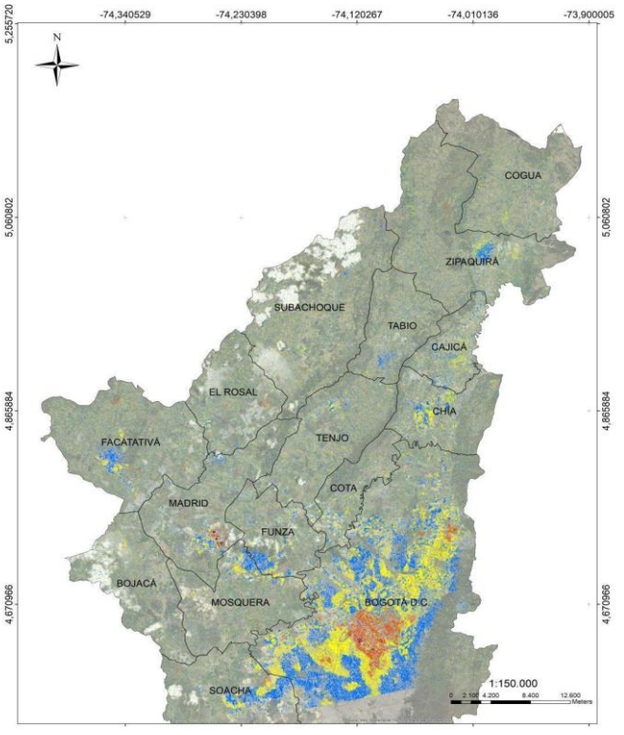


Figura 10. Distribución Espacial de la subsidencia en la Sabana de Bogotá 2014-2018. Tomado de Escobar, (2020).

En la figura 11 se muestran las zonas (identificadas por números) que presentaron desplazamientos verticales negativos hasta de 8,3 cm en 3,7 años. Corresponde a las zonas industriales de Puente Aranda (1), El Ejido (2), Montevideo (3) y predios aledaños a la Universidad Nacional de Colombia en la ciudad Bogotá, y el Parque Industrial Santa Cruz del municipio de Madrid (5).

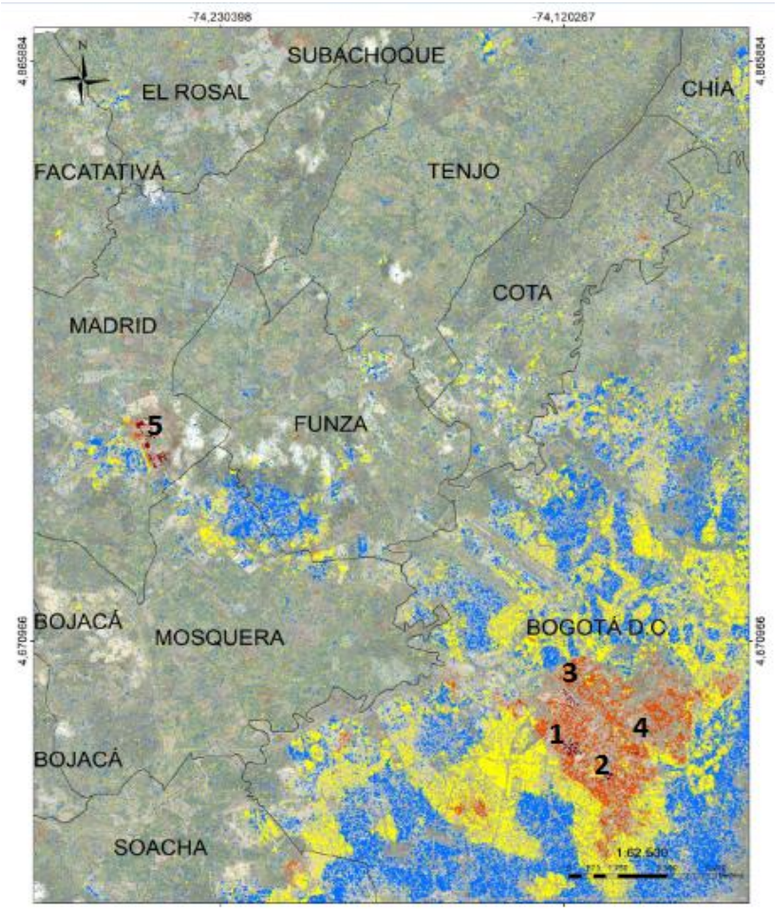
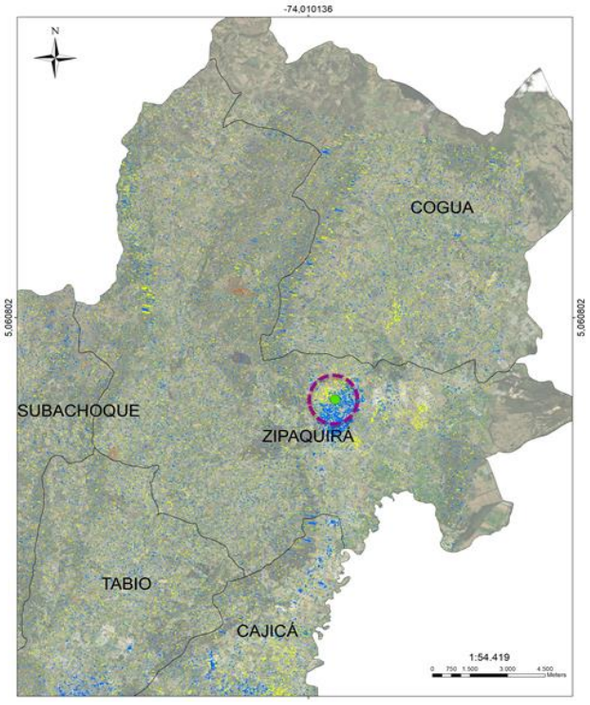


Figura 11. Zonas con mayor subsidencia en la región de la Sabana de Bogotá. Tomado de Escobar, (2020).

La figura 12 muestra, a manera de ejemplo, la serie de tiempo InSAR obtenida a partir de imágenes Sentinel-1, para el período de tiempo comprendido entre octubre de 2014 a junio de 2018, en un punto localizado en el municipio de Zipaquirá.

Los puntos rojos representan los desplazamientos verticales expresados en mm en un tiempo determinado; la línea negra representa un ajuste polinomial por mínimos cuadrados, empleado para validar los datos, y así entender la tendencia asociada al comportamiento del fenómeno en el intervalo de tiempo definido.



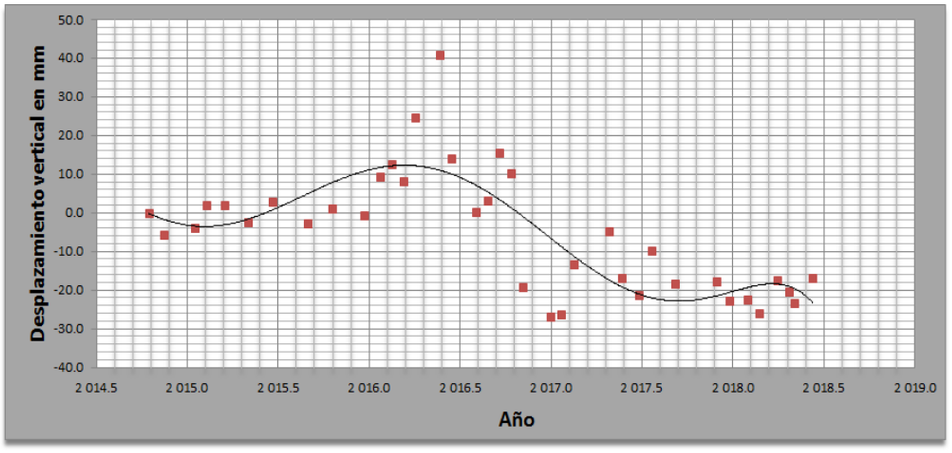


Figura 12. Serie de tiempo InSAR a partir de imágenes Sentinel-1, municipio de Zipaquirá. Tomado de Escobar, (2020).

4.2. Ciudad de Bogotá

A partir de las imágenes TerraSAR -X, se obtuvieron desplazamientos verticales máximos de -20,4 cm para la ciudad de Bogotá, para el periodo septiembre 2011 a diciembre 2018, como se aprecia en la figura 13.

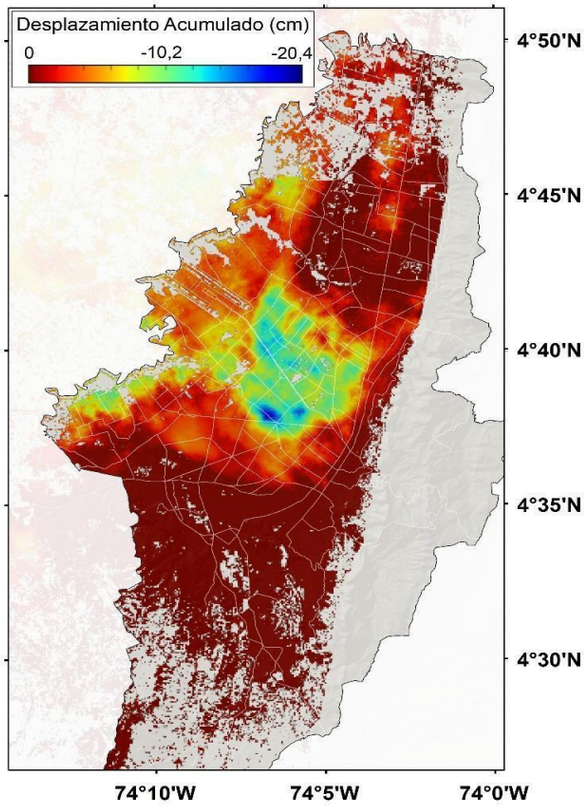


Figura 13. Mapa de desplazamientos verticales acumulados para el periodo septiembre 2011 a diciembre 2018, Tomado de (Mora-Páez, et al 2020).

En la figura 14 se observa una serie de tiempo, donde se observa el comportamiento de la subsidencia en la zona con valores considerados como altos.

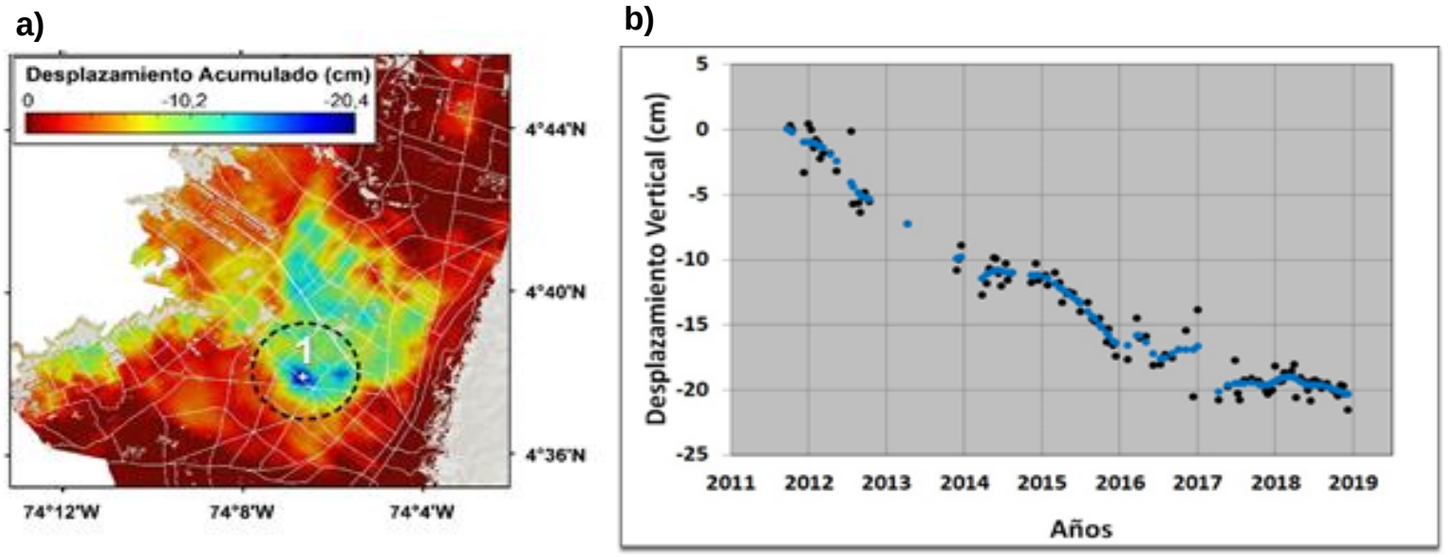


Figura 14. a) Mapa de desplazamientos acumulados del punto 1 sector industrial de Puente Aranda. b) Serie de tiempo del punto. Los puntos de color negro corresponden a los valores observados del procesamiento del "stacking", mientras que los puntos azules a los valores obtenidos mediante la aplicación del filtro Media Móvil Ponderado Gaussiano. Tomado de (Mora-Páez et al 2020).

Mediante el uso de imágenes ALOS-1, se obtuvo el mapa de desplazamientos el cual se observa en la figura 15, desplazamientos máximos de 28 cm en el periodo diciembre 2006 a febrero 2011.

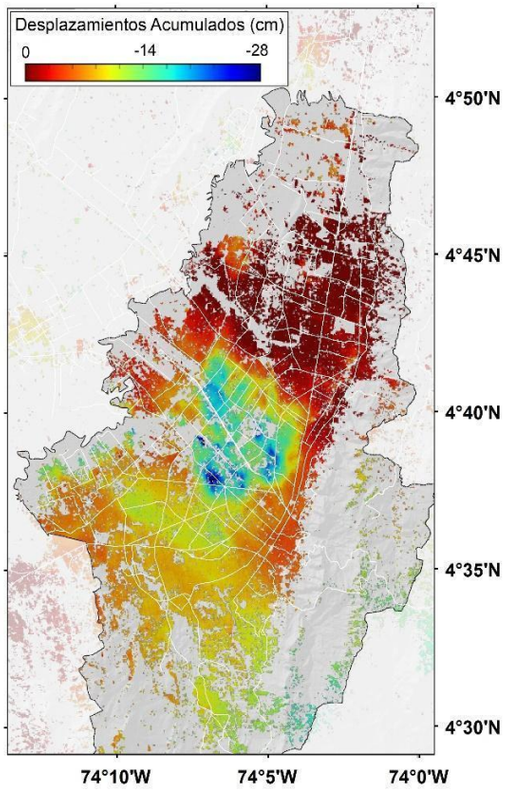


Figura 15. Mapa de desplazamientos verticales acumulados para el periodo diciembre 2006 a febrero 2011. Tomado de (Mora-Páez et al 2018).

En la figura 16 se muestra una serie de tiempo en la misma zona “Puente Aranda” que se calculó mediante imágenes TerraSAR-X.

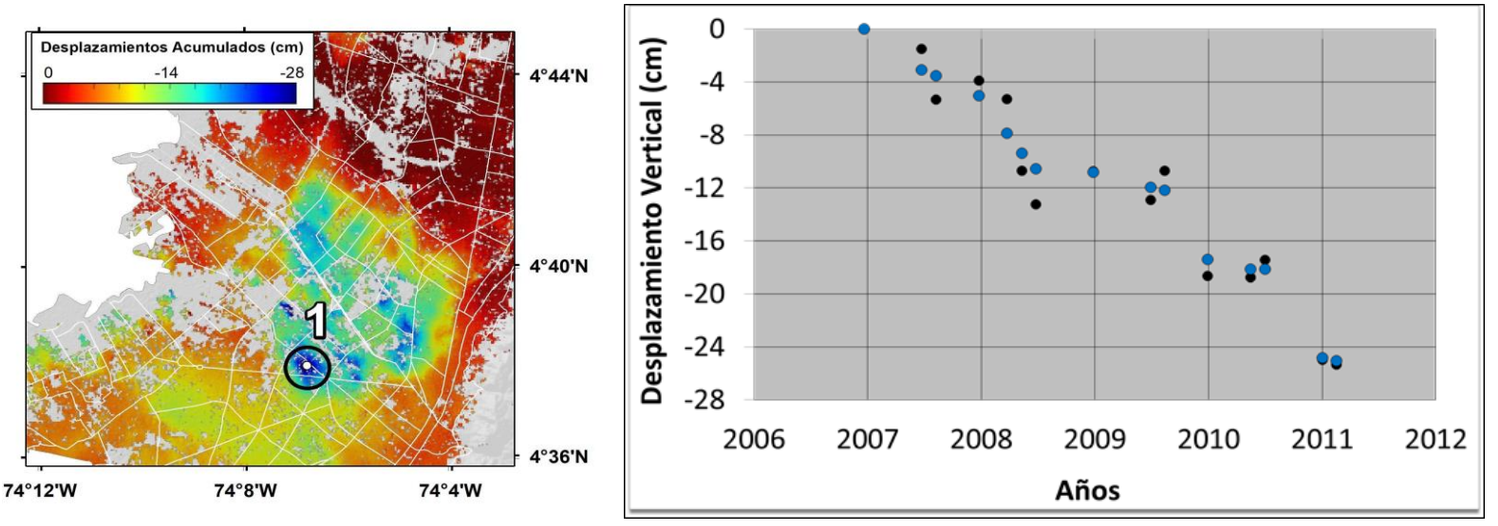


Figura 16. Serie de tiempo de la zona de “Puente Aranda”, estimada a partir de ALOS-1, para el periodo diciembre 2006 a febrero 2011. Fuente: autores.

Con imágenes ALOS-2, se obtuvo el mapa de desplazamientos acumulados del periodo noviembre de 2014 a abril de 2018, el cual presenta desplazamientos verticales negativos máximos de 16 cm como se observa en la figura 17. En la figura 18, se muestra la serie de tiempo de la zona de Puente Aranda en la ciudad de Bogotá.

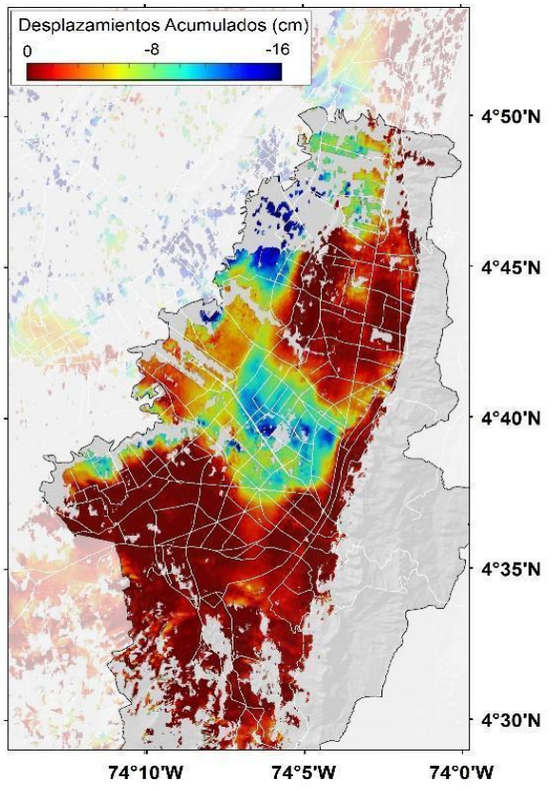


Figura 17. Mapa de desplazamientos verticales acumulados para el periodo noviembre de 2014 a abril de 2018. Tomado de Mora-Páez, et al., 2020.

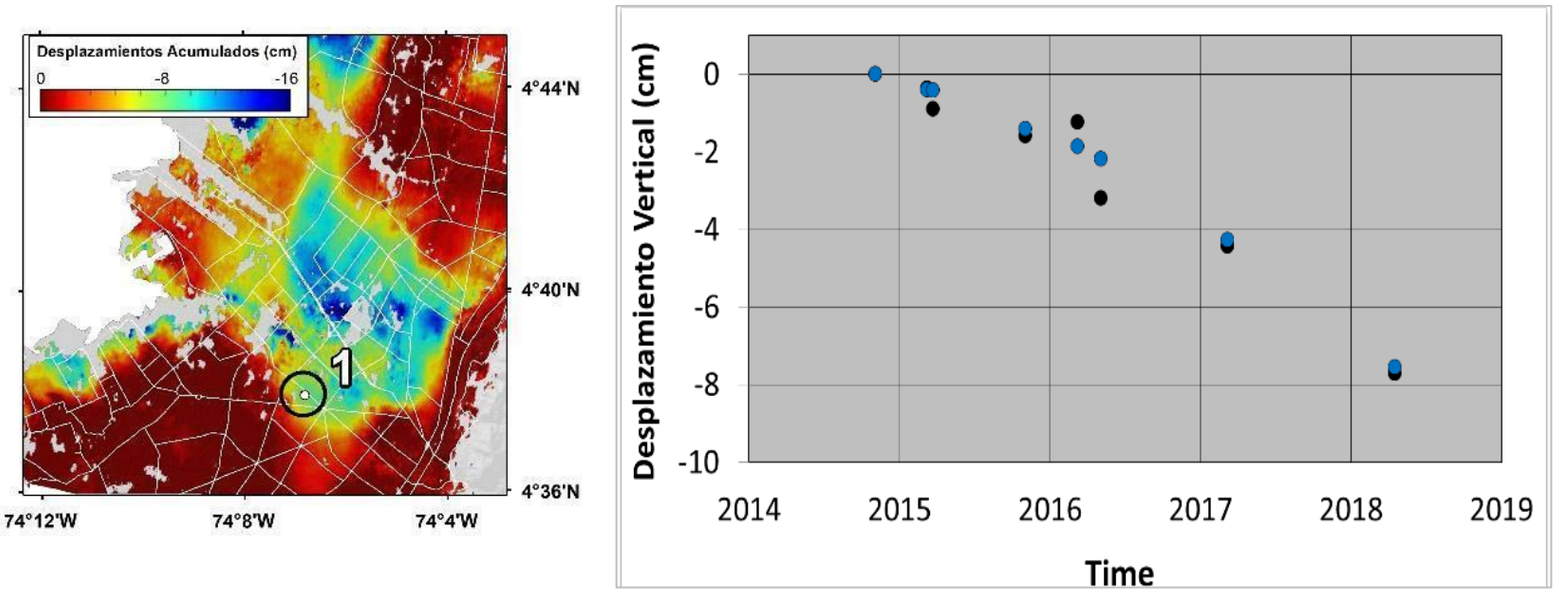


Figura 18. Serie de tiempo de la zona de "Puente Aranda", estimada a partir de ALOS-2, para el periodo noviembre de 2014 a abril de 2018.

5. Discusión y conclusiones

Se destaca la importancia de la aplicación de la geodesia InSAR en el monitoreo de la subsidencia en la sabana de Bogotá, fenómeno que no se presenta de forma general; en cada municipio se aprecian zonas específicas que evidencian focos de subsidencia.

Los resultados obtenidos para la Sabana de Bogotá en un periodo de 3,7 años, comprendidos entre octubre de 2014 y junio de 2018 mediante imágenes Sentinel-1, permiten generar un mapa de desplazamiento vertical en el cual se evidencia la subsidencia presentada en diferentes rangos, unos con mayor afectación que otros. Por ejemplo, en el municipio de Zipaquirá, se evidencian focos de subsidencia entre 2 y 4 cm, mientras que la ciudad de Bogotá y el municipio de Madrid, donde se encuentran los valores más altos, con desplazamientos verticales negativos del orden de 8 cm, estimados con este sensor.

Por otra parte, en la ciudad de Bogotá mediante las imágenes (TerraSAR-X, Sentinel-1, ALOS-1, ALOS-2) se puede apreciar que la subsidencia en Bogotá está caracterizada por sectores aislados o "parches", que de acuerdo a la clasificación propuesta por (Chaussard, 2013), considerando que los valores en promedio no superan una decena de cm/año en áreas de hasta 3 km2 corresponden probablemente a procesos antropogénicos asociados a extracción de agua. En la estimación de la subsidencia realizada, se encontraron algunas diferencias, que pueden ser atribuibles al uso de diferentes sensores. Los valores verticales obtenidos con TerraSAR-X y SENTINEL-1 permiten establecer tasas de subsidencia entre 2 y 3,3 cm por año frente a los obtenidos con ALOS-1 y ALOS-2 con tasas que oscilan de 3 a 6 cm por año, es decir, el doble respecto a los primeros valores. Dichas diferencias pueden ser atribuidas por un lado a la cantidad de imágenes involucradas en el procesamiento, toda vez que el número de imágenes de los sensores ALOS son notablemente menores que las imágenes tanto SENTINEL-1 como TerraSAR-X. El empleo de un mayor número de imágenes mejora sustancialmente los resultados porque posibilita la generación de un mayor número de interferogramas coherentes, principal insumo del "stack" interferométrico. Concordante con lo anterior, el período de tiempo que abarcan las imágenes es otro elemento fundamental; en este caso, los resultados que se obtuvieron con ALOS-2 para el periodo de tiempo noviembre de 2014 a abril de 2018 está contenido en el periodo septiembre 2011 a diciembre 2018 que corresponde a TerraSAR-X.

Es importante señalar que independientemente del tipo de sensor que se emplee y de los valores obtenidos, se pueden observar en todos los casos tendencias claras. Incluso, con ALOS-2 se pudieron encontrar otras zonas de subsidencia localizadas en la zona noroccidental de la ciudad, lo cual es posible debido a la mayor capacidad de penetración del sensor en su banda L.

Sin lugar a dudas, la interferometría de Radar de Apertura Sintética-InSAR, es una técnica adecuada para medir los desplazamientos verticales, orientada a establecer el comportamiento del fenómeno de subsidencia en un periodo de tiempo determinado, permitiendo además determinar su distribución espacial. El uso de tres tipos de sensores como Sentinel-1, TerraSAR-X, ALOS-1 y ALOS-2, representan una complementariedad en los resultados obtenidos para la ciudad de Bogotá, obteniendo mayor penetración principalmente en zonas con mayor vegetación mediante el uso de la banda L, y mayores resoluciones utilizando las bandas C y X, permitiendo mejorar la interpretación y análisis del fenómeno de subsidencia.

La subsidencia puede ser causada por eventos naturales o por la actividad antrópica, y los cambios dependen de condiciones tanto locales como regionales. Así, la realización de mediciones a mediano y largo plazo son de vital importancia para entender las características propias del fenómeno y de los diferentes procesos involucrados. Las acciones antrópicas en la Sabana de Bogotá son probablemente las que más impactan el fenómeno de subsidencia, por lo cual, para que se pueda minimizar este impacto, se requiere poder contar con mayor información que permita establecer la relación entre la actividad propiamente dicha y los movimientos verticales. Por lo tanto, dado el alcance e importancia que estos resultados tienen para la posible afectación de la infraestructura en la sabana de Bogotá y particularmente en la ciudad de Bogotá, es importante continuar, no solo con el uso de imágenes interferométricas, tanto de órbitas ascendentes como descendentes, sino realizar la integración de resultados de Geodesia InSAR con los obtenidos con geodesia GNSS de posicionamiento, tarea que ha iniciado el Grupo de Investigaciones Geodésicas Espaciales del Servicio Geológico Colombiano con el fin de tener una estimación real de la subsidencia a largo plazo. También es recomendable analizar los resultados de la estimación cuantitativa con los estudios de análisis de extracción de agua subterránea, pluviosidad, entre otros, así como integrar datos interdisciplinarios para la generación de modelos numéricos de variaciones superficiales asociadas a la extracción del agua subterránea.

6. Agradecimientos

Al Servicio Geológico Colombiano, por las imágenes empleadas en este estudio y por la infraestructura establecida en el Grupo de Investigaciones Geodésicas Espaciales – GIGE. A la Agencia Espacial Europea por la disposición de las imágenes interferométricas SENTINEL-1 y software SENTINEL-1 Toolbox (S1TBX). A la Agencia Espacial Japonesa JAXA por el suministro de las imágenes de ALOS. A Curtis W. Chen de la Universidad de Stanford, por proporcionar el algoritmo de uso libre SNAPHU. A Western North America InSAR (WInSAR) Consortium de UNAVCO quienes proporcionaron los paquetes científicos ISCE (InSAR Scientific Computing Environment) y GIAnT (Generic InSAR Analysis Toolbox).

7. Bibliografía

Agram, P. S., Jolivet, R., Riel, B., Lin, Y. N., Simons, M., Hetland, E., Doin, M.-P. & Lasserre, C. (2013). New Radar Interferometric Time Series Analysis Toolbox Released, Eos Transactions, American Geophysical union 94 (7), 69-76, https://doi.org/10.1002/2013EO070001

Bürgmann R, Rosen P. & Fielding E. (2000). Synthetic Aperture Radar Interferometry to Measure Earth's Surface Topography and Its Deformation, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 2000. 28:169–209, DOI: 10.1146/annurev.earth.28.1.169

Chaussard E., F. Amelung, H. Abidin and S.-H. Hong (2013), Sinking cities in Indonesia: ALOS PALSAR detects rapid subsidence due to groundwater and gas Extraction, Remote Sensing of Environment, 128, 150–161, http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.015.

Chaussard E., S. Wdowinski, E. Cabral-Bueno, F. Amelung (2014), Land subsidence in central Mexico detected by ALOS InSAR time-seriesRemote Sensing of Environment v 140, (p. 94-106)

Chen, C. (2001). Statistical-cost network-flow approaches to two-dimensional phase unwrapping for radar interferometry. Doctoral thesis. Stanford University. Stanford, 159p.

Eineder, M., Runge, H., Boerner, E., Bamler, R., Adam, N., Schättler, B., Breit, H. & Suchandt, S. (2003). SAR interferometry with Terrasar-X. FRINGE 2003 Workshop, Frascati, Italy, 1 - 5 December 2003 (ESA SP-550, June 2004). Bibcode: 2004ESASP.550E..45E

Escobar, L. (2020). Subsidencia de la sabana de Bogotá mediante técnicas InSAR: Estudio cuantitativo empleando imágenes SENTINEL-1. (Tesis de maestría). Universidad de Manizales. Manizales. 68-97.

European Space Agency. ESA (2018). Science Toolbox Exploitation Platform. Retrieved from http://step.esa.int/main/download/snap-download/

European Space Agency. ESA (2020). Radar course 2 chapters, página web consultada en septiembre 2020 https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/ers/instruments/sar/applications/radar-courses/course-2.

European Space Agency. ESA (2020). Part B InSAR processing: a practical approach. Website consulted in september of 2020. Retrieved from https://www.esa.int/esapub/tm/tm19/TM-19_ptB.pdf

Ferretti, A., Monti-Guarnieri, A., Prati, C. & Rocca F. (2007). InSAR Principles: Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation. ESA Publications, Postbus 299 2200 AG Noordwijk The Netherlands 48 p. ISBN: 92-9092-233-8.

Fielding E. (2018), SAR Interferométrico para el Estudio de Terremotos NASA's Applied Remote Sensing Training Program, Presentación página 12 https://arset.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/disasters/Adv-SAR/SAR_S4-spanish.pdf.

Gambolati, G., teatini , P. and Ferronato, M. (2005), Anthropogenic Land Subsidence, In Encyclopedia of Hydrological Sciences. Ed. M G Anderson, John Wiley & Sons, Ltd., 2443-2459

IDECA (2020), Mapa de referencia para Bogotá D.C, consultado en septiembre 2020, https://datosabiertos.bogota.gov.co/dataset/mapa-de-referencia.

Lasaponara, R. & Masini, N. (2013), Satellite Synthetic Aperture Radar in Archaeology and Cultural Landscape: An Overview. Published online in Wiley Online Library, Archaeological Prospection. Archaeol. Prospect. 20, 71–78 (2013, DOI: 10.1002/arp.1452.

Lobo-Guerrero, A. (1992). Geologia e Hidrogeologia de Santafe de Bogota y su Sabana. Santafe de Bogota, D.C. VII Jornadas Geotécnicas de la ingeniería de Colombia. Sociedad Colombiana de ingeneros-Sociedad Colombiana de Geotécnia. 20 páginas. Santafé de Bogotá D.C. octubre 30 de 1992.

Lobo-Guerrero A., (2003), Effects of aquifer overexploitation on the surface infrastructure in the Bogotá Sabana (Colombia), RMZ Materials and Geoenvironment 50: 193-196

Montoya D. & Reyes G. (2007). Geología de la Sabana de Bogotá. Publicaciones especiales del Ingeominas No 8. Volumen 28 páginas 1-103 Bogotá D.C..

Mora-Páez, H., Díaz-Mila, F., Sagiya T., Londoño L. & Corchuelo Y. (2020). Contribución de la geodesia espacial en la gestión del riesgo en Colombia. Casos de aplicación. Libro de investigaciones en gestión del riesgo. Unidad de Gestión de Riesgo de Desastres UNGRD. Bogotá (en prensa).

Mora-Páez, H., Díaz-Mila, F. & Cardona, L. (2019). Mapping land subsidence in Bogotá, Colombia, using the interferometric synthetic aperture radar (InSAR) technique with TerraSAR-X images. In: Gómez, J. & Pinilla-Pachon, A.O. (editors). The Geology of Colombia, Volume 4 Quaternary. Servicio Geológico Colombiano, Publicaciones Geológicas Especiales 38, 663-705. Bogotá, https://doi.org/10.32685/pub.esp.38.2019.16

NASA, (2016), Water: Sustaining Life, NASA-ISRO SAR Mission, CALTECH, White Paper, 2 p., http://nisar.jpl.nasa.gov
Nonaka, H., Asaka T., Iwashita K. & Ogushi F. (2020), Evaluation of the Trend of Deformation around the Kanto Region Estimated Using the Time Series of PALSAR-2 Data, Sensors (Basel). 2020 Jan 7;20(2):339. doi: 10.3390/s20020339.

Nonaka, H., Asaka T., Iwashita K. & Ogushi F. (2020), Evaluation of the Trend of Deformation around the Kanto Region Estimated Using the Time Series of PALSAR-2 Data, Sensors (Basel). 2020 Jan 7;20(2):339. doi: 10.3390/s20020339.

Poland J. (Ed.) (1984), Guidebook to studies of land subsidence due to ground-water withdrawal, International Hydrological Programme, Working Group 8, 4, UNESCO, ISBN 92-3-102213-X, Chelsea, Michigan, USA, 330 p.

Poland J. F., B. E. Lofgren and F. S. Riley (1972), Glossary of Selected Terms Useful in Studies of the Mechanics of Aquifer Systems and Land Subsidence due to Fluid Withdrawal, Geological Survey Water-Supply Paper 2025, U.S. Government Printing Office, Washington, USA, 11 p.

Raucoules D., C. Colesanti and C. Carnec (2007), Use of SAR interferometry for detecting and assessing ground subsidence, Comptes Rendus Geosciences, 339(5), 289–302, http://dx.doi.org/10.1016/j.crte.2007.02.002.

Rosen, P.A., Gurrola, E., Sacco, G.F. & Zebker, H., (2012). The InSAR scientific computing environment, EUSAR 2012; 9th European Conference on Synthetic Aperture Radar, 730-733.

Tomas, R., Romero, R., Mulas, J., Marturia , J. J., Mallorquı, J., Lopez Sanchez , J. M., et al. (2014). Radar interferometry techniques for the study of ground subsidence phenomena: a review of practical issues through cases in Spain. Environ Earth Sci. 71,163–181 https://doi.org/10.1007/s12665-013-2422-z.

UNAM, (2017), Subsidencia urbana. http://cardi.geofisica.unam.mx/subsidence/ (Consulta, Diciembre de 2017)

USGS. (2020). U.S. Geological Survey. Retrieved 06 2020, from https://www.usgs.gov: https://www.usgs.gov/centers/ca-water-ls/science/interferometric-synthetic-aperture-radar-insar?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects
Van Der Hammen, T. (1998). Plan ambiental de la cuenca alta del río Bogotá. Bogotá. Análisis y orientaciones para el ordenamiento territorial. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Bogotá. 142 páginas. http://hdl.handle.net/20.500.12324/29770.

Van der Hammen T., J. H. Werner, and H. van Dommelen, (1973), Palynological record of the upheaval of the Northern Andes: a study of the Pliocene and Lower Quaternary of the Colombian Eastern Cordillera and the early evolution of its High-Andean biota. Palaeobot. and Palynol. 16:1-122.

Wijninga V., (1996), Paleobotany and palynology of Neogene sediments from the high plain of Bogotá, (Colombia). PhD Thesis, University of Amsterdam, Amsterdam, 370 pp.

Yuill B., D. Lavoie and D. Reed (2009), Understanding Subsidence Processes in Coastal Louisiana, Journal of Coastal Research: Special Issue 54: pp. 23 – 36. https://doi.org/10.2112/SI54-012.1

3. Transformaciones de la Línea de Costa en el Sector Urbano e Industrial de Moa (Cuba), en el período 1955-2017.

Yosbanis Cervantes Guerra[1], Yordanys E. Batista Legrá[2], Arlena Calzadilla Ramírez[3]
[1,2]Universidad de Moa, Avenida Calixto García Íñiguez No.15 entre Avenida 7 de diciembre y calle Reynaldo Laffita Rueda, Reparto Caribe, Moa, Holguín, Cuba
[3]Empresa Productora de Níquel y Cobalto "Ernesto Che Guevara"
[1]ycervantes@ismm.edu.cu

Resumen
El presente trabajo titulado "Evolución de la línea de costa en el sector costero urbano e industrial de Moa, Cuba", tiene como objetivo caracterizar los procesos de erosión y sedimentación en el sector costero urbano e industrial de Moa a través de herramientas cartográficas y el análisis de sensores remotos. El procedimiento empleado consistió en la identificación y valoración de un geoindicador: la posición de la línea de costa el cual es utilizado para valorar los cambios ocasionados por los procesos erosivos y la acumulación de sedimentos en el litoral. Para su determinación se digitalizó la información gráfica y se crearon mapas temáticos temporales además de realizarse análisis comparativos de la costa por tres períodos, de 1955 - 1985, de 1985 -2017 y de 1955 -2017 a través de imágenes de Google Earth del año 2020. Mediante la cartografía comparada se determinó que se han perdido 74 040 m² de terreno producto a la erosión en el sector donde la principal zona afectada resultó el Tramo III que comprende la parte este de la zona de estudio. Los resultados obtenidos han permitido conocer los cambios geoambientales mediante la interrelación entre los agentes geodinámicos y antropogénicos que han dado origen a los rasgos geomorfológicos que presenta el sector costero de estudio**.**

Abstract
The present work "Evolution of the coastline in the urban and industrial coastal sector of Moa, Cuba" aims to characterize the erosion and sedimentation processes in the urban and industrial coastal sector of Moa through cartographic tools and sensor analysis remote. The procedure used consisted of identifying and evaluating a geoindicator: the position of the coastline, which is used to assess the changes caused by erosive processes and the accumulation of sediments on the coast. For its determination, graphic information was digitized and temporary thematic maps were created in addition to comparative analyzes of the coast for three periods, from 1955 - 1985, 1985 -2017 and 1955 -2017 through Google Earth images from 2020 available on the internet. Through comparative cartography, it was determined that 74,040 m² of land had been lost due to erosion in the sector where the main affected area was Section III, which includes the eastern part of the study area. The obtained results have allowed knowing the geoenvironmental changes through the interrelation between the geodynamic and anthropogenic agents that have given rise to the geomorphological features that the study coastal sector presents.

1. Introducción

Por su vigencia en los estados insulares, los efectos del cambio climático global son considerados como uno de los principales elementos que condicionan la vida en estos espacios. El ascenso del nivel del mar, las mareas extremas, las corrientes marinas, la temperatura del océano, los procesos de erosión - sedimentación y los movimientos del terreno en acción combinada han dado como resultado la morfología de costa actual y el grado de estabilidad del sistema tierra – mar (Iturralde-Vinent, 2013).

Sin embargo, el problema más significativo en las costas lo constituye la rápida ocupación del espacio por disímiles actividades humanas, tanto económicas como sociales. Los impactos generados por estas actividades afectan las comunidades que allí habitan, especialmente, por las transformaciones geoambientales que estos acarrean (Clark, 1992; World Bank, 1996; Olsen y Ochoa, 2007).

La región nororiental de Cuba no está exenta de estos problemas, específicamente en la región litoral de Moa la cual muestra un retroceso de sus costas y está señalada como vulnerable según el Macroproyecto "Escenarios de peligro y vulnerabilidad de la zona costera asociados al nivel medio del mar para los años 2050-2100".

Las costas del municipio Moa en la provincia Holguín, se encuentran dentro de los territorios afectados por el aumento del nivel medio del mar y su deterioro irá en aumento para los años 2050-2100. En el plan de Estado para el enfrentamiento al cambio climático (Tarea Vida), este sector se encuentra dentro de los tramos costeros y asentamientos poblacionales vulnerables a las afectaciones por penetración del mar.

La búsqueda de evidencias demuestra la necesidad de caracterizar los procesos de erosión y sedimentación en el sector costero urbano e industrial de Moa y valorar su influencia en la evolución de la línea de costa.

Con este fin, en el presente estudio se determina los cambios de la línea de costa mediante la cartografía comparada, se caracteriza el sector costero urbano e industrial de Moa a partir de sus rasgos geomorfológicos y se describe la relación de los procesos de erosión, sedimentación y tectónicos con la evolución del litoral.

2. Materiales y Métodos

Numerosas investigaciones se han desarrollado a escala internacional, nacional y regional para la evaluación geoambiental de las costas. Gran parte de estos estudios se fundamentan en la evaluación y evolución de rasgos geomorfológicos, estos han sido el centro de otros trabajos como el de Rodríguez (1998), Azuz (2002), Marcomini et al. (2007), Iturralde-Vinent (2013) y Cervantes et al. (2017).

Partiendo los aportes antes mencionados, en la presente investigación se desarrolló un procedimiento que combina de forma ordenada, métodos tradicionales de los estudios geomorfológicos costeros con el uso de sensores remotos.

<u>El procedimiento consta de tres etapas que se explican a continuación</u>.

Primera Etapa: Preliminar. En esta etapa se conformó el diseño de la investigación y se realizó el análisis bibliográfico del tema.

El primer problema a solucionar lo constituyó el establecimiento de un consenso sobre cómo estudiar los aspectos ambientales de naturaleza geológica que inciden en el desarrollo geomorfológico de las costas de Moa. Con este fin se reunió información y materiales científicos tales como, artículos, tesis, informes técnicos, etc. También se establece un sistema de conocimientos actualizados sobre la caracterización, modelación parcial e integral de la dinámica y evolución de geoambientes costeros, estudios de afectaciones en las costas y, en particular, sobre las experiencias cubanas.

Se definió el conjunto de métodos a aplicar, que comprenden la utilización simultánea de métodos morfométricos, de fotointerpretación geológica y geomorfológica y de trabajos de campo con el uso de informaciones adicionales de investigaciones precedentes e informes técnicos.

Atendiendo a las características de la costa, los aspectos ambientales que la conforman y la incidencia de la actividad antrópica, se dividió el área evaluada en dos zonas de trabajo:

- *Zona costera urbana e industrial:* Considerando la morfología de la línea de costa, así como sus ecosistemas se decide realizar el análisis en tres tramos. El alcance del análisis de la dinámica de la línea de costas e realiza desde Ensenada de las coloradas hasta Punta Rio Moa con una longitud aproximada de 8 380 m (figura. 1).

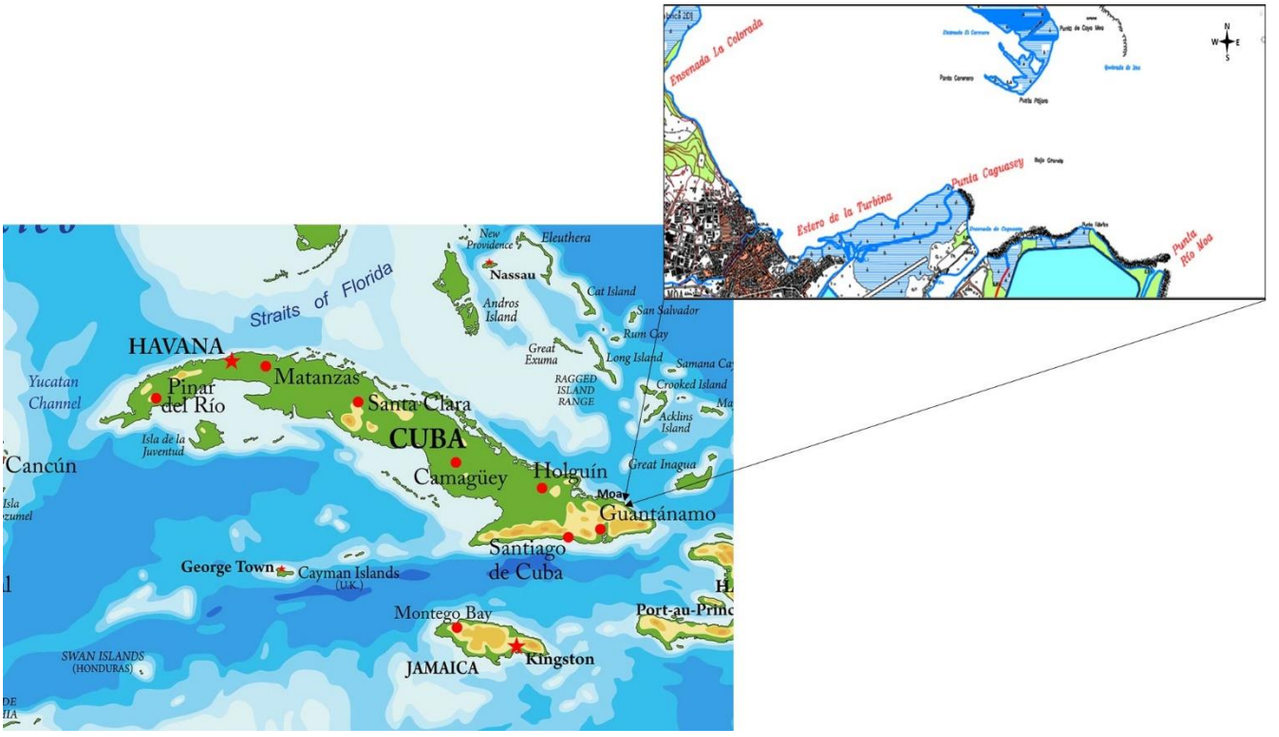


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.

El estudio por sector se realiza por los sectores:

I. Ensenada las Coloradas---Estero de la Turbina
II. Estero de la Turbina ------ Punta Yaguasey
III. Punta Yaguasey----------Punta Rio Moa

- *Zona costera de cayo Moa Grande*: comprende las costas al norte de cayo Moa Grande, con una longitud de aproximadamente de 4 000 m.

Segunda Etapa: Definición del procedimiento. Se caracterizó la evolución de la línea de costa mediante el monitoreo y análisis de un geoindicador.

La investigación de los geoindicadores y sus variaciones constituyen un método adecuado para reunir información sobre los cambios ocurridos en el geoambiente y permite divulgar y utilizar métodos de evaluación y control de las modificaciones espaciales.

Como resultado del estudio realizado a las diferentes fuentes bibliográficas, se identificó y seleccionó el geoindicador propuesto por Berger y Iams (1996) y posteriormente asumido por la Unión Internacional de las Ciencias Geológicas (IUGS): Posición de la línea de costa. Este es considerado para la valoración de erosión costera; usos de la tierra; niveles del mar; transporte y acumulación de sedimentos.

Para mayor comprensión, el análisis geoespacial se realiza en tres períodos:

- 1955-1985
- 1985-2017
- 1955-2017

Tercera Etapa: Gabinete. En esta etapa se procedió a la interpretación y procesamiento de la información obtenida, así como, a la comparación de estudios precedentes realizados en el sector objeto de estudio.

Después del procesamiento de la información cartográfica se procedió a la evaluación de los principales cambios geomorfológicos. Se determinó la magnitud de los procesos erosivos y de sedimentación en la costa y su incidencia en los cambios identificados. Por último, se confeccionó el informe final de la investigación.

Para el estudio y comparación de la línea de costa se utilizaron imágenes de Google Earth del año 2020, disponible en Internet. Las imágenes fueron tratadas y analizadas utilizando las herramientas que este software provee. Los criterios utilizados para la selección de las imágenes se enuncian a continuación:

- Resolución temporal de las imágenes.
- Tener en cuenta el cubrimiento del área de estudio, de acuerdo a la escena que está conformada la imagen.
- Tener en cuenta la resolución espectral.

Las fotos aéreas utilizadas fueron adquiridas del Atlas Fotogeológico de la República de Cuba, que constituye una guía para los trabajos de fotointerpretación geológica del territorio nacional. Las fotos utilizadas pertenecen a un levantamiento aerofotográfico con escala aproximada 1:62 000 realizado en los años 1955-1959 por la firma norteamericana Corporation of Air Service y las correspondientes al proyecto K-10 desarrollado por el Consejo de Ayuda Mutua Económica (CAME) en el año 1972, con escala aproximada 1: 36 000.

Los requisitos para la selección de las fotos aéreas fueron:

- Resolución espacial de las imágenes, teniendo en cuenta la escala de los levantamientos.
- Factor de escala.
- Resolución espectral de las imágenes de acuerdo a la sensibilidad de la emulsión de la película.
- Cobertura total del área de estudio.

Además, se utilizaron dos hojas topográficas a escala 1: 100 000, Cayo Moa Grande 5178-II-c y Moa 5177 – IV- a, estas abarcan el área de estudio y permiten la confección de los mapas temáticos.

Para el procesamiento de la información se utilizó el software AutoCAD Civil 3D (2016). Con este se georreferenciaron las fotos aéreas y se digitalizaron las líneas de costa de diferentes años.

Para el cálculo de los principales efectos ocasionados por la erosión y la sedimentación se utilizó un módulo de análisis geoespacial asociado a la dinámica de costas del software Golden Grapher v8. 1.388.

Por otra parte, para la valoración espacial de los cambios morfológicos se digitalizó la información gráfica y se crearon mapas temáticos temporales. Con ayuda de las técnicas de superposición, se determinaron los principales cambios en la línea de costa durante un período de 62 años (1955-2017).

3. Resultados

Valoración de las zonas de erosión-sedimentación mediante la cartografía comparada y el análisis de sensores remotos.

Zona costera de cayo Moa Grande

Al evaluar el litoral, se identificaron dos sectores con variado nivel de intensidad en los procesos erosivos: la costa norte de cayo Moa Grande y la línea de costa de la ciudad de Moa. Estos indicios de erosión se ubican fundamentalmente en la parte oriental del cayo y en menor proporción al centro del mismo. En el occidente, se amplía la pendiente de playa emergida y la pendiente submarina se aplana totalmente (emerge el fondo durante la bajamar).

Al mismo tiempo, como parte del análisis de sensores remotos, se pudo identificar variaciones morfológicas significativas en el extremo sureste del cayo, que se ha fraccionado por la intensidad de la erosión (figura 2).

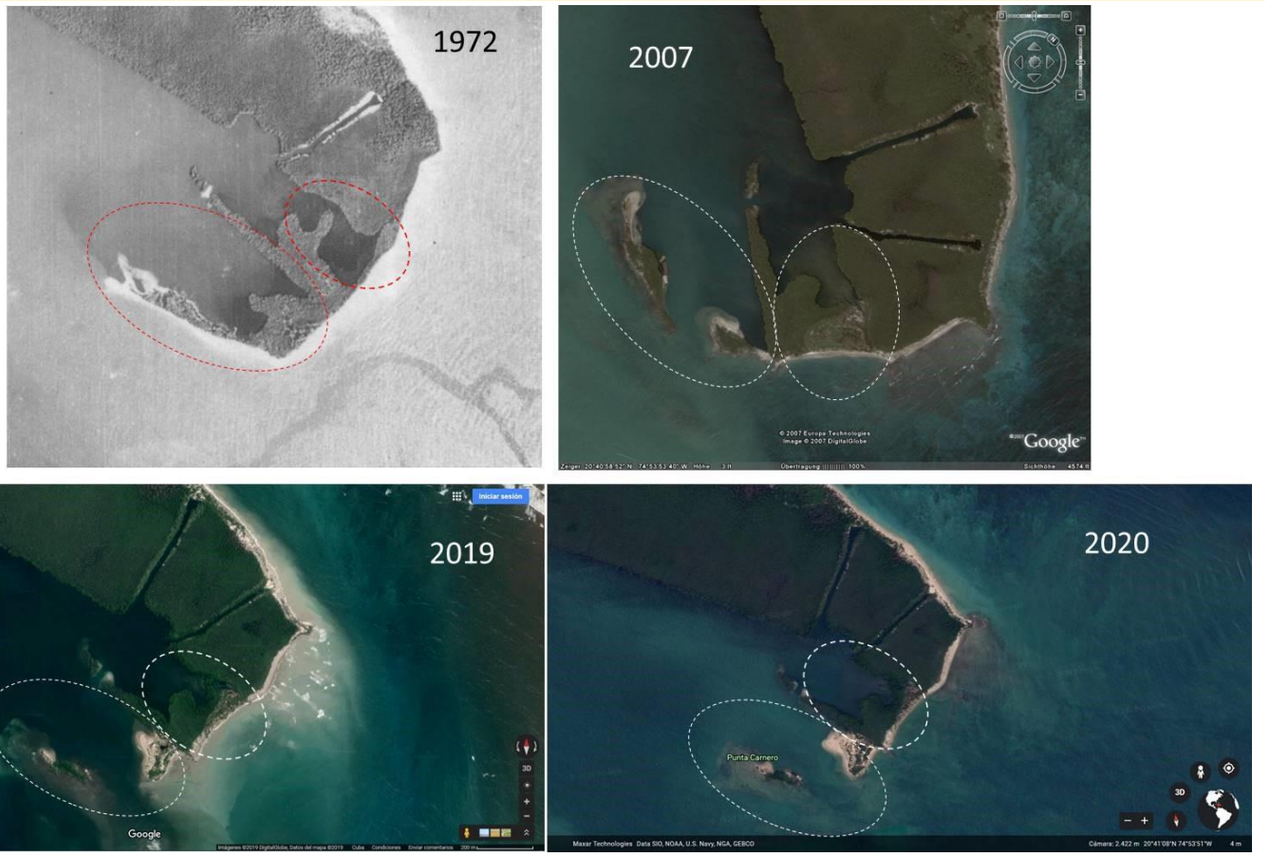


Figura 2. Análisis temporal en que se expone el relicto ocasionado por la erosión en el extremo suroriental del cayo (Imagen tomada de Google Earth (2007, 2019 y 2020) y foto aérea del proyecto K-10 (1972)).

A partir del año 2007 han pasado dos ciclones por las costas de Moa, esto ha producido cambios significativos en la costa del cayo. En el extremo más oriental, se han perdido 162 m de costa (1955 – 2020), actualmente este sector se ha fraccionado por la intensidad de la erosión y ha provocado como resultado un relicto separado del mismo por un canal de aguas oceánicas (figura. 3 - 4).

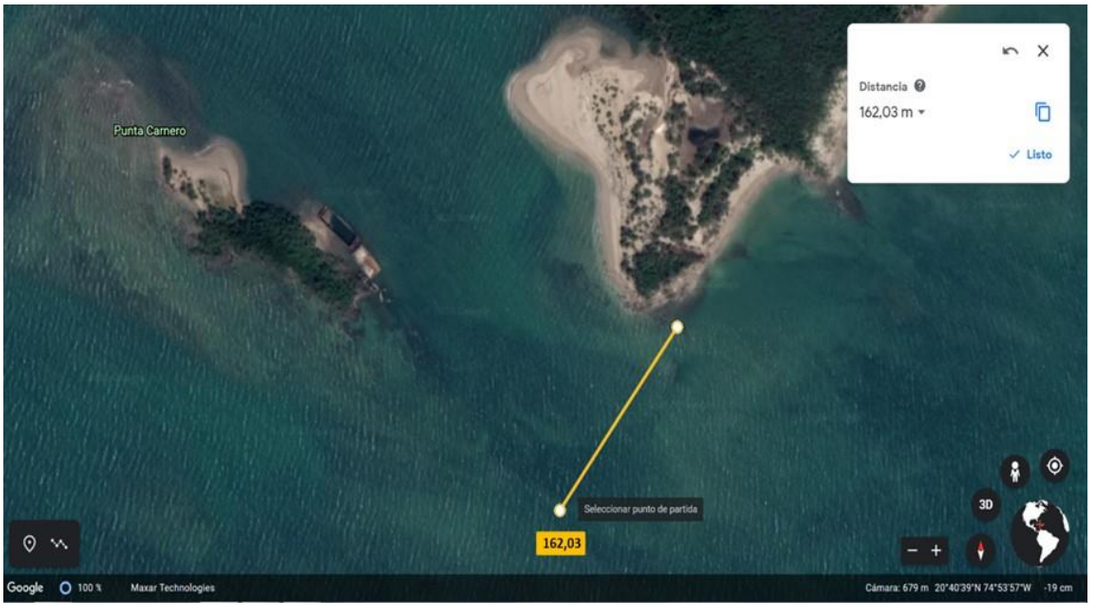


Figura 3. En el extremo de punta Carnero, se han perdido 162 m de costa (período 1972 – 2020) (Imagen tomada de Google Earth 2020).

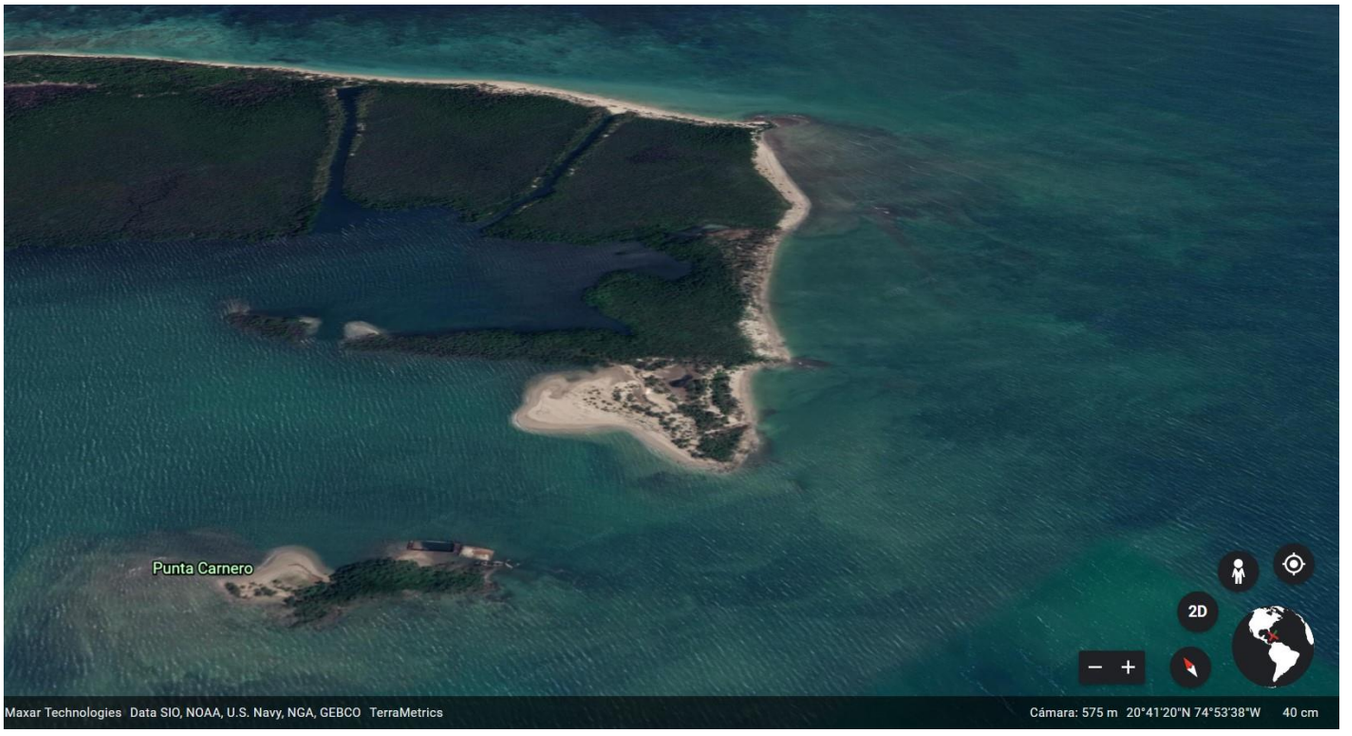


Figura 4. Vista en 3D del sector afectado por los intensos procesos erosivos al este de cayo Moa Grande (Imagen tomada de Google Earth 2020).

En el sector noroeste del cayo, es considerable la acumulación de sedimentos marinos de origen reciente perpendicular a la línea costera. Los sedimentos se disponen en forma de pequeñas terrazas, las cuales crecen desde el nivel base de erosión hasta los primeros metros en la duna (figura 5).

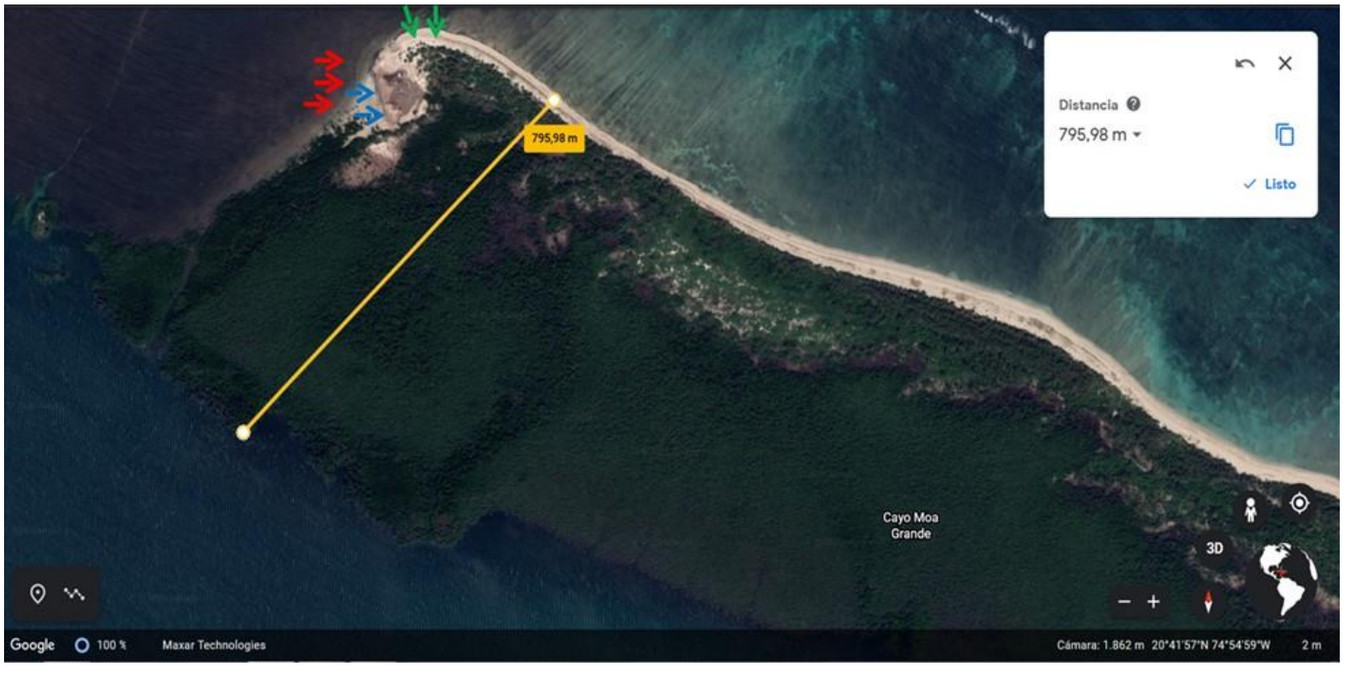


Figura 5. Existencias de pequeñas terrazas (señaladas en colores), en el sector noroeste de cayo Moa Grande (Imagen tomada de Google Earth 2020).

En el análisis de imágenes de satélites se identificaron sectores de playa con dimensiones entre 20 y 40 m (figura 6).

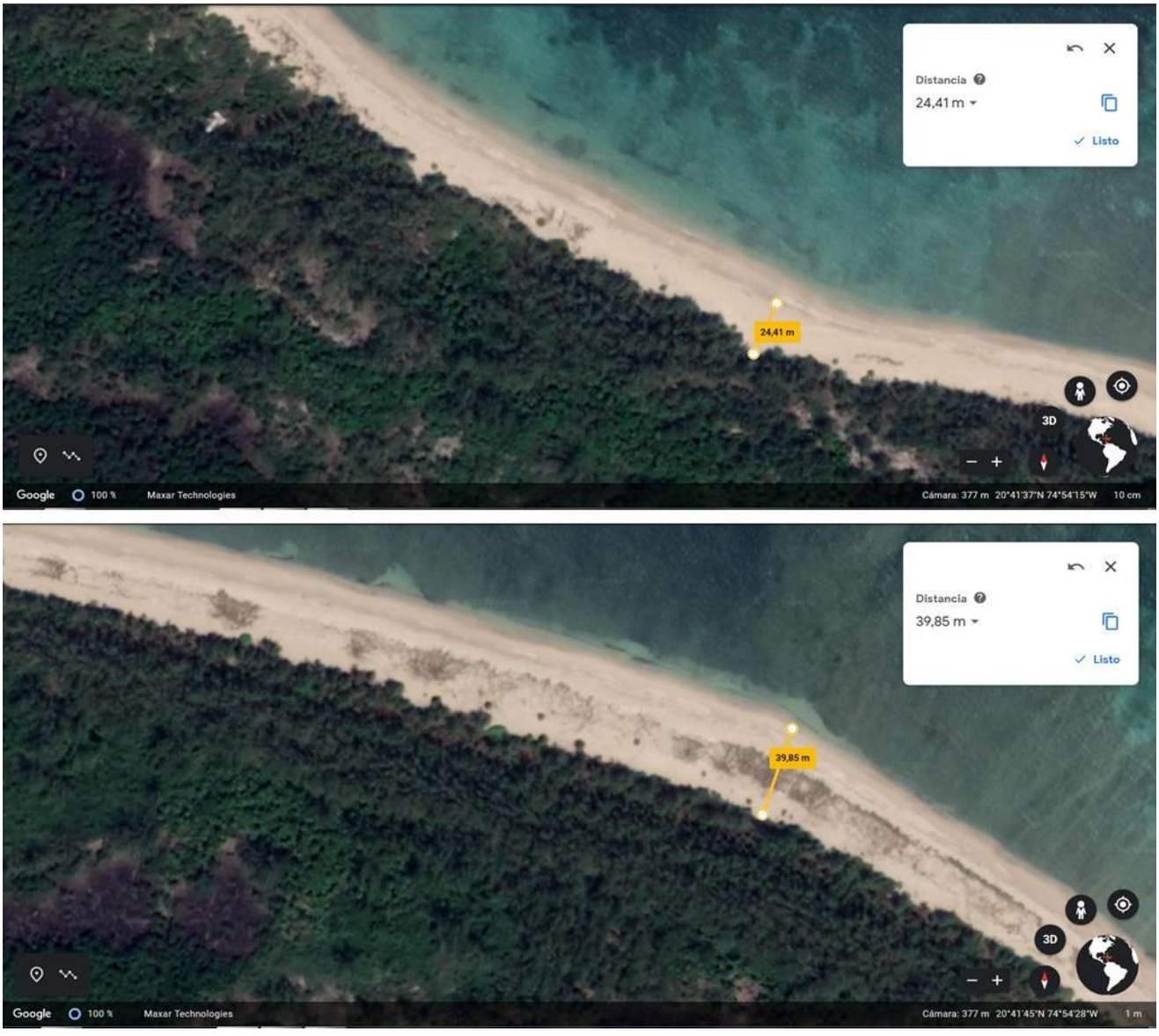


Figura 6. En la porción noroeste del cayo se identificaron sectores de playa con dimensiones entre 20 y 40 m (Imagen tomada de Google Earth 2020).

Zona costera urbana e industrial

Tramo I: Ensenada las Coloradas – Estero de la Turbina (2942.0 m)

En este tramo existe la presencia de tres arroyos de importancia, los cuales tributan sedimentos y a la vez constituyen focos contaminantes que afectan a la bahía provocando en varios sectores alteraciones a la dinámica de la costa (figura 7 - 8).

Figura 7. Arroyos que arrastran sedimentos hacia la bahía y generan alteraciones en la dinámica de la costa (Imagen tomada de Google Earth 2020).

Durante el período 1955-1985 (30 años), las transformaciones en el sector costero se caracterizaron por la influencia del desarrollo urbano en la ciudad de Moa. Los principales cambios estaban asociados a las estructuras construidas próximas al litoral, esto trajo consigo el acarreo de grandes volúmenes de material sedimentable. Por otra parte, la erosión propició la pérdida de 13 020 m2 de territorio costero (figura 8).

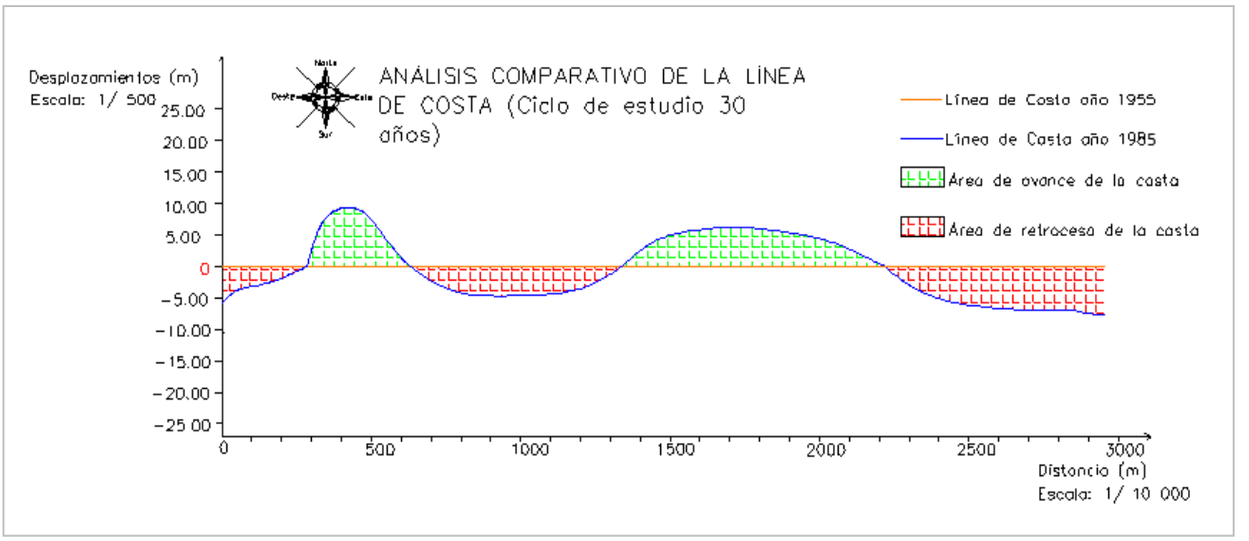


Figura. 8. Análisis comparativo de las líneas de costa en el Tramo – I para el período 1955 – 1985.

Esto hace que, durante 30 años, el balance entre retroceso y evolución de la línea de costa sea equilibrado (tabla I).

Tabla I. Análisis del desplazamiento de la costa en el tramo I en el período 1955-1985.

Desplazamientos	Desplazamiento Máximo (m)	Desplazamiento Promedio (m)	Áreas Desplazadas (m^2)
Retroceso	8,00	4,00	13 020
Avance	9,00	6,00	8 100

Para el período 1985-2017 (32 años), la pérdida de terreno superó ampliamente el desarrollo de la línea de costa. En este tiempo, los avances fundamentales están asociados a la construcción de un espigón, así como, otras obras construidas en el litoral (tabla II).

Tabla II. Análisis del desplazamiento de la costa en el tramo I período 1985-2017.

Desplazamientos	Desplazamiento Máximo (m)	Desplazamiento Promedio (m)	Áreas Desplazadas (m^2)
Retroceso	10,00	9,00	10 800
Avance	9,00	6,00	2 700

En estos 32 años, los avances de la línea de costa están fundamentalmente relacionados con la construcción de un espigón, así como, otras obras edificadas en el litoral.

De forma general, en el período 1955-2017 (62 años) la línea de costa a sufrido grandes afectaciones debido al intrépido desarrollo urbanístico de la ciudad. Esto, sumado al acarreo de grandes volúmenes de sedimentos que llegan a la bahía desde las áreas minadas ha permitido un avance sectorial de 10 800 m2 (tabla III).

Tabla III. Análisis del desplazamiento de la costa en el tramo I período 1955-2017.

Desplazamientos	Desplazamiento Máximo (m)	Desplazamiento Promedio (m)	Áreas Desplazadas (m^2)
Retroceso	18,00	7,00	23 820
Avance	9,00	9,00	10 800

Sin embargo, por concepto de erosión se han perdido un total de 23 820 m2 de costa y la causa fundamental fue la erosión (figura 9).

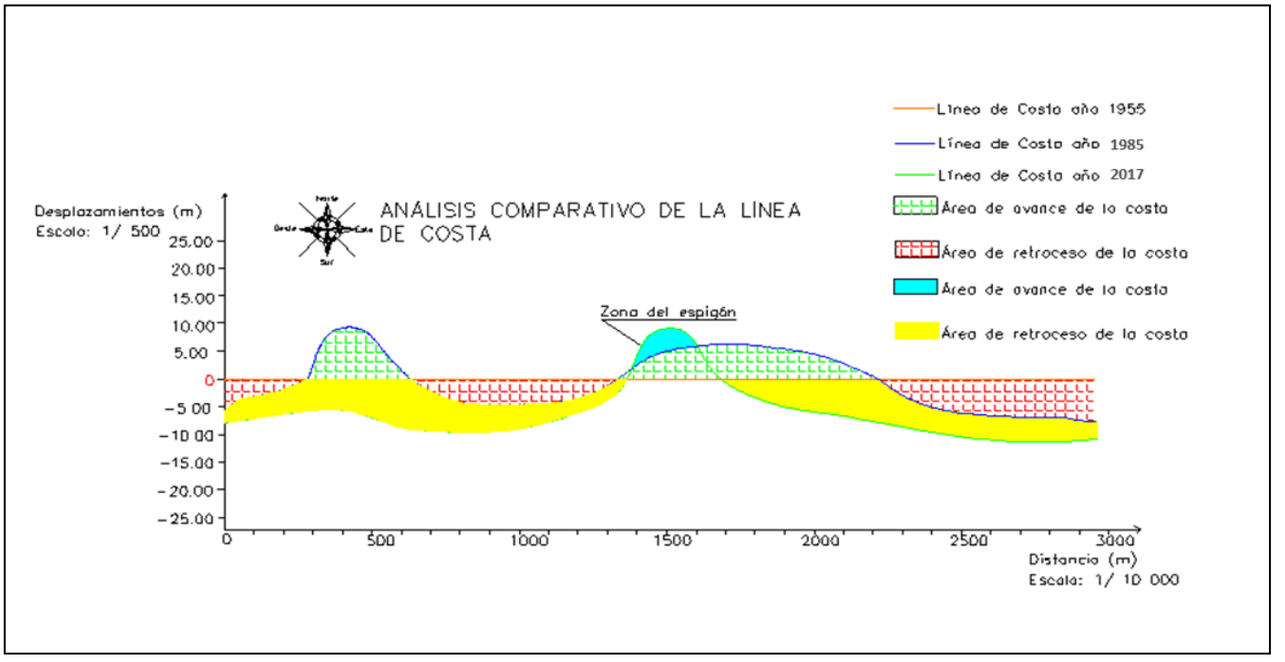


Figura 9. Análisis comparativo de la línea de costa en el Tramo-I para el período 1955-2017.

A pesar de que se encuentran evidencias de este fenómeno en toda la costa, los sectores más afectados se ubican al oeste del área de estudio.

Tramo II: Estero de la Turbina - Punta Yaguasey (2 200 m)

Este sector se encuentra completamente cubierto de mangle y al hacer un análisis temporal de la evolución de costa se obtuvo un aumento constante del área estudiada. En el período 1955-2017 se pudo evidenciar un aumento territorial de 13 000 m^2, esto ocurre por el aumento de la población de mangle en la zona y su desplazamiento mar adentro.

Durante el análisis de la línea de costa se muestra un crecimiento neto, estos valores demuestran que los efectos de los procesos erosivos no causan daño a este sector. Esta área de la bahía recibe alrededor de 495 000 m^3 de sedimentos cada año, esto es propicio para el crecimiento del mangle, el cual en este sector consta de buena salud (figura 10).

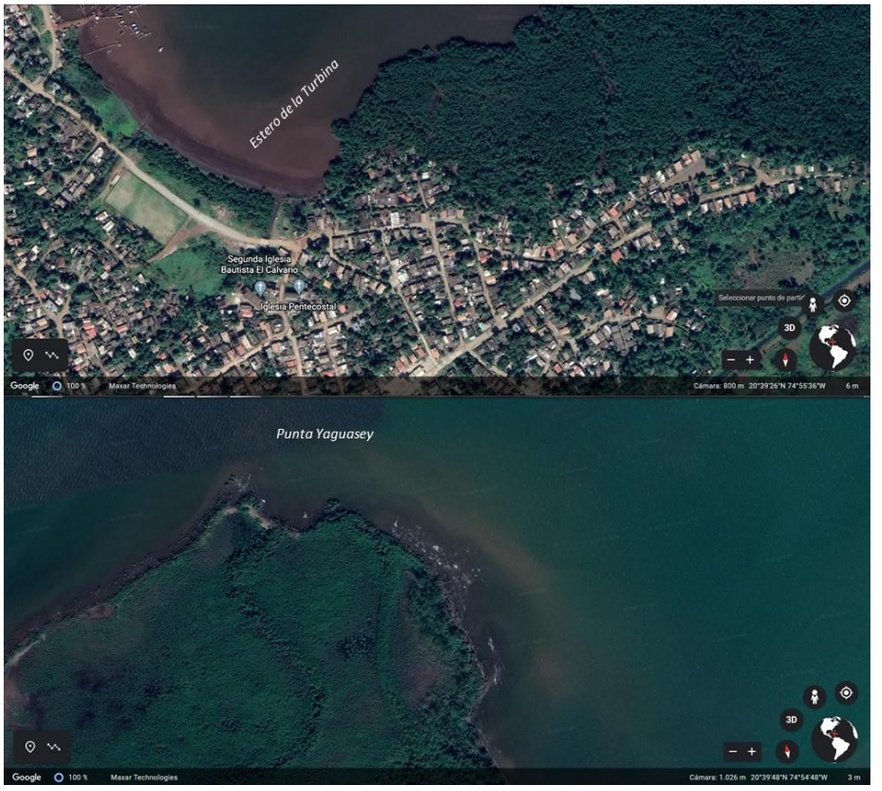


Figura 10. Sectores del Tramo-II donde se aprecia la población de mangle en el litoral (Imagen tomada de Google Earth 2020).

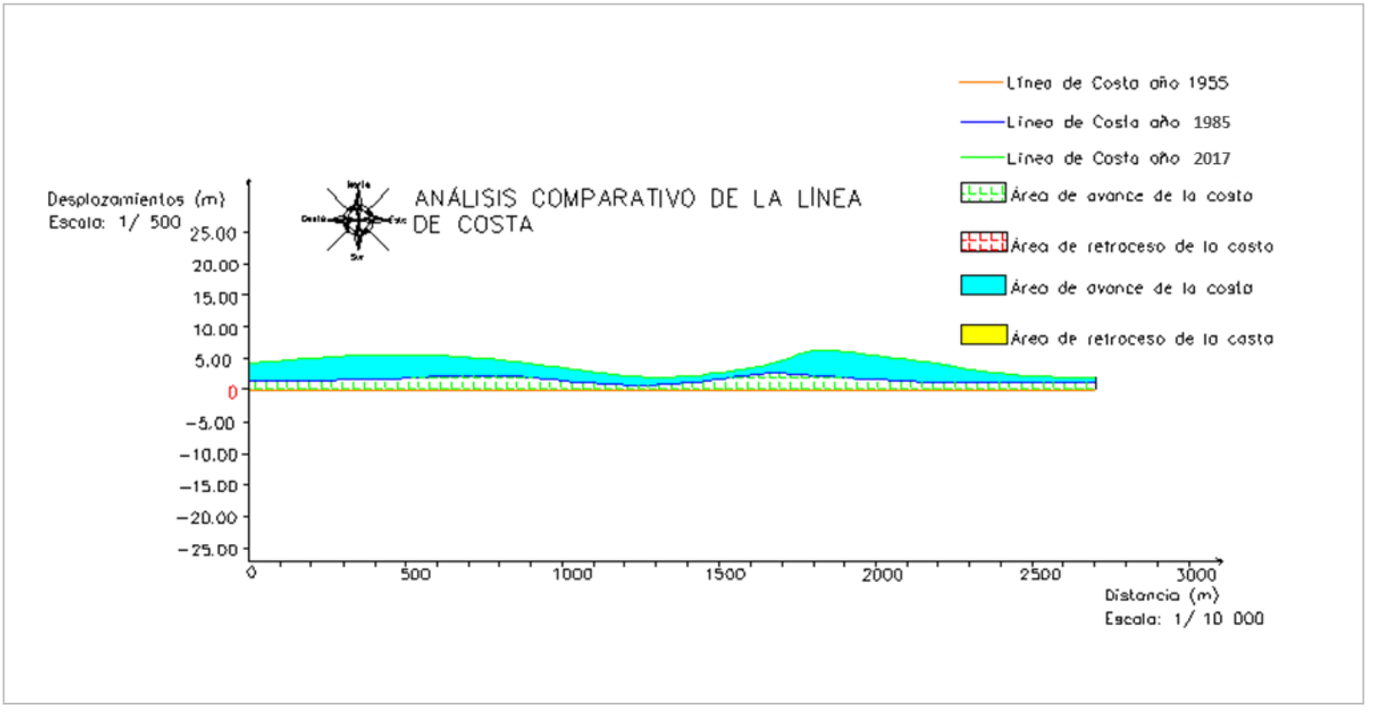


Figura 11. Análisis comparativo de la línea de costa en el Tramo II para el período 1955 - 2017.

Tramo III: Punta Yaguasey - Punta Rio Moa (2900m)

Este tramo ha sido ampliamente transformado por el desarrollo industrial de Moa. A finales de los años 50 se construyó la dársena del puerto, lo cual constituyo una obra de envergadura y que transformara por completo este sector costero. Durante el período 1955-1985 (30 años), se identificó un desplazamiento negativo de 29 400 m^2 y solo 2 400 m^2 de avance (tabla IV).

Tabla IV. Análisis del desplazamiento de la costa en el Tramo III para el período 1955-1985.

Desplazamientos	**Desplazamiento Máximo (m)**	**Desplazamiento Promedio (m)**	**Áreas Desplazadas (m^2)**
Retroceso	14	10	29 400
Avance	6	6	2 400

Durante el período 1985 – 2017 no se identificó avance en la línea costera, sin embargo, se perdieron 7 820 m2 de terreno (tabla V).

Tabla V. Análisis del desplazamiento de la costa en el Tramo III para el período 1985-2017..

Desplazamientos	**Desplazamiento Máximo (m)**	**Desplazamiento Promedio (m)**	**Áreas Desplazadas (m^2)**
Retroceso	9	3	7 820
Avance	…	…	…

Según el estudio realizado, en los 62 años que comprenden el período 1955-2017 en este tramo hay una pérdida de costa de 37 220 m2 (tabla VI).

Tabla VI. Análisis del desplazamiento de la costa en el Tramo III para el período 1955-2017.

Desplazamientos	**Desplazamiento Máximo (m)**	**Desplazamiento Promedio (m)**	**Áreas Desplazadas (m^2)**
Retroceso	16	12	37 220
Avance	…	…	2 400

Este sector, es el más afectado por los procesos erosivos dentro de la zona costera urbana e industrial de Moa (figura 12).

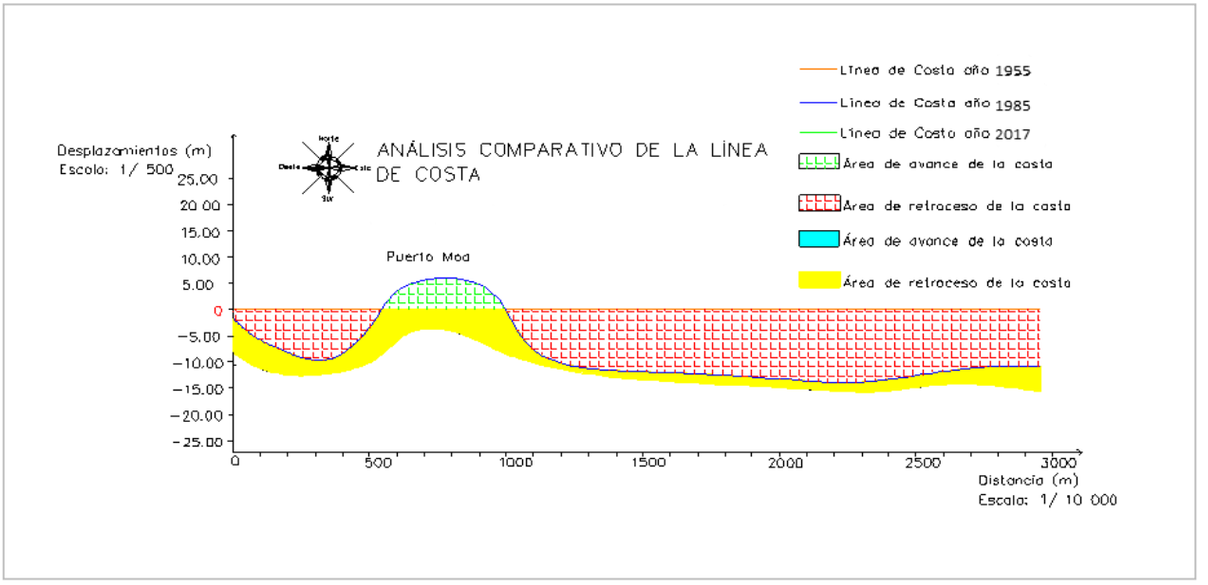


Figura 12. Análisis comparativo de la línea de costa en el Tramo III para el período 1955 - 2017.

En este intervalo de costa existen varias playas de pequeña extensión, sus sedimentos son de color oscuro y están compuestos por arenas finas, medias y gránulos de hasta cinco milímetros con intercalaciones de fragmentos de rocas grandes. También encontramos una zona muy antropizada, con instalaciones portuarias y una presa de colas que por su posición cerca del litoral afectó profundamente el geoambiente de ésta.

Los fondos marinos, dentro de la bahía de cayo Moa muestran grandes trasformaciones morfológicas debido al constante dragado de la laguna litoral y el canal artificial que permite el acceso al puerto. La empresa minera encargada del dragado de los cienos carbonatados extrae diariamente un aproximado de 1200 t de sedimentos, lo que unido al uso de tecnologías inapropiadas para su extracción, provoca grandes afectaciones al medio sedimentario marino y por consecuencia transformaciones en la morfología de la costa.

4. Conclusiones

1. Mediante la cartografía comparada se pudo determinar que se han perdido 74 040 m^2 de terreno producto a la erosión en el sector costero urbano e industrial de Moa. La principal zona afectada se encuentra entre punta Yaguasey y punta Rio Moa (Tramo III) que comprende el sector este de la zona de estudio. Por otra parte, se calculó un avance de algunos sectores costeros con un valor de 26 200 m^2 de costa.

2. Los principales cambios encontrados en la posición de la línea costera de cayo Moa Grande se ubican en la porción este, donde se identificaron pérdidas de 162 m de costa. En el sector occidental hay un aumento considerable del área del cayo y la zona ocupada por playas alcanza dimensiones de las dunas entre 20 y 40 m.

3. La interrelación entre los agentes geodinámicos externos y antropogénicos han dado origen a los rasgos geomorfológicos que presenta el sector costero urbano e industrial de Moa.

4. La acción diferenciada de procesos geológicos como la erosión y la sedimentación y los antropogénicos como el desarrollo urbano e industrial son determinantes en la evolución de este sector costero.

5. Bibliografia

1. Azuz, I. (2002). Aportes de la ingeniería hidráulica e ingeniería hidráulica fluvial al modelaje de la geomorfología costera. *Ingeniería Hidráulica en México, 12 (1), 49-60*.

2. Berger, A., y Iams, W. (Eds.). (1996). Geoindicators assessing rapid environmental changes in earth systems: Rotterdam, A.A. Balkema.

3. Cervantes, Y. (2017). Procedimiento para la evaluación geoambiental de zonas costeras. Estudio de caso: sector costero urbano e industrial de Moa, Cuba. (Tesis de doctorado). Instituto Superior Minero Metalúrgico “Dr. Antonio Núñez Jiménez”. Moa. Cuba.

4. Clark, J.R. (1992). Integrated management of coastal zones. FAO Fisheries Technical Paper. No. 327. Rome, FAO.

5. Iturralde-Vinent, M. (2013). Tipología, formación y transformación de las costas de Cuba. V Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS´2013. La Habana.

6. Marcomini, S.C., López, R.A., y Spinoglio, A. (2007). Uso de la morfología costera como geoindicador de susceptibilidad a la erosión en costas cohesivas, Necochea, Buenos Aires. Rev. Asoc. Geol. Argent. 62 (3).

7. Olsen, S., y Ochoa, E. (2007). El Porqué y el Cómo de una Línea de Base para Gobernanza en los Ecosistemas Costeros. Guayaquil. Ecuador.

8. Rodríguez-Infante, A. (1998). Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica (Tesis doctoral). Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa. Cuba.

9. World Bank. (1996). Guidelines for integrated coastal zone management. En J. Post y C. Lundin (Ed.). Environmentally sustainable development studies and monographs. Washington, D.C. USA.

4. Importancia de los esfuerzos tectónicos y su determinación en América Central

Allan López, Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas, Universidad de Costa Rica,
Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Latina de Costa Rica
allosa01@gmail.com

Se presentan a continuación varios conceptos sobre los esfuerzos tectónicos y algunos esbozos descriptivos de resultados preliminares de una investigación en curso cuyo objetivo es caracterizarlos en América Central y regiones vecinas. El proyecto del Mapa Mundial de Esfuerzos-WSM, con sede en el GFZ-Potsdam, es un repositorio global con más de 42.000 indicadores de esfuerzo (figura 1) que han sido compilados desde 1986 muy rigurosamente mediante varios métodos, fuentes de información y asignación de calidad a cada dato, mostrando la heterogeneidad de los patrones de esfuerzo en el planeta hasta los 40 Km de profundidad (http://www.world-stress-map.org/). Es un gran ejemplo de colaboración armoniosa y de mutuo beneficio entre la academia y la industria, la cual requiere de esos resultados para diversos aspectos de sus actividades, desde el diseño hasta la explotación de obras. Además, el esfuerzo es la principal variable de la actividad sísmica.

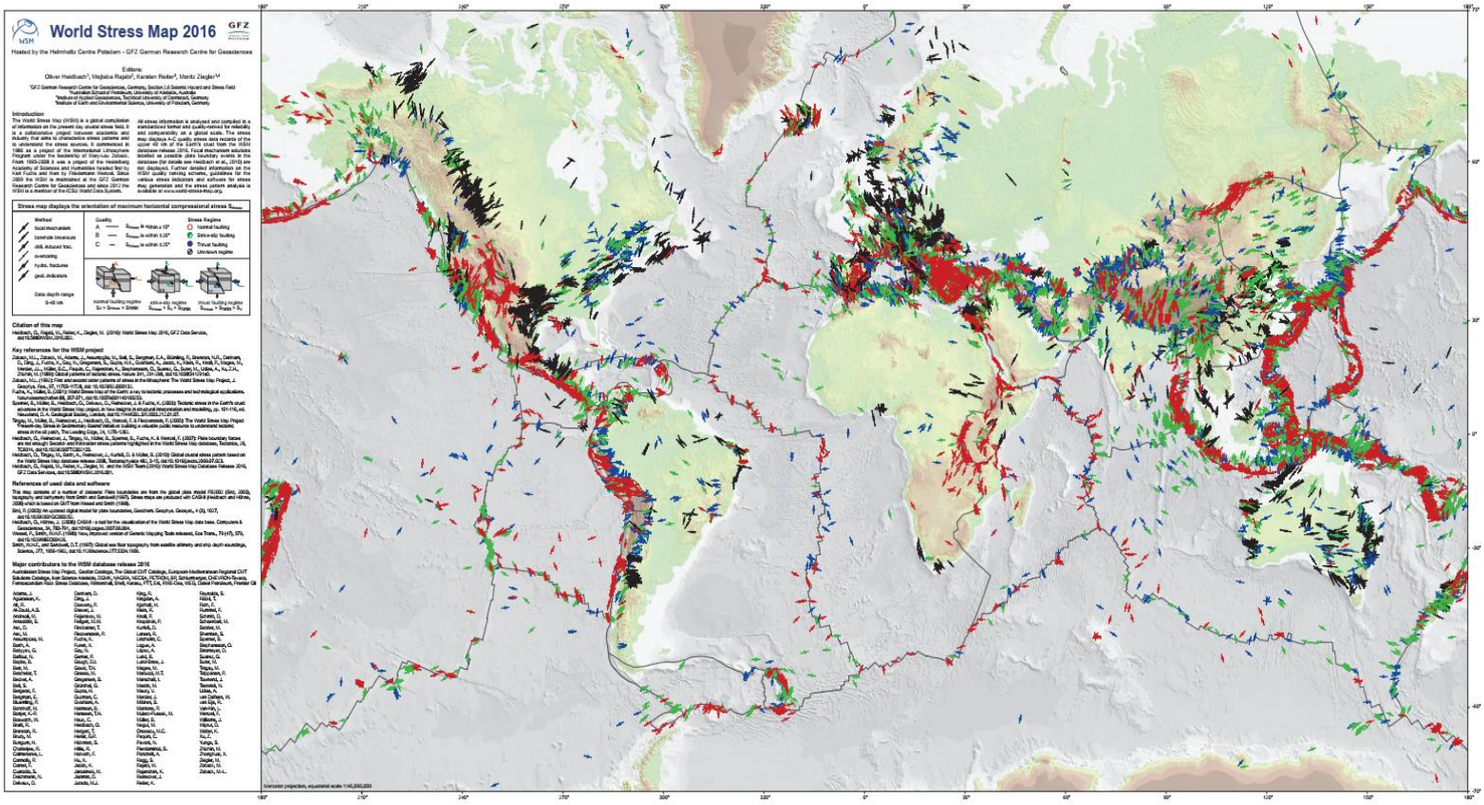


Fig.1. Última edición del Mapa Mundial de Esfuerzos. Cada régimen se identifica mediante un color y la longitud del indicador del SH Max es proporcional a su calidad.

El Campo de esfuerzos contemporáneo es el resultado de la participación de esfuerzos que actúan con diferentes longitudes de ondas, por lo cual no solamente está controlado por la cinemática de las placas tectónicas y la interacción con la dinámica del manto, sino por otras fuentes locales de segundo y tercer orden.

La figura 2 muestra la justificación del tensor reducido de esfuerzo respectivo para los diferentes tipos de fallas. Este se calcula a partir de:

- Mecanismos focales de terremotos, inversión matemática de los planos nodales, para volúmenes litosféricos bien definidos.
- Elongaciones-breakouts generados en pozos petroleros y geotérmicos y fracturas inducidas por la perforación.
- Medidas In-situ (overcoring, fracturación hidráulica, borehole slotter)
- Datos Geólogicos recientes (análisis de fallas mesoscópicas y alineamiento de diques y conos volcánicos Cuaternarios monogenéticos.

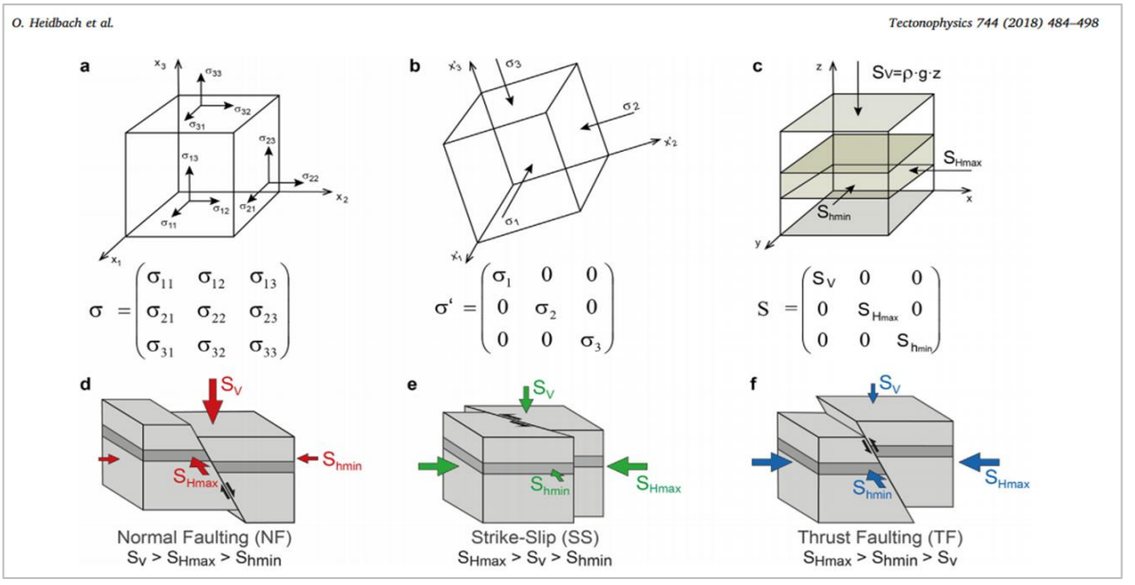


Figura 2. Definición del tensor de esfuerzo tectónico según los tres principales tipos de fallas, la transpresión y la transtensión son casos intermedios entre los escenarios e-f y d-e respectivamente. Tomado de Heidbach et al, 2018.

Por lo tanto, el esfuerzo tectónico no es, pero es familia cercana de:

- La dirección de transporte tectónico
- Direcciones de compresión y extensión
- Direcciones de deformación, aunque sean deducidas o inferidas desde indicadores geológicos.
- Por eso ninguno de los anteriores es tomado en consideración como método por el WSM.

El conocimiento de las características y propiedades físicas y mecánicas del estado de esfuerzo tectónico prevaleciente en la corteza terrestre es de fundamental importancia para la sociedad y la industria, ya que tiene implicaciones y aplicaciones directas en:

- La caracterización de reservorios geotérmicos, de petróleo, gas y su administración racional y segura.
- La estabilidad de minas, diseño de túneles carreteros y de conducción de agua, vertederos de desechos tóxicos y no tóxicos y en general para el diseño de obras subterráneas para que con orientación adecuada no sea deformada por el SH Max, definido en la figura 1, o requiera sobre-diseños muy costosos.
- Calibración de modelos numéricos geo-mecánicos.
- Simulaciones termo e hidromecánicas en 4D.

- Evaluación del peligro y amenaza sísmica, mediante el análisis de la Tendencia al deslizamiento de la falla y el potencial de fractura, ya que cualquier estructura o zona de debilidad cortical prexistente o nueva, puede reactivarse sísmicamente si se cumplen espacio-temporalmente determinadas orientaciones del SH MAX junto con la cohesión y fricción adecuadas.

En la figura 3 se presentan los resultados del modelado respectivo para América Central utilizando 2143 mecanismos focales de terremotos con Mw mayor a 4.5 y profundidades inferiores a 50 Km tomados de la base del International Seismological Center-ISC que compila datos de agencias internacionales y redes locales. En el mapa A las calidades son B, C y D según el rango de calidad del WSM y los colores representan los regímenes inversos, normales y de rumbo. El SH Max promedio se orienta, a esa escala, preferencialmente hacia el NE subparalelo a la convergencia de las placas Cocos y Caribe, lo cual se mantiene en la frontera norte-sur entre Cocos y Nazca. El mapa 2 muestra la interpolación regional del SH Max, detectándose con mayor claridad como hacia el suroeste de la fosa mesoamericana que limita a las primeras placas citadas, este se orienta paralelo a esta, ya que se trata de mecanismos normales tipo “outer rise” en cuyo caso dicho parámetro se asocia al sigma 2 y no al sigma 1, tal como se ilustra en la figura 1. El triángulo de clasificación de fallas confirma la gran variedad de regímenes y complicaciones sismo-tectónicas asociadas.

En el mapa 3 se grafica estereográficamente el resultado de una inversión que presenta las orientaciones de los tres ejes de esfuerzo del tensor y el valor de R que define la forma y estabilidad de su elipsoide. El régimen local es de rumbo y las direcciones del SH Max locales son al NW y no al NE como se esperaba, debido a particularidades tectónicas en la interacción de las placas involucradas. Estos mapas contienen una cantidad 5 veces mayor y actualizada de datos que los que aparecen en la figura 1 y la base de datos del WSM.

Los mantendremos informados sobre los avances y nuevos resultados. Quedan invitados a visitar el WSM.

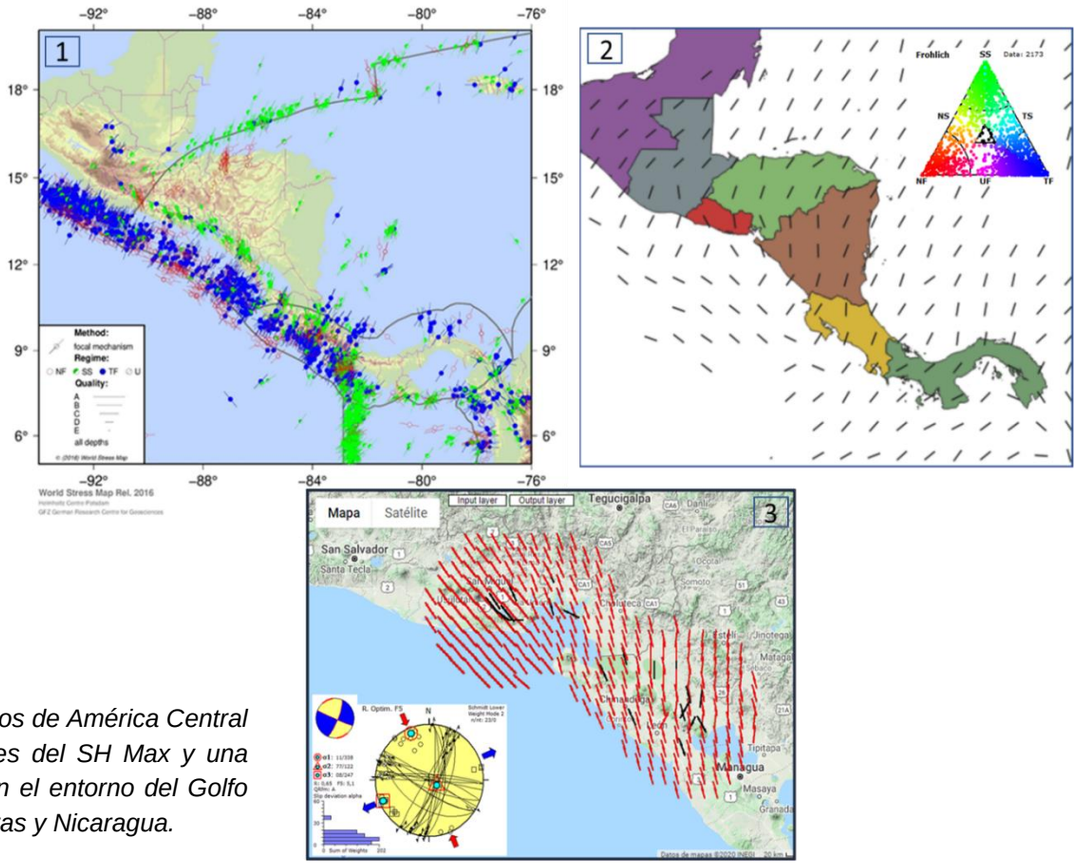


Figura 3. Mapa de Esfuerzos Tectónicos de América Central con la interpolación de las direcciones del SH Max y una configuración del tensor que opera en el entorno del Golfo de Fonseca entre El Salvador, Honduras y Nicaragua.

Bibliografía

The World Stress Map database release 2016: Crustal stress pattern across scales, Oliver Heidbacha,∗ , Mojtaba Rajabib , Xiaofeng Cuic , Karl Fuchsd , Birgit Müllere , John Reineckerf , Karsten Reiterg , Mark Tingayb, Friedemann Wenzeld , Furen Xie , Moritz O. Zieglera,h , Mary-Lou Zobacki , Mark Zoback. Tectonophysics October 2018,744:484-498

http://www.world-stress-map.org/publications/

International Seismological Centre (20XX), Seismological Dataset Repository, https://doi.org/10.31905/6TJZECEY

5. Desarrollando la Creatividad y la Popularidad de Ciencias durante la Pandemia 1000 Futuros Científicos

Juliana Oliveira, Karen Nunes, Thales Moreira, Janaina Silva
1000futuroscientistas@qui.ufmg.br

Como consecuencia a la crisis mundial causada por el Covid-19, las lecciones en escuelas y en universidades fueron suspendidas y de acuerdo a estadísticas de la Unesco, mas de 90% de los estudiantes de todo el mundo han sido afectados. En la Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG), el régimen de trabajo a distancia inició el 23 de marzo del 2020 y ha seguido vigente hasta que los alumnos se graduén.

Así, un programa de extensión universitaria llamado "*1000 Futuros Cientistas*" y desarrollado por científicos del Departamento de Química de la UFMG fue afectado por no poder realizarse actividades presenciales. El fin de este programa era recibir alumnos de Educación Básica de Escuelas Públicas y proporcionarles una aula experimental de Química en el Laboratorio. Este programa era especialmente diseñado para futuros profesionales en Química y su objetivo era introducir a la Universidad Pública como una oportunidad para todos y una manera de popularizar la Ciencia.

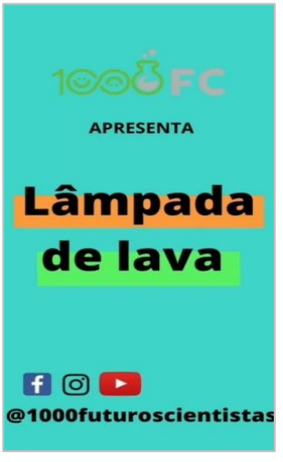
Debido a la situación actual se adaptaron otras medidas para proseguir con las acciones establecidas del programa durante el periodo de aislamiento. El desafio fue seguir adelante con el objetivo establecido y mantener los estudiantes durante el periodo antes de la graduación ocupados y activos durante la pandemia. Como respuesta a esa situación los gestores del Programa elaboraron estrategias para mantener las acciones y el equipo en movimiento.

Se intensificó la utilización de herramientas tecnológicas con la producción de conteúdos digitales y se distribuyeron en las principales plataformas sociales. Con el objectivo de popularizar la Ciencia los docentes confeccionaron hasta setiembre del 2020, veinte videos con experimentos simples, los cuales pueden ser reproducidos en casa por los estudiantes, así como veinte mensajes divulgando las técnicas desarrolladas por el Departamento de Química de la UFMG, veinte mensajes sobre ganadores del premio Nobel, veinte mensajes con información de los elementos de la tabla periódica, veinte mensajes de reconocimiento del trabajo de los colaboradores del programa, además de diez videos de divulgación del programa para eventos en línea titulados como: Química Hace Bien, Observatorio de la Educación durante el Covid-19, Dia Nacional de la Ciencia, Semana del Conocimiento 2020, TV UFMG.

Dentro del contexto de aislamiento social, todo estas acciones resultaron con el seguimiento de las actividades establecidas y la integración de todo el equipo del programa "*1000 Futuros Cientistas*", ganando de esta manera gran visibilidad y dándole popularidad a la Ciencia.

Anteriormente
Actividades Presenciales

Actualmente
Herramientas Digitales



6. International Scientific Events

Simposio Ecuatoriano – Paraguayo sobre Riesgos Geológicos y Desastres Naturales

[1]Juan Carlos Benítez, [2]Fabián Vásconez
[1] Asociación de Geólogos del Paraguay (AGP), Paraguay
[2] Colegio de Ingenieros en Geología, Minas, Petróleos, Ambiental
y Especialidades afines de la Región Norte (CIGMIPA), Ecuador
[1] jbenitez.lat@gmail.com , [2] fabian.vasconez.m@gmail.com

En el marco de la colaboración entre países latinoamericanos hermanos; el Colegio de Ingenieros en Geología, Minas, Petróleos, Ambiental y Especialidades afines de la Región Norte (CIGMIPA), por parte del Ecuador; y la Asociación de Geólogos del Paraguay (AGP), llevaron a cabo el "Simposio Ecuatoriano – Paraguayo sobre Riesgos Geológicos y Desastres Naturales", entre el 19 y 23 de Octubre del 2020. Este evento se pudo llevar a cabo gracias a la interacción entre los Coordinadores de GOAL de Paraguay y Ecuador.

Dentro de este evento, se abarcaron temas importantes como los de desastres naturales y gobiernos, monitoreo sísmico-volcánico, sistemas de gestión de riesgos, nuevas técnicas satelitales para el monitoreo de zonas de riesgo, deslizamientos de terrenos.

- Como epílogo de dicho Simposio, se emitieron las siguientes recomendaciones a los presidentes de las Repúblicas de Ecuador y Paraguay: Que Ecuador y Paraguay, colaboren más estrechamente uniendo esfuerzos con el objetivo de prevenir la ocurrencia y dado el caso, mitigar los efectos de un Desastre Natural.
- Que se promueva la Investigación y divulgación de conocimientos sobre Riesgos Geológicos y Desastres Naturales
- Que se fortalezca los Servicios Geológicos de Ecuador y Paraguay, promoviendo la participación directa de diferentes Instituciones, gremios y Universidades; facilitando de esta forma la identificación oportuna de las amenazas geológicas y la consecuente gestión de riesgos.

ICGHE 2021: 15. International Conference on Geologic Hazards and Environment

January 07-08, 2021 in Tokyo, Japan

More information: https://waset.org/geologic-hazards-and-environment-conference-in-january-2021-in-tokyo

ICES 2021: 15. International Conference on Earth Science

February 25-26, 2021 in Buenos Aires, Argentina

More information: https://waset.org/earth-science-conference-in-february-2021-in-buenos-aires

ICESNSG 2021: 15. International Conference on Earth Sciences, Neotectonics and Structural Geology

March 22-23, 2021 in Istanbul, Turkey

More information:
https://waset.org/earth-sciences-neotectonics-and-structural-geology-conference-in-march-2021-in-istanbul

ICNSG 2021: 15. International Conference on Neotectonics and Structural Geology

June 21-22, 2021 in Vienna, Austria

More information: https://waset.org/neotectonics-and-structural-geology-conference-in-june-2021-in-vienna

ICGGIS 2021: 15. International Conference on Geoinformatics and GIS

July 12-13, 2021 in Ottawa, Canada

More information: https://waset.org/geoinformatics-and-gis-conference-in-july-2021-in-ottawa

36TH INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS

16 - 21 AUGUST 2021, DELHI, INDIA

More information: http://pastglobalchanges.org/calendar/upcoming/127-pages/1955-36igc

ICMGG 2021: 15. International Conference on Medical Geology and Geochemistry

September 27-28, 2021 in Istanbul, Turkey

More information: *https://waset.org/medical-geology-and-geochemistry-conference-in-september-2021-in-istanbul*

AND

LET'S KEEP HIGH HOPES FOR 2021

GOAL Homepage: *https://geonetwork-goal.org*

If you have any question or comments, please contact:
Nury Morales-Simfors, GOAL Newsletter Editor, *simforsmoralesnury@outlook.com*

Design: Maria Elena Vargas, *maelvama@gmail.com*

Reviewed by: Reinaldo García, GOAL Regional Coordinator, *rgarcia9@gmail.com*