



Determinación de zonas susceptibles ante movimientos en masa utilizando metodología INSAR, Análisis Morfométrico y el Índice de Estabilidad (Mohr-Coulomb). Caso: Campus de la Universidad Técnica de Manabí (Portoviejo, Manabí, Ecuador)

Determination of areas susceptible to mass movements using INSAR methodology, Morphometric Analysis and the Stability Index (Mohr-Coulomb). Case: Campus of the Technical University of Manabí (Portoviejo, Manabí, Ecuador)

Determinação de áreas susceptíveis a movimentos de massa através da metodologia INSAR, Análise Morfométrica e Índice de Estabilidade (Mohr-Coulomb). Caso: Campus da Universidade Técnica de Manabí (Portoviejo, Manabí, Equador)

Luisa Elizabeth Pachay-Alonzo ^I
luisitabeth@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-6131-8547>

Lincoln Javier García-Vinces ^{II}
lincoln.garcia@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-8659-3190>

Marcos Geovanny Zevallos-Loor ^{III}
marcos.zevallos@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-7979-8363>

Correspondencia: luisitabeth@hotmail.com

Ciencias técnicas y aplicadas
Artículo de investigación

***Recibido:** 30 de enero de 2021 ***Aceptado:** 17 de febrero de 2021 * **Publicado:** 20 de marzo de 2021

- I. Ingeniera Industrial, Prevención en Riesgos Laborales, Estudiante de la Maestría de Investigación en Prevención y Gestión de Riesgos, Instituto de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- II. Magister en Ciencias de la Ingeniería Mención Estructuras, Ingeniero Civil, Prevención en Riesgos Laborales, Instituto de Posgrado, Docente de la Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- III. Magister en Ciencias Mención Energía, Magister en Ciencias de la Ingeniería Mención Estructuras, Ingeniero Civil, Instituto de Posgrado, Docente de la Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.

Resumen

El objetivo de esta investigación es determinar las zonas susceptibles ante movimientos en masa en el campus de la Universidad Técnica de Manabí, utilizando tres métodos para mejorar los criterios de análisis de determinación de la estabilidad de los sitios previamente obtenidos. En primer lugar, se utilizó la metodología Insar (Radar interferométrico de apertura sintética), mediante la cual se determinaron las deformaciones del terreno en milímetros desde el 6 de noviembre del 2015 hasta el 22 de septiembre del 2020. Posteriormente, se incorporaron los parámetros morfométricos al análisis como son el Flujo de Acumulación (FCC), el Índice Topográfico de Humedad (TWI) y el factor de Longitud y Magnitud de la Pendiente (Factor LS). Luego, se insertó el Índice de Estabilidad (Mohr-Coulomb) para determinar el estado del talud adyacente al campus universitario. Finalmente, se establecieron relaciones entre las metodologías ya mencionadas y su efectividad en la determinación espacial de este tipo de susceptibilidad. Los resultados indicaron que las colinas y el sitio en que se encuentra campus universitario son altamente erosivos y propensos a movimientos en masa, por lo que se requiere elaborar estudios geológicos-geotécnicos-geofísicos a profundidad, especialmente en las zonas de mayor susceptibilidad para la posible toma de medidas de reducción de este tipo de peligro.

Palabras clave: Susceptibilidad; movimientos en masa; Insar; Flujo de Acumulación; Índice Topográfico de Humedad; Factor de Longitud y Magnitud de la Pendiente; Índice de Estabilidad.

Abstract

The objective of this research is to determine the areas susceptible to mass movements on the campus of the Technical University of Manabí, using three methods to improve the analysis criteria for determining the stability of previously obtained sites. In the first place, the Insar methodology (synthetic aperture interferometric radar) was used, by means of which the deformations of the ground were determined in millimeters from November 6, 2015 to September 22, 2020. Subsequently, the morphometric parameters were incorporated to the analysis such as the Accumulation Flow (FCC), the Topographic Humidity Index (TWI) and the factor of Length and Magnitude of the Slope (Factor LS). Then, the Stability Index (Mohr-Coulomb) was inserted to determine the state of the slope adjacent to the university campus. Finally, relationships were established between the aforementioned methodologies and their effectiveness in the spatial determination of this type of susceptibility. The results indicated that the hills and the site where

the university campus is located are highly erosive and prone to mass movements, which is why it is necessary to carry out in-depth geological-geotechnical-geophysical studies, especially in the areas of greatest susceptibility to the possible taking measures to reduce this type of danger.

Keywords: Susceptibility; mass movements; Insar; Accumulation Flow; Topographic Moisture Index; Slope Length and Magnitude Factor; Stability Index.

Resumo

O objetivo desta pesquisa é determinar as áreas suscetíveis a movimentos de massa no campus da Universidade Técnica de Manabí, utilizando três métodos para aprimorar os critérios de análise para determinar a estabilidade de locais previamente obtidos. Em primeiro lugar, foi utilizada a metodologia Insar (radar interferométrico de abertura sintética), por meio da qual foram determinadas as deformações do terreno em milímetros de 6 de novembro de 2015 a 22 de setembro de 2020. Posteriormente, os parâmetros morfométricos foram incorporados ao análises como o Fluxo de Acumulação (FCC), o Índice de Umidade Topográfico (TWI) e o Fator de Comprimento e Magnitude da Inclinação (Fator LS). Em seguida, foi inserido o Índice de Estabilidade (Mohr-Coulomb) para determinar o estado da encosta adjacente ao campus universitário. Por fim, foram estabelecidas relações entre as metodologias citadas e sua eficácia na determinação espacial deste tipo de suscetibilidade. Os resultados indicaram que os morros e o local onde se localiza o campus universitário são altamente erosivos e sujeitos a movimentos de massa, razão pela qual é necessário realizar estudos geológico-geotécnico-geofísicos em profundidade, principalmente nas áreas de maior suscetibilidade. às possíveis tomadas de medidas para reduzir este tipo de perigo.

Palavras-chave: Susceptibilidade; movimentos de massa; Insar; Fluxo de acumulação; Índice Topográfico de Umidade; Comprimento da inclinação e fator de magnitude; Índice de Estabilidade.

Introducción

Los movimientos en masa representan el 4,89% de incidencia global de los desastres a nivel mundial durante los años 1990 hasta el 2005. Además, de acuerdo con recientes reportes de la Cruz Roja Internacional, en promedio, los deslizamientos causan pérdidas económicas de billones de dólares en todo el mundo.(Basu & Pal, 2019)

En el Ecuador, se han reportado un total de 7771 eventos por deslizamiento, desde el año 1970 hasta el 2019, siendo una de las grandes amenazas en nuestro territorio. En la provincia de Manabí, se han registrado alrededor de 274 eventos, desde el año 1987 hasta el año 2012. En el cantón Portoviejo, se han identificado alrededor de 26 eventos, desde el año 2008 hasta el 2018.(Corporación OSSO, 2020)

A raíz del terremoto del 16 de Abril del 2016, se han activado fallas locales cercanas al área de influencia de la Universidad Técnica de Manabí, lo que ha generado desplazamientos de masa del suelo, debido a la inestabilidad que presentan los mismos como se verá más adelante.

Existen algunos métodos para determinar la susceptibilidad ante deslizamientos (LMS), desde métodos de interferometría (Solarí et al., 2020), métodos de imágenes satelitales (Chen et al., 2019), calibración de modelos tridimensionales ((Titti et al., 2020), método de regresión logística y agrupación mínima de reglas (Erener et al., 2016), combinación multitemporal de imágenes satelitales (Bonì et al., 2018), finalmente el método de análisis multicriterio (Basu & Pal, 2019) entre los más importantes.

A nivel local se han realizado algunos estudios dentro de la ciudad, tales como el estudio de Microzonificación Sísmica (Instituto Geofísico IGEPN & Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, 2017), Plan Local de Gestión de Riesgos del Cantón Portoviejo (COMISION EUROPEA et al., 2009) y finalmente un estudio geotécnico para la parroquia San Pablo (Compañía Subsuelo Servicios, 2017)

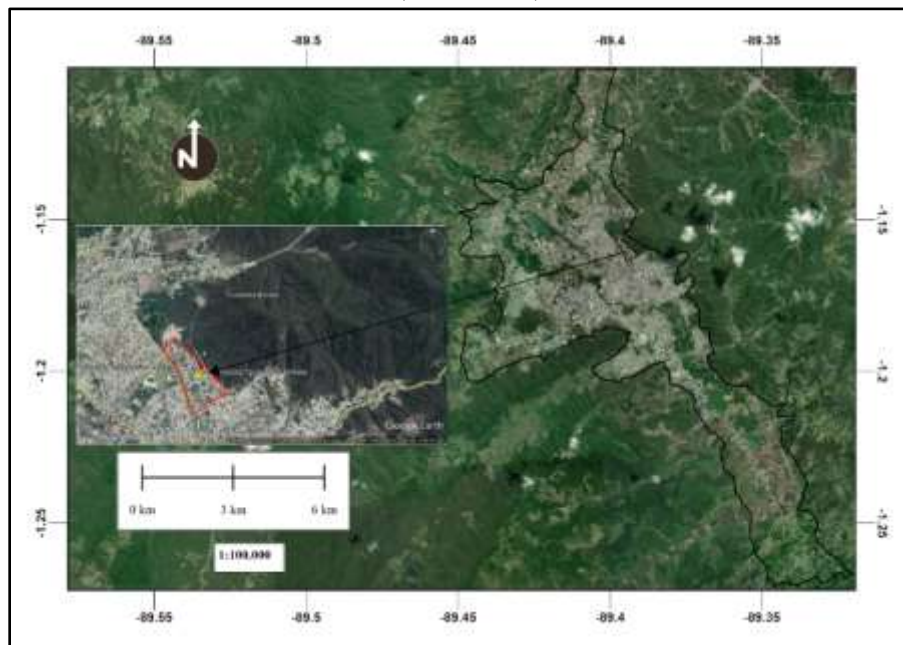
El objetivo de esta investigación es mejorar los criterios de análisis para la determinación de zonas susceptibles a movimientos en masa, mediante la incorporación de parámetros morfométricos como el Índice de Estabilidad, Factor LS, el Flujo de Acumulación FCC e Índice Topográfico de Humedad, además de la deformación del terreno mediante InSAR. Esto a su vez ayudará en la previsión ante esta amenaza y a poder tomar medidas para la prevención de la misma.

La importancia de esta investigación es que mediante herramientas de previsión como los mapas de susceptibilidad se pueden tomar acciones de prevención como la construcción de obras civiles como canales, muros de contención y terrazas, minimizando el riesgo ante esta amenaza evitando así los daños posteriores y el colapso de edificaciones.

Área de estudio

El campus de la Universidad Técnica de Manabí comprende un área de 214.000 m². Su altitud comprende los rangos de 40 metros sobre el nivel del mar en la parte más baja y 70 metros en la parte más alta. Su pendiente media es de 5 grados. Se encuentra ubicado en la parte central este de la ciudad, tal como se observa en la Figura 1.

Figura 1: Mapa de ubicación del Campus Universidad Técnica de Manabí dentro de la ciudad de Portoviejo. (INEC, 2020)



La universidad Técnica de Manabí presenta 4 microzonas de acuerdo con el estudio de Microzonificación Sísmica presentado en la Figura 2, siendo la microzona 2 la predominante en el Campus, correspondiente a un suelo Tipo D según la NEC-15 ($360 \text{ m/s} > v_s \geq 180 \text{ m/s}$), catalogado como suelos rígidos. No obstante, en las colinas adyacentes a la universidad se presenta la microzona 1, es decir un suelo tipo C ($760 \text{ m/s} > v_s \geq 180 \text{ m/s}$) perteneciente a roca blanda. (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda & Cámara de la Industria y la Construcción, 2015)

Dentro de la geología presentada, en el campus se encuentran en su gran mayoría depósitos aluviales antiguos, también están presentes depósitos coluviales, flujos de lodo y rellenos en minoría, tal como se muestra en la Figura 3.

En las colinas adyacentes al campus, se presentan depósitos coluviales, deslizamientos y la formación miembro Villingota, siendo este último erosivo.

Figura 2: Microzonas del Cantón Portoviejo.(Instituto Geofísico IGEPN & Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, 2017)

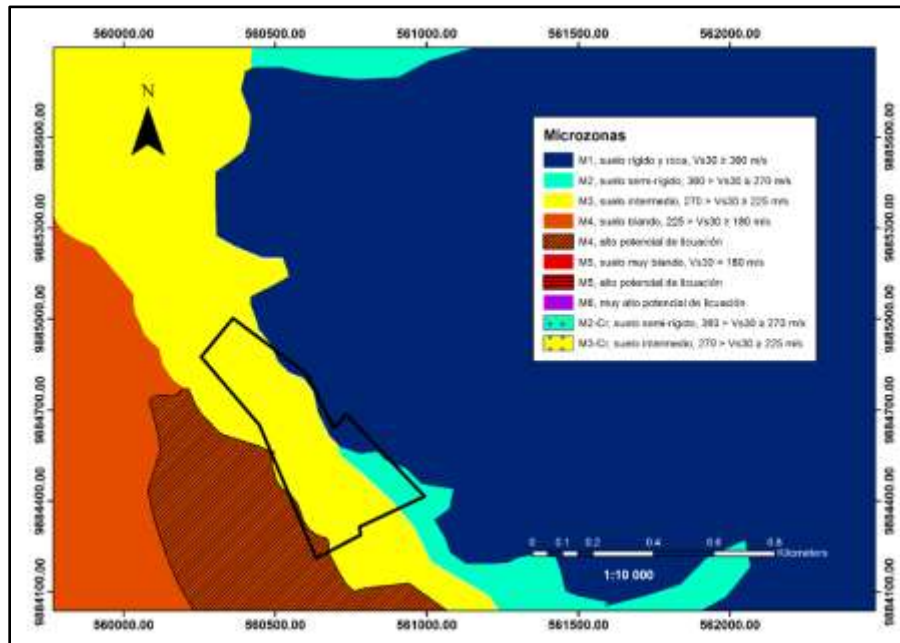
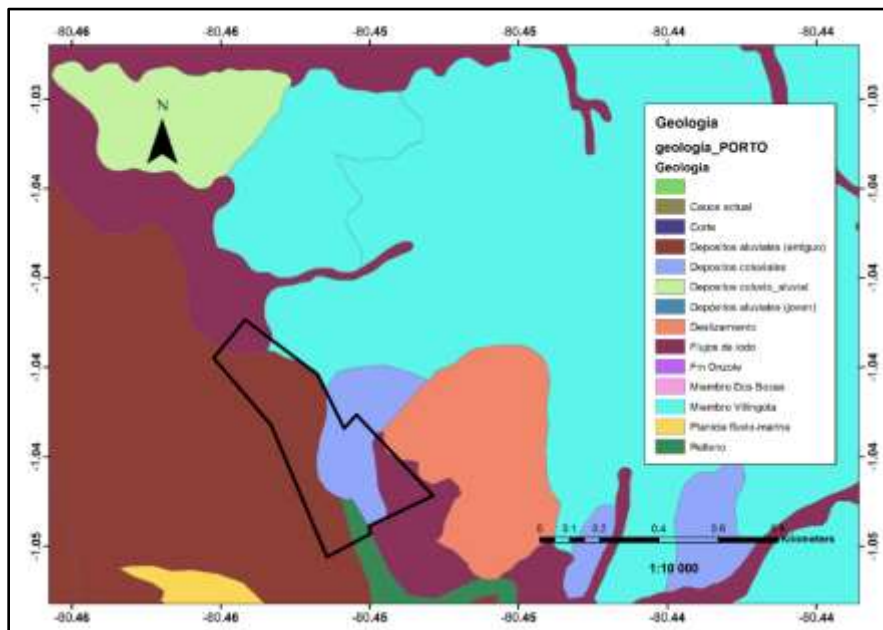


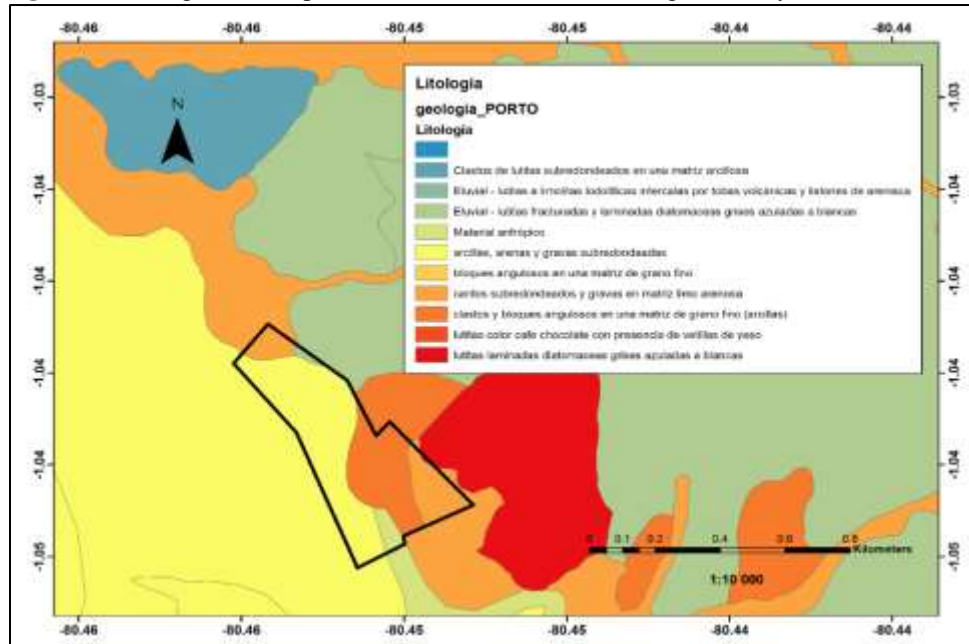
Figura 3: Geología Campus Universidad Técnica.(Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2017)



Dentro de la litología, la predominante en el campus son arcillas, arenas y gravas subredondeadas, y como minoría se presentan cantos subredondeados, gravas limo arenosas, clastos de grano fino, como se muestra en la Figura 4.

En las colinas se presentan arcillas, lutitas fracturadas clastos y bloques angulosos, por lo que claramente las mismas están propensas a flujos de lodo y deslizamientos.

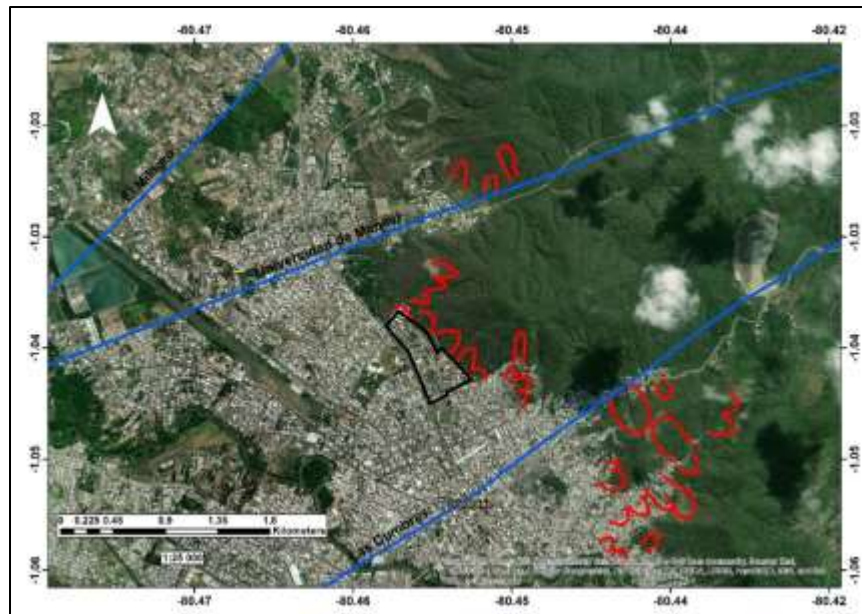
Figura 4: Litología del campus universitario. (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2017)



Existen 2 fallas de sitio que están en el área de influencia de la universidad, la falla de la Universidad de Manabí y la falla Las Cumbres. La primera tiene una longitud de 16 Km, un ancho de 15 Km y una deformación de 0,15 mm/año, es de tipo dextral inversa. La segunda tiene una longitud de 22 Km, un ancho de 15 Km y una deformación de 0,25 mm/año. Al igual que la anterior también es de tipo dextral inversa.

Cabe recalcar, que las mismas fueron activadas por el sismo del 16 de Abril del 2016, lo que generó fracturas y por ende los áreas de deslizamiento tal como se observa en la Figura 5.

Figura 5: Áreas de fractura por deslizamiento y fallas de sitio del área de estudio.(Instituto Geofísico IGEPN & Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, 2017)



Materiales y métodos

- *Materiales*

Los materiales utilizados para esta investigación son los siguientes: un modelo digital de elevación de 3 m de resolución obtenido de SIG TIERRAS, 2 imágenes sentinel 1 A y 1B obtenidos de la NASA, un software con licencia temporal llamado SARPROZ, un software libre llamado ARCVIEW y finalmente un software libre llamado SAGA GIS.

El software SARPROZ es una herramienta muy poderosa que implementa las técnicas de Apertura Sintética con Radar (SAR), SAR Interferométrico (InSAR) y técnicas de procesamiento multi temporal InSAR. Fue desarrollado por Daniel Perisin. El mismo está basado en el MATLAB.(SARPROZ, 2020)

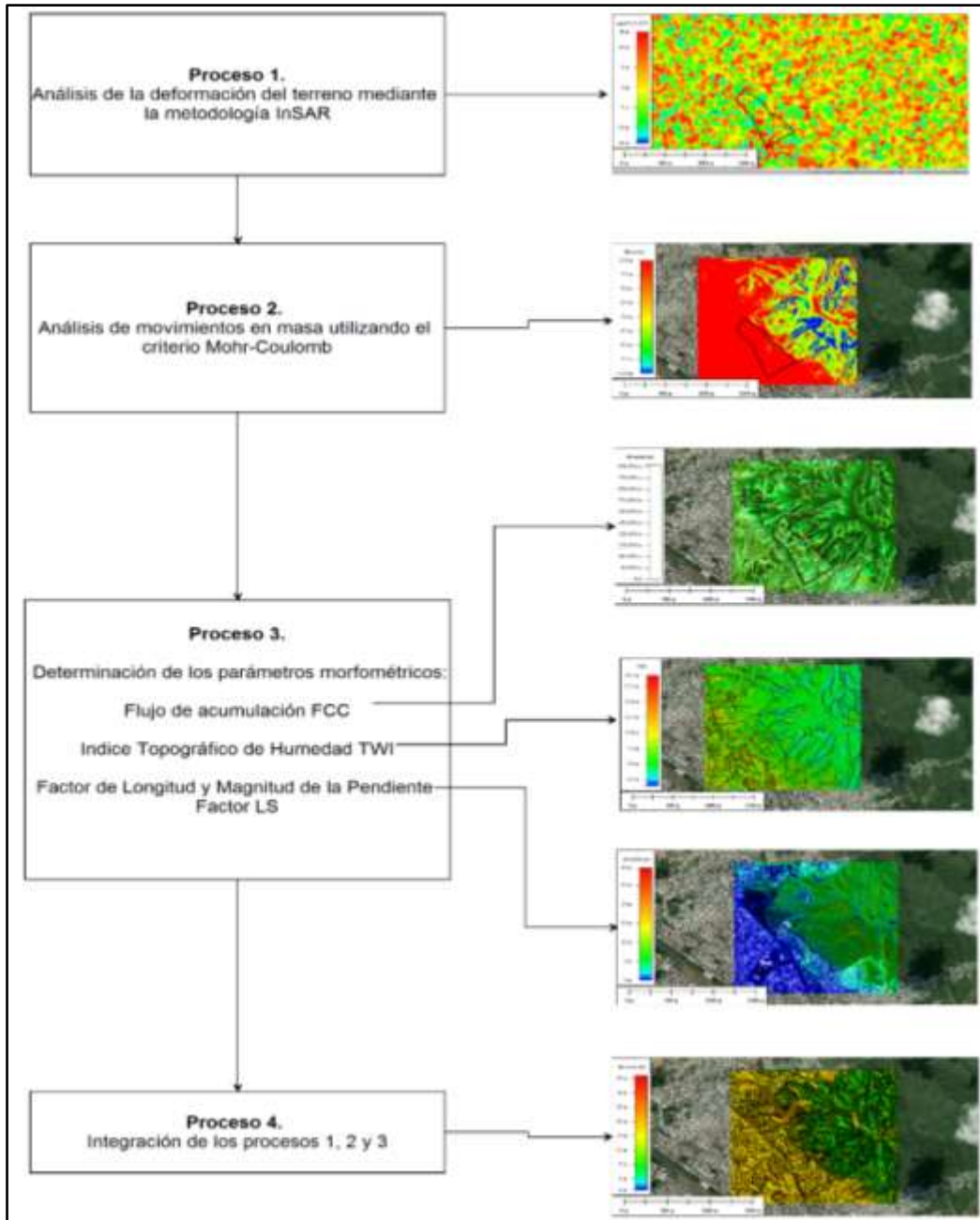
ARCVIEW es un programa que tiene la capacidad de integrar datos espaciales para su posterior análisis. Además, la versión 3.2 a tiene integrado una extensión llamada SHALSTAB, la misma que se utilizará para determinar el Índice de Estabilidad Mohr-Coulomb.(Instituto Nacional de Defensa Civil, 2000)

SAGA GIS (Sistema para Análisis Geocientíficos Automatizados) es un sistema de información geográfica (GIS) para la edición y análisis de datos geoespaciales. Este software posee modelos hidrológicos y parámetros morfométricos que serán mencionados más adelante.(SAGA, 2020)

- **Métodos.**

Para el desarrollo metodológico se ha aplicado el procedimiento desarrollado por Cando, M (2019) y dictado por el mismo autor dentro de curso de Maestría en Gestión de Riesgos 2020.

Figura 6: Flujo de procesos para la determinación de movimientos en masa en la zona de estudio.



Proceso 1: Análisis de deformación de terreno con la metodología INSAR.

El Radar Interferométrico de Apertura Sintético (InSAR) es una manera efectiva de cuantificar las variaciones en las elevaciones del planeta. Este método, realiza mediciones de alta precisión en áreas grandes mediante señales de radar emitidas por satélites en órbita, para de esta forma medir las fases y los desplazamientos del terreno.(USGS, 2020)

De acuerdo con la metodología de (Cando-Jácome et al., 2020), existen 3 procesos para el InSAR, tal como se detalla en la Figura 7.

En el primer proceso, las imágenes Sentinel 1 A y 1 B fueron obtenidas de Alaska Satellite Facility ASF, las cuales son de alta resolución y presentan las siguientes características: Modo IW, Path 18, Frame 1177, dirección de vuelo ascendente, polarización VV+VH y órbita absoluta 23494.(Instituto Geofísico de la Universidad de Alaska Fairbanks, 2020)

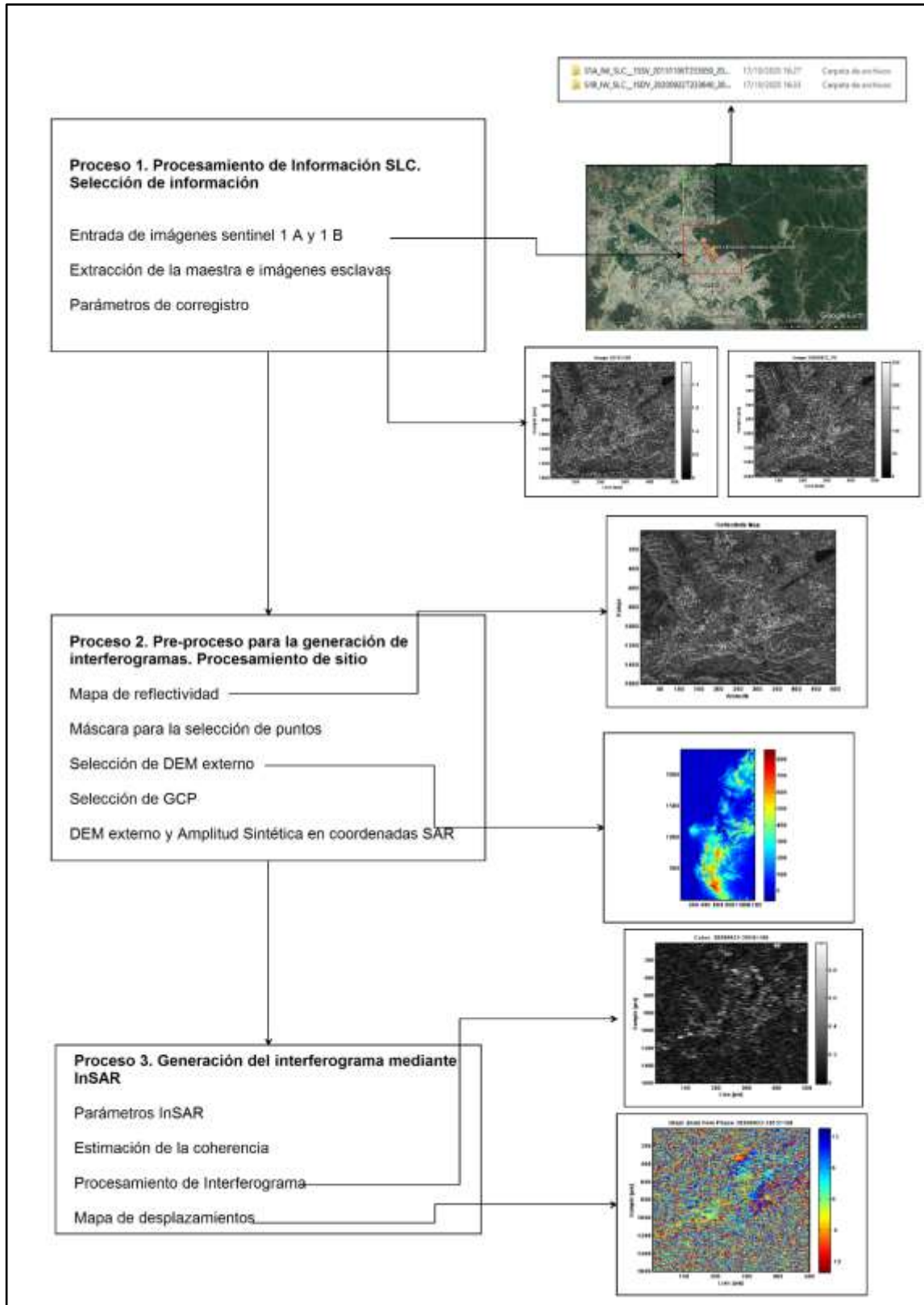
Cabe recalcar que las imágenes deben tener las mismas características, el mismo path y el mismo frame sobretodo, además se debe crear un directorio en el disco C y las mismas deben estar descomprimidas.

El SARPROZ por defecto seleccionará una imagen maestra, que es la que tiene mayor coherencia y la imagen o imágenes esclavas, que son aquellas derivadas de la imagen maestra.

En el segundo proceso se deben tener en cuenta que los puntos de control de las imágenes maestra y esclavas deben estar dentro del DEM, caso contrario el programa nos dará error en el procesamiento del mapa de reflectividad y no se podrán avanzar en los siguientes procesos.

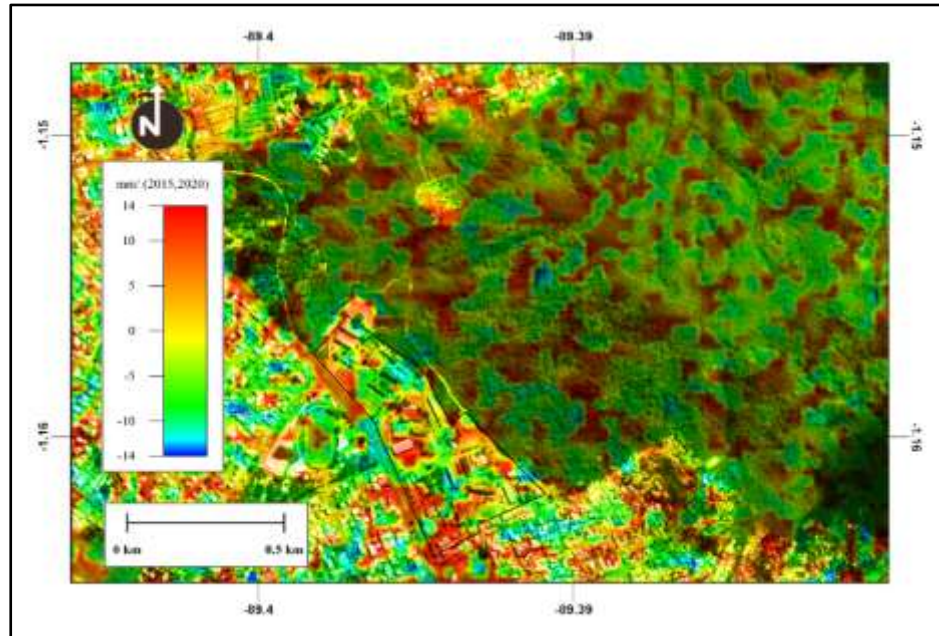
En el tercer proceso se debe tener en consideración la coherencia de las imágenes, es decir al momento del procesamiento en el interferograma se debe observar que el valor de los pixeles de la imagen este cercano a 1.

Figura 7. Flujo de procesos mediante la metodología InSAR.(Cando-Jácome et al., 2020)



Finalmente, mediante la elaboración del Interferograma, se obtienen las deformaciones en el terreno, como se observa en la Figura 9.

Figura 8: Mapa de deformación del área de estudio mediante metodología InSAR.



Proceso 2: Análisis de Movimientos en masa utilizando el criterio Mohr-Coulomb.

La teoría de Mohr-Coulomb es uno de los métodos más simples y utilizados en la geotecnia, dada su facilidad en la obtención de sus variables. (Oyola-Guzmán & Vaca Oyola, 2018)

Para determinar la susceptibilidad ante movimientos en masa fue utilizado el software SHALSTAB ya mencionado anteriormente, el cual combina parámetros morfométricos como parámetros hidrológicos. (Cando-Jácome & Martínez-Graña, 2019)

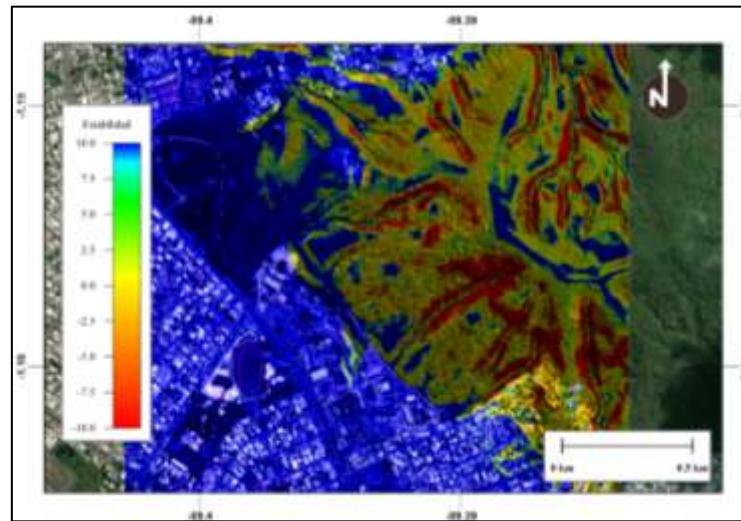
El modelo de estabilidad relaciona la cohesión del suelo (C), la presión de los poros μ , el esfuerzo normal del suelo s y el ángulo de fricción interna del suelo ϕ , para determinar el esfuerzo cortante debido a la cohesión t , como se muestra en (1):

$$\tau = C + (\sigma - \mu) * \tan \phi \quad (1)$$

Si este valor es mayor a cero se considera un área estable, y si es menor se considera inestable.

A partir del modelo digital de elevación, se procede a aplicar el criterio de Mohr-Coulomb para determinar el Índice de Estabilidad, tal como se observa en la Figura 9.

Figura 9: Índice de estabilidad del área de estudio.



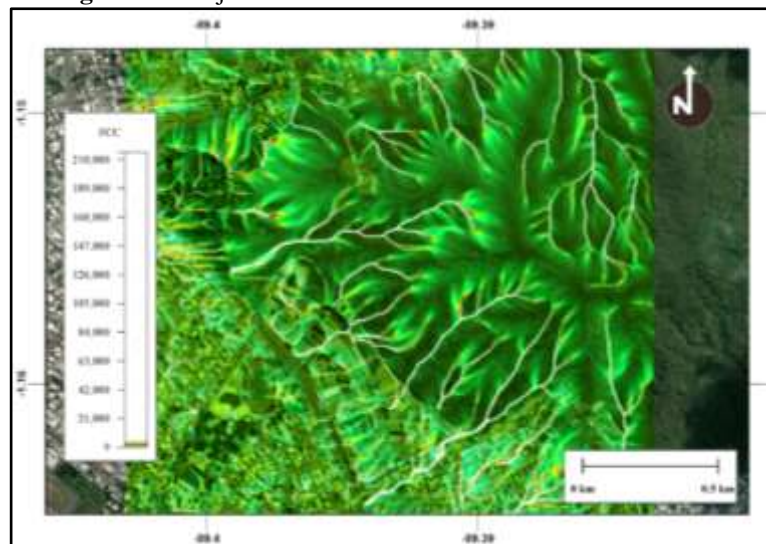
Proceso 3. Determinación de los parámetros morfométricos.

Flujo de Acumulación (FCC).

Es la dirección del flujo que va través de las pendientes de los cauces de forma descendente, que a la final desembocan en las áreas de contribución. Esto es realizado mediante una función algebraica, en la cual el software asigna valores ponderados a las celdas dando como resultado un archivo ráster, tal como se aprecia en la Figura 10.(Esri, 2016)

La interpretación de la leyenda es de la siguiente forma: los colores en los flujos determinan su profundidad, siendo los de color blanco los más profundos y los de color verde los flujos más superficiales.

Figura 10: Flujo de acumulación FCC del área de estudio.



Índice Topográfico de Humedad (TWI)

Está relacionado con la humedad de los suelos, la geoforma y muestra la formación de escorrentías superficiales. Mientras mayor es este índice el terreno es proclive a una saturación y por lo tanto a la generación de flujo de lodos y/o deslizamientos. (Roa-Lobo & Ulrich, 2012)

El mismo combina la escorrentía de un área drenada con su respectiva pendiente, y se utiliza para el control topográfico sobre los problemas hidrológicos, definidos por (2):

$$TWI = \ln \left(\frac{af}{\tan \beta} \right) \quad (2)$$

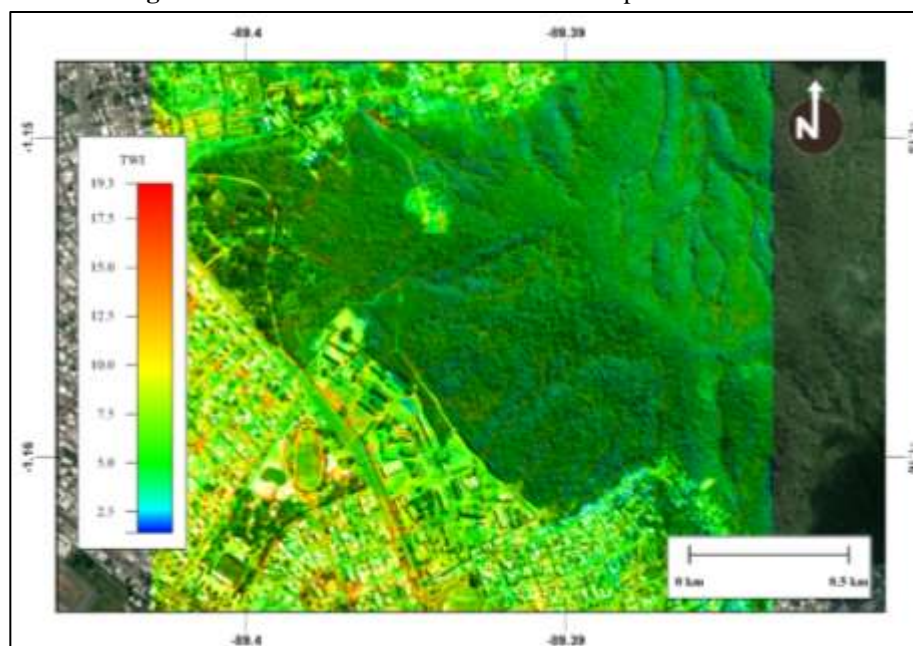
Donde:

af= área local drenada para un punto de cálculo.

Tanβ= pendiente direccional de la celda de interés.

En la Figura 12 se puede observar que la parte más proclive a la saturación de suelos se encuentra sobre la entrada a la universidad. Sin embargo, cabe recalcar que en el sector de las colinas también existe saturación del suelo, no en gran medida como en la parte del ingreso al campus, no obstante, está presente. El color rojo en el mapa representa las zonas de mayor acumulación de agua, el verde las zonas donde se acumula poca agua y el azul las zonas secas.

Figura 11: TWI del área de influencia del campus universitario.



Factor de Longitud y Magnitud de la Pendiente (Factor LS)

La topografía es uno de los parámetros claves en los procesos erosivos del suelo y drenaje de agua superficial y subsuperficial.(Roffe et al., s. f.)

Los autores Wischimeier y Smith en el año 1978, determinaron una relación entre la longitud y la inclinación de la pendiente que está directamente relacionada con la erosión hídrica. No obstante, por facilidades de cálculo, deben tomarse en consideración ambos factores juntos, la cual será determinada mediante (3):

$$LS = \frac{\sqrt{L}}{100} * (1,36 + 0,97 S + 0,1385 S^2) \quad (3)$$

Donde,

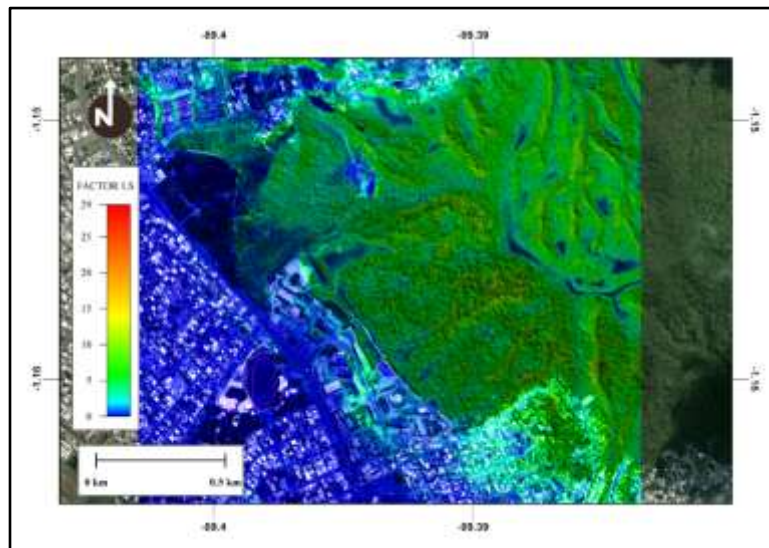
L: longitud de la pendiente en metros.

S: gradiente de la pendiente en porcentaje.

A mayor valor del Factor LS, más erosión existe, por lo tanto, mayor inestabilidad.

En la Figura 13 se aprecia que las colinas presentan procesos erosivos intensos por acción hídrica principalmente que afectan a gran parte del Campus Universitario. Estos procesos se encuentran representados por los colores verde al amarillo, en donde el verde significa zonas de media erosión y el azul zonas de nula erosión, es decir zonas más húmedas.

Figura 12: Mapa de Factor LS del área de estudio.

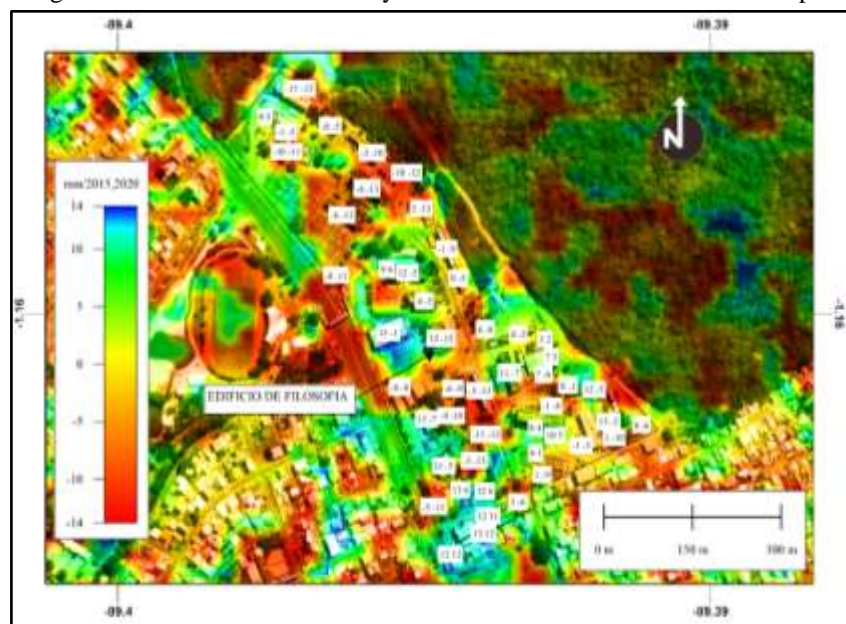


Resultados

Las deformaciones máximas en el campus universitario realizadas mediante análisis InSAR, tanto en levantamiento como en hundimiento se encuentran dentro de un rango entre 2 mm13 mm de un

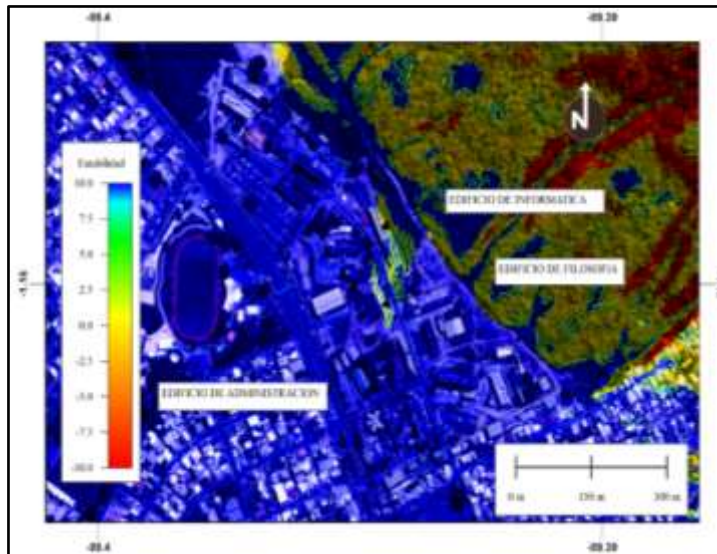
periodo del 6 de Noviembre del 2015 al 22 de Septiembre del 2020. Dentro de este rango, el edificio que presenta mayor deformación es el de Filosofía con 12 mm tanto en levantamiento como en subsidencia. Sin embargo, existen otras edificaciones como el antiguo edificio de Filosofía que presenta un rango de (11,-7), además el de Hidráulica con (12,-5) y el de Veterinaria con (12,-5). Cabe destacar que los valores positivos de estos rangos son levantamientos y los negativos hundimientos, además las unidades de estos rangos se encuentran en milímetros, tal como se presenta en la Figura 13.

Figura 13: Rango de deformaciones máximas y mínimas en las edificaciones del campus universitario.



De acuerdo con el criterio Mohr-Coulomb, las zonas más inestables por movimientos en masa dentro del campus universitario son el edificio de Informática, el edificio de Filosofía y el edificio de Administración, tal como se observa en la Figura 14.

Figura 14: Edificios más inestables dentro del campus universitario.

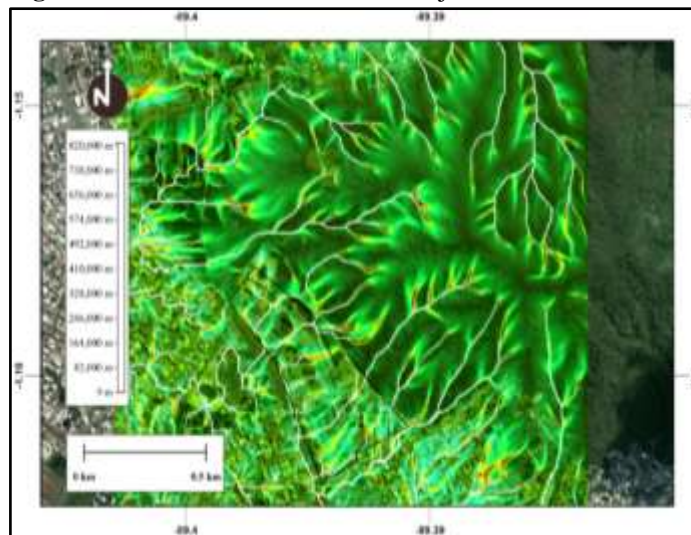


De acuerdo con la Figura 14, el edificio de informática presenta inestabilidad en su totalidad, mientras que los edificios de Filosofía y Administración son parcialmente inestables.

De acuerdo con este mismo criterio, el área más crítica a movimientos en masa es de 80277 m², el área con estabilidad media es de 498000 m² y el área con mayor estabilidad es de 240000 m².

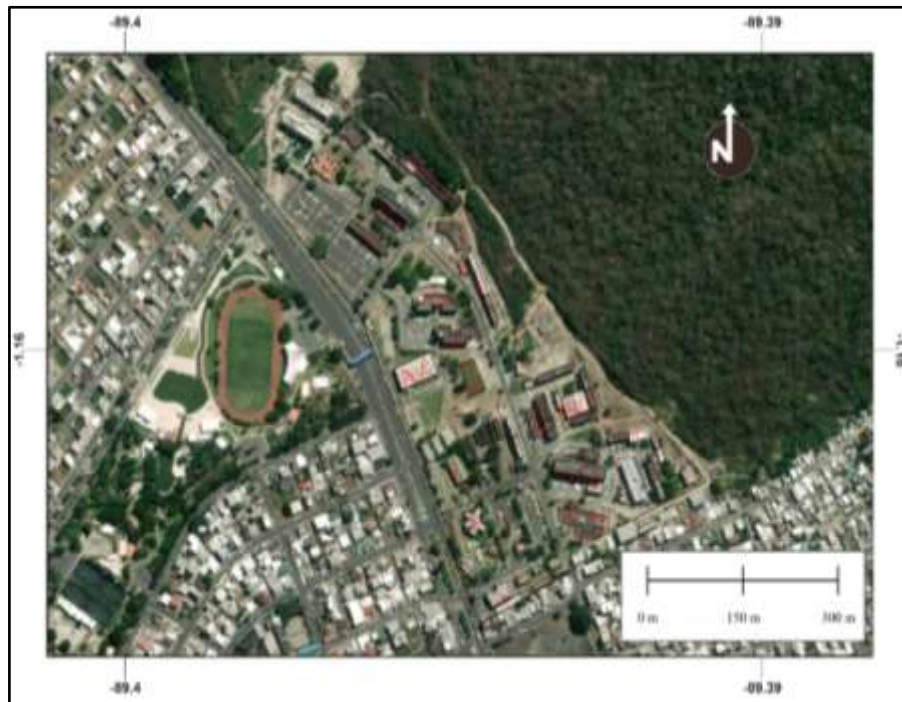
El talud adyacente al Campus Universitario es el origen de los flujos, además de ser erosivos, tiene gran capacidad de concentrar flujos que pueden generar movimientos en masa que según modelación realizada y la visita de campo son evidentes, siendo un riesgo alto ante estas amenazas, tal como se indica en la Figura 15.

Figura 15: Áreas de acumulación de flujos del área de estudio.



Las áreas de mayor acumulación de humedad se encuentran en la parte plana, es decir, en el acceso a la universidad, por lo que esto puede generar la licuación de suelos y, por lo tanto, la destrucción de obras de infraestructura civil y vial, tal como se observa en la Figura 16.

Figura 16: Líneas de deformación del suelo dentro del campus universitario.



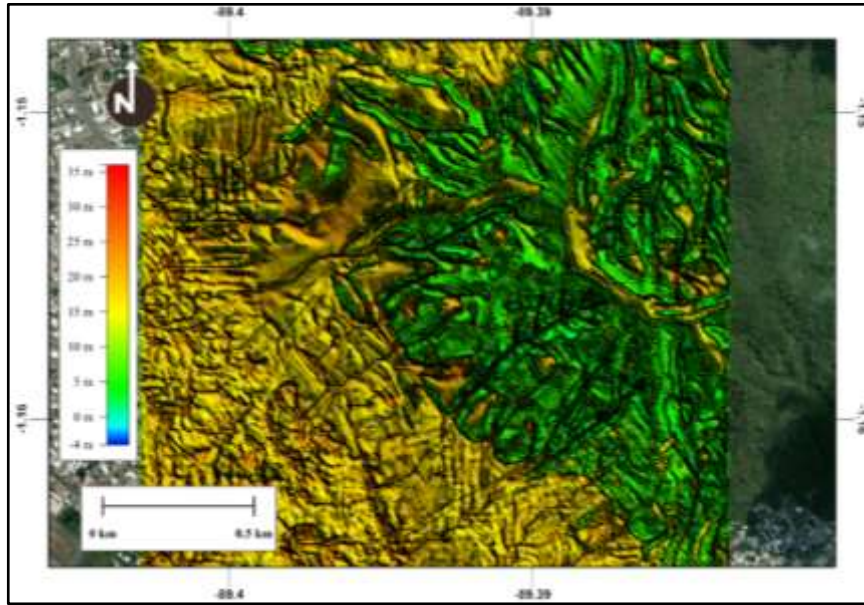
Discusión

Al combinar el Índice de Estabilidad, el Factor LS y el TWI se obtuvo los flujos antiguos o quebradas que pasan por la universidad Técnica de Manabí, además de las zonas inestables y las áreas por donde se canalizan los flujos, tal como se presenta en la Figura 17.

Además, se observa que los flujos atraviesan el campus por su parte central, siendo los detonantes para causar el colapso de los edificios por hundimiento del suelo.

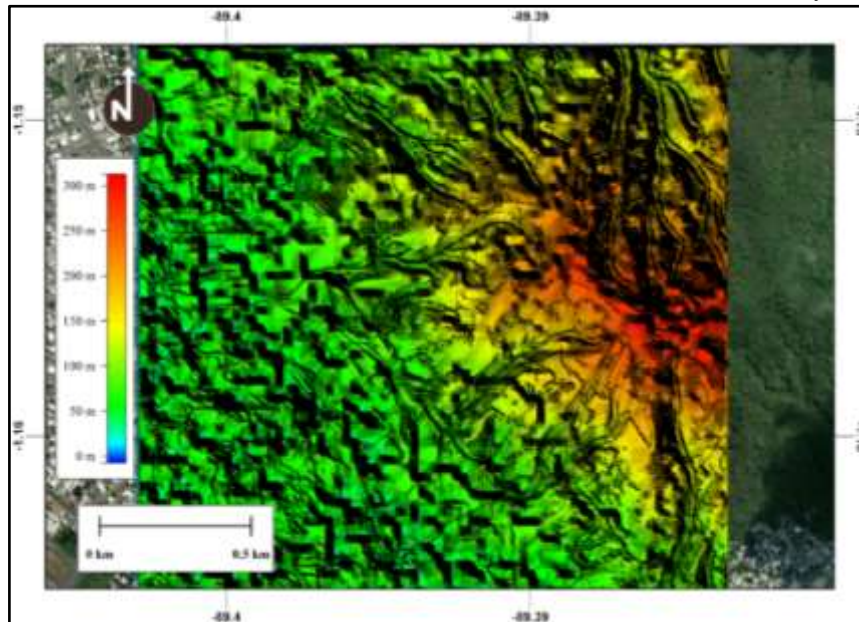
Cabe destacar que el índice de estabilidad y la erosión del suelo obtenida a través del factor LS son inversamente proporcionales, al igual que con la acumulación de flujos.

Figura 17: combinación del índice de estabilidad, fcc y twi del área de estudio.



Existe otra combinación interesante entre la deformación InSAR, el Índice de Estabilidad, el FCC, TWI y Factor LS en la que están presentes las áreas de rotura por deslizamientos, obtenidas a través de la deformación InSAR, en el pie del talud en donde se distinguen varios tipos posibles de movimientos en masa como canales de flujo de masa, deslizamientos, bloques de caída y reptación, como se detalla en la Figura 18.

Figura 18: combinación de la deformación insar, índice de estabilidad, fcc, twi y factor ls.



Conclusiones

Con respecto a la metodología aplicada en base a criterios morfométricos, se concluye que los mismos ayudaron a mejorar el análisis de susceptibilidad ante movimientos en masa y el criterio técnico para su reducción.

Los resultados obtenidos, se concluye que la susceptibilidad por deslizamiento en el campus de la Universidad Técnica de Manabí es alta principalmente es debido a los siguientes factores: Deformación, Índice de Estabilidad, FCC, Factor LS, TWI

De acuerdo con el FCC, el área donde se almacenan mayor cantidad de flujos es en el acceso al campus universitario.

El análisis con la metodología InSAR, determinó que la deformación máxima se encuentra entre en el edificio de Filosofía con 12 mm en levantamiento y 12 mm en hundimiento.

De acuerdo con el criterio del Factor LS, las zonas más erosionadas se presentan en las partes medias de los taludes en donde se pueden producir desde sistemas de erosión lineal, reptación, cárcavas y quebradas de alta energía asociadas con tipos de movimientos en masa como coluviones, coluvio-aluviones, flujos de lodo, de escombros, entre otros.

Si bien los sistemas de erosión son intensos en la colina adyacente a la Campus Universitario, pueden ocurrir llegar flujos de masa provocados por gravedad y precipitaciones intensas, siempre y cuando se deforeste sus vertientes los que se encuentran protegidas por un bosque primario que la Universidad Técnica de Manabí ha conservado.

No se puede descartar que un sismo como el ocurrido el 16 de abril de 2016, pueda desestabilizar los taludes y provocar movimientos en masa que puedan afectar al Campus Universitario y provocar la destrucción de los edificios, infraestructura educativa en general incluyendo la pérdida de vidas humanas.

Referencias

1. Basu, T., & Pal, S. (2019). RS-GIS based morphometrical and geological multi-criteria approach to the landslide susceptibility mapping in Gish River Basin, West Bengal, India. *Advances in Space Research*, 63(3), 1253-1269. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2018.10.033>

2. Bonì, R., Bordoni, M., Colombo, A., Lanteri, L., & Meisina, C. (2018). Landslide state of activity maps by combining multi-temporal A-DInSAR (LAMBDA). *Remote Sensing of Environment*, 217, 172-190. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.013>
3. Cando-Jácome, M., & Martínez-Graña, A. (2019). Determination of Primary and Secondary Lahar Flow Paths of the Fuego Volcano (Guatemala) Using Morphometric Parameters. <https://doi.org/10.3390/rs11060727>
4. Cando-Jácome, M., Martínez-Graña, A., Chunga, K., & Ortíz-Hernández, E. (2020). Satellite radar interferometry for assessing coseismic liquefaction in Portoviejo city, induced by the Mw 7.8 2016 Pedernales, Ecuador earthquake. 16. <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09205-x>
5. Chen, T.-H. K., Prishchepov, A. V., Fensholt, R., & Sabel, C. E. (2019). Detecting and monitoring long-term landslides in urbanized areas with nighttime light data and multi-seasonal Landsat imagery across Taiwan from 1998 to 2017. *Remote Sensing of Environment*, 225, 317-327. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.03.013>
6. COMISION EUROPEA, COMUNIDAD ANDINA, & PREDECAN. (2009). PLAN LOCAL DE GESTIÓN DEL RIESGO DEL CANTÓN PORTOVIEJO. <http://www.comunidadandina.org/predecana/doc/libros/pp/ec/PLGR.pdf>
7. Compañía Subsuelo Servicios. (2017). CONTRATO DE EMERGENCIA PARA EL ESTUDIO DE SUELO Y ALTERNATIVAS DE OBRAS DE MITIGACIÓN PARA EL SECTOR DE LA CIUDADELA BRIONES DE LA PARROQUIA SAN PABLO DEL CANTÓN PORTOVIEJO.
8. Corporación OSSO. (2020). DesInventar | Ecuador—Sistema de Información de desastres y emergencias. DesInventar. <https://online.desinventar.org/desinventar/#ECU-DISASTER>
9. Erener, A., Mutlu, A., & Sebnem Düzgün, H. (2016). A comparative study for landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis (MCDA), logistic regression (LR) and association rule mining (ARM). *Engineering Geology*, 203, 45-55. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2015.09.007>
10. Esri. (2016). Acumulación de flujo—Ayuda | ArcGIS for Desktop. <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/flow-accumulation.htm>

11. INEC. (2020, julio 18). Home – Instituto Nacional de Estadística y Censos. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/home/>
12. Instituto Geofísico de la Universidad de Alaska Fairbanks. (2020). ASF Data Search. <https://search.asf.alaska.edu/#/>
13. Instituto Geofísico IGEPN, & Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas. (2017). Estudio de microzonificación sísmica del cantón Portoviejo, segunda fase.
14. Instituto Nacional de Defensa Civil. (2000). MANUAL BASICO DE CAPACITACION ARCVIEW. http://ftpmirror.your.org/pub/wikimedia/images/wikibooks/es/a/aa/MANUAL_BASIC_O_ARCVIEW.pdf
15. Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2017, septiembre 29). CATALOGO DE METADATOS DE SIGTIERRAS - SIGTIERRAS - MAGAP. http://metadatos.sigtierras.gob.ec:8080/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/Geomorfologia_Nacional_01032018
16. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, & Cámara de la Industria y la Construcción. (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-1.pdf>
17. Oyola-Guzmán, R. D., & Vaca Oyola, L. S. (2018). Uso de la teoría de Mohr-Coulomb para explicar el mejoramiento de suelos mediante el proceso de compactación. 12(1).
18. Roa-Lobo, J., & Ulrich, K. (2012). Uso del índice topográfico de humedad (ith) para el diagnóstico de la amenaza por desborde fluvial, Trujillo-Venezuela. 53(1), 19.
19. Roffe, T. G., Crósta, A. P., & Filho, A. P. (s. f.). LS-FACTOR ANALYSIS IN DIFFERENT PREDICTION MODELS OF WATER SOIL EROSION. 16.
20. SAGA. (2020). SAGA — OSGeoLive 13.0 Documentation. https://live.osgeo.org/es/overview/saga_overview.html
21. SARPROZ. (2020). SARPROZ © – The SAR PROcessing tool by periZ. <https://www.sarproz.com/>
22. Solari, L., Bianchini, S., Franceschini, R., Barra, A., Monserrat, O., Thuegaz, P., Bertolo, D., Crosetto, M., & Catani, F. (2020). Satellite interferometric data for landslide intensity evaluation in mountainous regions. International Journal of Applied Earth

Observation and Geoinformation, 87, 102028.

<https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.102028>

23. Titti, G., Bossi, G., Zhou, Gordon. G. D., Marcato, G., & Pasuto, A. (2020). Backward automatic calibration for three-dimensional landslide models. *Geoscience Frontiers*. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.03.011>
24. USGS. (2020). Radar de apertura sintética interferométrica (InSAR). USGS, science for a changing world. https://www.usgs.gov/centers/ca-water-ls/science/interferometric-synthetic-aperture-radar-insar?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects

© 2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons

Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).