



Sucre bajo la Lupa: Análisis Satelital de los Cambios en el Terreno tras la Actividad Sísmica

Estudio de Transferencia de Esfuerzos y Subsistencia Tectónica (Estado Sucre)

Declaración del alcance

Este estudio es producto de las capacidades de procesamiento de datos del Centro de Investigación Informática Lazarus, potenciadas mediante el uso de Inteligencia Artificial (IA) para la interpretación avanzada de información geoespacial.

El presente documento constituye un referente de análisis satelital de alerta temprana enfocado en establecer potenciales escenarios y situaciones de interés. Su función principal es actuar como un mapa preliminar para orientar con precisión las evaluaciones y los muestreos en terreno, sirviendo como material de apoyo técnico para investigaciones de mayor profundidad a cargo de especialistas en las áreas de teledetección y disciplinas afines.

Nota: Este reporte no constituye un diagnóstico definitivo, sino un insumo estratégico para optimizar la labor analítica e investigativa en campo. Todos los hallazgos presentados requieren validación adicional en terreno por especialistas competentes.

Descripción General

El presente documento detalla el flujo de trabajo computacional ejecutado por el Centro de Investigación Informática Lazarus. El objetivo principal fue validar si las anomalías de desplazamiento negativo en el Estado Sucre correspondían a factores ambientales o a subsidencia co-sísmica por transferencia de esfuerzos tras el doblete sísmico de Yaracuy en junio de 2026.

1. DInSAR (Interferometría de Radar de Apertura Sintética Diferencial)

- **Definición:** Técnica geodésica que evalúa cambios físicos superficiales mediante el cálculo de la diferencia de fase entre dos adquisiciones de radar.
- **Relevancia:** Permitió identificar las áreas de mayor deformación negativa (subsistencia) en el nororiente de Venezuela.
- **Validación y Fuentes:** La metodología InSAR es el estándar internacional para el monitoreo de subsidencia tectónica. (Fuente: Agencia Espacial Europea (ESA). URL:

[InSAR Principles: Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation](#) (ESA TM-19)).

- **Limitaciones (Crítica):** El sensor evalúa únicamente cambios físicos superficiales. Se documentó que el evento profundo de 90.9 km del 20 de julio en Sucre no generó una señal elástica horizontal visible en superficie, evidenciando el límite del sensoramiento remoto para rupturas profundas. Además, existe pérdida de coherencia (zonas vacías o ruidosas) en áreas de alta biomasa, como las montañas del Turimiquire.

2. Metodología de Procesamiento SAR (Cadena S1TBX)

El procesamiento utilizó imágenes de la misión Sentinel-1 (C-Band) de la ESA en órbita ascendente. Se procesaron mediante la caja de herramientas S1TBX en la plataforma ESA SNAP. (Documentación ESA SNAP: [SNAP – STEP](#)).

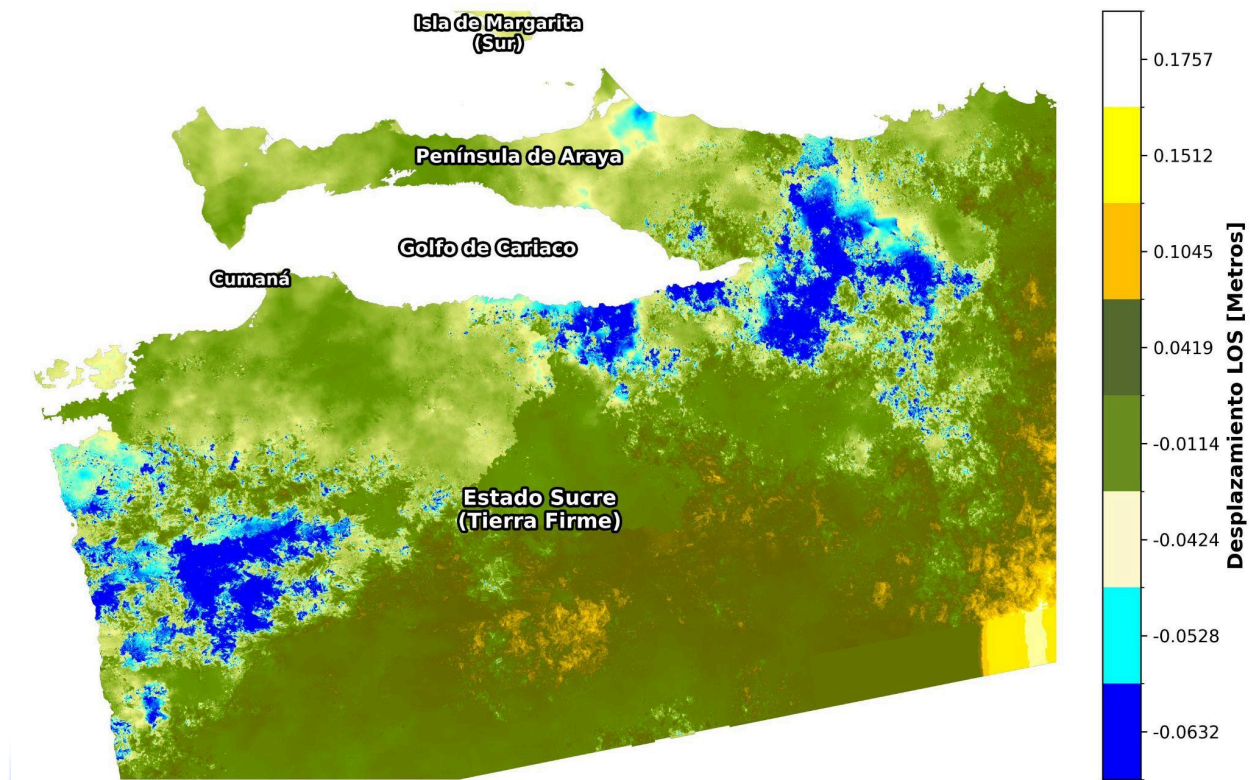
Las variables y operadores aplicados incluyen:

- **Corrección Orbital (Orb):** Aplicación de los vectores de órbita precisa (Sentinel Precise Orbit State Vectors) para minimizar errores de fase relacionados con la posición satelital.
- **Co-registro y Apilado (Stack) / ESD:** Alineación geométrica sub-píxel de la imagen esclava sobre la maestra. Se aplicó *Enhanced Spectral Diversity* (ESD) para corregir errores de fase remanentes en el azimut para Sentinel-1 TOPSAR.
- **Resta Topográfica Diferencial (DInSAR):** Uso del Modelo Digital de Elevación (Copernicus 30m Global DEM) para simular y restar la fase topográfica, aislando la fase del movimiento del terreno.
- **Multilooking (ML) y Filtrado (Flt):** Promediado de píxeles para reducir ruido de moteado (speckle), mejorando la calidad radiométrica a costa de la resolución espacial. Se aplicó un filtro Goldstein para realzar las franjas de interferencia.
- **Desenvolvimiento de Fase (Unw - SNAPHU):** Conversión de la fase interferométrica cíclica, confinada matemáticamente entre $-\pi$ y $+\pi$, en valores continuos. (Fuente: [SNAPHU: Statistical-Cost, Network-Flow Algorithm for Phase Unwrapping](#))
- **Desplazamiento LOS Absoluto y Proyección (WGS84):** Conversión de fase a valores métricos de desplazamiento en la Línea de Visión (LOS) y aplicación de *Range-Doppler Terrain Correction* para proyectar a coordenadas geográficas WGS84.

3. Fusión de Datos Sismológicos (FUNVISIS)

- **Definición:** Integración de datos sísmicos de la red sismológica nacional de FUNVISIS.
- **Relevancia:** Se compararon los epicentros correspondientes al periodo entre el 25 de junio y el 20 de julio de 2026. (Portal FUNVISIS: [FUNVISIS - Monitor de Sismos](#)).
- **Validación:** Se evidenció un incremento de actividad sísmica del +296% durante el periodo evaluado. Al coincidir espacialmente los focos de subsidencia InSAR con la Falla de El Pilar y temporalmente con el enjambre sísmico, se refutó la teoría de subsidencia ambiental (lluvias/extracción de pozos).

Mapa de Desplazamiento DInSAR - Nororiente de Venezuela



4. Interpretación Geoespacial y Geofísica del Raster DInSAR

El análisis visual y cuantitativo del producto interferométrico final revela un campo de deformación cortical altamente heterogéneo en el nororiente de Venezuela. La rampa de color pseudo-color calibrada en metros cuantifica el desplazamiento en la Línea de Visión (LOS) del satélite.

Análisis del Campo de Deformación:

- **Focos de Subsistencia Crítica (Rango: -0.0114 m a -0.0632 m):** Las anomalías negativas, representadas en tonalidades azules (alejamiento del sensor), se concentran de manera prominente en tres sectores fundamentales:
 1. El flanco sur y sureste del **Golfo de Cariaco**, adentrándose hacia las faldas montañosas del **Estado Sucre (Tierra Firme)**.
 2. El sector oriental de la **Península de Araya**, mostrando una clara asimetría de deformación respecto a la porción occidental de la misma península.
 3. Un bloque masivo en el cuadrante suroeste del mapa continental. Estas áreas son geológicamente críticas, ya que la subsidencia máxima registrada alcanza los -6.32 cm, confirmando los focos de hundimiento cortical que intersectan con el sistema de fallas regional.
- **Zonas de Estabilidad Relativa (Rango: -0.0114 m a +0.0419 m):** Representadas por el

gradiente verde. Las planicies costeras circundantes a **Cumaná**, la porción central de la **Península de Araya** y gran parte del occidente del Estado Sucre muestran valores cercanos a cero. Geofísicamente, esto indica una ausencia de deformación elástica superficial significativa en el vector LOS durante la ventana temporal de adquisición.

- **Anomalías de Levantamiento o Ruido de Fase (Rango: $> +0.1045$ m):** Se observan gradientes amarillos y blancos (acercamiento al sensor) hacia el extremo sureste de la imagen y en parches aislados. Si bien matemáticamente indican levantamiento topográfico de hasta 17.5 cm, estas magnitudes extremas en un marco temporal corto requieren una evaluación crítica, ya que son altamente susceptibles a ser artefactos del procesamiento.

Hallazgos Preliminares

- **Vínculo con la actividad sísmica:** Se registró una coincidencia temporal entre el intervalo de adquisición del radar y un incremento del +296% en los eventos sísmicos reportados por FUNVISIS.
- **Superposición con infraestructura estratégica:** Existe una coincidencia espacial directa entre las áreas de deformación detectadas, la Troncal 009 y el Acueducto Turimiquire.
- **Subsidencia en el sistema de fallas de El Pilar:** Las zonas con mayor deformación negativa se ubicaron de forma precisa en la Península de Araya y en las estribaciones montañosas meridionales de Cumaná.
- **Riesgo para infraestructura vital:** La subsidencia detectada en áreas que coinciden con la Troncal 009 y el Acueducto Turimiquire implica riesgos críticos para la integridad estructural de estas infraestructuras vitales.

Hipótesis Derivadas

- **Deformación Co-sísmica:** El análisis unificado concluye preliminarmente que el hundimiento detectado de 8.5 cm (telemetría Sentinel-1) representa una deformación co-sísmica y pos-sísmica de la corteza, lo que permite descartar un origen estrictamente ambiental.
- **Compromiso de estabilidad a largo plazo:** La deformación co-sísmica persistente podría comprometer la estabilidad a largo plazo de las infraestructuras viales y de suministro de agua identificadas, aumentando significativamente el riesgo de fallas operativas o estructurales.

Incertidumbres Metodológicas y Limitaciones

- **Pérdida de Coherencia:** Existe una decorrelación severa por vegetación en las montañas del Turimiquire, generando ruido interferométrico que limita la precisión de la medición en esas zonas.
- **Cegura de Profundidad LOS:** La métrica DInSAR captura la deformación bidimensional

en el vector LOS del satélite; eventos geológicos profundos (como el sismo a 90.9 km en Sucre) no generan respuestas superficiales medibles bajo esta técnica.

Áreas que Requieren Validación Adicional

- Se requiere instrumentación geodésica terrestre (estaciones GNSS continuas) sobre la Troncal 009 y el Acueducto Turimiquire para calibrar el valor absoluto de -0.0632 m (-6.3 cm) al límite inferior observado en InSAR, así como para aislar el vector de desplazamiento vertical frente al horizontal

Autoría y Créditos Institucionales

- **Laboratorio / Entidad:** Centro de Investigación Informática Lazarus.
- **Declaración de Verificación:** Todo el procesamiento óptico multiespectral documentado en este informe constituye una evaluación generada estrictamente para Fines de Estudio e Investigación.