

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Vulnerabilidad a la Subsistencia de la Ciudad de Juliaca Mediante
la Metodología DINSAR 2022**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Norman D Everlyn Flores Espetia

Rivlin Max Miliam Flores Espetia

Asesor:

Ing. Rina Luzmeri Yampara Ticona

Juliaca, Abril de 2024

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Ing. Rina Luzmeri Yamapara Ticona, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada **“Vulnerabilidad a la Subsistencia de la Ciudad de Juliaca Mediante la Metodología Dinsar 2022”** de los autores Norman D Evelyn Flores Espetia y Rivlin Max Miliam Flores Espetia tiene un índice de similitud de 12 % verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada., firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 22 días del mes de junio del año 2024.


.....
Ing. Rina Luzmeri Yamapara Ticona

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquani, a 23 día(s) del mes de abril del año 2023 siendo las 15:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Ing. Florsor Duberly Pari Anzi el (la) secretario(a): Msc. Eclor Mamari Chambi y los demás miembros: Mg. Gerardo William Pari Quipe y el (la) asesor(a) Ing. Rina Luzmeri Yampara Cicona

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: "Vulnerabilidad a la subsistencia de la ciudad de Juliaca mediante la metodología Rinsor 2022."

del(los) bachiller(es): a) Rirlin Max Miliom Flores Espitia
 b) Norman D. Evelyn Flores Espitia
 c) _____

conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero Civil
(Especialización del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado. Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Rirlin Max Miliom Flores Espitia

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>15</u>	<u>B-</u>	<u>Buena</u>	<u>Muy Buena</u>

Bachiller (b): Norman D. Evelyn Flores Espitia

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>15</u>	<u>B-</u>	<u>Buena</u>	<u>Muy Buena</u>

Bachiller (c): _____

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

[Firma]
 Presidente/a
[Firma]
 Asesora
[Firma]
 Bachiller (a)

[Firma]
 Miembro
[Firma]
 Bachiller (b)

[Firma]
 Secretaria/a

 Miembro

 Bachiller (c)

INDICE

ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	vii
RESUMEN	8
ABSTRACT.....	9
INTRODUCCIÓN	10
ÁREA DE ESTUDIO.....	11
MATERIALES Y METODOS	13
Recolección de Datos.....	13
Pre-Procesamiento de Datos	14
Procesamiento Digital.....	15
Mapa Final de Cambio	16
RESULTADOS	17
Espacio - tiempo de la subsidencia en la ciudad de Juliaca	18
Ratios de Subsidencia.	19
Zonificación de subsidencia.....	20
La subsidencia y la Explotación de agua subterránea	23
DISCUSIONES.....	25
CONCLUSIÓN.	28
BIBLIOGRAFÍA	29

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Colección de Datos Satelitales.	13
Tabla 2 Leyenda de la Zonificación de la Ciudad de Juliaca	20
Tabla 3 Horas de Servicio SEDAJULIACA	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estratigrafía de la Ciudad de Juliaca (Geo 5)	12
Figura 2 Flujo de trabajo para Pre-Procesamiento de Datos (SNAP Desktop 9.0),.....	14
Figura 3 Flujo de Trabajo para Procesamiento DinSAR (Snap Desktop 9.0).....	15
Figura 4 Mapa Geológico Distrito de Juliaca - San Miguel (ArcGIS).....	17
Figura 5 Ratios de Subsistencia, Periodo 2015 - 2022.....	18
Figura 6 Gráfico de Máximos y Mínimos Valores de la Subsistencia, Periodo 2015 – 2022	19
Figura 7 Mapa de Zonificación de la Ciudad de Juliaca y San Miguel.....	20
Figura 8 Relación de Subsistencia / Área y Subsistencia (mm) relacionado con la Zonificación (Periodo 2015 – 2022).....	22
Figura 9 Tarifario SEDAJULIACA	24
Figura 10 Frecuencia de los Métodos Adoptados en los Estudios para Estimar la Tasa de Subsistencia.....	25
Figura 11 Frecuencia Relativa del Uso Principal del Agua Subterránea para los Acuíferos en los que se Produjo la Subsistencia.....	26
Figura 12 Cronología de la Ciudad de Juliaca con Hitos en 1984, 1994, 2004, 2014, 2015 ... 2022	27

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Evidencia de Sumisión de la Tesis.....	33
Anexo B. Copia de Resolución	34

Vulnerabilidad a la Subsistencia de la Ciudad de Juliaca Mediante la Metodología DINSAR 2022

RESUMEN

La subsidencia es un fenómeno relacionado con las actividades antrópicas entre ellas la explotación de recurso hídrico subterráneo, un problema presente en muchos países como: Irán, México, India, Francia, Italia, China, EEUU, Japón, al igual que en la ciudad de Juliaca. La Investigación tuvo como objetivo Identificar la Vulnerabilidad a la Subsistencia en la Ciudad de Juliaca Mediante Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DinSAR). La Metodología DinSAR recolecta datos satelitales para luego procesarlo mediante Sentinel Application Platform (SNAP) y obtener un mapa final de desplazamientos; el software y manuales son proporcionados por European Space Agency (ESA). Los resultados demuestran valores preocupantes, alcanzando un valor promedio de subsidencia de -326,494mm desde 2015 hasta el 2022 estos resultados son relacionados con actividades antrópicas como la explotación de recursos hídricos subterráneos y los estratos de las zonas más vulnerables a dicho fenómeno, las zonas más afectadas por la subsidencia son las zonas aledañas a la ciudad de Juliaca con una velocidad vertical de deformación del suelo de -46.642mm/año, estos valores son obtenidos en el análisis de los periodos del 2015 al 2022 (07 años), siendo la Zona Auxiliar 01 (Salida Huancané) la más afectada por este fenómeno. Los estudios alrededor del planeta nos han demostrado que la subsidencia pone en riesgo tanto bienes materiales y vidas humanas, por ello la importancia del análisis de este fenómeno debe ser anticipado para la correcta aplicación de posibles soluciones las cuales se ajusten a los parámetros del lugar de estudio, lo que conlleva al presente artículo.

Palabras clave: Subsistencia, Imágenes Satelitales, InSAR, DinSAR

Vulnerability to Subsidence of the City of Juliaca Using the DINSAR 2022

Methodology

ABSTRACT

Subsidence is a phenomenon related to anthropic activities including the exploitation of underground water resources, a problem present in many countries such as Iran, Mexico, India, France, Italy, China, USA, Japan, just like in the city of Juliaca. The research aimed to identify vulnerability to subsidence in the City of Juliaca through Differential Interferential Synthetic Aperture Radar (DInSAR). The DinSAR Methodology collects satellite data and then processes it using the Sentinel Application Platform (SNAP) and provides a final map of displacements; the software and manuals are provided by the European Space Agency (ESA). The results show worrying values, reaching an average subsidence value of -326.494mm from 2015 to 2022. These results are related to anthropic activities such as the exploitation of underground water resources and the strata of the areas most vulnerable to this phenomenon, the areas most affected by the subsidence are the areas surrounding the city of Juliaca with a vertical speed of deformation of the soil of -46.642mm / year, these values are obtained in the analysis of the periods from 2015 to 2022 (07 years), being the Auxiliary Zone 01 (Exit Huancané) the most affected by this phenomenon. Studies around the planet have shown us that subsidence puts at risk both material goods and human lives, therefore the importance of the analysis of this phenomenon must be anticipated for the correct application of possible solutions that fit the parameters of the place of study, this article is concerned.

Keywords: Subsidence, Satellite Imagery, InSAR, DInSAR

INTRODUCCIÓN

La subsidencia es un fenómeno que afecta en gran medida a zonas agrícolas y urbanas alrededor del mundo siendo las actividades antrópicas la causa principal de esta y entre ellas la explotación de los recursos hídricos subterráneos es la actividad con la que se relaciona con frecuencia la subsidencia, esto se observa en países como Irán, México, India, Francia, Italia, China, EEUU, Japón, entre otros. (Babae et al., 2020; Bagheri-Gavkosh et al., 2021; Castellazzi et al., 2021; Cigna & Tapete, 2022; Goorabi et al., 2020; Hu et al., 2022; Modeste et al., 2021; Nappo et al., 2021; Peng et al., 2022; Zhou et al., 2022) esta explotación de los recursos hídricos subterráneos causa inestabilidad en la estructura del suelo (Babae et al., 2020), es decir que debido al aumento de las tensiones (estrés efectivo) sobre la estructura causado por la excesiva extracción de las aguas subterráneas causa el equilibrio de las partículas de suelo llegando a la consolidación el cual puede llegar al colapso traducido en la subsidencia (Peng et al., 2022) concurriendo al daño de la infraestructura urbana de la zona afectada (Modeste et al., 2021; Nappo et al., 2021). El crecimiento demográfico es la causa de la explotación hídrica por un déficit de abastecimiento de agua potable; esto y la informalidad de los proyectos de viviendas unifamiliares o multifamiliares en la ciudad de Juliaca, acrecientan la vulnerabilidad a la Subsidencia.

Unas de las técnicas geodésicas más utilizadas en el ámbito profesional para medir este fenómeno a través de un análisis de series de tiempo, es el Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) y sus variantes como es el DinSAR, estos métodos tienen una precisión de milímetros a centímetros siendo una de los métodos más asequibles y con un rango extenso de estudio, a diferencia de otras técnicas que necesitan dispositivos de instalación personal y los resultados se limitan a la zona donde se instaló el dispositivo, estas técnicas SAR permiten, a través de ondas electromagnéticas y el reflejo o dispersión de las mismas medir la diferencia de fase entre adquisiciones y mediante el procesamiento de estos datos se obtiene un valor numérico de las variaciones en cuanto a nivel de la superficie terrestre.

La subsidencia es un fenómeno el cual comienza con valores imperceptibles, a medida que este fenómeno se va desarrollando estos valores se hacen catastróficos con daños irreversibles, es la imperceptibilidad de la subsidencia lo que lo convierte en un fenómeno que debe ser estudiado en la etapa inicial como una medida de prevención y control.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio está limitada en la ciudad de Juliaca, provincia de San Roman, Departamento de Puno, limita con el distrito de Lampa por el norte; distrito de Caracoto por el Sur, distrito de Cabanillas por el Oeste, distrito de Pusi por el Este, también se puede mencionar la ubicación georreferencial con las siguientes coordenadas ($15^{\circ}29'27''S$ $70^{\circ}07'37''O$), está situada en la cuenca de Coata, sobre la meseta del Titicaca o conocida comúnmente como la meseta del Collao, la referencia más importante es que se encuentra a 20 km al Norte-noroeste (NNO) del lago Titicaca a una altitud de 3824 msnm y con una extensión de 533.47 km², es una de las ciudades con mayor actividad comercio del país lo que conlleva a ser la ciudad más grande de la región de Puno y la novena en todo el país con una población de 258 728 habitantes con un crecimiento poblacional de 5.3% a 5.8% anual (INEI, 2022).

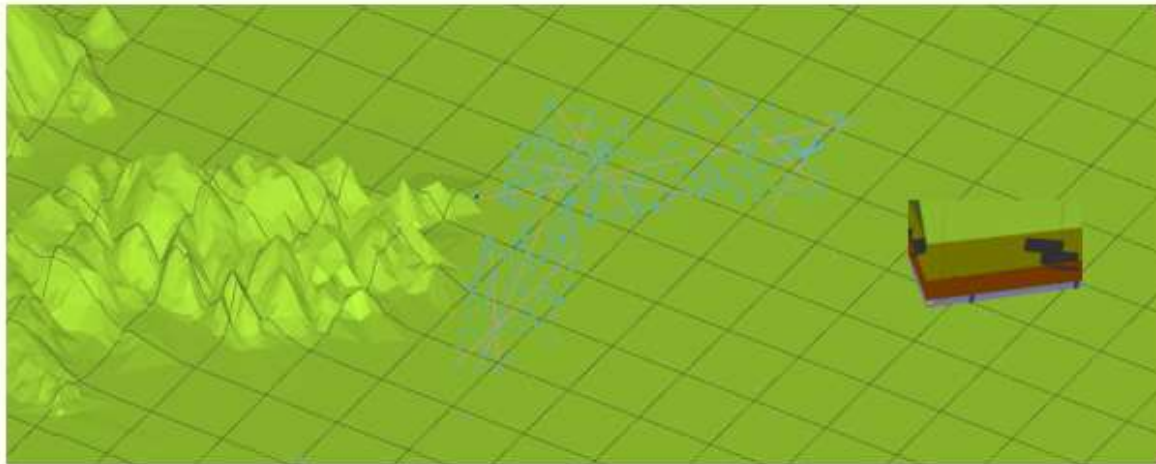
Geológicamente la ciudad tiene una gran variada de estratos dentro de ellos las más resaltantes podemos mencionar: depósitos aluviales, depósitos fluviales, depósitos antrópicos, grupo ambo y grupo mito (INGEMMET, 2021), donde, en gran parte la ciudad de Juliaca está asentada sobre depósitos aluviales conformados por suelos arenosos y arcillosos, esto debido a la ubicación de la ciudad conjuntamente con el río maravillas, que de cierta manera influye en la formación litológica de la ciudad. De acuerdo a varias instituciones dedicadas a la investigación de la mecánica de suelos, se cuenta con datos estratigráficos los cuales contemplan 3 estratos representativos, el primer estrato está conformado por material de relleno el cual comprende un suelo de grava angulosa con presencia de limos en un gran porcentaje, el segundo estrato conformado por arcillas orgánicas con poca presencia de arenas, el tercer estrato está conformado por depósitos fluviales; el cual comprende suelos arenosos mal graduados con presencia de limos, y finalmente mencionar que el nivel freático se encuentra en una altura variable de entre 1.30 m hasta 3.00 m (TELMOINGENIEROS S.A.C., 2016b, 2016c, 2016a), según estudios de ALA realizada en el 2007 se registra una altura de variable del nivel freático en la periferia de la ciudad de Juliaca de 0.40 m hasta 5.00 m sin actualización hasta la fecha.

Hidrológicamente, la ciudad de Juliaca está situada sobre depósitos de agua subterránea siendo esta una de las principales fuentes de consumo para industria y consumo doméstico, según la autoridad nacional del agua con su dependencia ALA TITICACA los puntos de extracción alcanzan una totalidad de 400 puntos, siendo estos puntos extracción inventariados y autorizados por la misma entidad, cabe recalcar que existen puntos de extracción no

registradas, igualmente no se cuenta con el monitoreo de la variación del nivel piezométrico - nivel freático.

Figura 1

Estratigrafía de la Ciudad de Juliaca (Geo 5)



Nota. Encontrando tres estratos representativos [1] Material de Relleno, [2] Arcillas, [3] Arenas; sin contar el nivel freático,

Fuente: Elaboración Propia

MATERIALES Y METODOS

Para una mejor comprensión del presente estudio, desglosamos en cuatro (04) ítems el procedimiento para hallar la Subsistencia, los cuales son: **Recolección de Datos**; Descargar imagen SAR en archivo SCL, **Pre-Procesamiento de Datos**; Consta de la Coregistración de las imágenes SAR en el Software SNAP Desktop, **Procesamiento Digital**; Consta de la interferograma y diferencia de la misma y el desenvolvimiento de fases y por último el **Mapa Final de Cambio**; El cual muestra la deformación del suelo presentada en Subsistencia de la Ciudad de Juliaca, estos cuatro ítem abarcan los pasos sugeridos por la misma entidad ESA (Braun & Veci, 2021), que nos obsequia un software gratuito especializado en el análisis de la subsidencia, SNAP Desktop, además cabe resaltar que estos pasos son complementados con la metodología InSAR, DinSAR, los cuales están contemplados en Environmental Systems Research Institute (ESRI), dos entidades líderes en sus continentes y con diferentes software de ayuda para el procesamiento de imágenes satelitales.






Recolección de Datos










La recolección de datos se enfocó en la obtención de información que contenga el Área de Estudio, al igual que la variación de la misma en el Periodo de Estudio traducido en años, estos fueron los factores tomados en consideración para realizar la depuración de la información, factores influyentes en la Metodología DinSAR para la Subsistencia.

Los datos que se ajustan a los requerimientos que necesitamos son las imágenes satelitales las cuales podemos encontrar en formato LandSat 8, Sentinel 1, Digital Elevation, NASA LPDAAC Collections, etc. estas imágenes satelitales son registradas y disponibles en las plataformas Copernicus, USGS.

Tabla 1

Colección de Datos Satelitales.

TIME	MISION	TYPE	TRACK	GEOMETRIC	FOTOGRAFIC	# PRODUCTS	OBSERVATIONS
2015	S1A	SLC	127	Descending		4	
2015	S1A	SLC	149	Ascending		4	
2016	S1B	SLC	127	Descending		7	More Complement
2016	S1B	SLC	149	Ascending		4	
2017	S1B	SLC	127	Descending		9	More Complement

2017	S1B	SLC	149	Ascending		4	More Complement
2018	S1B	SLC	127	Descending		9	
2018	S1B	SLC	149	Ascending		4	More Complement
2019	S1B	SLC	127	Descending		9	
2019	S1B	SLC	149	Ascending		4	More Complement
2020	S1B	SLC	127	Descending		9	
2020	S1B	SLC	149	Ascending		4	More Complement
2021	S1A	SLC	127	Descending		4	
2021	S1A	SLC	149	Ascending		5	More Complement

Nota. los productos descargados son correspondientes a los meses Marzo, Junio, Septiembre y Diciembre desde las páginas de alaska satellite facility (<https://cutt.ly/NkvTl6A>), Earthdata Search (<https://cutt.ly/QkvTU29>) y copernicus scihub (<https://cutt.ly/2kvTmTU>), siendo una colección 93 productos.

Fuente: Elaboración Propia

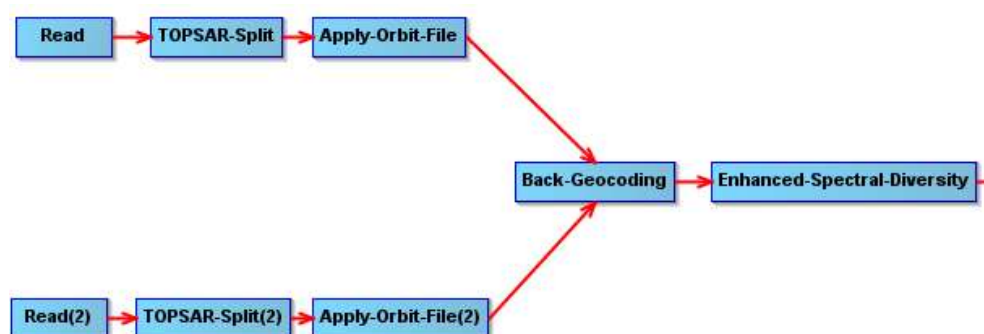
Pre-Procesamiento de Datos

Para comenzar debemos seleccionar el software con el que procesaremos las imágenes satelitales, entre la amplia gama que nos ofrece el mercado podemos resaltar los siguientes: ArcGIS-Pro, QGIS, SNAP Desktop, FLOW, ENVI, etc. Por cuestiones de estudio utilizaremos dos de ellos ArcGIS-Pro y SNAP los cuales tienen procedimientos similares para el procesamiento de imágenes satelitales.

El flujo de trabajo del Pre-Procesamiento de datos de dos fechas diferentes tiene varias herramientas las cuales se tienen que aplicar con cierto grado de precisión ya que cualquier equivocación se traducirá en una mala lectura.

Figura 2

Flujo de trabajo para Pre-Procesamiento de Datos (SNAP Desktop 9.0),



Fuente: Elaboración Propia

Read, Esta herramienta nos permite definir las imágenes Master y Slave con las cuales se someterán al pre-procesamiento, también es importante mencionar que la imagen Master es la más antigua y la imagen Slave es la más reciente.

TOPSAR Split, La siguiente herramienta ayuda al recorte del área de estudio mediante la identificación de sub franjas y las ráfagas, esto mismo se identifica en la imagen satelital.

Apply Orbe File, El apply orbe file es la herramienta que nos proporciona información sobre la posición y velocidad del satélite en el momento que registra la imagen que procesamos.

Back Geocoding, Esta herramienta realiza la registración de los 2 archivos SCL en una sola carpeta siendo la primera la imagen Master y la segunda en ser leída la Slave.

Enhanced Spectral-Diversity, La herramienta Enhanced Spectral-Diversity explora los datos en el área superpuesta de las ráfagas adyacentes y luego realiza la corrección de rango y azimut para cada ráfaga.

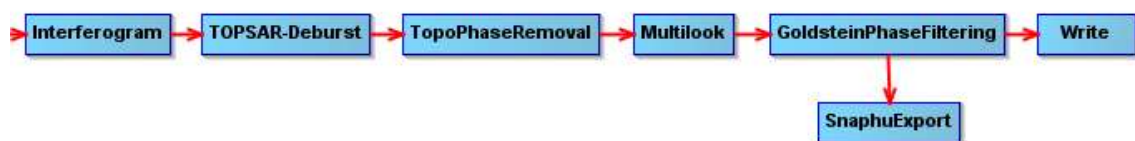
Write, Por último, este comando escribe el resultado del procesamiento de los demás comandos en un archivo SLC, mostrando una imagen en la que se aplicó todas las herramientas ya mencionadas en la superior se muestra la Master y en la parte inferior se muestra la Slave.

Procesamiento Digital

Para este paso tendremos un producto preprocesado y se realizará la relación de sus meta-data's mediante plugins propios de los softwares utilizados en la investigación, terminando en la comparación de ambas imágenes satelitales y teniendo como resultado el mapa de la variación de la superficie terrestre.

Figura 3

Flujo de Trabajo para Procesamiento DinSAR (Snap Desktop 9.0)



Fuente: Elaboración Propia

Interferogram, Esta herramienta hace el cálculo de la distancia que existe entre la superficie terrestre y el satélite registrador, siguiendo una serie de pasos los cuales se detallan en el diagrama.

TOPSAR-Deburst, La siguiente herramienta realiza la eliminación de las líneas negras que separan las franjas en el segmento trabajado, entre las configuraciones se tendrá que seleccionar la opción “VV”.

Topo Phase Removal, La herramienta topophaseremoval realiza la corrección por la topografía, entre las configuraciones se selecciona la opción MDE SRTM 1seg HGT.

Multilook y *Goldstein Phase Filtering*, Estas herramientas reducen el ruido moteado y fase inherente a las imágenes satelitales dando como resultando pixeles definidos.

SnaphuExport, La herramienta snaphuexport realiza la exportación de los datos para luego realizar el procesamiento mediante la herramienta Snaphu-unwrapping, para dicho proceso es necesario realizar configuraciones CMD con comandos que encontraras dentro del archivo exportado, también se puede realizar dentro del entorno SNAP para ellos deben tener en cuenta que los pasos anteriores se hayan realizado de manera correcta sin obviar ninguna configuración ambas opciones registran el producto fuera del entorno del SNAP, por último se realiza el SnaphuImport, el cual lleva el resultado del unwrapping al entorno de SNAP.

Write, Por último, este comando escribe el resultado del procesamiento de los demás comandos en un archivo SLC, mostrando una imagen en la que se aplicó todas las herramientas ya mencionadas en la superior se muestra la Master y en la parte inferior se muestra la Slave.

Mapa Final de Cambio

En esta etapa tendremos el resultado del procesamiento DinSAR, pero aún le hace falta algunas correcciones tales como:

Phase to Displacement, Mediante esta herramienta se realiza la lectura del desplazamiento y realiza un contraste con los colores aleatorios para la visualización.

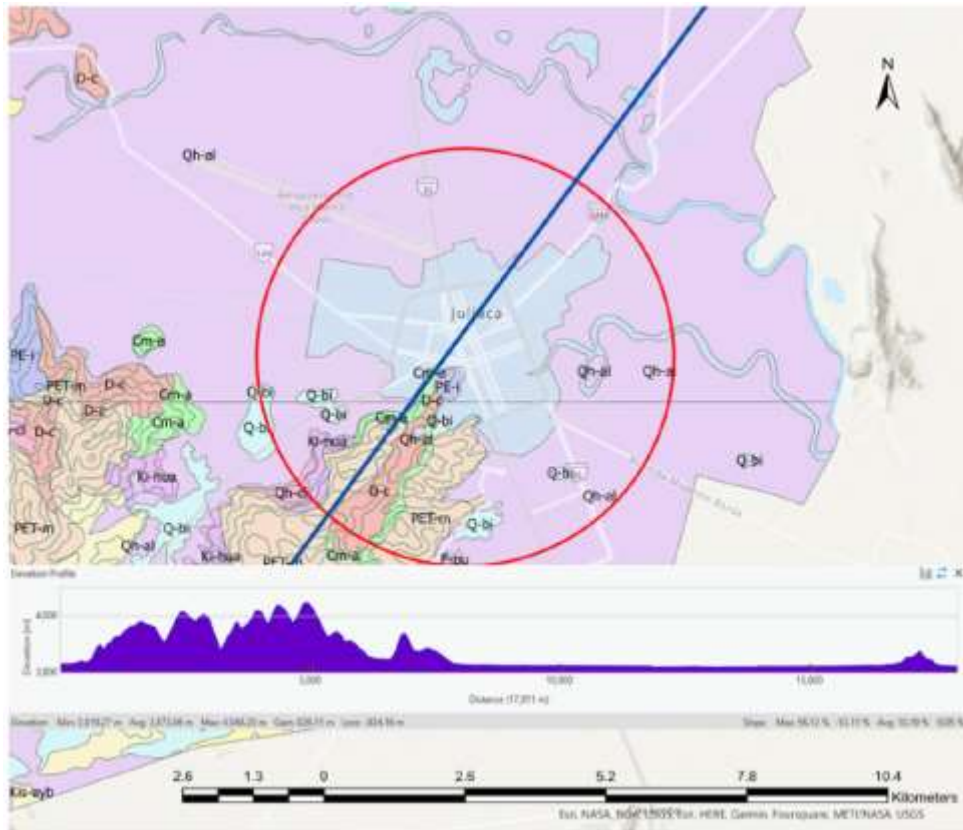
Range-Doppler Terrain Correction, Esta herramienta realiza la conversión de coordenadas radar a coordenadas geográficas.

Al finalizar con el pre-procesamiento de datos y procesamiento digital y aplicación de herramientas extras para el desplazamiento y corrección de coordenadas, tendremos los resultados en el Software SNAP Desktop y podremos exportar dichos resultados en formato de imagen Geo TIFF o Big TIFF, al igual que en el formato Kmz dependiendo al software que utilizaremos a continuación para la visualización dinámica de los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología DinSAR mediante el Software SNAP Desktop siendo el formato

TIFF para ArcGIS Pro y Kmz para Google Earth Pro. De igual manera se complementó en el software ArcGIS Pro para visualizar los planos geológicos desarrollado a partir de los mapas geológicos de INGEMMET y estudio que se realizaron en la zona de estudio (TelmoIngenieros, 2016) y poder relacionarlos con los resultados

Figura 4

Mapa Geológico Distrito de Juliaca - San Miguel (ArcGIS)



Fuente: Elaboración Propia

RESULTADOS

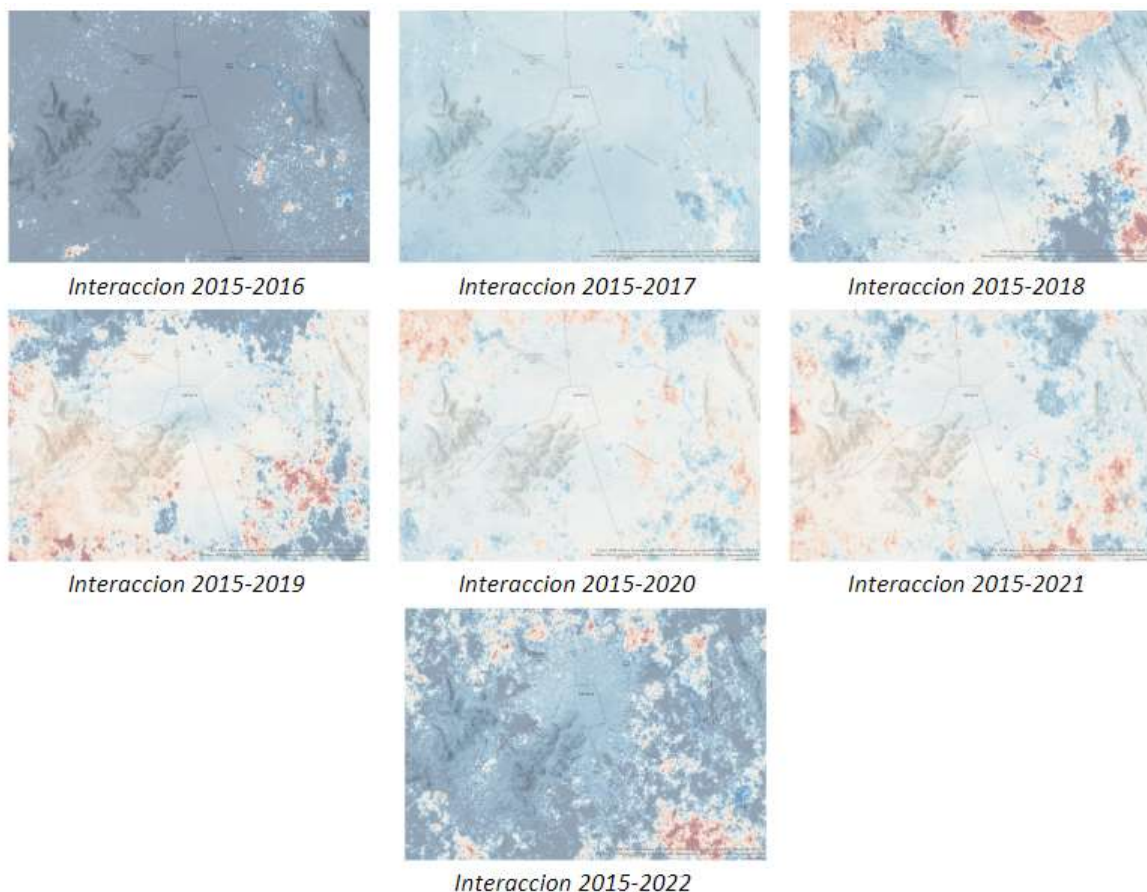
La investigación se desarrolló con la aplicación de la metodología DinSAR mediante el Software SNAP Desktop, complementando con ArcGIS y Google Earth Pro, con imágenes satelitales de las misiones Sentinel 1A y Sentinel 1B con base de datos que datan desde el 2015, ya que a no se cuenta con datos de años anteriores limitando la adquisición de imágenes satelitales, hasta el año 2022 delimitando un periodo de estudio de 07 años.

Espacio - tiempo de la subsidencia en la ciudad de Juliaca

Se procesaron más de 93 imágenes satelitales con metodología DinSAR tomando como periodo de estudio desde el Marzo 2015 hasta el Diciembre 2022, con interacciones entre años, es decir, 12 meses de tiempo espacio, cada año con más de 8 imágenes satelitales entre los meses representativos de sequía y avenidas entre ellas: Marzo, Junio, Septiembre y Diciembre, cada mes tiene 02 imágenes satelitales con dos tipos geométricos de adquisición: Ascendente y Descendente, este último por motivo de un procesamiento completo y una forma de controlar los datos obtenidos, el procesamiento de todas las imágenes muestran los siguientes resultados.

Figura 5

Ratios de Subsidencia, Periodo 2015 - 2022



Fuente: Elaboración Propia

En la figura N°05 se representa la subsidencia que ha venido dando lectura a lo largo del periodo de estudio e interpretado por medio de la metodología DinSAR, la subsidencia en esta figura demuestra una deformación vertical en el nivel de terreno natural de forma constante en toda la zona de estudio, a la vez se pudo observar que la subsidencia mínima se presenta en el centro de la zona de estudio, la subsidencia presentada en la zona de estudio llega a una velocidad vertical media de -46.642mm/año , por lo cual no se tienen claras las evidencias de la

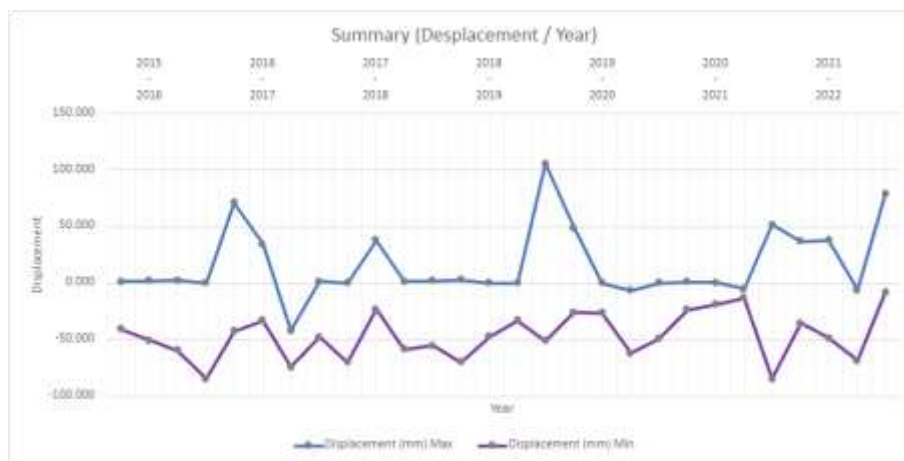
subsistencia en la ciudad de Juliaca, para corroborar estos datos se realizó visitas técnicas a zonas donde la ocurrencia de la subsistencia fue mayor.

Ratios de Subsistencia.

El análisis DinSAR con un periodo de estudio que comprende desde el 2015 hasta 2022 considerando la zona de estudio a la ciudad de Juliaca y zonas aledañas, esta metodología demuestra los siguientes resultados, para el periodo 2015 –2016 alcanza una subsistencia de – 58.876 mm , para el periodo 2016 –2017 de acuerdo al análisis alcanzo una subsistencia de – 49.333 mm, para el periodo 2017 – 2018 se encontró una subsistencia de –51.738 mm, para el periodo 2018 –2019 se tiene una subsistencia de –50.398 mm, para el periodo 2019 – 2020 alcanzo una subsistencia de –45.926 mm, para el periodo 2020 – 2021 se tiene una subsistencia de –45.195 mm, y finalmente para el periodo 2021 –2022 se tiene una subsistencia de –40.060 mm, estos valores mencionados en este párrafo son valores mínimos que se encontró en el área de estudio, siendo el 2015 – 2016 el periodo más crítico del todo el periodo de estudio.

Figura 6

Gráfico de Máximos y Mínimos Valores de la Subsistencia, Periodo 2015 – 2022



Fuente: Elaboración Propia

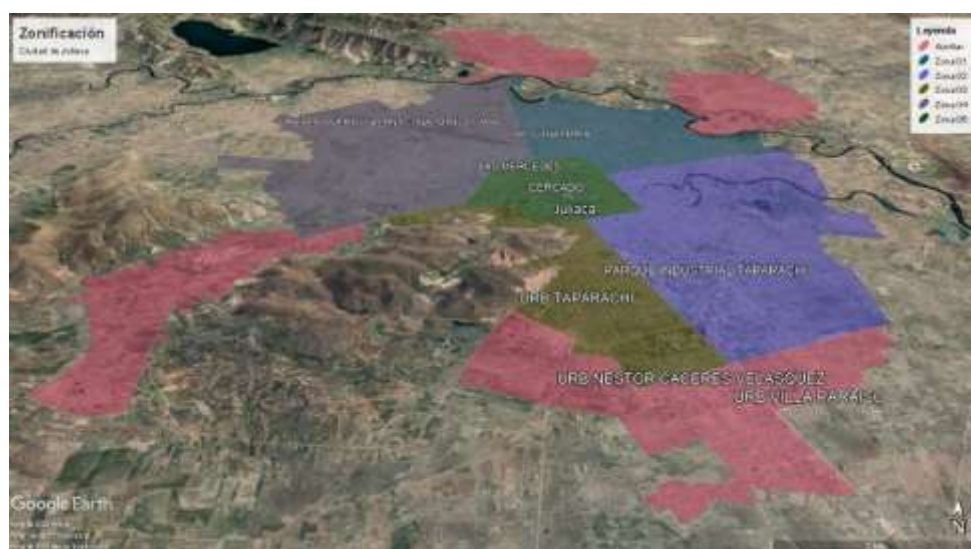
Este análisis sugiere que la subsistencia a lo largo del periodo de estudio es relativamente constante, es decir, no tiene variaciones importantes entre periodos de subsistencia, lo que indica la aceptabilidad de los datos, y la complejidad de la validación de los mismos, lo cual comprende muchas características que dependen de la zona de estudio, las características propias de la imagen y también la forma y situación en la que fue tomada la imagen.

Zonificación de subsidencia

La ciudad de Juliaca fue dividida en 05 zonas y 04 partes auxiliara para su fácil lectura e interpretación de datos de la subsidencia, además de comprender y analizar las zonas más afectadas por la subsidencia en la ciudad de Juliaca, lo cual indica a primera instancia que los mínimos valores de la subsidencia a lo largo del periodo de estudio se encuentran en las zonas aledañas a la ciudad, es decir en zonas denominadas auxiliares, los resultados de la subsidencia se calcularon en un periodo mínimo de un año por meses de avenidas y sequias

Figura 7

Mapa de Zonificación de la Ciudad de Juliaca y San Miguel



Elaboración Propia

Tabla 2

Leyenda de la Zonificación de la Ciudad de Juliaca

Zona Afectada	
Zona	Referencia
Zona 01	San Miguel
Zona 02	Parque Industrial
Zona 03	Urb Taparachi
Zona 04	Aeropuerto
Zona 05	Cercado
Auxiliar 01	Salida Huancane
Auxiliar 02	Salida Cusco
Auxiliar 03	Salida Arequipa
Auxiliar 04	Salida Puno

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo al análisis de la subsidencia por la metodología DinSAR mediante el Software SNAP Desktop se encontraron valores que varían desde -40.478 mm hasta -84.660 mm para el periodo de estudio 2015 – 2016, que para el mes de Marzo el área más afectada es la Zona 02 – Parque Industrial con una subsidencia de -40.478 mm, para el mes de junio el área más afectada es Zona Auxiliar 02 – Salida Cusco con una subsidencia de -50.709 mm, para el mes de Septiembre el área más afectada es la Zona 04 – Aeropuerto con una subsidencia de -59.658 mm, y para el mes de Diciembre el área más afectada es la Zona Auxiliar 01 – Salida Huancané con una subsidencia de -84.660mm.

Para el periodo de análisis de 2016 – 2017 se encontraron valores de la subsidencia que varían desde -33.236 mm hasta -74.109 mm, que, para el mes de Marzo, Junio y Septiembre el área más afectada es la Zona Auxiliar 01 – Salida Huancané con una subsidencia de -42.305 mm, -33.236 mm y -74.109 mm respectivamente, y para el mes de Diciembre la área más afectada es la Zona Auxiliar 02 – Salida Cusco con una subsidencia de -47.683mm.

Para el periodo de análisis de 2017 – 2018 se encontraron valores de la subsidencia que varían desde -23.065 mm hasta -69.815 mm, que para el mes de Marzo el área más afectada es la Zona Auxiliar 01 – Salida Huancané con una subsidencia de -69.815 mm, para el mes de junio y Septiembre el área más afectada fue la Zona Auxiliar 03 – Salida Arequipa con una subsidencia de -23.065 mm y -58.790 mm respectivamente, y para el mes de Diciembre el área más afectada fue la Zona Auxiliar 04 – Salida Puno con una subsidencia de -55.281mm.

Para el periodo de análisis de 2018 – 2019 se encontraron valores de la subsidencia que varían desde -33.318 mm hasta -70.076 mm, que para el mes de Marzo el área más afectada es la Zona Auxiliar 01 – Salida Huancané con una subsidencia de -70.076 mm, para los meses Junio y Diciembre el área más afectada es la Zona Auxiliar 02 – Salida Cusco con una subsidencia de -47.092mm y -51.107 mm respectivamente, y para el mes de Septiembre el área más afectada es la Zona 02 – Parque Industrial con una subsidencia de -33.318mm.

Para el periodo de análisis de 2019 – 2020 los valores de la subsidencia varían desde -25.793 mm hasta -61.877 mm, que para los meses de Marzo, Septiembre y Diciembre el área más afectada es la Zona Auxiliar 02 – Salida Cusco con una subsidencia de -25.793 mm, -61.8877 y -49.316 mm respectivamente, y para el mes de Junio el área más afectada es la Zona Auxiliar 04 – Salida Puno con una subsidencia de -26.585mm.

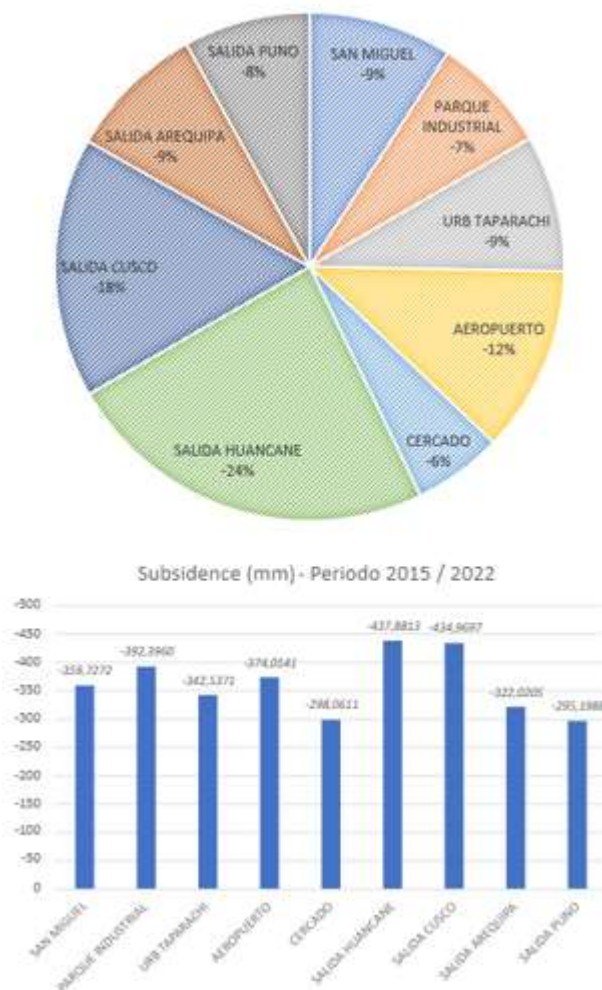
Para el periodo de análisis de 2020 – 2021 los valores de la subsidencia varían desde -13.183 mm hasta -84.660 mm, que para el mes de Marzo el área más afectada es la Zona Auxiliar 02 – Salida Cusco con una subsidencia de -23.855 mm, para el mes de Junio el área más afectada es la Zona 04 – Aeropuerto con una subsidencia de -19.082 mm, para el mes de

Septiembre el área más afectada es la Zona 05 – Cercado con una subsidencia de -13.183 mm, y para el mes de Diciembre el área más afectada es la Zona Auxiliar 01 – Salida Huancané con una subsidencia -84.660mm.

Y finalmente para el periodo de análisis de 2021 – 2022 los valores de la subsidencia varían desde -7.806 mm hasta -68.447 mm, que para los meses de Marzo y Junio el área más afectada en la Zona Auxiliar 02 – Salida Cusco con una subsidencia de -35.521 mm y -48.465 mm respectivamente, para el mes de Septiembre el área más afectada es la Zona 02 – Parque Industrial con una subsidencia de -68.447 mm, y para el mes de Diciembre el área más afectada es la Zona 04 – Aeropuerto con una Subsidencia de -7.806mm.

Figura 8

Relación de Subsidencia / Área y Subsidencia (mm) relacionado con la Zonificación (Periodo 2015 – 2022)



. Fuente: Elaboración Propia

La subsidencia y la Explotación de agua subterránea

El abastecimiento de agua potable en la ciudad de Juliaca es un factor el cual incrementa la vulnerabilidad a la subsidencia en la zona de estudio, siendo que el 50% de la población no cuenta con agua potable según estudios del INEI actualizados hasta al 2019 (Carhuavilca Bonett et al., 2020) en cuando a SEDA JULIACA nos arroja un numero diferente al porcentaje de abastecimiento en la ciudad de Juliaca siendo esta un total de 37% de la población sin servicio básico de agua potable (EPS SEDA JULIACA S.A., 2010), la diferencia entre ambos datos y en periodos distinto indican un crecimiento poblacional desproporcional a la capacidad de abastecimiento de la empresa prestadora del servicio básico de agua potable, para el año 2022 el porcentaje de población que goza del servicio público de agua potable es del 58.90% (Defensoría del Pueblo, 2022) este porcentaje demuestra que la población busca abastecimiento alternativo para suplir dicha necesidad, dando como resultado la explotación del agua subterránea, sin contar que muchos de los pobladores aun contando con el servicio de agua potable prefiere utilizar agua subterránea mediante pozos por diferentes motivaciones entre ellas el costo, calidad y tiempo de servicio.

En cuanto a costo la población asevera que la tarifa por la prestación de agua potable es excesiva siendo la motivación principal para optar como alternativa por la extracción de agua subterránea, por otra parte, la empresa prestadora viene haciendo ajustes al tarifario siendo el ultimo en el año 2021 la cual se viene aplicando hasta la actualidad

Figura 9

Tarifario SEDA JULIACA



TIPO	CATEGORÍA	Rango de Consumo (litros)	Tarifa U. F. ex		Tarifa Fija U. (Btu)	Regulado (litros de Consumo mínimo)	Consumo mínimo a cargo (litros) (litros/mes)
			Agua	Alcantarillado			
RESIDENCIAL	Social	0 a más	0.4772	0.1920	2.24	18	16
		0 a 8	0.4772	0.1920			
	Doméstica	9 a 20	0.7071	0.2828	2.24	18	16
		21 a más	1.5722	0.5465			
NO RESIDENCIAL	Comercial	0 a 30	1.1514	0.4596	2.24	30	
		31 a más	2.9970	1.0551			
	Industrial	0 a 60	1.6752	0.6677	2.24	60	
		61 a más	3.4617	1.3798			
	Estatal	0 a 30	0.8685	0.3458	2.24	40	
		31 a más	1.4278	0.5706			

Fuente: SISECDM.
Ref.: Status Report Sistema Acumulación Julio 2021. **Seajuste 3.04%**

Fuente: (EPS SEDA JULIACA S.A., 2018)

En el año 2020 mediante el Decreto Supremo N°193 -2020-PCM, declara estado de emergencia las Provincia de Puno y San Román por peligro inminente ante la contaminación del agua para consumo humano, dentro de ellos la ciudad de Juliaca, por otra parte, la población viene reclamando por la calidad del servicio de agua potable siendo unos de sus principales puntos de reclamo la claridad con la que llega a los puntos de consumo viendo un grado de turbiedad.

Tabla 3

Horas de Servicio SEDA JULIACA

Sector	Nombre	N° de Conex Activas	Horas de Servicio
S-1	Sector I R2-R5 Santa Cruz	18,872	13
S-2	Sector II R4 Cerro Colorado	5,373	7.4
S-3	Sector III R3 Tres de Mayo	1,051	17.4
S-4	Sector IV R6 Independencia	3,300	6.8
R-2	Zona Piloto Cercado	1,855	13.5
PROMEDIO			11.5

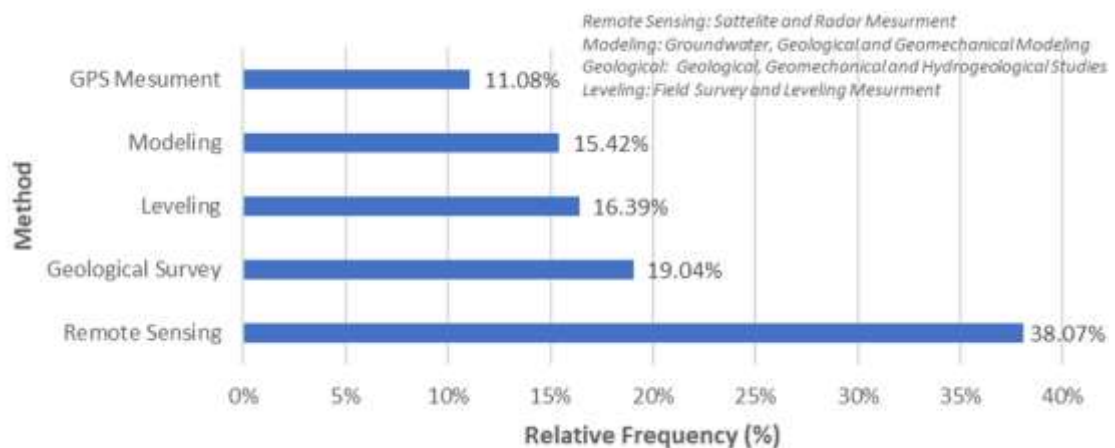
Fuente: (EPS SEDA JULIACA S.A., 2018)

DISCUCIONES

Los resultados de la subsidencia calculada por método de procesamientos de las imágenes satelitales son bastantes interpretativos por el mismo hecho de que están sujetas a varios parámetros fuera de nuestro control (Martínez Barbáchano, 2021), como el tipo de suelo, la calidad de la imagen (Gee et al., 2020), parámetros propios del procesamiento de las imágenes, es decir, tipo de software utilizado para la subsidencia, la metodología que se utiliza para calcular la subsidencia, y además parámetros que vienen de la naturaleza como la nubosidad, lluvia, topografía, crecimiento poblacional, que en general se traduce como ruido en las imágenes que alteran la calidad de la misma,

Figura 10

Frecuencia de los Métodos Adoptados en los Estudios para Estimar la Tasa de Subsidencia



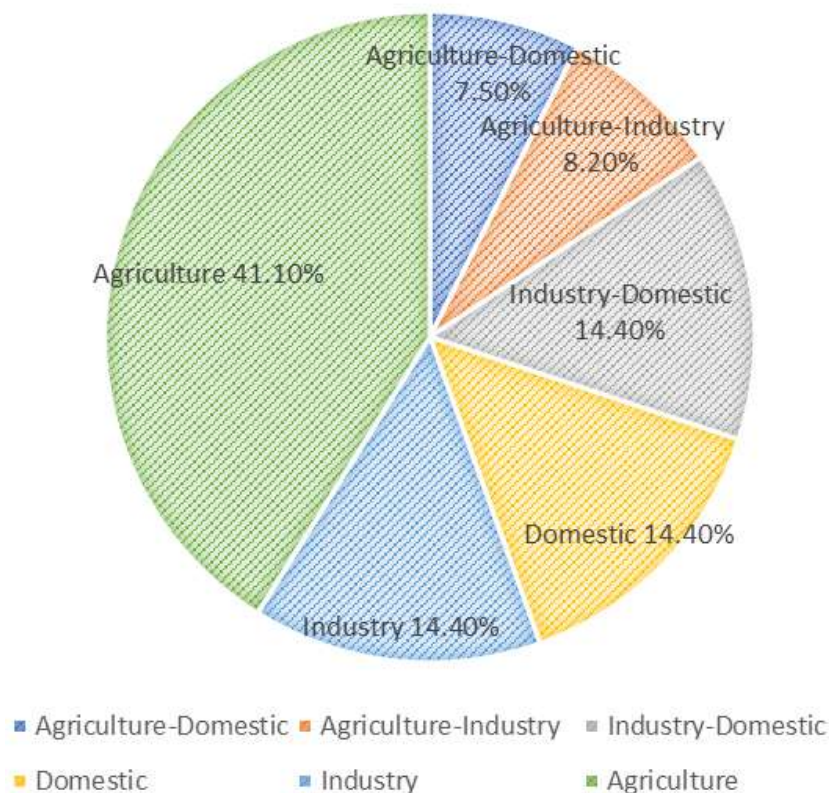
Fuente: (Bagheri-Gavkosh et al., 2021)

pese a ello, estos resultados aun siendo sujetos a muchas variables que no se tiene control absolutas de ellas, es un indicador del problema en general, en la figura N° 10 se muestra que el método de procesamiento de imágenes satelitales tiene mayor porcentaje de uso en las investigaciones sobre la subsidencia, por ello podemos afirmar que la subsidencia en la ciudad de Juliaca es un problema innegable, en muchas investigaciones recomiendan el uso de métodos de empíricos como acompañante del método de procesamiento de imágenes satelitales, todo ello para validar los datos obtenidos.

El fenómeno de la subsidencia es debido a muchos factores las cuales se pueden resumir en actividades antrópicas y actividades naturales, dentro de las cuales uno de los factores antrópicos más significativos para la existencia de la subsidencia es la extracción del agua subterránea que significa la variación del nivel freático (Chen et al., 2020).

Figura 11

Frecuencia Relativa del Uso Principal del Agua Subterránea para los Acuíferos en los que se Produjo la Subsistencia



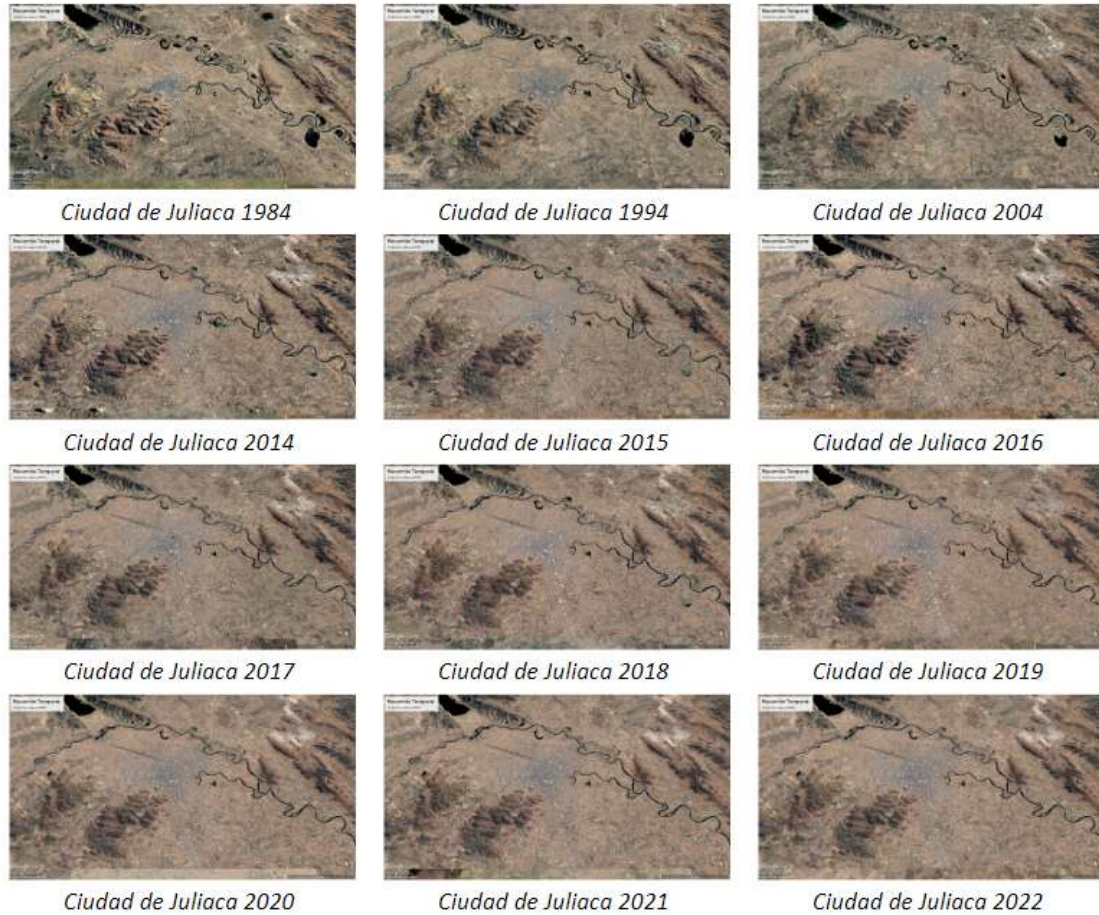
Fuente: (Bagheri-Gavkosh et al., 2021)

En la ciudad de Juliaca el abastecimiento de agua potable también es un problema recurrente, por ello la población al no tener acceso a este recurso hídrico, optan por la extracción del agua subterránea, el problema crece por la informalidad de esta, este problema es bastante común para la ciudad de Juliaca ya que el agua subterránea es de fácil acceso, el uso que se le da este recurso hídrico es doméstico e industrial, que viene siendo el segundo factor influyente en la subsidencia alcanzando un porcentaje de 28.80 % ver figura N°011 por otra parte (Yu et al., 2020) en su investigación relaciona la subsidencia con la variación del nivel freático, llega a la conclusión que el principal factor que causa el problema de la subsidencia es la desestabilización de la estructura del suelo por la variación del nivel freático, lo cual se puede ver en muchos libros renombrados de geotecnia, en la figura N°011, se muestra a través del tiempo desde 1984 hasta 2022 la variación de cuerpos de agua en la ciudad de Juliaca, este análisis tiempo espacio es preocupante, ya que algunos cuerpos de agua desaparecen por completo hasta la fecha, esto se puede interpretar en la variación del nivel freático y a su vez en la variación de la estructura del suelo, estos dos aspectos de la zona de estudio son factores

que elevan la vulnerabilidad a la subsidencia, siendo estos dos factores están directamente relacionados a la extracción agua subterránea.

Figura 12

Cronología de la Ciudad de Juliaca con Hitos en 1984, 1994, 2004, 2014, 2015 ... 2022



Fuente: Elaboración Propia

Además de ello también se puede observar el crecimiento poblacional de la ciudad de Juliaca, lo cual es un factor relevante para el procesamiento de las imágenes satelitales, en la investigación de (Tripathy & Kumar, 2019) relaciona el crecimiento de la población no planificada con la acelerada exponencial de la subsidencia, que claramente se puede observar dentro de la ciudad de Juliaca, los permisos de construcción y los permisos de extracción de agua subterránea en su gran mayoría no son solicitadas a las entidades correspondientes, esta informalidad por parte de la población y añadiendo la litología de la ciudad de Juliaca esta informalidad debe considerarse como posibles factores que influyen en la vulnerabilidad a la subsidencia.

La subsidencia es un tema que está bastante descuidada en Perú (Bagheri-Gavkosh et al., 2021) Si bien es cierto en Perú existe un instituto especializado tal como Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) para el estudio de los grandes problemas geotécnicos del país, pero, según Bagheri-Gavkosh en su investigación de la subsidencia global indica que solo existe un 0.69% de frecuencia de estudio del tema, esto se puede observar en la poca cantidad de investigación que existe sobre riesgos geológicos en el Perú.

CONCLUSIÓN.

De acuerdo al procesamiento de las imágenes satelitales mediante la metodología DinSAR, imágenes adquiridas de las misiones Sentinel 1A y Sentinel 1B del periodo de estudio del 2015 al 2022 (07 años), se obtuvo como resultado un ratio de -46.642 mm/año, este valor indica la velocidad vertical de la subsidencia, calculando una subsidencia total desde el 2015 hasta 2022 de -326.494 mm, lo cual significa que la ciudad de Juliaca tiene una vulnerabilidad alta a la subsidencia, esto es apoyado por el instituto UNESCO Land Subsidence International Initiative.

El procesamiento de imágenes satélites tiene un alto grado de complejidad por el mismo hecho de que contiene variables no manipulables que afectan a la calidad de la imagen, siendo contraproducente para la lectura de los resultados de la subsidencia, por ello se propone la validación de estos datos con métodos de medición in situ, como es el método de medición GPS, este método tiene muchos variantes, la más aceptable es construir una estructura parecida a una columna de concreto armado, el cual llevara en el pico de la estructura un sistema de medición para controlar la subsidencia.

Como medida de precaución se recomienda regular la explotación de agua subterránea mediante ordenanzas municipales las cuales vayan dirigidas a la mitigación de la actividad y control de caudal de extracción y recarga de los cuerpos de agua, siendo la municipalidad Distrital de Juliaca y la Autoridad Nacional del Agua (Sede Juliaca) los entes idóneos para aplicar tales medidas de regulación.

Es innegable que la ciudad de Juliaca es afectada por la subsidencia, esto debido mayormente a factores antrópicos, entre ellos la extracción de las aguas subterráneas dándole usos tanto doméstico como industrial, debilitando la estructura del suelo, otro factor que contribuye a la aceleración de la subsidencia de la ciudad de Juliaca es el crecimiento poblacional no planificada cambiando de forma abrupta los esfuerzos internos del suelo, y finalmente mencionar la litología de la ciudad de Juliaca que en muchas investigaciones los

suelos arcillosos arenosos son los suelos más propensos a sufrir un colapso debido al cambio de humedad por la variación del nivel freático.

Los valores más alarmantes de la subsidencia en la ciudad de Juliaca se encuentran en zonas aledañas de la misma ciudad, se comprende por la teoría que la subsidencia debido al cambio del nivel freático no se da en el mismo punto de extracción, sino más bien en las zonas circundantes del punto de extracción, lo que se puede ver en la ciudad de Juliaca siendo las zonas más afectadas las zonas de Salida Huancané, Salida Cusco y Salida Arequipa, en la zona de Auxiliar 04 Salida Puno se encuentra la minera CALSESUR, el cual también hace uso de los recursos hídricos subterráneos, entonces, si extendemos la investigación hacia el lago, la subsidencia aumentara progresivamente.

BIBLIOGRAFÍA

- Babae, S., Mousavi, Z., Masoumi, Z., Malekshah, A. H., Roostaei, M., & Aflaki, M. (2020). Land subsidence from interferometric SAR and groundwater patterns in the Qazvin plain, Iran. *International Journal of Remote Sensing*, 41(12), 4778–4796. <https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1724345>
- Bagheri-Gavkosh, M., Hosseini, S. M., Ataie-Ashtiani, B., Sohani, Y., Ebrahimian, H., Morovat, F., & Ashrafi, S. (2021). Land subsidence: A global challenge. *Science of the Total Environment*, 778. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146193>
- Braun, A., & Veci, L. (2021). *Sentinel-1 Toolbox TOPS Interferometry Tutorial*. <https://skywatch.co>
- Carhuavilca Bonett, D., Sánchez Aguilar, A., Hidalgo Calle, N., Gutiérrez Espino, C., Mendoza Loyola, D., Romero Córdor, E., & Reto Nuñez, P. (2020). *Perú: Formas de Acceso al Agua y Saneamiento Básico*.
- Castellazzi, P., Garfias, J., & Martel, R. (2021). Assessing the efficiency of mitigation measures to reduce groundwater depletion and related land subsidence in Querétaro (Central Mexico) from decadal InSAR observations. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 105. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102632>
- Chen, B., Gong, H., Chen, Y., Li, X., Zhou, C., Lei, K., Zhu, L., Duan, L., & Zhao, X. (2020). Land subsidence and its relation with groundwater aquifers in Beijing Plain of China. *Science of the Total Environment*, 735. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139111>

- Cigna, F., & Tapete, D. (2022). Urban growth and land subsidence: Multi-decadal investigation using human settlement data and satellite InSAR in Morelia, Mexico. *Science of the Total Environment*, 811.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152211>
- Defensoría del Pueblo. (2022). *Boletín sobre la Cobertura de Agua Potable - Región Puno*.
<http://www.defensoria.gob.pe>
- EPS SEDA JULIACA S.A. (2010). *Sistema Existente de Agua Potable Y Alcantarillado en la EPS SEDA JULIACA S.A.*
- EPS SEDA JULIACA S.A. (2018). *Memoria Anual de EPS SEDA JULIACA S.A. 2018*.
- Gee, D., Bateson, L., Grebby, S., Novellino, A., Sowter, A., Wyatt, L., Marsh, S., Morgenstern, R., & Athab, A. (2020). Modelling groundwater rebound in recently abandoned coalfields using DInSAR. *Remote Sensing of Environment*, 249.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112021>
- Goorabi, A., Karimi, M., Yamani, M., & Perissin, D. (2020). Land subsidence in Isfahan metropolitan and its relationship with geological and geomorphological settings revealed by Sentinel-1A InSAR observations. *Journal of Arid Environments*, 181.
<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104238>
- Hu, J., Motagh, M., Guo, J., Haghghi, M. H., Li, T., Qin, F., & Wu, W. (2022). Inferring subsidence characteristics in Wuhan (China) through multitemporal InSAR and hydrogeological analysis. *Engineering Geology*, 297.
<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2022.106530>
- INEI. (2022). PERU: Proyecciones de Población Total según Departamento, Provincia y Distrito, 2018 - 2022. In *Instituto Nacional de Estadística e Informática*.
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1715/Libro.pdf
- INGEMMET. (2021). *INGEMMET, Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 32 Geología del cuadrángulo de Juliaca (hojas 31v1, 31v2, 31v3, 31v4)*. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe>
- Martínez Barbáchano, R. (2021). Estimación de la Subsistencia en el Valle Central (Costa Rica) Mediante Interferometría Diferencial con Radar de Apertura Sintética. *Revista Investigaciones Geográficas*, 62, 106–116.
- Modeste, G., Doubre, C., & Masson, F. (2021). Time evolution of mining-related residual subsidence monitored over a 24-year period using InSAR in southern Alsace, France.

- International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 102.
<https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102392>
- Nappo, N., Peduto, D., Polcari, M., Livio, F., Ferrario, M. F., Comerci, V., Stramondo, S., & Michetti, A. M. (2021). Subsidence in Como historic centre (northern Italy): Assessment of building vulnerability combining hydrogeological and stratigraphic features, Cosmo-SkyMed InSAR and damage data. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 56. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102115>
- Peng, M., Lu, Z., Zhao, C., Motagh, M., Bai, L., Conway, B. D., & Chen, H. (2022). Mapping land subsidence and aquifer system properties of the Willcox Basin, Arizona, from InSAR observations and independent component analysis. *Remote Sensing of Environment*, 271. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.112894>
- TELMOINGENIEROS S.A.C. (2016a). V-2 Estudio de Mecánica de Suelos 1/3 para el Proyecto: “Mejoramiento de Medidas de Rápido Impacto de la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento de Juliaca - EPS SEDAJULIACA S.A. en los Distritos de Juliaca y San Miguel de la Provincia de San Román - Departamento de Puno.” *SEDAJULIACA S.A.*, 5, 2251–2672.
- TELMOINGENIEROS S.A.C. (2016b). V-2 Estudio de Mecánica de Suelos 2/3 para el Proyecto: “Mejoramiento de Medidas de Rápido Impacto de la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento de Juliaca - EPS SEDAJULIACA S.A. en los Distritos de Juliaca y San Miguel de la Provincia de San Román - Departamento de Puno.” *SEDAJULIACA S.A.*, 5, 1790–2250.
- TELMOINGENIEROS S.A.C. (2016c). V-2 Estudio de Mecánica de Suelos 3/3 para el Proyecto: “Mejoramiento de Medidas de Rápido Impacto de la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento de Juliaca - EPS SEDAJULIACA S.A. en los Distritos de Juliaca y San Miguel de la Provincia de San Román - Departamento de Puno.” *SEDAJULIACA S.A.*, 5, 1116–1789.
- Tripathy, P., & Kumar, A. (2019). Monitoring and modelling spatio-temporal urban growth of Delhi using Cellular Automata and geoinformatics. *Cities*, 90, 52–63.
<https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.01.021>
- Yu, H., Gong, H., Chen, B., Liu, K., & Gao, M. (2020). Analysis of the influence of groundwater on land subsidence in Beijing based on the geographical weighted regression (GWR) model. *Science of the Total Environment*, 738.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139405>

Zhou, C., Lan, H., Bürgmann, R., Warner, T. A., Clague, J. J., Li, L., Wu, Y., Zhao, X., Zhang, Y., & Yao, J. (2022). Application of an improved multi-temporal InSAR method and forward geophysical model to document subsidence and rebound of the Chinese Loess Plateau following land reclamation in the Yan'an New District. *Remote Sensing of Environment*, 279. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113102>

ANEXOS

Anexo A. Evidencia de Sumisión de la Tesis



Anexo B. Copia de Resolución

"AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL"

RESOLUCIÓN N° 1103-2022/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Naña 08 de noviembre de 2022

VISTO:

El expediente de **Rivlin Max Miliam Flores Espetia**, identificado(a) con Código Universitario N° 201920049 y **Norman D Everlyn Flores Espetia**, identificado(a) con Código Universitario N° 201920032, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que **Rivlin Max Miliam Flores Espetia** y **Norman D Everlyn Flores Espetia**, han solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Vulnerabilidad a la subsidencia de la Ciudad de Juliaca mediante la metodología DinSar 2022" y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 08 de noviembre de 2022, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato artículo titulado "**Vulnerabilidad a la subsidencia de la Ciudad de Juliaca mediante la metodología DinSar 2022**" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar a **Ing. Rina Luzmeri Yampara** como ASESOR para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo el cual fue dictaminado por: **Mg. Fritz Willy Mamani Apaza** y **Ing. Ecler Mamani Chambi**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.




Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA




Dr. Santiago Ramírez López
SECRETARIO ACADÉMICO

CC:
-Interesado
Asesor
Dirección General de Investigación
Archivo