



## Modelo estructural estocástico de bofedal mediante interpolación 3D de las conductividades eléctricas con gempy, microcuenca apacheta, 2021.

Stochastic structural model of bofedal subsoil through 3D interpolation of electrical conductivities with gempy, Apacheta micro-basin, 2021

 [Huaman-Musaja, Joseph Anderson](#)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú.

**Recibido:** 04 May. 2024 | **Aceptado:** 5 Jun. 2024 | **Publicado:** 13 Ago. 2024

**Autor de correspondencia\*:** [joseph.huaman.40@unsch.edu.pe](mailto:joseph.huaman.40@unsch.edu.pe)

**Cómo citar este artículo:** Huaman-Musaja, J.A.(2024). Modelo estructural estocástico de bofedal mediante interpolación 3D de las conductividades eléctricas con gempy microcuenca apacheta, 2021. *Revista Científica Aypate*, 3(2), 96–107. <https://doi.org/10.57063/ricay.v3i2.91>

### RESUMEN

El presente trabajo muestra un geomodelo estructural estocástico de subsuelo de bofedal en 3D, con las conductividades eléctricas registradas con el georadar “GEOSEEKER”, a través del lenguaje de programación python. Se utiliza el paquete Gempy capaz de construir geomodelo en 3D que contienen características estructura de pliegues, redes de fallas se integra en marcos probabilísticos de subsuelo. El método el cual rige al “GEOSEEKER” es el Schlumberger que utiliza cuatro electrodos y una descarga de 250 voltios al subsuelo a una frecuencia de 4096 Hz lo cual arrojaron 36 puntos de resistividades y se halló la respectiva conductividad eléctrica para la geomodelización y su análisis. La conductividad eléctrica del suelo es capacidad de un material en dejar transitar corriente eléctrica y esto dependerá del tipo de material, en este caso vienen a ser diferentes tipos de suelo de la microcuenca Apacheta se encontró mayor concentración de terreno pantanoso-limo.

**Palabras Clave:** Modelo Geológico en 3D, Topología, Conductividad Eléctrica, Gempy, Bofedal, Python, Interpolacion, Kriging

### ABSTRACT

The present work shows a stochastic structural geomodel of wetland subsoil in 3D, with the electrical conductivities recorded with the georadar “GEOSEEKER”, through the python programming language. The Gempy package is used, capable of constructing 3D geomodels that contain characteristic fold structure, fault networks, integrated into subsoil probabilistic frameworks. The method, which governs the “GEOSEEKER”, is the Schlumberger that uses four electrodes and a discharge of 250 volts to the subsoil at a frequency of 4096 Hz, which yielded 36 points of resistivity, and the respective electrical conductivity was found for the geomodeling and its analysis. The electrical conductivity of the soil is the capacity of a material to allow electric current to pass through and this will depend on the type of material, in this case they are different types of soil in the Apacheta micro-basin, a higher concentration of swampy-slime terrain.

**Keywords:** 3D Geological Model, Topology, Electrical Conductivity, Gempy, Bofedal, Python, Interpolation, Kriging.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de atribución de Creative Commons, que permite el uso sin restricciones, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que se cite debidamente la obra original.



## 1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de investigación se refiere al tema de modelamiento de las conductividades eléctricas de subsuelo de un ecosistema denominado bofedal, esto es una representación abstracta y grafica de muchas variables, pero en este caso se trabajó con las conductividades eléctricas por que el instrumento solo mide esta variable. Los bofedales se definen como humedales de altura ubicados a 3800 msnm son de gran importancia por sus funciones hidrológicas como evapotranspiración, almacenamiento y filtración. Para analizar los componentes de bofedal se tomó en cuenta solo la variable de conductividad eléctrica que es la capacidad de un material o sustancia para dejar fluir la corriente eléctrica, además de conocer la salinidad, el PH y también su comportamiento de subsuelo.

Para construir un modelo estructural estocástico 3D se usó el lenguaje de programación libre Python que es últimamente mayor aplicado, utilicé el paquete Gempy, kriging que son biblioteca para el modelamiento geológico en 3D que incluyen estructuras, redes de fallas y la biblioteca matplotlib que se encarga de la generación de gráficos.

La investigación de esta problemática se realizó por el interés de conocer cómo se dan el comportamiento de subsuelo de los bofedales de la región a través de un modelo estructural estocástico 3D. Profundizar en el proyecto fue un interés académico porque estos ecosistemas nos ayudan en “producción” hidrológica.

En el marco de la teoría física, en la investigación se utilizó el detector geoelectrico de agua y cavidades “GeoSeeker”, capaz de localizar los depósitos subterráneos de agua, grava acuífero y el nivel de las aguas subterráneas, así como las cavidades como cuevas, túneles, cámaras y similares. Así, el detector de geofísica se puede implementar como buscador de agua o detector de cavidad al mismo tiempo. Adquirido por mi escuela de formación profesional, trabaja con bases teóricas del método Schlumberger (Ogunbo et al., 2018) que mide la resistividad del suelo teniendo un diferencia de potencia que emite el detector a través de unos electros colocados a cierta distancia.

Para la construcción del modelo structural estocástico 3D se tomó como muestra unos 70 m2 de bofedal recolectando 36 puntos de resistividades de diferentes puntos del espacio con lo cual se hizo la interpolación, cabe mencionar que el modelo en 3D es no determinístico porque hay infinitos puntos, al final se contrastará los resultados.

En la investigación se quiere construir un modelo estructural estocástico 3D interpolando las conductividades eléctricas de subsuelo de bofedal además el lenguaje de programación Python de subsuelo de bofedal, con lo cual se conocerá las también los componentes del subsuelo de bofedal de la microcuenca Apacheta.

## 2. MÉTODOLOGIA

Paso 1: Instalar el sistema de gestión de paquetes Anaconda junto con gempy, numpy, matplolib y theano en el CMD.

Paso 2: Crear una carpeta dentro del Jupiter Lab y guardar los datos en formato CVS en Excel.

Paso 3: Importar las librerías instaladas en jupiter lab y guardar los datos de entrada.

Paso 4: Cambiar el eje z de orientación.

Paso 5: Tratamientos de corrección de datos de acuerdo a la conductividad eléctrica según ala tabla.

Paso6: Generar el espacio 3Dy graficar los 36 puntos.

Paso: 7 Importar los datos en formato CVS y cargamos las orientaciones con una resolución adecuada para el geomodelo y generación de la topografía en 3D.

Paso 8: Generación de planos en 2D de los diferentes ejes y campos escalares.

Paso 9: Solución de los campos escalares junto con la interpolación de kriging.

Paso 10: Visualización del modelo estructural estocástico de subsuelo de bofedal.

Paso 11: Importación de las librerías para el análisis topológico.

Paso 12: Visualización de las relaciones topológicas.

## 2.1. Técnicas e instrumentos

### 2.1.1 Técnicas

- Observación
- Análisis de datos mediante el detector geoelectrico GeoSeeker
- Procesamiento de datos con la librería Gempy de Python

### 2.1.2. Instrumentos

- Uso del detector geoelectrico Geoseeker
- Programa de procesamiento de datos con el Software Python
- Mapeo del subsuelo de bofedal mediante interpolaciones

### 2.1.3. Fuentes

- Tesis de Grado
- Revistas científicas
- Catálogos virtuales
- Muestra seleccionada
- Páginas web
- Libros y textos especializados

### 2.1.4. Validez y confiabilidad de instrumentos

- Validez: El uso del método de Schlumberger para la detección de las conductividades eléctricas de subsuelo validan la construcción 3D del comportamiento y composición del subsuelo de bofedal
- Confiabilidad: El uso del método de Schlumberger con la aplicación del detector geoelectrico GeoSeeker, permite obtener datos confiables relacionados con las conductividades eléctricas del subsuelo de bofedal.

### 2.1.5. Técnicas de procesamiento de datos

Se utilizará el detector geoelectrico de agua y cavidades GeoSeeker el cual utiliza el método de Schlumberger para la detección de las conductividades eléctricas de los diferentes tipos de suelo que componen el subsuelo de un bofedal, los cuales están debidamente georreferenciados y cuyo procesamiento implica interpolar dichos valores n 3D con la librería Gempy de Python.

## 2.2. Aspectos éticos

El presente trabajo de investigación es original y los datos de conductividad eléctrica se obtienen a partir de la prospección geofísica realizadas al suelo de bofedal mediante el detector

geoeléctrico de agua y cavidades GeoSeeker del laboratorio de teledetección y energías renovables de UNSCH.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Determinación de los puntos de conductividad eléctrica del subsuelo de bofedal con la ayuda del detector eléctrico de agua y cavidades “GeoSeeker”, en la microcuenca Apacheta.

A continuación, se muestra los puntos del espacio de bofedal y su respectiva conductividad eléctrica que lo llamaremos dataframe.

**Tabla 1.**

*Puntos del espacio y conductividad eléctrica tomados del geoseeker*

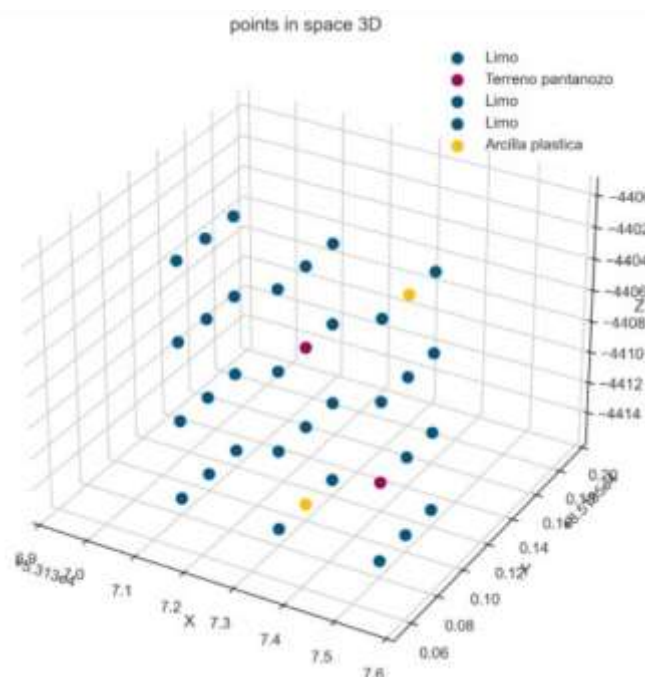
X	Y	Z	Resistividad	Conductividad
(m)	(m)	(m.s.n.m)	$\Omega\text{m}$	s/m
531375	8519508	4415	38.374	0.03
531375.0	8519508	4410	29.405	0.03
531375	8519508	4405	36.986	0.03
531375	8519508	4400	48.732	0.02
531375	8519510	4400	58.652	0.02
531375	8519510	4405	67.616	0.01
531375	8519510	4410	56.341	0.02
531375	8519510	4415	42.481	0.02
531375	8519512	4415	55.658	0.02
531375	8519512	4410	63.315	0.02
531375	8519512	4405	56.139	0.02
531375	8519512	4400	71.385	0.01
531373	8519512	4400	74.802	0.01
531373	8519512	4405	74.589	0.01
531373	8519512	4410	50.247	0.02
531373	8519512	4415	40.641	0.02
531373	8519510	4415	24.022	0.04
531373	8519510	4410	33.732	0.03
531373	8519510	4405	51.918	0.02
531373	8519510	4400	51.930	0.02
531373	8519508	4400	51.918	0.02
531373	8519508	4405	51.905	0.02
531373	8519508	4410	51.893	0.02
531373	8519508	4415	51.880	0.02
531371	8519508	4415	51.867	0.02
531371	8519508	4410	51.855	0.02
531371	8519508	4405	51.842	0.02

531371	8519508	4400	51.830	0.02
531371	8519510	4400	51.817	0.02
531371	8519510	4405	51.804	0.02
531371	8519510	4410	51.792	0.02
531371	8519510	4415	51.779	0.02
531371	8519512	4415	51.767	0.02
531371	8519512	4410	51.754	0.02
531371	8519512	4405	51.741	0.02
531371	8519512	4400	51.729	0.02

Esta figura son los datos tomados con el GEOSEEKER en la microcuenca Apacheta y según la tabla N° 2 nos damos cuenta que tipo de suelo se presenta pero dentro del espacio hay infinitas coordenadas con lo cual es imposible tener todas ellas y su valor de conductividad eléctrica.

### Figura 1.

*Puntos de las conductividades eléctricas en 3D*



Nos damos cuenta que haya más puntos de caracterización denominado limo en el espacio 3D esto es normal pues es una característica natural de este tipo de ecosistema con otros tipos de suelo como la arcilla plástica y el terreno pantanoso.

Se hizo la prospección de subsuelo a 200 m y una region de 70 m<sup>2</sup> lo cual arrojó 36 puntos de resistividad eléctrica.

**Interpolación en tres dimensiones (3D) de los puntos de conductividad eléctrica del subsuelo de bofedal mediante el uso de la librería Gempy del lenguaje libre de programación Python, en la microcuenca Apacheta**

Para la interpolación de las conductividades eléctricas se etiqueto los cada uno de los puntos con la ayuda de la tabla y el dataframe así:

### Figura 2.

*Puntos espaciales y su tipo de suelo*

	X	Y	Z	formation					
0	53137.5	85195.08	-4415	Limo	17	53137.3	85195.10	-4410	Limo
1	53137.5	85195.08	-4410	Terreno pantanozo	18	53137.3	85195.10	-4405	Terreno pantanozo
2	53137.5	85195.08	-4405	Limo	19	53137.3	85195.10	-4400	Limo
3	53137.5	85195.08	-4400	Limo	20	53137.3	85195.08	-4400	Limo
4	53137.5	85195.10	-4400	Arcilla plastica	21	53137.3	85195.08	-4405	Limo
5	53137.5	85195.10	-4405	Limo	22	53137.3	85195.08	-4410	Limo
6	53137.5	85195.10	-4410	Limo	23	53137.3	85195.08	-4415	Limo
7	53137.5	85195.10	-4415	Limo	24	53137.1	85195.08	-4415	Limo
8	53137.5	85195.12	-4415	Limo	25	53137.1	85195.08	-4410	Limo
9	53137.5	85195.12	-4410	Limo	26	53137.1	85195.08	-4405	Limo
10	53137.5	85195.12	-4405	Limo	27	53137.1	85195.08	-4400	Limo
11	53137.5	85195.12	-4400	Limo	28	53137.1	85195.10	-4400	Limo
12	53137.3	85195.12	-4400	Limo	29	53137.1	85195.10	-4405	Limo
13	53137.3	85195.12	-4405	Limo	30	53137.1	85195.10	-4410	Limo
14	53137.3	85195.12	-4410	Limo	31	53137.1	85195.10	-4415	Limo
15	53137.3	85195.12	-4415	Limo	32	53137.1	85195.12	-4415	Limo
16	53137.3	85195.10	-4415	Arcilla plastica	33	53137.1	85195.12	-4410	Limo
17	53137.3	85195.10	-4410	Limo	34	53137.1	85195.12	-4405	Limo
					35	53137.1	85195.12	-4400	Limo

La denominación de los tipos de suelo es muy importante para el gempy a través de ello podrá realizar el modelo estocástico que lo almacena en Python luego se procederá a crear las orientaciones en el espacio 3D además a los puntos de superficie se les asigna una formación.

En este caso el tipo de suelo a medida también debemos declarar la resolución en nuestro geomodelo esto se de manera que contenga todos los puntos de interpolación, no tiene que ser altas porque ralentiza el proceso de ejecución.

**Figura 3.**  
*Conductividad Eléctrica y sus Orientaciones.*

	X	Y	Z	smooth	surface	G <sub>x</sub>	G <sub>y</sub>	G <sub>z</sub>
surface_points 0	53137.5	85195.08	-4415	0.000002	Limo	NaN	NaN	NaN
2	53137.5	85195.08	-4405	0.000002	Limo	NaN	NaN	NaN
3	53137.5	85195.08	-4400	0.000002	Limo	NaN	NaN	NaN
5	53137.5	85195.10	-4405	0.000002	Limo	NaN	NaN	NaN
6	53137.5	85195.10	-4410	0.000002	Limo	NaN	NaN	NaN
7	53137.5	85195.10	-4415	0.000002	Limo	NaN	NaN	NaN
8	53137.5	85195.12	-4415	0.000002	Limo	NaN	NaN	NaN
9	53137.5	85195.12	-4410	0.000002	Limo	NaN	NaN	NaN
10	53137.5	85195.12	-4405	0.000002	Limo	NaN	NaN	NaN
11	53137.5	85195.12	-4400	0.000002	Limo	NaN	NaN	NaN
12	53137.3	85195.12	-4400	0.000002	Limo	NaN	NaN	NaN
13	53137.3	85195.12	-4405	0.000002	Limo	NaN	NaN	NaN
14	53137.3	85195.12	-4410	0.000002	Limo	NaN	NaN	NaN
15	53137.3	85195.12	-4415	0.000002	Limo	NaN	NaN	NaN
17	53137.3	85195.10	-4410	0.000002	Limo	NaN	NaN	NaN
19	53137.3	85195.10	-4400	0.000002	Limo	NaN	NaN	NaN
20	53137.3	85195.08	-4400	0.000002	Limo	NaN	NaN	NaN
21	53137.3	85195.08	-4405	0.000002	Limo	NaN	NaN	NaN
22	53137.3	85195.08	-4410	0.000002	Limo	NaN	NaN	NaN
23	53137.3	85195.08	-4415	0.000002	Limo	NaN	NaN	NaN
24	53137.1	85195.08	-4415	0.000002	Limo	NaN	NaN	NaN
25	53137.1	85195.08	-4410	0.000002	Limo	NaN	NaN	NaN
26	53137.1	85195.08	-4405	0.000002	Limo	NaN	NaN	NaN
27	53137.1	85195.08	-4400	0.000002	Limo	NaN	NaN	NaN
28	53137.1	85195.10	-4400	0.000002	Limo	NaN	NaN	NaN
29	53137.1	85195.10	-4405	0.000002	Limo	NaN	NaN	NaN
30	53137.1	85195.10	-4410	0.000002	Limo	NaN	NaN	NaN
31	53137.1	85195.10	-4415	0.000002	Limo	NaN	NaN	NaN
32	53137.1	85195.12	-4415	0.000002	Limo	NaN	NaN	NaN
33	53137.1	85195.12	-4410	0.000002	Limo	NaN	NaN	NaN
34	53137.1	85195.12	-4405	0.000002	Limo	NaN	NaN	NaN
35	53137.1	85195.12	-4400	0.000002	Limo	NaN	NaN	NaN
1	53137.5	85195.08	-4410	0.000002	Terreno pantanoso	NaN	NaN	NaN
18	53137.3	85195.10	-4405	0.000002	Terreno pantanoso	NaN	NaN	NaN
4	53137.5	85195.10	-4400	0.000002	Arcilla plastica	NaN	NaN	NaN
16	53137.3	85195.10	-4415	0.000002	Arcilla plastica	NaN	NaN	NaN
orientations 0	53137.5	85195.08	-4400	0.010000	Limo	0.316229	1.000019e-12	0.949883

Luego se hará el etiquetado a los diferentes tipos de suelo con una superficie base que generalmente es verde pues el gempy necesita de esta capa.

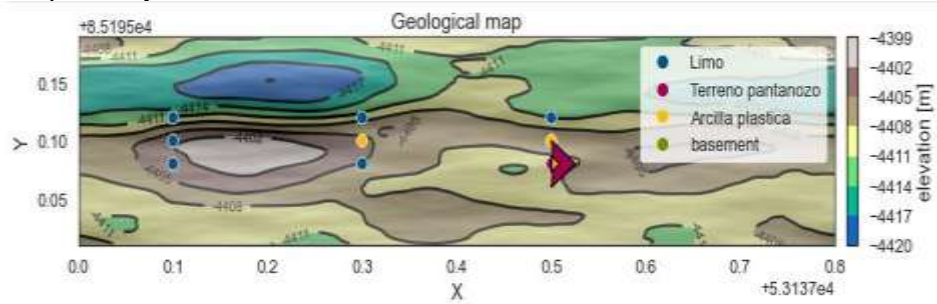
**Figura 4.**  
*Color de Tipo de Suelo.*

	surface	series	order_surfaces	color	id
0	Limo	Strat_Series	1	#015482	1
1	Terreno pantanoso	Strat_Series	2	#9f0052	2
2	Arcilla plastica	Strat_Series	3	#ffbe00	3
3	basement	Basement_Series	1	#728f02	4

Luego se procede a crear una topografía en el eje X y Y con la respectiva elevación con los puntos de interpolación, son como curvas de nivel.

**Figura 5**

*Topografía en el plano xy.*



Ahora se prepara los datos de entrada para la interpolación con el kriging esto se hace con la librería theano, esta función cambia la escala de extensión y las coordenadas de los datos originales y los almacena con un atributo y agrega los parámetros matemáticos en la interpolación, este proceso incluye la asignación de números a cada formación.

**Figura 6.**

*Parámetros dados por el kriging.*

```

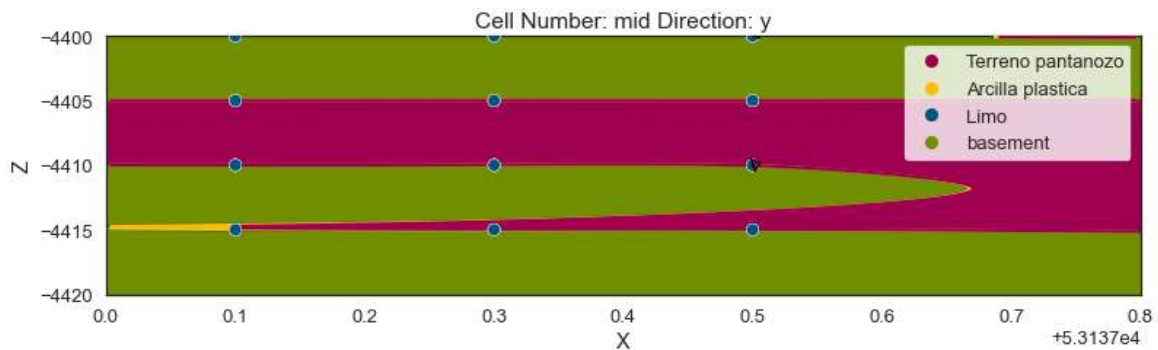
Level of Optimization: fast_compile
Device: cpu
Precision: float64
Number of faults: 0
Compilation Done!
Kriging values:

                values
range           20.016803
$C_o$          9.539819
drift equations [3, 3]
    
```

**Construcción del modelo estructural estocástico de subsuelo de bofedal correspondiente a sus diferentes componentes de subsuelo de bofedal, en la microcuenca Apacheta.**

**Figura 7.**

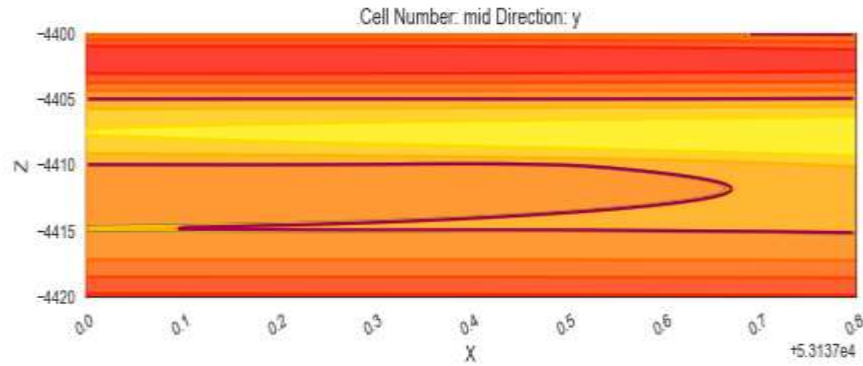
*Interpolación en el plano xz.*



En este punto ya se tiene todo lo que se necesita para poder realizar el modelo estructural estocástico de subsuelo 3D a través del compute model este devolverá las soluciones matrices lo cual se muestra a través de los diferentes planos en 2D.

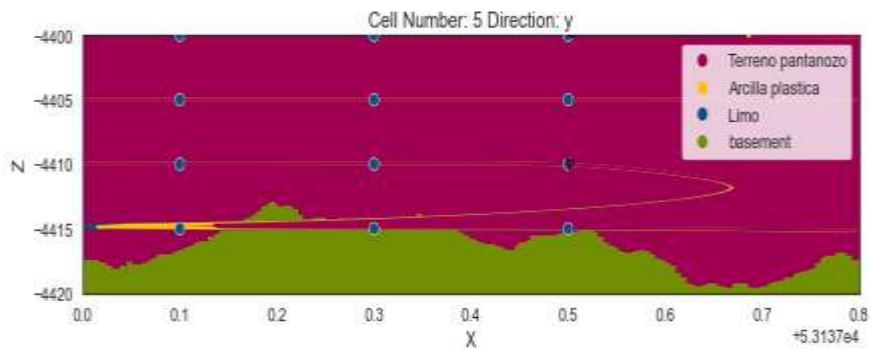
**Figura 8.**

*Interpolación en el plano xz.*



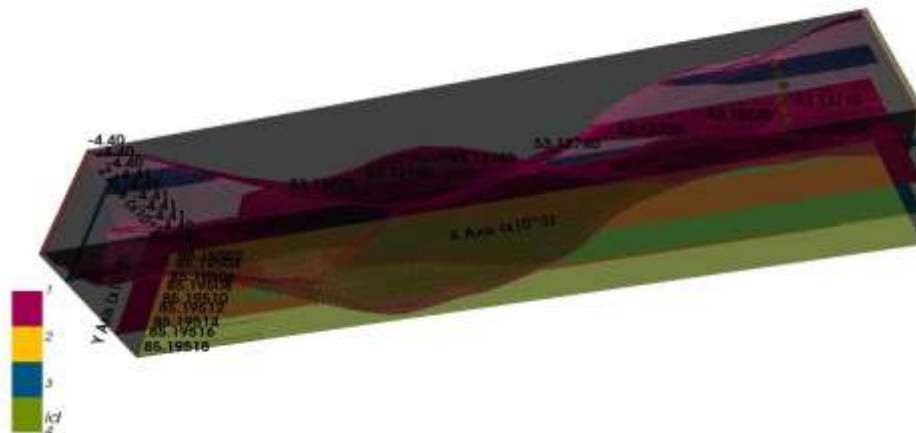
**Figura 9.**

*Interpolación en el plano xz.*



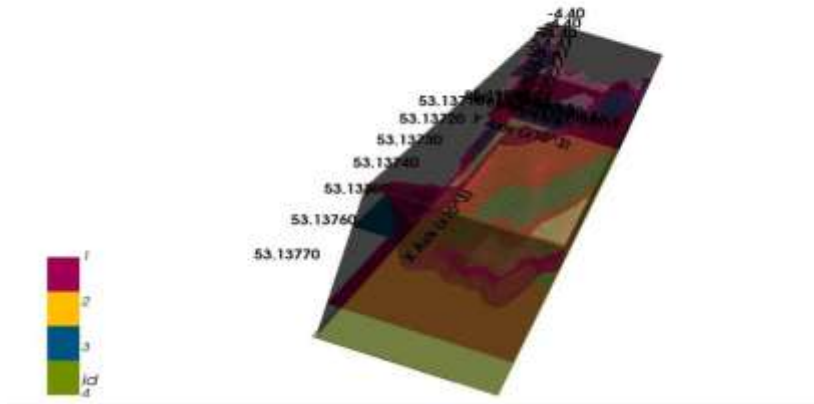
**Figura 10**

*Modelo Estructural 3d de las Conductividades Eléctricas*



**Figura 11.**

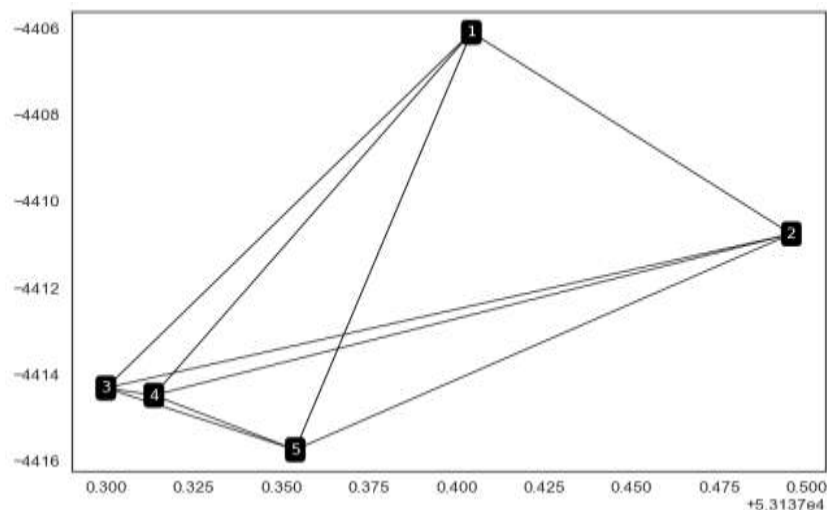
*Modelo Estructural 3d de las Conductividades Eléctricas posterior.*



El modelo estructural estocástico 3D se realizó con normalidad basados en los puntos espaciales y la conductividad eléctrica es una contribución valiosa ya que la incertidumbre del conocimiento geológico es un aspecto tradicionalmente sub representado en la modelación geológica. La investigación se realizó con artículos recientes trabajos topológicos demostrando la aplicación de conocimientos geológicos y la relación de estratigráficas El método presenta avances prácticos para permitir una mayor utilización de los aportes basados en el conocimiento de geomodelación probabilística mediante el uso combinado de la inferencia bayesiana sin probabilidades (ABS). Las implicaciones positivas de la utilizaron se indican claramente la no necesidad de definir funciones de probabilidad matemáticas para conocimientos geológicos abstractos y mejorar el rendimiento de procesamiento mediante una breve discusión de la eficiencia en la simulaciones el trabajo encaja bien en la geomodelacion y los objetivos específicos de la investigación son alcanzados y coinciden con las hipótesis. Este trabajo ofrece los códigos, descripción de algoritmos para la reproducción pertinente.

**Figura 12.**

*Relación del Análisis Topológico.*



Este gráfico que contiene nodos es equivalente a un modelo geológico 3D se puede representar mediante una matriz en la que cada nodo está representado por una fila y columna entonces significa que comparten un arco del modelo o también fallas. La discontinuidad se muestra en el análisis topológico cada una de las cuales se modifica, por ejemplo, la topología de una cuenca los nodos representan formaciones individuales de alguna unidad. La topología temporal son similares a las espaciales aunque se distingue fundamentalmente por la direccionalidad del tiempo. Por lo tanto, las representaciones gráficas de topología atemporal son arcos dirigidos mientras que la topología espacial no lo hace y representan un volumen geológico.

#### 4. AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga y a la Escuela Profesional de Ciencias Físico Matemáticas.

Agradezco mucho por la ayuda brindada a mi maestro, en especial a mi asesor por las enseñanzas impartidas en las aulas. A mi familiar que me apoya siempre.

#### 5. CONCLUSIONES

En el modelo estructural estocástico se trabajó con la incertidumbre de la interpolación es por ello que la naturaleza topológica va a cambiar cada vez que se ejecuta el programa cada una de las cuales modifica una topología preexistente entonces el modelo sugiere que se puede incluir tantos datos espaciales como temporales y analizar otras aplicaciones a futuro en otros ecosistemas factibles.

Hay muchos software para la elaboración de un geomodelo 3D como E-Foto, GRASS GIS pero estos no son de código libre como lo es Python con la librería Gempy es excelente para representar fallas y pliegues geológicos a través de CSG que representa el subsuelo realista en 3D de bofedal microcuenca Apacheta.

Finalmente, esta investigación destaco algunos aspectos que se deben considerarse como los planos en 2D además del análisis topológico arroja cinco nodos que representan los centroides de una región del bofedal donde el nodo uno es el soporte principal que se encuentra a -4406 m.s.n.m cuyo cendroide es 0.400 con cero fallas geológicas en esta región se observa mayor concentración de terreno pantanoso-limo.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Gómez Portal, S. (2016). "Hidrogeología en bofedales alto andinos con fines de aprovechamiento hídrico en la comunidad Rosaspata Vinchos—Ayacucho 2015". *Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga*. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3168>
- Gutiérrez, A., & Celia, C. (2016). Determinación analítica de detergentes en las aguas de los Pantanos de Villa. *Pontificia Universidad Católica del Perú*. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7570>
- Loza Herrera, S., Meneses, R. I., & Anthelme, F. (2015). Comunidades vegetales de los bofedales de la Cordillera Real (Bolivia) bajo el calentamiento global. *Ecología en Bolivia*, 50(1), 39-56.

- Montejo Velasco, I. A., Campos Magaña, S. G. D. A., Gonzales Garza, R. I. C.-A., & Gonzalez Ramirez, H. E.I. C.-A. (s. f.). *DESARROLLO DE UN SENSOR DINÁMICO PARA MEDICIÓN DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA CON DIFERENTES NIVELES DE SALES CLORURO DE SODIO, POTASIO, CALCIO Y NITRÓGENO*. Recuperado 12 de julio de 2021, de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/8041>
- Ogunbo, J. N., Mamukuyomi, E. A., Adepoju, W. S., Adebowale, H., Akinro, O., & Ukaegbu, C. R. (2018). Panoramic azimuthal Schlumberger Vertical Electrical Sounding for fracture orientation and anisotropy quantification. *Heliyon*, 4(12), e00998. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00998>
- Portal Quicaña, E. (2019). Influencia de la Napa freática sobre la vegetación y capacidad de carga animal en bofedales altoandinos. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/10377>
- Rolleri, J. L. (2013). ¿Qué son los modelos físicos? *Valenciana*, 11, 161-178. <https://doi.org/10.15174/rv.v0i11.23>
- Romero, L. M., & Paola, F. (2017). Percepciones, actores y manejo actual de los humedales altoandinos de la comunidad campesina Santiago de Carampoma, Huarochirí- Lima. *Pontificia Universidad Católica del Perú*. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/9123>
- Sigueñas Cajusol, R. P., & Namuche Sánchez, J. N. (2020). Detección de área cultivables de arroz, en la cuenca Chancay-Lambayeque, intercuenca 137771: Periodo 2001- 2014, utilizando imágenes de satélites y datos conductividad eléctrica del suelo. *Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo*. <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3273197>
- Soto León, A. (2015). Estudio hidrológico e hidráulico del puente Huanchuy en el río Caachi, Ayacucho— Huancavelica. *Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga*. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/1918>
- Valencia Vento, N. (2019). Efectos de la extracción de turba en la composición y estructura florística del bofedal de Milloc, Carampoma, Huarochiri, Lima. *Universidad Nacional Agraria La Molina*. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/4037>
- Varga, M. de la, Schaaf, A., & Wellmann, F. (2018). GemPy 1.0: Open-source stochastic geological modeling and inversion. *Geoscientific Model Development*, 12(1). <https://doi.org/10.5194/gmd-12-1-2019>
- Vidal, O., & Víctor, J. (2020). Análisis de la gobernanza institucional en la gestión de los Bofedales alto andinos frente al cambio climático – Huaraz, Áncash 2020. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/48767>
- Zorogastúa-Cruz, P. (2012). Dinamica de los bofedales en el altiplano peruano-boliviano. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 8(2), 63-75.