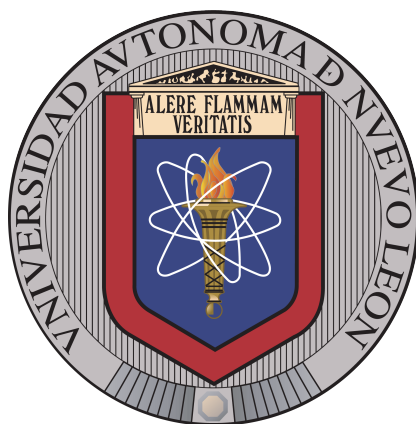


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICO



TÍTULO DE LA TESIS

POR

JUAN JESÚS TORRES SOLANO

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIA DE DATOS

MARZO 2025

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICO

Los miembros del Comité de Tesis recomendamos que la Tesis «Título de la tesis», realizada por el alumno Juan Jesús Torres Solano, con número de matrícula 2173262, sea aceptada para su defensa como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencia de Datos.

El Comité de Tesis

---

Dr. José Anastasio Hernández Saldaña  
Asesor

---

Nombre del revisor C  
Revisor

---

Nombre del revisor D  
Revisor

Vo. Bo.

---

Dra. Azucena Yolojóchitl Ríos Mercado  
Subdirector de Estudios de Posgrado

San Nicolás de los Garza, Nuevo León, marzo 2025

*Aquí puedes poner tu dedicatoria  
si es que tienes una.*

## ÍNDICE GENERAL

---

<b>Agradecimientos</b>	<b>VIII</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. DELIMITACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>2</b>
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>3</b>
<b>4. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS</b>	<b>4</b>
4.1. Generales . . . . .	4
4.2. Específicos . . . . .	4
<b>5. MARCO TEÓRICO</b>	<b>5</b>
5.1. Método Geoeléctrico . . . . .	5
5.1.1. Principios Básicos . . . . .	6
5.1.2. Configuración de electrodos . . . . .	6
5.1.3. Sondeo Eléctrico Vertical . . . . .	7
5.2. Aprendizaje Automático Conceptos Básicos . . . . .	7
5.3. Árboles de Decisión . . . . .	8
5.3.1. Algoritmos de árboles de decisión . . . . .	8

ÍNDICE GENERAL	V
5.3.2. criterios de división . . . . .	8
5.3.3. Poda de árboles de decisión . . . . .	8
5.4. Random Forest . . . . .	8
5.4.1. Bootstrap Aggregating . . . . .	8
5.4.2. Feature bagging . . . . .	8
5.5. Número de Árboles . . . . .	8
5.5.1. Max Tree Depth . . . . .	8
5.5.2. Bootstrap . . . . .	8
5.5.3. Overfitting y Underfitting . . . . .	8
5.5.4. OOB Score . . . . .	8
5.5.5. Validación Cruzada . . . . .	8
5.5.6. Métricas de Evaluación . . . . .	8
<b>6. METODOLOGÍA</b>	<b>9</b>
<b>7. RESULTADOS Y CONCLUSIONES</b>	<b>10</b>
<b>A. Apéndice I</b>	<b>11</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

## ÍNDICE DE TABLAS

---

## AGRADECIMIENTOS

---

Aquí puedes poner tus agradecimientos. (No olvides agradecer a tu comité de tesis, a tus profesores, a la facultad y a CONACyT en caso de que hallas sido beneficiado con una beca).



## CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

---

que es la geofísica:

La exploración geofísica consiste en un conjunto de metodologías que a través de la medición de propiedades petrofísicas del subsuelo es

el geoelectrica

para que sirve

oportunidades de la ciencia de datos en el análisis en tiempo real de la respuesta

## CAPÍTULO 2

### DELIMITACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

---

Durante un trabajo de prospección geofísica, al realizar adquisición de datos geoelectricos *in situ*, no es posible conocer el resultado del trabajo hasta una vez realizado procesos de inversión de datos resultado de prospección, por lo que no se tiene certeza de si una lectura presenta inconsistencias o si forma parte de una respuesta esperada para determinado resultado.

El problema es no contar con un modelo que pueda anticipar el resultado de un modelo de inversión geológico, o al menos aproximar un resultado que pueda tener coherencia geológica en interpretación

Como primera aproximación a una solución se considerara un primer supuesto, en el cual se cuenta con respuestas de sondeos eléctricos verticales, más simple pero no menos complejo de interpretar, al contar con un solo segmento de señal, dentro de esta señal podemos encontrar distintas unidades geológicas, profundidad de acuífero, espesores de unidades y profundidad de exploración.

La propuesta de solución es mediante Aprendizaje automático (ML, por sus siglas en inglés), empleando una técnica de aprendizaje que permita identificar patrones que estén asociados a la respuesta de un modelo de inversión, de esta manera obtener un modelo pronóstico de la inversión, sirviendo de guía para incrementar la densidad de muestreo para mejorar el modelo y respuestas.

## CAPÍTULO 3 JUSTIFICACIÓN

---

Existen múltiples aplicaciones de ML y DL en el procesamiento, modelado e interpretación geofísica (INSERTAR REFERENCIAS), así como aplicaciones directas por software en las disciplinas mas comerciales (Sísmica de exploración de hidrocarburos PETREL, Shlumberger, INSERTAR REFERENCIA).

Es de esperar que al implementar ciencias de datos en diversas áreas de la ciencia, se optimicen aspectos básicos, mejorando la analítica e interpretación de resultados, o bien, modelando predicciones de tendencias.

En este sentido, es oportuna la implementación de modelos de regresión y clasificación durante la adquisición de datos, en particular al ejecutar muestreo de Sondeo Eléctrico Vertical (SEV, VES por sus siglas en inglés), el proceso de adquisición *in situ* consta de un intervalo de muestreo predefinido, el cual está acotado de acuerdo al objetivo de exploración, este análisis previo es un factor determinante, debido a que establecer un intervalo de muestreo correcto permite identificar el objetivo, unidades geológicas, acuíferos, fallas, fracturas, estructuras antropogenicas, etc.. , es decir mantener un intervalo de muestreo menor a la frecuencia de ocurrencia del objetivo de estudio, por lo que el éxito de la exploración dependerá en su totalidad de la planeación previa de la adquisición.

De manera que un modelo que permita clasificar las lecturas y generar una regresión para proponer muestreos adicionales *in situ* tendría la ventaja de optimizar y mejorar la calidad de la adquisición y muestreo de las frecuencias deseadas.

## CAPÍTULO 4 FORMULACIÓN DE OBJETIVOS

---

### 4.1 Generales

- Establecer un modelo de entrenamiento de regresión mediante Random Forest que genere intervalos de muestreo en SEV's al identificar contrastes en los datos.

### 4.2 Específicos

- Generar modelos geoelectricos con unidades geológicas de terrenos ya caracterizados mediante SEV's.
- Establecer un delo de clasificación y regresión utilizando Random Forest empleando modelos geoelectricos.
- Generar un modelo predictivo que permita clasificar datos geoelectricos durante la adquisición de SEV's *in situ*.

## CAPÍTULO 5 MARCO TEÓRICO

---

### 5.1 Método Geoelectrico

La geofísica es una rama de la ciencia relativamente reciente, la primera prospección geoelectrica data de 1830 realizados por Fox (1830) en Cornwall, Reino Unido, donde aplico técnicas de Self-Potential en exploración de mineralización de sulfuro en vetas, la medición del potencial natural resulto altamente efectiva para la prospección de este tipo de mineralizaciones ya que su anomalía se caracterizaba por presentar una respuesta muy marcada con respecto al medio (Revil y Jardani (2013); (Reynolds, 2011; Revil y Jardani, 2013)).

Los métodos Geoelectricos se clasifican en dos grupos, métodos pasivos y de inducción, los primeros corresponden a aquellos en los que se mide el potencial eléctrico natural, usualmente medido en mili volts, en donde se requiere de electrodos no polarizables para tener medidas lo mas claras posibles; mientras que los métodos de inducción emplean un arreglo de electrodos, o inductores de campo electromagnéticos, mediante los cuales se induce un campo eléctrico al subsuelo, calculando al diferencia de potencia eléctrica en el medio, o bien el decaimiento de la polarización inducida en el medio (Revil y Jardani (2013); Reynolds (2011); Igboama *et al.* (2023)).

### 5.1.1 Principios Básicos

De manera general la materia presenta características definidas a partir de los elementos que la integran, en primer orden la configuración atómica establece las propiedades físicas corresponden a la estructura de electrones, protones y neutrones que presentan los átomos; a su vez, las moléculas pueden estar conformadas por una clase específica de átomos (moléculas homonucleares) o por conjuntos de diferentes (compuestos) tipos cuya conformación depende de factores físico-químicos ( Tiab y Donaldson (2024)).

La configuración molecular inorgánica que presenta la materia, definirá el tipo de estructura cristalina que formarán, en conjunto, la estructura de los minerales; esta configuración cristalina es la que encontramos en el medio geológico conformando los minerales que componen la estructura mineral de una unidad geológica (ver figura Tiab y Donaldson (2024); Gandhi y Sarkar (2016)).

### 5.1.2 Configuración de electrodos

#### 5.1.2.1 Caso General

Si consideramos un medio continuo y homogéneo explicación del método mediante el caso particular (Reynolds (2011); Igboama *et al.* (2023)).

#### 5.1.2.2 Arreglos Convencionales

Método Wenner, método Schlumberger, dipolo dipolo, polo dipolo, ecuatorial.

---

### 5.1.3 Sondeo Eléctrico Vertical

caso particular de sondeos, distribución de señal, interpretación, caso particular de exploración hidrológica, señales características de acuíferos, modelos reales y simulaciones.

## 5.2 Aprendizaje Automático Conceptos Básicos

De manera general podemos identificar dos distintos tipos de modelos de entrenamiento, correspondiendo a, aprendizaje de tipo supervisado y no supervisado.

existe diferencias claras entre ambos tipos de técnicas,

**Aprendizaje Supervisado** Este tipo de modelos emplea un conjunto de datos integrados por datos de entrada y de salida

---

### 5.3 Árboles de Decisión

#### 5.3.1 Algoritmos de árboles de decisión

#### 5.3.2 criterios de división

#### 5.3.3 Poda de árboles de decisión

### 5.4 Random Forest

#### 5.4.1 Bootstrap Aggregating

#### 5.4.2 Feature bagging

### 5.5 Número de Árboles

#### 5.5.1 Max Tree Depth

#### 5.5.2 Bootstrap

#### 5.5.3 Overfitting y Underfitting

#### 5.5.4 OOB Score

#### 5.5.5 Validación Cruzada

#### 5.5.6 Métricas de Evaluación



## CAPÍTULO 6 METODOLOGÍA

---

## CAPÍTULO 7

### RESULTADOS Y CONCLUSIONES

---

APÉNDICE A  
APÉNDICE I

---

## BIBLIOGRAFÍA

---

- FOX, R. W. (1830), «On the electro-magnetic properties of metalliferous veins in the mines of Cornwall», *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, págs. 399–414.
- GANDHI, S. y B. SARKAR (2016), *Essentials of mineral exploration and evaluation*, Elsevier.
- IGBOAMA, W. N., M. AROYEHUN, J. AMOSUN, O. AYANDA, O. HAMMED y J. OLOWOFELA (2023), «Review of geoelectrical methods in geophysical exploration», *Nigerian Journal of Physics*, **32**(3), págs. 141–158.
- REUIL, A. y A. JARDANI (2013), *The self-potential method: Theory and applications in environmental geosciences*, Cambridge University Press.
- REYNOLDS, J. M. (2011), *An introduction to applied and environmental geophysics*, John Wiley & Sons.
- TIAB, D. y E. C. DONALDSON (2024), *Petrophysics: theory and practice of measuring reservoir rock and fluid transport properties*, Elsevier.