

---

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**

**RECOPIACIÓN, DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DIGITAL  
Y ANÁLOGA DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS (1977 – 1997), PARA LA  
REAPERTURA DE LA RED GEOMAGNÉTICA DE COLOMBIA.**



**CATERINE JOHANNA MANRIQUE AGUILAR**  
**CÓD.: 190214222**

**TRABAJO DE GRADO**  
**Modalidad de Pasantía**

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**TECNOLOGÍA EN CARTOGRAFÍA**  
**BOGOTÁ D.C. - 2017**

---

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**

**RECOPIACIÓN, DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DIGITAL  
Y ANÁLOGA DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS (1977 – 1997), PARA LA  
REAPERTURA DE LA RED GEOMAGNÉTICA DE COLOMBIA.**



**CATERINE JOHANNA MANRIQUE AGUILAR  
CÓD.: 190214222**

**DIRECTOR INTERNO  
ING. SÓCRATES CARDONA GIRALDO**

**DIRECTOR EXTERNO  
ING. FRANCISO JAVIER MORA TORRES**

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
TECNOLOGÍA EN CARTOGRAFÍA  
BOGOTÁ D.C. – 2017**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

**SÓCRATES CARDONA GIRALDO**  
**Director de Proyecto Modalidad Pasantía**

---

**ADRIÁN ALEJANDRO GONZÁLEZ**  
**Jurado**

---

**JAVIER ROMERO**  
**Jurado**

### **AGRADECIMIENTOS**

*Principalmente doy gracias a mi hija, por ser la motivación fundamental y compañía en cada paso de este proceso educativo. Seguido de ella, a mis padres y mis hermanos por los esfuerzos brindados y apoyo incondicional.*

*Agradezco a cada docente que tuve durante mi formación como cartógrafa, porque fueron ellos quienes incentivaron el interés por mi profesión y otorgaron los distintos conocimientos adquiridos que junto con mis compañeros de aula, culminamos cada etapa de este desarrollo apoyándonos unos con otros.*

*Finalmente, le doy las gracias al Instituto Geográfico Agustín Codazzi por haberme dado la posibilidad de realizar mi proyecto final en sus instalaciones, por los nuevos conocimientos y el compromiso que adquirió para el desarrollo del mismo.*

***DEDICATORIA***

*Dedico este trabajo a mi hija, padres, hermanos y abuelas. Gracias a ellos, logré cumplir cada uno de los objetivos necesarios para la culminación de este proceso y desarrollo académico; su colaboración, compromiso y apoyo han sido incondicionales y por ello, cada logro obtenido será para ellos, pues soy el fruto de lo que me han enseñado y otorgado a lo largo de mi vida.*

---

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**

**TABLA DE CONTENIDO**

	<b>Pág.</b>
1. RESUMEN EJECUTIVO.....	12
2. INTRODUCCIÓN.....	13
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
4. JUSTIFICACIÓN.....	15
5. OBJETIVOS.....	16
5.1. Objetivo General.....	16
5.2. Objetivos Específicos.....	16
6. MARCO REFERENCIAL.....	17
6.1. Campo Magnético Terrestre.....	17
6.1.1. Descubrimiento, Usos Iniciales y Composición del Campo Magnético Terrestre (CMT). 17	
6.1.2. Características del Campo Magnético terrestre.....	21
6.1.3. Red de Observatorios Geomagnéticos Mundial.....	22
6.2. Bases de Datos.....	23
7. METODOLOGÍA, RECURSOS FÍSICOS Y TALENTO HUMANO.....	26
7.1. Metodología.....	26
7.1.1. Escalamiento Horario De Los Magnetogramas.....	26
7.1.2. Creación y consolidación de la base de datos de los registros de estaciones magnéticas y observatorio de Fúquene. (1977 – 1997). ....	27
7.1.2.1. Recopilación y revisión de archivos históricos de los registros magnéticos ...	27
7.1.2.2. Diagnóstico de los datos recopilados.....	28
7.1.2.3. Creación y consolidación de la base de datos.....	31
7.1.3. Base de Datos Espacial.....	33
7.1.4. Propuesta Cartográfica para el replanteo de la Red Geomagnética Nacional. ....	35
7.1.4.1. Mapa Red Geomagnética Nacional (1977 -1997).....	35
7.1.4.2. Reapertura Red Geomagnética Nacional.....	39
7.1.4.3. Mapas de las Componentes Geomagnéticas.....	43
7.2. Esquema Metodológico.....	46
7.3. Recursos.....	47
7.3.1. Humanos.....	47
7.3.1.1. Autor (a) del Proyecto.....	47
7.3.1.2. Tutores (Interno – Externo).....	47
7.3.1.3. Cuerpo Docente.....	47
7.3.2. Institucionales.....	47

---

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

7.3.2.1. Universidad de Cundinamarca .....	47
7.3.2.2. Instituto Geográfico De Colombia Agustín Codazzi .....	47
7.3.3. Físicos, logísticos y/o técnicos .....	47
8. RESULTADOS .....	49
8.1. Recopilación de la información almacenada de los datos de la red geomagnética nacional en los archivos históricos. ....	49
8.2. Creación de la base de datos de los registros de la Red Geomagnética Nacional (1977 – 1997). ....	49
8.2.1. Base de Datos Espacial.....	53
8.3. Análisis de Mapas. ....	53
8.3.1. Mapa de Estaciones de la Red Geomagnética Nacional.....	53
8.3.2. Mapas de los Promedios de Valores para las componentes Inclinación y Declinación Magnética e Intensidad Horizontal.....	55
8.3.2.1. Mapa Declinación Magnética .....	55
8.3.2.1.1. Análisis Estadístico:.....	56
8.3.2.2. Mapa Inclinación Magnética.....	59
8.3.2.2.1. Análisis Estadístico:.....	60
8.3.2.3. Mapa de Intensidad Horizontal.....	63
8.3.2.3.1. Análisis Estadístico.....	65
8.4. Análisis Reapertura Red Geomagnética Nacional. ....	68
9. CONCLUSIONES.....	70
10. CRONOGRAMA .....	72
11. BIBLIOGRAFÍA .....	74

---

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**

**Tabla de Ilustraciones**

	<b>Pág.</b>
Ilustración 1. Desplazamiento Aproximado del Polo Norte Magnético (1831 - 2001) .....	18
Ilustración 2. Desplazamiento y Estimación del PNM para el Año 2050.....	19
Ilustración 3. Elementos del Campo Magnético Terrestre.....	21
Ilustración 4. Red de Observatorios Geomagnético Mundial para el año 2010.....	23
Ilustración 5. Fuerza del Campo Total - Componente (F), para el año 2000.....	23
Ilustración 6. Representación de Campo, Unidad Mínima de Información de una Base de Datos. .....	25
Ilustración 7. Representación de los Registros de una Base de Datos. ....	25
Ilustración 8. Transformación de Sistema de Coordenadas Sexagesimal a Decimal. ....	33
Ilustración 9. Herramienta "Agregar Datos XY", para subir la base de datos de Excel. ....	34
Ilustración 10. Capa originada a partir de la Unión de la Base de Datos de Excel con la Herramienta Agregar Datos XY de ArcGIS .....	34
Ilustración 11. Personal Geotabase Red Geomagnética Nacional. ....	34
Ilustración 12. Base de Datos para Extracción de Coordenadas por Estación.....	35
Ilustración 13. Estaciones Georreferenciadas en Google Earth. ....	35
Ilustración 14. Conversión de Puntos (KML - Layer), en ArcMap 10.3. ....	36
Ilustración 15. Conversión de Formato Layer a Shapefile.....	36
Ilustración 16. Merge: Unión de los Shapefiles Correspondientes a las Estaciones Geomagnéticas de Repetición. ....	36
Ilustración 17. Tabla de Atributos del Nuevo Shapefile de Estaciones. ....	37
Ilustración 18. Tabla Creada para Realizar la Unión. ....	38
Ilustración 19. Join: Unión de Tablas para Completar los Datos Requeridos. ....	38
Ilustración 20. Parámetros para Enlazar las Tablas. En Este Caso, con el Campo Correspondiente al Serial de Cada Estación. ....	38
Ilustración 21. Tabla de Atributos Final. ....	39
Ilustración 22. Buffer: Análisis de Estaciones Disponibles Actualmente .....	40
Ilustración 23. Parámetros para la Realización del Buffer.....	40
Ilustración 24. Muestra de Buffer Aplicado a Vías Férreas con una Distancia de 50 Metros.	41
Ilustración 25. Índice de Escala 1:25.000 con Cobertura Nacional. ....	41
Ilustración 26. Selección de Planchas 1:25.000 en las que se Ubican las Estaciones.....	42
Ilustración 27. Herramienta "Páginas Controladas por Datos" para la creación de una Serie de Páginas por cada Entidad de Índice .....	42
Ilustración 28. Parámetros para la Configuración de la Serie de Páginas.....	42
Ilustración 29. Generación de una Página por cada Entidad de Índice.....	43
Ilustración 30. Conversión de Datos Sexagesimales a Decimales en Microsoft Excel 2013. .	43

---

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

Ilustración 31. Tabla Final con el Promedio de Valores de cada Estación de Repetición para las componentes Declinación e Inclinación Magnética y la Intensidad Horizontal.....	44
Ilustración 32. Herramienta Geostatistical Analyst para Estimar el Valor de una Variable Espacial Secundaria en Cualquier Punto del Espacio.....	44
Ilustración 33. Selección del Campo de cada componente geomagnética para aplicar IDW a la Capa de Estaciones Geomagnéticas.....	45
Ilustración 34. Clasificación Mediante Intervalo Geométrico para los Valores Promedios de las Componentes del CMT. (Declinación Magnética).....	45
Ilustración 35. Muestras de Clasificación por Clases - Valores Bajos a Altos, (Inclinación Magnética). ....	45
Ilustración 36. Esquema Metodológico. ....	46
Ilustración 37. Modelo de Declinación Magnética Mundial 2105 -2019. ....	57
Ilustración 38. Modelo de Inclinación Magnética Mundial 2105 -2019. ....	61
Ilustración 39. Modelo de Intensidad Horizontal Mundial 1995.....	66
Ilustración 40. Traslado entre Estación 274 y Buffer de Red de Alta Tensión.....	69
Ilustración 41. Traslado entre Estación 72 y Buffer de Red Alta Tensión .....	69

### Tabla de Fotografías

	Pág.
Fotografía 1. Magnetograma - Observatorio de Fúquene .....	26
Fotografía 2. Escalímetro para Medición de Datos Absolutos Magnéticos.....	27
Fotografía 3. Escalamiento de Magnetogramas.....	27
Fotografía 4. Caja en el Archivo de Gestión - Archivo Histórico IGAC.....	28
Fotografía 5. Presentación Estación Geomagnética.....	29
Fotografía 6. Acercamiento a la Información Coleccionada – Datos de Campo.....	29
Fotografía 7. Registro de Declinación Magnética .....	30
Fotografía 8. Registro de Inclinación Magnética.....	30
Fotografía 9. Registro de Intensidad Horizontal.....	31

### Tabla de Gráficos

	Pág.
Gráfico 1. Distribución Porcentual de las Estaciones Análogas Recopiladas .....	50

---

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

Gráfico 2. Distribución Porcentual de la Clasificación de Estaciones Utilizadas en la RGN. 51	
Gráfico 3. Distribución Porcentual de los Departamentos con Mayor Número de Estaciones.52	
Gráfico 4. Histograma de Declinación Magnética.....56	
Gráfico 5. Identificación Espacial de las Estaciones según su Valor Promedio de Declinación Magnética.....57	
Gráfico 6. Nube de Semivarianza de Declinación Magnética, con Ángulo de Tolerancia 0°. 58	
Gráfico 7. Nube de Semivarianza de Declinación Magnética, con Ángulo de Tolerancia 45°.58	
Gráfico 8. Nube de Semivarianza de Declinación Magnética, con Ángulo de Tolerancia 90°.58	
Gráfico 9. Identificación de la relación Distancia - Dirección – Valores de Declinación Magnética.....58	
Gráfico 10. Histograma de Inclinación Magnética .....60	
Gráfico 11. Identificación Espacial de las Estaciones según su Valor Promedio de Inclinación Magnética.....60	
Gráfico 12. Nube de Semivarianza de Inclinación Magnética, con Ángulo de Tolerancia 0°.62	
Gráfico 13. Nube de Semivarianza de Inclinación Magnética, con Ángulo de Tolerancia 45°.62	
Gráfico 14. Nube de Semivarianza de Inclinación Magnética, con Ángulo de Tolerancia 90°.62	
Gráfico 15. Identificación de la relación Distancia - Dirección – Valores de Inclinación Magnética.....63	
Gráfico 16. Histograma de Inclinación Magnética .....65	
Gráfico 17. Identificación Espacial de las Estaciones según su Valor Promedio de la Intensidad Horizontal. ....66	
Gráfico 18. Nube de Semivarianza de la Intensidad Horizontal con Ángulo de Tolerancia 0°.67	
Gráfico 19. Nube de Semivarianza de la Intensidad Horizontal con Ángulo de Tolerancia de 45°. ....67	
Gráfico 20. Nube de Semivarianza de la Intensidad Horizontal con Ángulo de Tolerancia de 90°. ....67	
Gráfico 21. Identificación de la relación Distancia - Dirección – Valores de Intensidad Horizontal. ....68	

### Tabla de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Estructura de la Base de Datos de la RGN (1977 -1997) .....	32
Tabla 2. Recopilación de los Registros Análogos de la RGN (1977 - 1997) .....	49
Tabla 3. Cantidad Total de las Estaciones en el Archivo Análogo.....	50
Tabla 4. Clasificación de Estaciones Según su Uso. ....	51
Tabla 5. Total de Estaciones por Departamento. ....	52

---

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**

**Tabla de Mapas.**

	<b>Pág.</b>
Mapa 1. Estaciones Geomagnéticas 1977 - 1997. ....	54
Mapa 2. Promedios de Declinación Magnética .....	55
Mapa 3. Promedios de Inclinación Magnética.....	59
Mapa 4. Promedios de Intensidad Horizontal.....	64

---

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

### 1. RESUMEN EJECUTIVO.

En el presente trabajo se expone la metodología propuesta para el desarrollo del proyecto de pasantía, que tiene como objetivo realizar y consolidar una base de datos de los registros de la antigua Red Geomagnética del país. Ésta se basa en información adquirida a través de los archivos históricos del Instituto Geográfico de Colombia Agustín Codazzi (IGAC), donde reposan los registros necesarios para el desarrollo de dicha labor.

En ese sentido, se dan a conocer los métodos y técnicas para la recopilación de dichos datos y el procedimiento respectivo para la generación de la base de datos mediante el programa propuesto por los directivos del GIT Geodesia y el grupo de Geomagnetismo, Microsoft Excel 2013; y la propuesta de reapertura de la Red Geomagnética de Colombia por medio de cartografía generada mediante el programa ArcMap 10.3 de ArcGIS. De esta forma, el procesamiento de datos para el diagnóstico y desarrollo de los objetivos propuestos, con la intención de conocer la distribución espacial y características al respecto, que presenten las estaciones en el país, relacionándolo con los registros de la Red Geomagnética Nacional (RGN) (1977 -1997), para así, determinar el comportamiento del campo magnético terrestre (CMT), a nivel nacional y que puedan estar a disposición de usuarios para un análisis local, regional, nacional e internacional, que sirva como análisis, explicación y predicción de fenómenos naturales internos y externos de la Tierra y sus efectos sobre los seres vivos que se encuentren enlazados con lo estipulado.

Ahora bien, la metodología se encuentra dividida en tres fases, como primera medida y actividad constante realizada durante la pasantía, se encuentra el *Escalamiento Horario de los Magnetogramas* y las componentes a promediar. Ya en materia, se muestra como tal la *Creación y consolidación de la base de datos de los registros de estaciones magnéticas (1977 – 1997)*, dividida en subetapas correspondientes a la *recopilación y revisión de archivos históricos de los registros magnéticos*; el *diagnóstico de los datos recopilados*; y la *creación y consolidación de la base de datos*. Luego de ello, la *propuesta cartográfica para el replanteo de la Red Geomagnética Nacional*, compuesta por los mapas generados para los análisis y resultados debidos.

Finalmente, se exponen los resultados que constan, como se dijo anteriormente, en la creación de una base de datos de los registros geomagnéticos nacionales de la Red Geomagnética Nacional. En segunda instancia, la propuesta cartográfica para la nueva red geomagnética del país, basada en los registros de las antiguas estaciones de control magnético y el diagnóstico de los mismos.

#### **Palabras Claves:**

Campo Magnético Terrestre - Geomagnetismo - Red Geomagnética Nacional - Base de Datos.

---

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

### 2. INTRODUCCIÓN.

El espacio físico natural, debido a que es un escenario donde se encuentran los objetos, elementos y fenómenos que poseen una ubicación, distribución y relaciones entre sí, es multiescalar; por tanto, el impacto de sus fenómenos se evidencia de lo local a lo global o a nivel global con impacto local. Por esta razón, se dice que el planeta Tierra, es un gran sistema abierto (energía) y cerrado (materia), pues lleva consigo varios conjuntos de elementos que se encuentran en constante interacción y transmiten materia, energía e información.

Como resultado de lo anterior, se hace evidente la generación del CMT, pues según el modelo Estático Terrestre, que explica la estructura interna del planeta en términos de sus componentes, es en el núcleo Interno (sólido) y Externo (líquido) donde se almacenan grandes cantidades de elementos ferromagnéticos como lo son el hierro, el níquel, uranio, entre otros, que emiten la degradación de los mismos creando un campo eléctrico y con el constante movimiento de estos y la rotación del planeta, se crea el campo magnético terrestre, en el que actualmente, su polo sur se ubica en el norte geográfico y el polo norte en el polo sur geográfico. (H. J. Sánchez, s.f.).

Por tanto, el CMT es un fenómeno interpretado mediante vectores de las fuerzas que lo componen, de esta manera, puede ser medido y analizado con base en cada una de sus componentes. Entre dichas componentes, en el presente trabajo se han analizado geoestadísticamente la Inclinación y Declinación Magnética e Intensidad Horizontal de las estaciones de repetición de la antigua Red Geomagnética Nacional entre los años 1977 – 1997; con el fin de predecir los valores de las variables mencionadas en sitios no muestreados. Así mismo, dar a conocer mediante el método de interpolación determinístico *Distancia Inversa Ponderada (IDW)*, un análisis desde la perspectiva cartográfica para observar el contraste de los valores por su localización espacial y la distribución de las estaciones a nivel nacional.

Finalmente, a través de los semivariogramas obtenidos del proceso anterior, dar a conocer el tipo de Estacionariedad que presenta cada componente. Paralelamente, contrastar el comportamiento de dichas variables con el comportamiento de las mismas a nivel global.

---

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El Instituto Geográfico de Colombia Agustín Codazzi, en el año 1953, en la Isla El Santuario en el municipio de Fúquene, Cundinamarca, instauró el observatorio geomagnético nacional, el cual, ha venido registrando diversas mediciones absolutas y relativas del CMT con la finalidad de analizar las distintas componentes de éste, a nivel nacional y simultáneamente otorgar sus datos a la red geomagnética mundial INTERMAGNET, bajo el código internacional FUQ. Del mismo modo, antiguamente mediante la Red Geomagnética Nacional (RGN), se tomaban los registros obtenidos por magnetómetros, inductores terrestres y teodolitos que fueron también analizados para la generación de cartas magnéticas.

En consonancia con lo anterior, se han venido recopilando y almacenando los datos registrados por el observatorio, plasmados en los magnetogramas y las cartas magnéticas junto con los cálculos respectivos para cada una de sus variables; además de los registros de los resultados obtenidos de las variables Inclinación y Declinación Magnética e Intensidad Horizontal de las estaciones de repetición que funcionaron para la antigua Red Geomagnética de Colombia, cronológicamente de forma análoga consignadas en las hojas de campo respectivas, en los archivos generales históricos del Instituto.

Por lo tanto, se requiere mediante una forma ágil, eficaz y confiable, la manipulación de dichos registros, para que sean consultados, procesados, analizados y diagnosticados según sus respectivos resultados y de esta manera determinar y predecir fenómenos naturales de la Tierra, tanto internos como externos; y alteraciones negativas y positivas para el mismo y la vida humana, animal y vegetal.

Es por ende, que la creación de una base de datos, es de suma importancia, puesto que tiene como objetivo, además de la organización y fácil acceso a los registros geomagnéticos, proporcionar dicha información estructurada a la realización de diversos proyectos cuyos temas se relacionen y necesiten de la información consolidada.

Paralelamente, con base en los archivos históricos de las antiguas estaciones geomagnéticas que funcionaron desde los años 1977 hasta 1997, surge la necesidad de una propuesta cartográfica para la reapertura de la red geomagnética nacional, debido a que éstas mediciones obtenidas han servido de soporte para la elaboración de la cartografía y marco geodésico del país (Escuela Latinoamericana De Geomagnetismo, 2004).

---

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

### 4. JUSTIFICACIÓN.

*“Si a algo debemos agradecer nuestra existencia en este planeta como sociedad avanzada es al campo geomagnético”.* (H. J. Sánchez, s.f. Pp:1).

El Instituto Geográfico de Colombia Agustín Codazzi, por medio del observatorio de Fúquene y la RGN, ha venido recopilando en sus archivos, desde el año 1954 hasta la fecha, los datos geomagnéticos adquiridos en las tomas realizadas. Debido a que estos registros se recopilan y almacenan en archivos análogos a través de hojas de campo, se hace evidente la poca y casi nula manipulación de estos, puesto que el acceso a estos es limitada, ya que se deben solicitar diversos permisos para su adquisición temporal; y el análisis de los mismos es tedioso por la cantidad de hojas de almacenamiento. De dicha situación, ante la necesidad del análisis y estudio de los registros junto con la propuesta del replanteo de la RGN, se requiere la consolidación de dichos datos en formato digital, pues es de esta manera la forma más adecuada y confiable para la revisión, depuración, análisis y estudio de los mismos. Además de que en la actualidad, la comunicación e información digital es uno de los medios más utilizados y que está en constante desarrollo por el ser humano.

Es así, como la creación de una base datos de los registros, logra alcanzar lo anteriormente expuesto. Es decir, que los registros de la RGN adquiridos en los años 1977 a 1997, recopilados análogamente, se logren guardar en forma digital; para con ello, procesar y calcular los valores del CMT del país, y así abastecer soluciones a las necesidades demandadas para quienes la soliciten y requieran en distintos proyectos o estudios, ya sea para usuarios internos o externos del Instituto, según el control y disposición que otorguen los encargados o directivos del Instituto.

Bajo el mismo marco de desarrollo, y teniendo una base de datos de los registros del observatorio y las diferentes estaciones que funcionaron durante los años 1977 hasta 1997, se realizó una propuesta cartográfica para la nueva RGN basada en las antiguas estaciones que funcionaron en el país, con el fin de manejar y predecir eventos o fenómenos naturales del CMT por medio de la distribución espacial, y los valores que sean analizados de ésta en el lapso seleccionado. Igualmente, con la cartografía generada para la reapertura de la Red, se analizarán y determinarán las estaciones disponibles según los aspectos mencionados.

---

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

### 5. OBJETIVOS.

#### 5.1. Objetivo General.

Generar una base de datos de los archivos análogos de las estaciones geomagnéticas de Colombia, (1977 – 1997) y representarlas cartográficamente.

#### 5.2. Objetivos Específicos.

1. Recopilar la información almacenada de los registros de las estaciones pertenecientes a la red geomagnética nacional en los archivos históricos del Instituto.
2. Depurar y estandarizar los datos recopilados de las estaciones de repetición (1977 – 1997) para consolidar la base de datos.
3. Representar cartográficamente las variables de las estaciones de la Red Geomagnética Nacional (1977 – 1997).

---

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

### 6. MARCO REFERENCIAL.

#### 6.1. Campo Magnético Terrestre.

##### 6.1.1. *Descubrimiento, Usos Iniciales y Composición del Campo Magnético Terrestre (CMT).*

Para empezar, se dará una explicación general sobre el descubrimiento, significado y comportamiento del campo magnético de la Tierra; luego de ello, se sustentarán mediante leyes y teorías que las describen y confirman.

El estudio del CMT tiene diversos orígenes en cuanto al tiempo en que se ha venido investigando y desarrollando diversas teorías. Según Ruíz, en una de ellas se da a conocer desde hace aproximadamente 4 siglos, en donde se han permitido establecer que su intensidad es posible mediante la interpretación vectorial, considerando al CMT como el de un globo magnetizado según un eje inclinado respecto al eje de rotación unos  $11.5^\circ$ . (Ruíz, sf). Sin embargo, otras investigaciones del CMT, apuntan a que fueron derivadas inicialmente para la navegación; y allí algunos estudios remontan hacia el siglo XII, cuando fue usado por los chinos. (Rosales, Vidal, & Orihuela, 2011) .No obstante, fue hasta el año 1600 que William Gilbert postuló que la Tierra es un imán gigante, describiendo sus experimentos en la obra titulada “De Magnate”. Allí, hizo su comprobación a través de observaciones que realizó a una aguja imantada y roca magnetita, analizando según el ángulo de los dos objetos que la aguja frente a la roca permanecía horizontal al pasar por la zona ecuatorial; por el contrario, en los polos, la aguja tomaba una posición vertical. A dicha observación luego se le acuñaría como la Inclinación magnética terrestre. (López Caeiro, 2012)

Ahora bien, en cuanto a la creación del CMT, según Ubieta, Karla; se origina por las corrientes de convección producidas en el núcleo externo, generando un campo eléctrico. Otro de sus contribuyentes son las diversas fuentes de calor emitidas por la concentración de material que se encuentran en el núcleo interno y la desintegración de elementos radiactivos. Por otra parte, la rotación terrestre y el constante rozamiento y las turbulencias entre el núcleo interno y externo crean el campo magnético y junto con el campo eléctrico, mantienen el ciclo de dicho proceso. (Ubieta, 2010, pp 3.). Ahora bien, los polos del campo magnético no coinciden con los polos geográficos, a ésta diferencia se le llama Declinación y actualmente varía en  $11,5^\circ$  aproximadamente respecto al eje de rotación terrestre. Dichos polos, tienen un cambio espacio temporal constante pero lento, por lo cuál varía en intensidad y orientación, la primera debido a que está disminuyendo progresivamente y la segunda se debe a las migraciones de los polos y con ello, la inversión polar.

En relación a esto, algunos de los elementos existentes en la Tierra que permiten identificar la orientación y la intensidad del CMT, son las rocas; puesto que poseen una magnetización remanente, con ello es posible extraer información sobre el campo magnético que la originó. El estudio de las direcciones de dicha imantación ha dado lugar a el paleomagnetismo, ciencia que ha encontrado aplicación en campos como la tectónica de placas, la datación arqueológica y la investigación de las variaciones temporales del CMT. Continuando con lo anterior, la magnetización de las rocas, al estudiar la intensidad del campo que la produjo, llamado

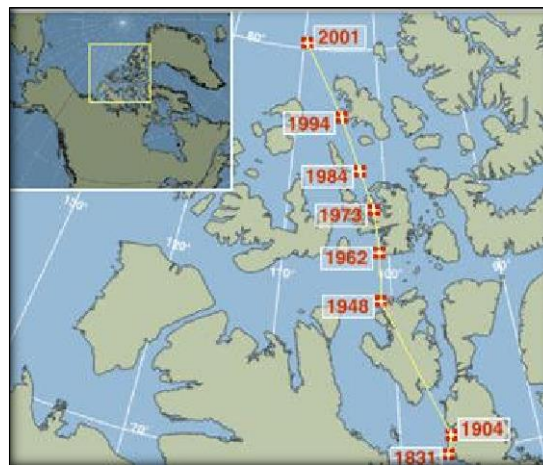
## Facultad de Ciencias Agropecuarias

paleointensidad, posibilita el análisis de las variaciones temporales del CMT o en la datación arqueológica respectiva. (Rathert, 2013).

Es así, como el origen de la magnetización remanente que puede conseguir una roca, se encuentra en distintos procesos físicos, lo cual ha provocado una distinción entre diferentes tipos de remanencias. Uno de los más estudiados es la magnetización remanente térmica (TRM en sus siglas en inglés). Ésta trata de la magnetización remanente que adquiere una roca durante su enfriamiento en presencia de un campo magnético desde temperaturas superiores a la de Curie, es decir, cuando un cuerpo ferromagnético pierde su magnetismo. La TRM es el tipo de imantación que adquieren las rocas magmáticas en el momento de su formación. También son conocidas las magnetizaciones remanentes deposicional (DRM) y post-deposicional (pDRM); pertenecientes a la magnetización propia que adquieren las rocas sedimentarias durante los procesos de sedimentación y compactación de los mismos. (Rathert, 2013).

Debido a que la magnetización remanente de las rocas es paralela al campo magnetizador que la origina, su estudio puede suministrar información directa sobre la variación de la dirección del CMT con el tiempo. (Rathert, 2013). En efecto, según la revista virtual de la NASA, Ciencia Beta, en estudios realizados por científicos se supo que el polo magnético se movía. De esta manera, dichos estudios datan desde 1831, cuando James Ross localizó el polo por primera vez en el ártico canadiense, en la península de Boothia, hacia el norte de Canadá. Después, en el año 1904, Roald Amundsen encontró el polo de nuevo y descubrió que se había movido al menos 50 km desde los análisis de Ross. (NASA, 2003).

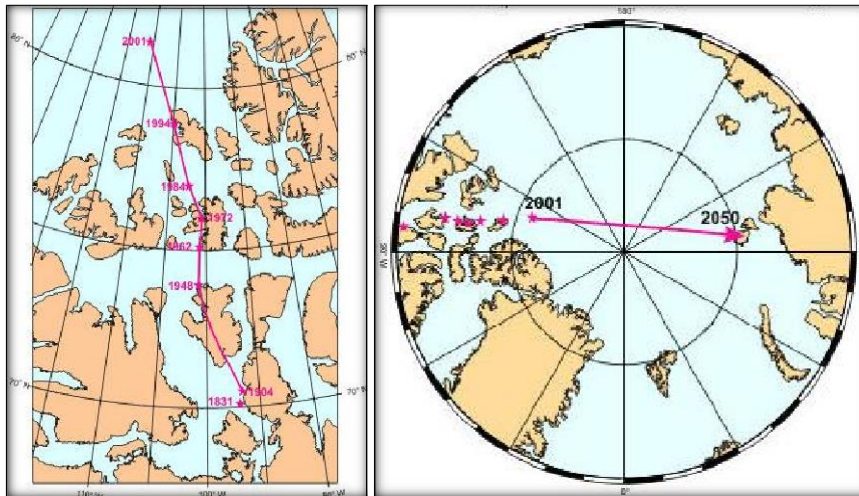
En vista de estos análisis que han sido realizados y estudiados por científicos e investigadores al respecto, se ha llegado a la conclusión, partiendo desde la medida dada por Ross, que el desplazamiento del Polo Norte magnético (PNM), ha sido aproximadamente menor a 15 kilómetros anual hasta los años 90, década en la que dicho desplazamiento se ha venido acelerando de manera considerable. Por lo tanto, se ha inferido que para el año 2050, el PNM, se ubique, probablemente, en Siberia. (Tiempo, 2011).



*Ilustración 1. Desplazamiento Aproximado del Polo Norte Magnético (1831 - 2001).*

Recuperado de: <https://www.tiempo.com/ram/13031/13031/>.

## Facultad de Ciencias Agropecuarias



*Ilustración 2. Desplazamiento y Estimación del PNM para el Año 2050.*

Recuperado de: <https://www.tiempo.com/ram/13031/13031/>.

Considerando que el estudio del campo geomagnético a intrigado al hombre desde tiempo atrás, se recapitulará una breve historia sobre las diversas teorías del CMT; paralelamente, el sistema de observatorios que remonta a comienzos de los años 1800. (IGAC - Subdirección de Cartografía y Geografía, s.f.).

Ahora bien, uno de los principales descubrimientos del campo geomagnético terrestre se le atribuye a William Gilbert, quién sentó las bases de las teorías geomagnéticas, puesto que, a finales del siglo XVI, comprobó mediante experimentos con un imán y una aguja, el propio magnetismo que contiene la Tierra, rechazando así, la idea de que ésta era el centro del universo, debido a que ya se había realizado la comprobación de que el planeta era magnético, con la polaridad en sus polos norte y sur. (Universidad Nacional Experimental Antonio José De Sucre, 2011). Es de esta manera, como se da a conocer la brújula magnética de Gilbert.

Por otro lado, para la comprensión del CMT, su comportamiento, causas y consecuencias, es necesario entender y estudiar el interior del planeta Tierra. Pues es dentro de la estructura terrestre donde se crea y manifiesta dicho campo de energía eléctrica y magnética que simultáneamente recorre y resguarda al planeta, esencialmente, de las tormentas solares, envolviéndolo en el campo magnético generado desde su interior. (Zander, 2016)

En ese sentido, la estructura del planeta consta de las siguientes capas, desde su interior hasta su exterior:

- Núcleo Interno; metal sólido (hierro, níquel, entre otros).
- Núcleo Externo, metal fundido (hierro, níquel).
- Manto.
- Corteza terrestre y oceánica.
- Atmósfera. (Zander, 2016)

---

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

De esta forma, como se dijo anteriormente, los científicos e investigadores se han centrado en el núcleo externo e interno de la Tierra, debido a que están compuestos por metales. Dichos núcleos, poseen un movimiento de rotación sobre su eje, lo que genera, no un campo magnético pero sí la generación de fuertes corrientes eléctricas debido a las elevadas temperaturas de los metales allí presentes; para el núcleo interno en estado sólido y para el núcleo externo en estado líquido. Sin embargo, aun así, no es posible la generación de un campo magnético, dicha observación explicada en la Teoría de la Temperatura de Curie, donde da a conocer que un elemento ferromagnético pierde sus propiedades magnéticas cuando se encuentra a elevadas temperaturas y pasan a convertirse en elementos paramagnéticos, es decir, que tienden a estar atraídos por campos cargados magnéticamente pero no conservan estas propiedades. (Nichese, 2013)

En esa medida, sumado con las corrientes de convección entre los núcleos, las corrientes eléctricas, el calor proveniente de la desintegración de los elementos radioactivos y los materiales, las turbulencias de las rotaciones diferenciales entre el núcleo externo e interno y el manto además de la rotación terrestre, son las generadoras del campo magnético que se retroalimenta con el campo eléctrico ya creado. (Ubieta, 2010)

De lo anterior, surge la hipótesis del dínamo autoinducido, propuesta por el físico americano de origen alemán Walter M. Elsasser y el geofísico británico Edward Bullard, durante la década de 1900. Esta hipótesis, actualmente teoría y la más aceptada para comprobar el origen del CMT, va acompañada de diversas leyes propuestas por diferentes autores sustentando que las corrientes producidas en el núcleo exterior tienen el efecto de una espiral cerrada, este efecto se le atribuye a la Ley de Ámpere. Luego de ello, según la Ley de Faraday, el campo magnético presenta variaciones al estar en constante movimiento. Finalmente, se genera el campo electromagnético y así la Fuerza de Lorenz, dichas fuerzas dan origen a una convección en la superficie del metal ocasionando un mejor transporte de los iones en la solución. (Ochoa, y otros, 2015).

Es de destacar, que dicha teoría geofísica explica el origen del campo magnético principal de la Tierra como una dínamo auto-sustentado. Como se pudo comprender en el párrafo anterior, en este mecanismo dínamo, el movimiento fluido en el núcleo exterior de la Tierra mueve el material conductor, es decir, el hierro líquido, a través de un campo magnético débil, que ya existe, y genera una corriente eléctrica que hace referencia al calor del decaimiento radiactivo en el núcleo que induce el movimiento convectivo. La corriente eléctrica existente, origina un campo magnético que también interactúa con el movimiento del fluido para crear un campo magnético secundario. De esta manera, ambos campos contienen más intensidad que el original y reposan a lo largo del eje de rotación de la Tierra. (Soberanes, 2004).

Adicional a ello, en vista de que la Tierra actúa como un imán gigantesco con sus respectivos polos magnéticos norte y sur, otra Ley que rige y sustenta las fuerzas generadas en los polos magnéticos es la ley de Coulomb, cuando no se conocía aún la relación en la que esas fuerzas de atracción y repulsión variaban. Entonces fue Charles Coulomb (1736 - 1806), un físico francés quien, tras realizar un método de medida de fuerzas sensible a pequeñas magnitudes, lo aplicó al estudio de las interacciones entre esferas dotadas de carga eléctrica. Fue así, como en el resultado final obtenido de sus experimentos y observaciones, describe las características

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

de las fuerzas de interacción entre cuerpos cargados y dan sentido a las fuerzas ejercidas en los polos norte y sur magnéticos. (Fuentes, 2009).

Concluyendo, el campo magnético terrestre tiene una variabilidad, en dirección e intensidad, a una velocidad muy lenta con el pasar de los años, a este evento se le conoce con el nombre de variación secular. La consecuencia de este fenómeno, es el cambio de posición de los polos magnéticos. “La radiación solar influye en el campo magnético terrestre provocando la variación diurna y las tormentas magnéticas” (Armada Española, sf).

### 6.1.2. Características del Campo Magnético terrestre.

Según el documento “Observatorio Geomagnético de Fúquene” del GIT Geodesia – Subdirección de Geografía y Cartografía del IGAC, se considera que el estudio del CMT debe proporcionar los datos sobre aspectos de la radiación solar fotónica, contribuir al resultado de los eventos solares y servir de base a los relevamientos magnéticos mundial. Además, producir los horarios individuales de los elementos de este en los respectivos magnetogramas con sus resultados de forma detallada para cada toma realizada, entre otras actividades. (IGAC - Subdirección de Cartografía y Geografía, s.f, pp 7)

Para responder a lo anterior, se deben conocer y analizar cada una de las mediciones del CMT, relativas y absolutas, estas son:

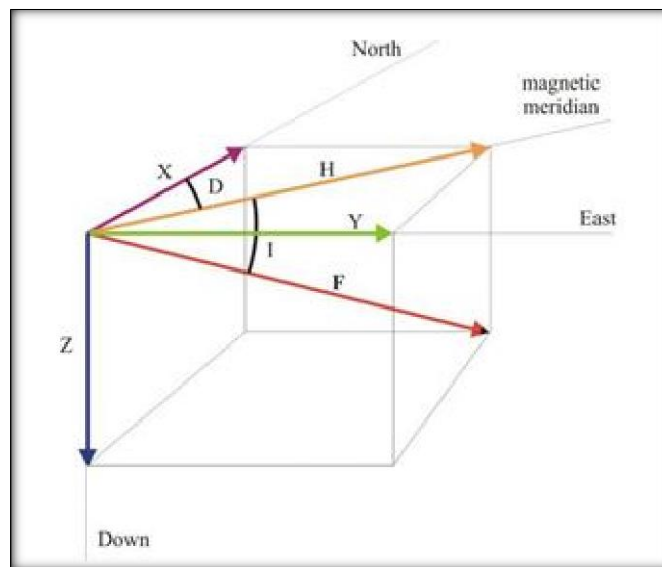


Ilustración 3. Elementos del Campo Magnético Terrestre.

Los elementos o componentes son:

- Declinación Magnética (D): ángulo formado por el meridiano geográfico y el meridiano magnético. Es decir, es la diferencia angular entre estos dos y su unidad de medida es el grado.

---

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

- **Inclinación Magnética (I):** ángulo que forman las líneas del CMT con el plano horizontal en un punto dado de la superficie terrestre.
- **Intensidad Horizontal (H):** se refiere a la proyección de la intensidad total (F), sobre el plano horizontal.
- **Intensidad Total (F):** es el valor de la intensidad del CMT en la dirección de sus líneas de fuerza, tomada como magnitud vectorial.
- **Intensidad Vertical (Z):** proyección sobre la vertical del lugar del vector F. es considerada positiva cuando se dirige hacia el centro de la Tierra.

Para poder conocer los elementos y las características es necesario realizar un análisis espacio – temporal, estos estudios se obtienen a través de mediciones en Observatorios Geomagnéticos, relevamientos terrestres, aéreos, marítimos y satelitales. Dichos observatorios se clasifican en:

- **Observatorios Permanentes:** se ubican en un punto fijo de la superficie terrestre y toman datos de forma continua para que los datos adquiridos tengan más precisión.
- **Observatorios Semipermanentes:** su tiempo de monitoreo y captura de datos, se da en intervalos de 11 y 22 años con el fin de abarcar el ciclo solar.
- **Estaciones de Repetición:** se usan en intervalos de tiempo muy cortos con el objetivo de estudiar las variaciones temporales del CMT. Dichos intervalos pueden ser menos de un año.

### ***6.1.3. Red de Observatorios Geomagnéticos Mundial.***

Alexander Von Humboldt en el año 1832, luego de haber realizado diversos estudios al CMT, le propone al matemático, físico y astrónomo Carl Friedrich Gauss, construir una red mundial para la observación del magnetismo terrestre. De esta manera, se construyen observatorios en lugares como Escandinavia, Siberia y Tasmania. En cuanto al cálculo de las variaciones del campo magnético, Gauss elabora el magnetógrafo y con diferentes resultados de estos y añadiendo más investigaciones del CMT, Gauss en el año 1838 logró demostrar que la mayoría del campo magnético provenía del interior de la Tierra. De estas observaciones, surgió la Red de Observatorios geomagnéticos mundial en los años 1986 y 1987, teniendo como objetivos principales el establecimiento y mantenimiento de observatorios en áreas remotas donde faltara apoyo local y alentar el establecimiento y mantenimiento de observatorios digitales en los países en desarrollo. (Intermagnet, 2017)

Es así como Colombia, en unión a las observaciones de variabilidad del CMT, instauró el Observatorio Geomagnético de Fúquene, con la intención de proporcionar diversos datos tanto relativos como absolutos a la red internacional INTERMAGNET<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Red global de observatorios que monitorean el campo magnético de la Tierra.

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

Conforme a lo anterior, se dio apertura a dicho observatorio en el año 1954 con código internacional FUQ, que ha funcionado de forma permanente hasta el presente, realizando mediciones de declinación (D), inclinación (I), y la componente horizontal (H) del campo total, que determinan las variaciones a través de los registros gráficos que son obtenidos por los magnetogramas revelados diariamente y el escalamiento de los mismos. (IGAC - Subdirección de Cartografía y Geografía, s.f.).

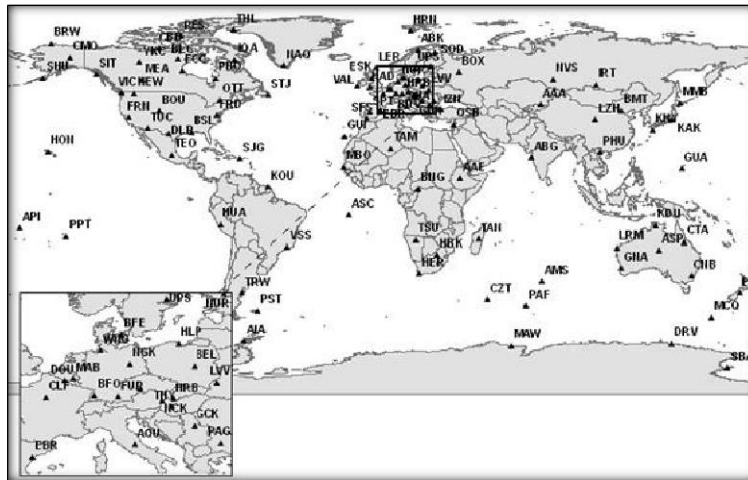


Ilustración 4. Red de Observatorios Geomagnético Mundial para el año 2010.  
Recuperado de: <http://www.armada.mde.es>

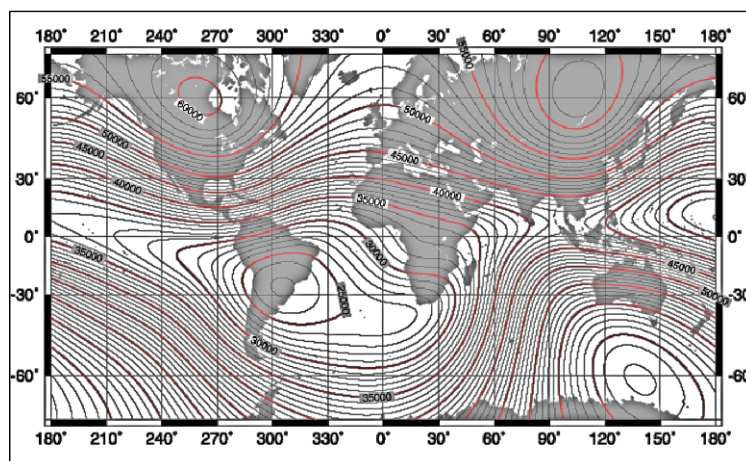


Ilustración 5. Fuerza del Campo Total - Componente (F), para el año 2000.  
Recuperado de: <http://astro.u-szeged.hu/szakdolg/vegiandras/felhasznalas/magnes.html>

### 6.2. Bases de Datos.

Por otro lado, en cuanto a la organización de los datos análogos que tiene como finalidad su recopilación digital, se realizará bajo un sistema de bases de datos, pues es básicamente un sistema computarizado para llevar registros. Es así, como se puede considerar a la misma, como una especie de archivador electrónico; en otras palabras, se puede decir que es un contenedor

---

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

de distintas colecciones de archivos de datos computarizados. De ahí, que los usuarios del sistema tienen la posibilidad de realizar múltiples operaciones sobre dichos archivos. Entre éstas se encuentran: agregar nuevos archivos vacíos a la base de datos; insertar datos dentro de los archivos existentes; recuperar, modificar y eliminar datos. (Date 2001, Pp: 24).

Habría que decir también, que se asimila a las bases de datos con un conjunto de datos comunes almacenados sin redundancia para ser útiles en diferentes aplicaciones. (Universidad de Granada, s.f.) A diferencia de la información archivada análogamente, éstas cuentan con funciones ilimitadas como:

- Modificar ágilmente la estructura de un archivo.
- Consultar o actualizar un archivo de forma flexible.
- Proteger algunos datos de usuarios que no estén autorizados.
- Permitir el acceso a los datos desde distintas aplicaciones. (Date, 2001)

En relación con las operaciones disponibles que se encuentran dentro de las bases de datos existen las relacionadas con las estructuras de datos (esquema de la base de datos), que hace referencia al *Lenguaje de definición*, es decir, en el que se puede describir y dar nombre a los datos que se requieren para cada aplicación, así mismo, a las reglas que garantizan su integridad y seguridad. Por otro lado, las relacionadas con los datos almacenados en la base de datos, éstas corresponden al *Lenguaje de Manipulación* como son consultar, añadir, modificar o borrar datos que estén contenidos en ésta. (Universidad de Granada, s.f.)

El siguiente punto da a conocer ciertas ventajas que manifiestan algunas de las razones óptimas que genera la manipulación de bases de datos en cualquier circunstancia que la requiera:

- Compactación: pues no hay necesidad de archivos en papel voluminosos.
- Velocidad: tanto en el software como en el hardware, se pueden recuperar y actualizar los datos más rápidamente que de forma análoga. Para resaltar, las consultas específicas sin mucha elaboración son respondidas con rapidez, sin necesidad de búsquedas manuales o visuales que llevan tiempo.
- Menos trabajo laborioso: se puede eliminar gran parte del trabajo de llevar los archivos a mano.
- Actualidad: en el momento en que sea solicitada o necesitada, se tiene a nuestra disposición la información precisa y actualizada.

Desde luego, los beneficios anteriores se aplican aún con más fuerza en un entorno multiusuario, donde es probable que la base de datos sea mucho más amplia y compleja que en el caso de contar con un solo usuario. No obstante, en el entorno multiusuario hay una ventaja adicional, que es cuando el sistema de base de datos ofrece un control mayor y centralizado. (Date 2001; Pp: 37 - 38).

Hay que mencionar además, que la estructura de la base de datos que está basada en modelo de datos pertinente, según el caso; pues dicho modelo es el “conjunto de Conceptos y Reglas que nos llevarán a poder reflejar la estructura de datos y operaciones aplicables sobre ellos de

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

un sistema informático” (Universidad de Alicante, s.f.) Es necesario recalcar que el modelo de datos empleado en el presente proyecto es el Relacional.

En otras palabras, toda base de datos está formada por uno o varios bloques de información llamados Tablas que normalmente tendrán alguna característica en común. Dichas Tablas son un conjunto de información del mismo tipo y cuentan con las siguientes características:

- Un *Registro*, que es la unidad principal de información de la tabla. Cada registro está constituido por uno o más elementos llamados campos.
- Un *Campo* es cada una de las informaciones que interesa almacenar de cada registro, y es por tanto la unidad principal de información del registro.

	DNI	Apellidos	Nombre	Dirección	CPosta	Provincia	Teléfono
▶	21501300A	Pérez Torregrosa	Javier	C/. Mayor, 5	03005	Alicante	965229236
	21432501T	Rodríguez Esteban	Luis	Avda. América, 3	03008	Alicante	965122946
	21405500D	Llum Piqueras	Ana	C/. Ochando, 15	03012	Alicante	965220277
	2134554H	Zabala Puig	Eva	C/. Ríos, 56	03003	Alicante	96515545
	21304567T	Rodríguez Ybarra	Esther	Avda. Aguilera, 5	03007	Alicante	965923342

*Ilustración 6. Representación de Campo, Unidad Mínima de Información de una Base de Datos.*

Recuperado de: <https://si.ua.es/es/documentos/documentacion/office/access/teoria-de-bases-de-datos.pdf>.  
(Universidad de Alicante, s.f.)

	DNI	Apellidos	Nombre	Dirección	CPosta	Provincia	Teléfono
▶	21501300A	Pérez Torregrosa	Javier	C/. Mayor, 5	03005	Alicante	965229236
	21432501T	Rodríguez Esteban	Luis	Avda. América, 3	03008	Alicante	965122946
	21405500D	Llum Piqueras	Ana	C/. Ochando, 15	03012	Alicante	965220277
	2134554H	Zabala Puig	Eva	C/. Ríos, 56	03003	Alicante	96515545
	21304567T	Rodríguez Ybarra	Esther	Avda. Aguilera, 5	03007	Alicante	965923342

*Ilustración 7. Representación de los Registros de una Base de Datos.*

Recuperado de: <https://si.ua.es/es/documentos/documentacion/office/access/teoria-de-bases-de-datos.pdf>.  
(Universidad de Alicante, s.f.)

---

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

### 7. METODOLOGÍA, RECURSOS FÍSICOS Y TALENTO HUMANO.

#### 7.1. Metodología.

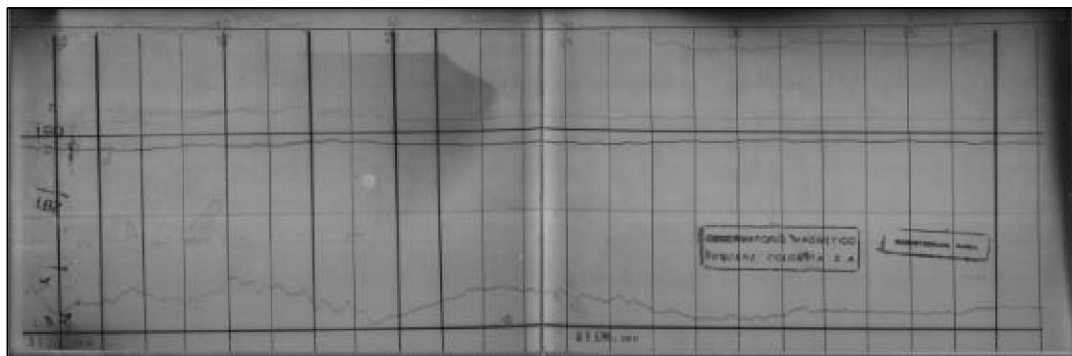
La metodología planteada para el desarrollo del proyecto propuesto en la pasantía se encuentra dividida en 3 etapas. La primera de ella, correspondiente a los escalamientos de los magnetogramas de distintos meses del año 2017 (mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre); la segunda etapa, pertenece al proceso llevado a cabo para la creación y consolidación de la base de datos de los registros del observatorio de Fúquene y las estaciones de repetición magnéticas que estuvieron vigentes en los años 1977 a 1997. Finalmente, y con base en el paso anterior, la generación de la propuesta cartográfica para la reapertura de la red geomagnética nacional, tomando como parámetros los criterios principales sobre materialización y elementos u objetos a tener en cuenta para la toma de las pruebas de sitio que se deben realizar y la obtención de los datos geomagnéticos, dados por el Instituto.

##### *7.1.1. Escalamiento Horario De Los Magnetogramas.*

Antes de iniciar a describir el método y la técnica empleada para el escalamiento, conviene dejar claro que un magnetograma es “el registro obtenido de un magnetógrafo o variómetro que determina las variaciones del CMT, con marcas de tiempo y datos adicionales que permiten la determinación en cualquier momento de valores absolutos de sus componentes registrados en papel fotográfico”. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi s.f. Pp: 12); en este caso, por el Observatorio Geomagnético de Fúquene, única estación permanente en Colombia.

De esta manera, dichos datos son revelados cada veinticuatro horas con el mismo total de horas representadas por casillas verticales; es así como el escalamiento horario, se ejecuta mediante el método de medición análoga y para la técnica se emplea un escalímetro, cuyas unidades se miden en milímetros. Por consiguiente, se obtiene el valor aproximado del promedio de los valores de cada una de las componentes que lo integran (Componente Horizontal (H), Componente Vertical (Z), Declinación magnética (D)).

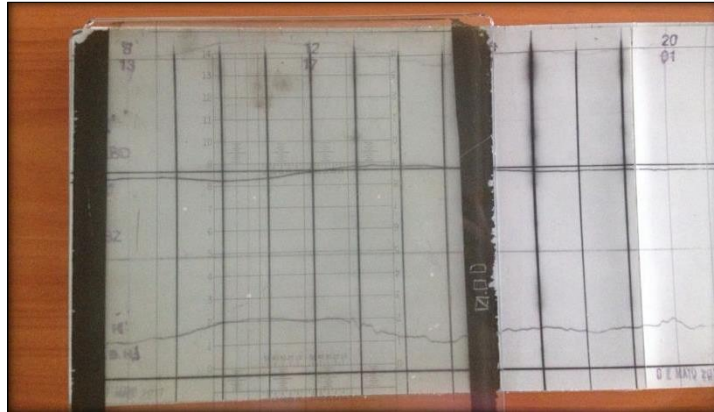
Cabe señalar que, en cada uno de los magnetogramas, se encuentran las 3 componentes y éstas deben ser medidas y registradas tanto en formato digital como análogo.



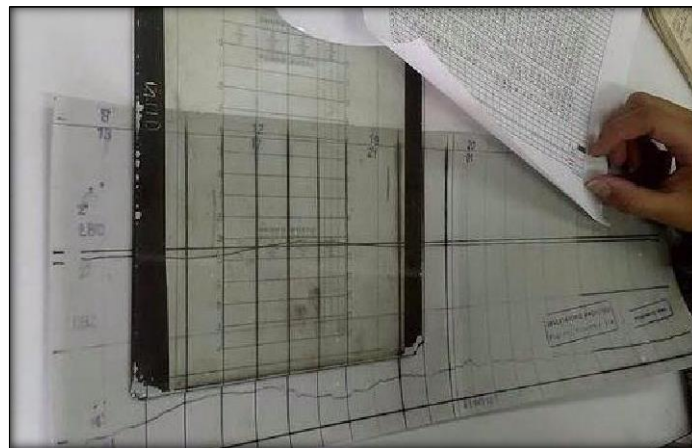
*Fotografía 1. Magnetograma - Observatorio de Fúquene.*

---

## Facultad de Ciencias Agropecuarias



*Fotografía 2. Escalímetro para Medición de Datos Absolutos Magnéticos.*



*Fotografía 3. Escalamiento de Magnetogramas.*

Las componentes que aparecen allí, observadas desde la inferior hasta la superior, son H, Z y D que se atenúan por una línea horizontal debajo de cada componente, éstas hacen referencia a las líneas base de cada una de ellas. Por otro lado, se observa que sobresale el comportamiento de H, debido a su variabilidad durante la captura de los datos en comparación con Z y D. No obstante, es D la componente cuyo comportamiento es el más constante.

Seguido de ello, se dispone a realizar el scanner de cada uno de los registros en intervalos de tiempo mensual, para así, preservar la información de forma consecutiva.

### ***7.1.2. Creación y consolidación de la base de datos de los registros de estaciones magnéticas y observatorio de Fúquene. (1977 – 1997).***

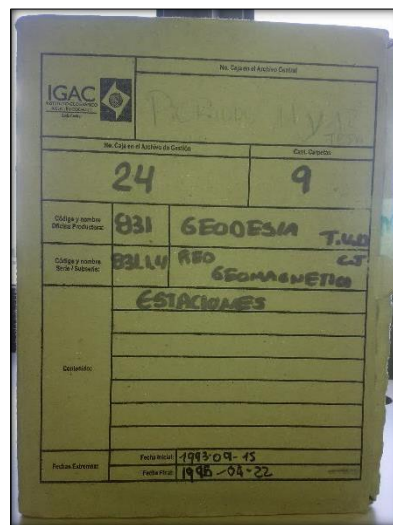
El proceso de consolidación de la base de datos fue efectuado de la siguiente manera:

*7.1.2.1. Recopilación y revisión de archivos históricos de los registros magnéticos:* el tipo de método utilizado en esta etapa fue de tipo exploratorio, debido a que los datos almacenados han sido poco explorados y trabajados. La adquisición de los archivos necesarios fue solicitada

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

previamente por parte de la líder de Geomagnetismo, GIT Geodesia, Subdirección de Geografía y Cartografía, en la cual, dicha solicitud hizo referencia a los registros pertenecientes a la Red Geomagnética Nacional en los años 1977 – 1997.

Los datos solicitados se encontraron en 49 carpetas distribuidas en 7 de las 15 cajas otorgadas por el Almacén Histórico del Instituto, y dentro de éstas se halló la información perteneciente a las hojas de campo con las pruebas de sitio y las tomas de las componentes magnéticas en las estaciones de repetición localizadas a nivel nacional, datos que fueron tomados principalmente en intervalos de cuatro años para la mayoría de estaciones.



Fotografía 4. Caja en el Archivo de Gestión - Archivo Histórico IGAC.

La anterior ilustración corresponde a la portada de una de las cajas que contiene los registros de las hojas de campo de la Red Geomagnética de Colombia. Por tanto, la información a resaltar allí es:

- N° de Caja en el Archivo de Gestión: 24.
- Cantidad de Carpetas: 9.
- Oficina Productora: Geodesia.
- Serie/Subserie: Red Geomagnética.
- Contenido: Estaciones.
- Fechas Extremas: 1993 – 1995.

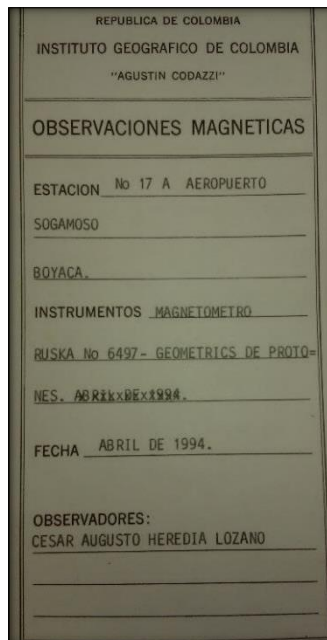
Ciertamente, con la información anterior, es preciso acercarse al dato que sea requerido de forma ágil y puntual. Gracias a ello, fue identificable la cantidad de cajas necesarias en la recolección de información solicitada.

*7.1.2.2. Diagnóstico de los datos recopilados:* a medida que se extrajeron los datos de estudio requeridos de los archivos históricos para su transformación de análogo a digital y con ello la consolidación de la base de datos, se hizo un previo acercamiento a éste proceso, en el cuál,

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

mediante el programa Word Online de Drive Google, se registraron cronológicamente, según el consecutivo ascendente de carpetas y cajas de los documentos, cada una de las tomas geomagnéticas encontradas por estación, en las que se tuvieron en cuenta para este proceso el año de captura de datos; número de la estación de repetición; ubicación de la misma (departamento, municipio o ciudad, según correspondiera); instrumentos y equipos utilizados y coordenadas geográficas. Seguido de esto, se consignaron los resultados obtenidos de las pruebas de sitio y el valor para cada una de las tres componentes respecto a las estaciones y las tomas que se les hayan realizado durante el lapso en estudio.

Durante esta etapa, se pudieron determinar las zonas con mayor número de estaciones y mayor cantidad de datos tomados. Igualmente, las zonas que carecen de información respecto a cualquier dato mencionado anteriormente.

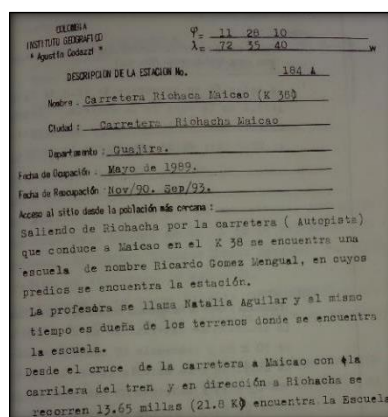


REPUBLICA DE COLOMBIA  
INSTITUTO GEOGRAFICO DE COLOMBIA  
"AGUSTIN CODAZZI"

OBSERVACIONES MAGNETICAS

ESTACION No 17 A AEROPUERTO  
SOGAMOSO  
BOYACA.  
INSTRUMENTOS MAGNETOMETRO  
RUSKA No 6497- GEOMETRICS DE PROTO-  
NES. ABRIXBEX1994.  
FECHA ABRIL DE 1994.  
OBSERVADORES:  
CESAR AUGUSTO HEREDIA LOZANO

Fotografía 5. Presentación Estación Geomagnética.



COLOMBIA  
INSTITUTO GEOGRAFICO  
"Agustin Codazzi"

DESCRIPCION DE LA ESTACION No. 164 A

Nombre: Carretera Richacha Maicao (K 30)

Ciudad: Carretera Richacha Maicao

Departamento: Cesar

Fecha de ocupación: Mayo de 1989.

Fecha de Rescisión: Nov/90. Sep/93.

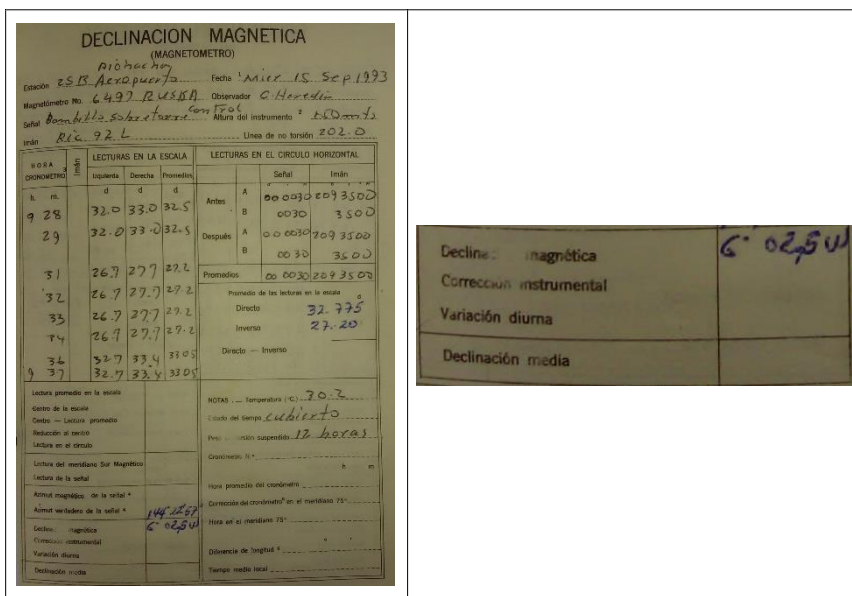
Acceso al sitio desde la población más cercana:

Saliendo de Richacha por la carretera (Autopista) que conduce a Maicao en el K 38 se encuentra una escuela de nombre Ricardo Gomez Mengual, en cuyos predios se encuentra la estación.  
La profesora se llama Natalia Aguilar y al mismo tiempo es dueña de los terrenos donde se encuentra la escuela.  
Desde el cruce de la carretera a Maicao con la carrilera del tren y en dirección a Richacha se recorren 13,65 millas (21.8 K) encuentra la Escuela.

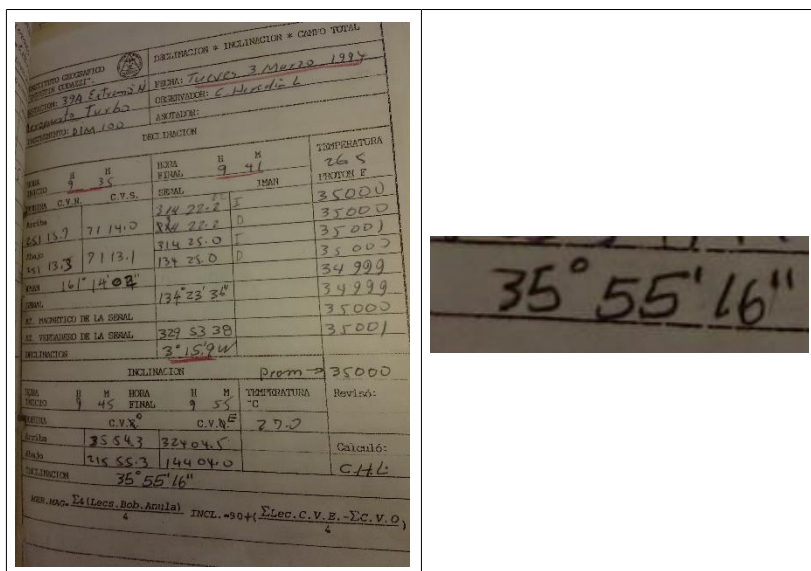
Fotografía 6. Acercamiento a la Información Coleccionada – Datos de Campo.

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**

Las siguientes ilustraciones pertenecen al registro de trabajo de campo realizado en el año 1993, junto con los valores obtenidos por los distintos equipos utilizados, para cada una de tres las componentes tomadas en las estaciones de repetición de la Red Geomagnética Nacional. Por consiguiente, corresponde a la Declinación e Inclinación Magnética y la Intensidad Horizontal.



Fotografía 7. Registro de Declinación Magnética.



Fotografía 8. Registro de Inclinación Magnética.

Facultad de Ciencias Agropecuarias

LECTURAS DEL CIRCULO									
I. Distancia r = 30 cms.					II. Distancia r = 40 cms.				
Extremo Norte	A	B	Promedio		A	B	Promedio		
E	332 33 00	33 00	33 00		326 56 30	56 30	56 30		
W	313 14 30	14 30	14 30		318 51 00	51 00	51 00		
Zu	19° 18' 30"				08° 05' 30"				
W	313 22 30	22 30	22 30		318 54 00	54 00	54 00		
E	332 27 00	27 00	27 00		326 55 30	55 30	55 30		
Zu	19° 04' 30"				08° 01' 30"				
$\text{Formulas: } \frac{H}{M} = \frac{2}{1 + \frac{r}{M} + \frac{r^2}{M^2}} \left( \frac{1 - 2H}{1 + \frac{r}{M}} \right) \left( \frac{1 - 2H}{1 + \frac{r}{M}} \right) \quad \frac{1}{\sin u} = \frac{1}{\sin u} \quad \text{Log. H} = \frac{1}{2} (\text{Log. } \frac{H}{M} + \text{Log. H M})$									
Promedio	19 11 30	08 03 30			Log. C	5.86914	5.49427		
u	09 35 25	04 01 45			Log. sen u	9.22193	8.84673		
Hora Cronometro	h.	m.	s.		Log. $\frac{H}{M}$	6.64721	6.64734		
Temperatura t					Log. $\frac{H}{M}$	2.29515	2.29515		
Inicio	09	18.0	22.0		Log. H	9.47118	9.47134		
Final	09	28.0	23.7		H	29.592	29.603		
Promedio	09	23.0	23.3		H Promedio	29.598			
Corrección +	0.3	24.9			Log. M	2.82397	2.82381		
Corrección -	0.7	23.3	26.5		Reduc. a 20°	+ 38	+ 38		
Promedio	25.0				Log. M <sub>u</sub>	2.82435	2.82419		
COMPARACION	24.23				Log. M <sub>u</sub> Promedio	2.82427			

Fotografía 9. Registro de Intensidad Horizontal.

7.1.2.3. Creación y consolidación de la base de datos: según los objetivos presentados y siendo éste uno de los más importantes y con mayor peso frente a la culminación de la pasantía, la presente etapa tuvo diversas transformaciones, modificaciones, sustituciones y eliminaciones que dependieron tanto de la depuración de los datos, falta de información en los mismos y estandarización de la información; como de la estructura más acorde para la manipulación y búsqueda de éstos; teniendo en cuenta su uso frente a usuarios internos y externos del Instituto, para que fuese lo más sencilla, explícita, ágil y cómoda en cuanto a manipulación e interpretación.

En efecto, se determinaron los campos para la fila de encabezados que fueron elegidos, inicialmente, durante el proceso del primer acercamiento de la información de análogo a digital, llevada a cabo por Word Online, como se expuso en el paso anterior. Seguido de esto, a través de una segunda revisión de carpetas y con el fin de conocer los datos geomagnéticos allí contenidos, fue necesario agregar nuevos encabezados a la estructura de la base de datos, y es así, como se define el modelo más acorde para la misma, con la identificación de los datos claves necesarios para el producto final.

Posteriormente, se hizo necesario añadir dos nuevos campos, respectivos a la ubicación de la caja y la carpeta en el archivo histórico del Instituto, con el objetivo de que, si surge alguna duda sobre los datos, verificación o simplemente como acción de administración y mantenimiento, sea de una forma fácil y rápida.

Ahora bien, en resumen de lo anterior, los campos que componen la fila de encabezados son 16. A continuación se dará una breve explicación sobre cada uno de ellos:

<b>ID</b>	Corresponde al total de estaciones y están enumeradas en orden ascendente.
-----------	--

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**

<b>Número de Caja</b>	Ubicación dentro del archivo histórico IGAC.
<b>Número de Carpeta</b>	Ubicación dentro del archivo histórico IGAC.
<b>ID Estación</b>	Nombre reconocido a nivel nacional de cada una de las estaciones (Llave Primaria).
<b>Departamento</b>	Parámetro de Ubicación geográfica a Nivel Nacional.
<b>Ciudad-Municipio</b>	Parámetro de Ubicación geográfica a Nivel Departamental.
<b>Latitud</b>	Distancia angular que hay desde un punto de la superficie de la Tierra hasta el paralelo del Ecuador; se mide en grados, minutos y segundos y va de 0° a 90° (N – S).
<b>Longitud</b>	Distancia angular que hay desde un punto de la superficie de la Tierra hasta el meridiano de Greenwich; se mide en grados, minutos y segundos y va de 0° a 180°. (E – O).
<b>Estación</b>	Nombre correspondiente al lugar de ubicación.
<b>Instrumentos</b>	Elemento utilizado para la medición de las componentes.
<b>Año</b>	Fecha de Toma de datos.
<b>Mes</b>	Fecha de Toma de datos.
<b>Día</b>	Fecha de Toma de datos.
<b>Declinación Mag (D)</b>	Ángulo formado por el meridiano geográfico y el meridiano magnético.
<b>Inclinación Mag (I)</b>	Ángulo formado por las líneas del CMT con el plano horizontal en un punto dado de la superficie.
<b>Intensidad Horizontal (H)</b>	Proyección de la intensidad magnética total (F) sobre el plano horizontal.

*Tabla 1. Estructura de la Base de Datos de la RGN (1977 -1997).*

Luego de haber definido los campos mencionados, se procedió a la digitación de los datos registrados en las hojas de campo. Para este proceso se tuvieron en cuenta ciertos criterios en cuanto al estilo de la letra y espacios faltantes en los registros, con el propósito de estandarizar la información. Por lo cual, las características de la base de datos respecto a lo ya resaltado son:

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**

- Tipo de Fuente: Calibri.
- Tamaño de Fuente: 11.
- Letra: mayúscula sostenida.
- Fila de encabezados: letra negrita.
- Palabras: sin Tildes.
- Espacios reemplazados por guion bajo.
- En los campos vacíos o faltantes, se denotó como “SIN\_INFORMACION”.

Para concluir este proceso, es pertinente aclarar que la información allí consignada, tuvo varias etapas de control de calidad con el fin de que los datos fueran verídicos y correspondieran tanto con las estaciones como con el tiempo de captura de los mismos.

**7.1.3. Base de Datos Espacial.**

El programa elegido para la creación de la base de datos espacial, fue ArcGIS 10.3. Allí, se creó una Personal Geodatabase (P – GDB) denominada “Red Geomagnética Nacional” a la que se le agregó un Feature Dataset o Dataset de Entidades que lleva el mismo nombre que la P - GDB, con el fin de integrar todos los registros de las estaciones espacialmente, bajo el sistema de referencia geográfico WGS 1984 y Datum D\_WGS\_1984.

Para dicha integración, se requería importar el Feature Class o Clases de Entidad dentro del Feature Dataset; por lo cual, se hizo lo siguiente:

Habiendo realizado la base de datos en Microsoft Excel 2013, solicitada por los directivos del GIT Geodesia del IGAC, se prosiguió a crear una base de datos espacial, con la misma. Para este proceso, fueron transformadas las coordenadas de cada registro de las Estaciones de Repetición, a números decimales, debido a que se encontraban en sistema sexagesimal.

ID	MERODECAMERODECARPEDESTACION	DEPARTAMENTO	CUIDAD	MUNICIPIO	UTMUD	LONGITUD	ESTACION	INSTRUMENTOS	AÑO	MES	DIACLIAMACION	INCLINACION	MESIDAD	HORIZ	
1	19	4	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	4.7186867	-74.0868667	FLEDAYES	MAGNETOMETRO_RUSKA_N_6497	1981	FEBRERO	18	0152,250	3134'50"	28958
1	19	4	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	4.7186867	-74.0868667	FLEDAYES	INDUCTOR_TERRRESTRE_RUSKA_N_3048	1981	FEBRERO	18	0152,250	3135'00"	28959
1	19	4	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	4.7186867	-74.0868667	FLEDAYES	SIN_INFORMACION	1981	FEBRERO	19	0148,410	3133'85"	28958
1	19	4	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	4.7186867	-74.0868667	FLEDAYES	SIN_INFORMACION	1981	FEBRERO	19	0151,030	3133'30"	28958
1	19	4	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	4.7186867	-74.0868667	FLEDAYES	SIN_INFORMACION	1981	FEBRERO	19	0143,870	3133'00"	28958
1	19	4	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	4.7186867	-74.0868667	FLEDAYES	SIN_INFORMACION	1981	FEBRERO	19	0150,530	3132'30"	28978
1	18	7	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	4.7186867	-74.0868667	FLEDAYES	SIN_INFORMACION	1978	MAYO	11	SIN_INFORMACION	SIN_INFORMACION	28942
1	18	7	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	4.7186867	-74.0868667	FLEDAYES	SIN_INFORMACION	1978	MAYO	12	0127,300	SIN_INFORMACION	28951
1	18	7	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	4.7186867	-74.0868667	FLEDAYES	SIN_INFORMACION	1978	MAYO	11	0129,800	SIN_INFORMACION	28954
1	18	7	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	4.7186867	-74.0868667	FLEDAYES	SIN_INFORMACION	1978	MAYO	11	0126,800	SIN_INFORMACION	28964
1	18	7	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	4.7186867	-74.0868667	FLEDAYES	SIN_INFORMACION	1978	MAYO	11	0128,200	SIN_INFORMACION	28972
1	18	7	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	4.7186867	-74.0868667	FLEDAYES	MAGNETOMETRO_RUSKA_N_6497	1978	MAYO	10	0125,500	SIN_INFORMACION	28976
1	18	7	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	4.7186867	-74.0868667	FLEDAYES	SIN_INFORMACION	1978	MAYO	10	0125,700	SIN_INFORMACION	28979
1	18	7	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	4.7186867	-74.0868667	FLEDAYES	SIN_INFORMACION	1978	MAYO	12	0129,300	SIN_INFORMACION	28979
2	20	1	4	ANTIOQUIA	MEDELLIN	6.2239556	-75.9550000	FINCA_EL_ROSAL	INDUCTOR_TERRRESTRE_RUSKA_N_3048	1980	EPTIEMBRE	17	0181,910	3432'45"	29033
2	20	1	4	ANTIOQUIA	MEDELLIN	6.2239556	-75.9550000	FINCA_EL_ROSAL	MAGNETOMETRO_RUSKA_N_6497	1980	EPTIEMBRE	17	0181,970	3432'38"	29110
2	20	1	4	ANTIOQUIA	MEDELLIN	6.2239556	-75.9550000	FINCA_EL_ROSAL	SIN_INFORMACION	1980	EPTIEMBRE	18	0112,950	3430'05"	29118
2	20	1	4	ANTIOQUIA	MEDELLIN	6.2239556	-75.9550000	FINCA_EL_ROSAL	SIN_INFORMACION	1980	EPTIEMBRE	19	0112,970	3430'00"	29114
2	20	1	4	ANTIOQUIA	MEDELLIN	6.2239556	-75.9550000	FINCA_EL_ROSAL	SIN_INFORMACION	1980	EPTIEMBRE	19	0118,880	3358'30"	29150
2	20	1	4	ANTIOQUIA	MEDELLIN	6.2239556	-75.9550000	FINCA_EL_ROSAL	SIN_INFORMACION	1980	EPTIEMBRE	19	0119,010	3358'50"	29162
3	20	2	5	BOLIVAR	CARTAGENA	10.4317778	-75.5375000	FUERTE_DE_LA_TENAZA	SIN_INFORMACION	1980	OCTUBRE	25	0195,300	3952'22"	29197
3	20	2	5	BOLIVAR	CARTAGENA	10.4317778	-75.5375000	FUERTE_DE_LA_TENAZA	SIN_INFORMACION	1980	OCTUBRE	25	0195,710	3953'32"	29194
3	20	2	5	BOLIVAR	CARTAGENA	10.4317778	-75.5375000	FUERTE_DE_LA_TENAZA	SIN_INFORMACION	1980	OCTUBRE	25	0193,220	3953'45"	29194
3	20	2	5	BOLIVAR	CARTAGENA	10.4317778	-75.5375000	FUERTE_DE_LA_TENAZA	SIN_INFORMACION	1980	OCTUBRE	25	0194,720	3952'30"	29196
3	20	2	5	BOLIVAR	CARTAGENA	10.4317778	-75.5375000	FUERTE_DE_LA_TENAZA	INDUCTOR_TERRRESTRE_RUSKA_N_3048	1980	OCTUBRE	25	0193,820	3952'22"	28980
3	20	2	5	BOLIVAR	CARTAGENA	10.4317778	-75.5375000	FUERTE_DE_LA_TENAZA	MAGNETOMETRO_RUSKA_N_6497	1980	OCTUBRE	25	0195,940	3951'52"	29088
4	19	5	9	VALLE_DE_LA_CAUCA	CALI	3.4882333	-76.4900000	BASE_AEREA_MARCO_FIDEL_SUAPEZ	SIN_INFORMACION	1980	MARZO	14	0005,900	2942'75"	29198
4	19	5	9	VALLE_DE_LA_CAUCA	CALI	3.4882333	-76.4900000	BASE_AEREA_MARCO_FIDEL_SUAPEZ	SIN_INFORMACION	1980	MARZO	14	0006,340	2941'15"	29203
4	19	5	9	VALLE_DE_LA_CAUCA	CALI	3.4882333	-76.4900000	BASE_AEREA_MARCO_FIDEL_SUAPEZ	SIN_INFORMACION	1980	MARZO	13	0005,820	2943'85"	29216
4	19	5	9	VALLE_DE_LA_CAUCA	CALI	3.4882333	-76.4900000	BASE_AEREA_MARCO_FIDEL_SUAPEZ	SIN_INFORMACION	1980	MARZO	13	0005,270	2944'00"	29216
4	19	5	9	VALLE_DE_LA_CAUCA	CALI	3.4882333	-76.4900000	BASE_AEREA_MARCO_FIDEL_SUAPEZ	SIN_INFORMACION	1980	MARZO	13	0005,060	2946'30"	29217
4	19	5	9	VALLE_DE_LA_CAUCA	CALI	3.4882333	-76.4900000	BASE_AEREA_MARCO_FIDEL_SUAPEZ	SIN_INFORMACION	1980	MARZO	13	0005,650	2945'00"	29229
4	19	5	9	VALLE_DE_LA_CAUCA	CALI	3.4882333	-76.4900000	BASE_AEREA_MARCO_FIDEL_SUAPEZ	INDUCTOR_TERRRESTRE_RUSKA_N_3048	1980	MARZO	12	0005,900	2942'75"	29232
4	19	5	9	VALLE_DE_LA_CAUCA	CALI	3.4882333	-76.4900000	BASE_AEREA_MARCO_FIDEL_SUAPEZ	MAGNETOMETRO_RUSKA_N_6497	1980	MARZO	12	0005,390	2944'15"	29234
5	19	5	10	VALLE_DE_LA_CAUCA	CALI	3.4868667	-76.5266667	HACIENDA_LA_FLORA	SIN_INFORMACION	1980	MARZO	10	0007,985	2950'85"	29194
5	19	5	10	VALLE_DE_LA_CAUCA	CALI	3.4868667	-76.5266667	HACIENDA_LA_FLORA	SIN_INFORMACION	1980	MARZO	10	0008,73E	2956'45"	29193
5	19	5	10	VALLE_DE_LA_CAUCA	CALI	3.4868667	-76.5266667	HACIENDA_LA_FLORA	SIN_INFORMACION	1980	MARZO	8	0006,57E	SIN_INFORMACION	29195
5	19	5	10	VALLE_DE_LA_CAUCA	CALI	3.4868667	-76.5266667	HACIENDA_LA_FLORA	SIN_INFORMACION	1980	MARZO	8	0007,95E	SIN_INFORMACION	29218
5	19	5	10	VALLE_DE_LA_CAUCA	CALI	3.4868667	-76.5266667	HACIENDA_LA_FLORA	SIN_INFORMACION	1980	MARZO	10	0008,18E	2955'52"	29235

Ilustración 8. Transformación de Sistema de Coordenadas Sexagesimal a Decimal.

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

Luego de ello, en el programa de ArcGIS 10.3, mediante la herramienta “Añadir Datos XY”, fue subida la base de datos realizada en Microsoft Excel y arreglada en el paso anterior. De esta manera, se creó la capa con 2736 registros y georreferenciadas cada una de las estaciones.

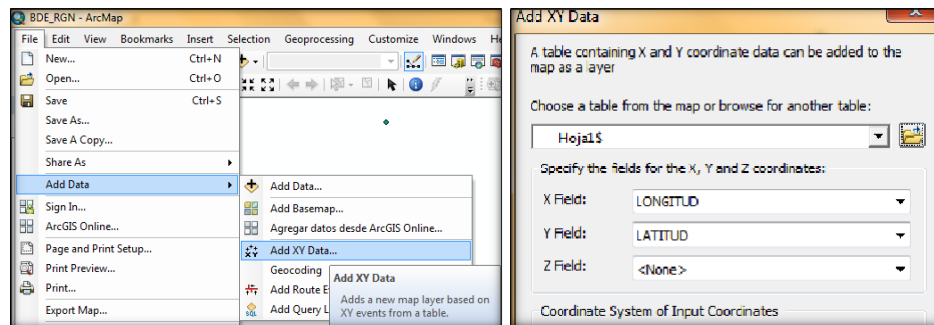


Ilustración 9. Herramienta "Agregar Datos XY", para subir la base de datos de Excel.

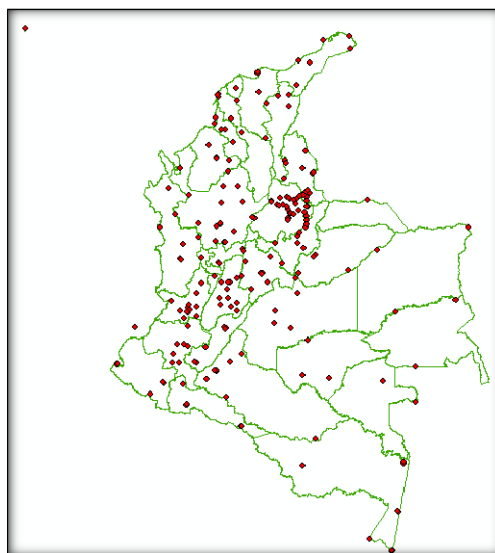


Ilustración 10. Capa originada a partir de la Unión de la Base de Datos de Excel con la Herramienta Agregar Datos XY de ArcGIS.

Luego de ello, se exporta como shapefile y finalmente se importa en el Feature Dataset con el nombre de Estaciones de Repetición.

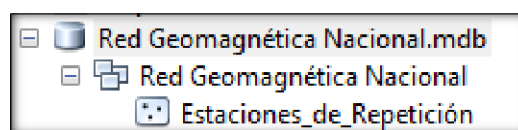


Ilustración 11. Personal Geotabase Red Geomagnética Nacional.

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**

**7.1.4. Propuesta Cartográfica para el replanteo de la Red Geomagnética Nacional.**

Finalmente, con el estudio anterior llevado a cabo y en su totalidad, surge la idea de realizar el replanteo de la red geomagnética para el país, basada en los registros de las antiguas estaciones magnéticas, con el fin de analizar las variaciones del CMT, sus causas y consecuencias, patrones, tendencias y distribución espacial, entre otros; colaborando con la explicación de fenómenos naturales presentes y así, la posible predicción de los mismos.

Paralelamente, la reapertura de esta serviría como base, para la actualización de la cartografía base nacional, el marco geodésico de referencia, trabajos de geología, geofísica, meteorología, sismología, entre otros estudios, resaltando los efectos del cambio climático, debido a que la cantidad de radiación solar que filtra en el planeta depende del campo magnético que lo contiene.

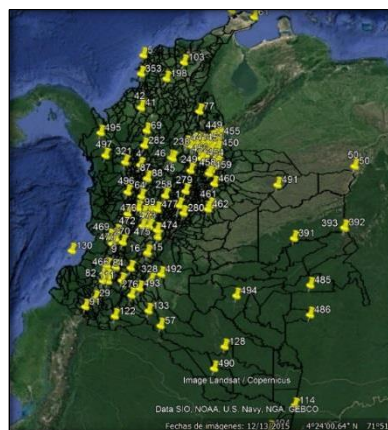
Es por esto, que la presente fase se encuentra dividida en cinco etapas correspondientes a los mapas de Localización Nacional de las Estaciones y tres por cada una de las variables del CMT registradas en la base de datos; además del análisis cartográfico de los buffer realizados para observar las estaciones disponibles para la reapertura de la RGN.

**7.1.4.1. Mapa Red Geomagnética Nacional (1977 -1997).**

Para este propósito, mediante la base de datos ya estandarizada y depurada, por medio del ID, se conoció la cantidad total de estaciones de repetición y con ello sus coordenadas. Así pues, la ubicación de cada una fue tomada y subida al programa Google Earth para luego guardar cada punto (Estación), en formato .kml y posteriormente importarlo a ArcMap 10.3 desde la extensión de *Arctoolbox – Conversion Tools – From KML – KML To Layer*, para transformarlo a Layer, ya en este formato guardarlo como Shapefile.

ID	NUMERO DE C	NUMERO DE CARPE	ID ESTACIO	DEPARTAMENTO	CIUDAD_MUNICIPIO	LATITUD	LONGITUD	ESTACION
1	19	4	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	04°42'42" N	74°05'12" O	PLEDAYES
1	19	4	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	04°42'42" N	74°05'12" O	PLEDAYES

*Ilustración 12. Base de Datos para Extracción de Coordenadas por Estación.*



*Ilustración 13. Estaciones Georreferenciadas en Google Earth.*

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

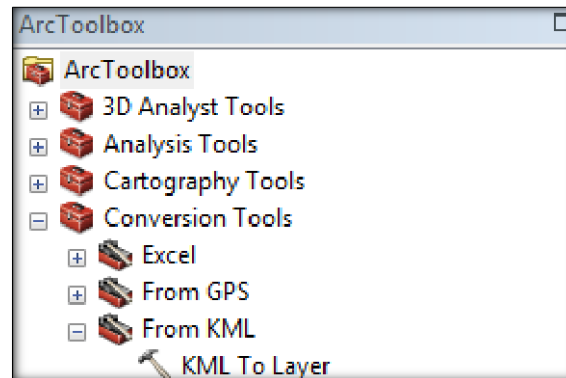


Ilustración 14. Conversión de Puntos (KML - Layer), en ArcMap 10.3.

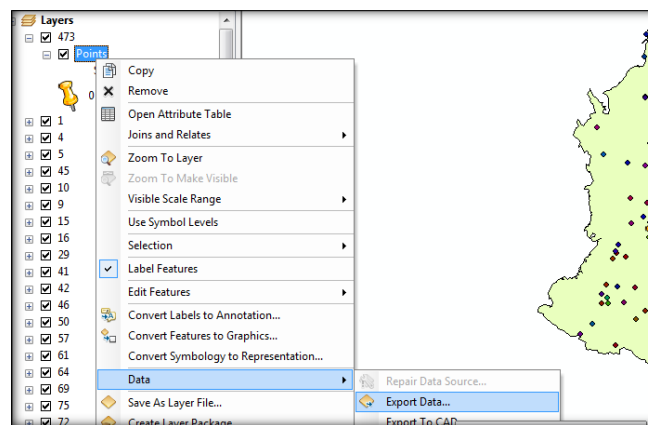


Ilustración 15. Conversión de Formato Layer a Shapefile.

Seguido de esto, se prosiguió a realizar un “Merge” (donde las entidades espaciales de dos o más capas se unen para generar una única capa resultante), con el objetivo de crear un único shapefile y así, una sola tabla de atributos con el total de las estaciones geomagnéticas.

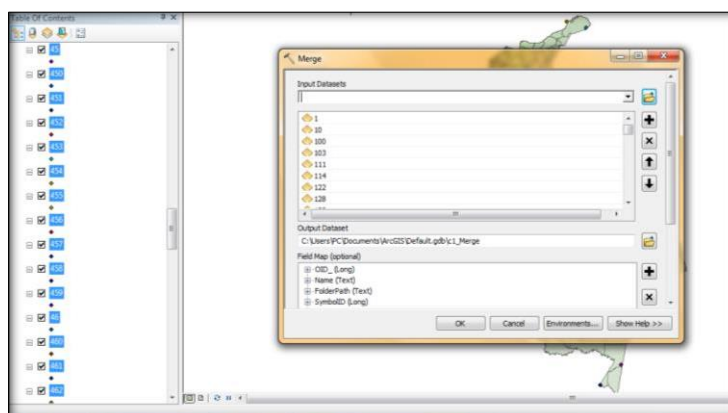


Ilustración 16. Merge: Unión de los Shapefiles Correspondientes a las Estaciones Geomagnéticas de Repetición.

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

Con la unión de las entidades espaciales, se obtuvo la nueva capa contenedora con el total de las estaciones geomagnéticas. A continuación se muestra la Tabla de Atributos de la misma, donde sus encabezados más importantes, son el total de objetos (Estaciones); el tipo de geometría (Punto); y el nombre (N° de Estación).

OBJECTID	Shape	OID	Name	FolderPath	SymbolID	AltMode	Base	Snippet	PopupInfo	HasLabel	LabelID
1	Point ZM	0	1	1.kml	0	-1	0			-1	0
2	Point ZM	0	10	10.kml	0	-1	0			-1	0
3	Point ZM	0	100	100.kml	0	-1	0			-1	0
4	Point ZM	0	103	103.kml	0	-1	0			-1	0
5	Point ZM	0	111	111.kml	0	-1	0			-1	0
6	Point ZM	0	114	114.kml	0	-1	0			-1	0
7	Point ZM	0	122	122.kml	0	-1	0			-1	0
8	Point ZM	0	128	128.kml	0	-1	0			-1	0
9	Point ZM	0	133	133.kml	0	-1	0			-1	0
10	Point ZM	0	15	15.kml	0	-1	0			-1	0
11	Point ZM	0	16	16.kml	0	-1	0			-1	0
12	Point ZM	0	198	198.kml	0	-1	0			-1	0
13	Point ZM	0	237	237.kml	0	-1	0			-1	0
14	Point ZM	0	238	238.kml	0	-1	0			-1	0
15	Point ZM	0	241	241.kmz	0	-1	0			-1	0
16	Point ZM	0	249	249.kml	0	-1	0			-1	0
17	Point ZM	0	258	258.kml	0	-1	0			-1	0
18	Point ZM	0	274	274.kml	0	-1	0			-1	0
19	Point ZM	0	276	276.kml	0	-1	0			-1	0
20	Point ZM	0	279	279.kml	0	-1	0			-1	0
21	Point ZM	0	280	280.kml	0	-1	0			-1	0
22	Point ZM	0	282	282.kml	0	-1	0			-1	0
23	Point ZM	0	29	29.kml	0	-1	0			-1	0
24	Point ZM	0	321	321.kml	0	-1	0			-1	0
25	Point ZM	0	328	328.kml	0	-1	0			-1	0
26	Point ZM	0	340	340.kml	0	-1	0			-1	0
27	Point ZM	0	341	341.kml	0	-1	0			-1	0
28	Point ZM	0	346	346.kml	0	-1	0			-1	0
29	Point ZM	0	353	353.kml	0	-1	0			-1	0
30	Point ZM	0	391	391.kml	0	-1	0			-1	0
31	Point ZM	0	392	392.kml	0	-1	0			-1	0
32	Point ZM	0	393	393.kml	0	-1	0			-1	0
33	Point ZM	0	4	4.kml	0	-1	0			-1	0

Ilustración 17. Tabla de Atributos del Nuevo Shapefile de Estaciones.

Sin embargo, dicha Tabla de Atributos no es suficiente para analizar los datos registrados de las estaciones. En efecto, se realizó una “Unión” o “Join” de Tablas, (Unión de una tabla con la tabla de atributos de las entidades espaciales de una capa). En primer lugar, se creó la tabla en Excel con base en la base de datos, y de ahí se extrajeron los registros más importantes, con los cuales se realizaron los análisis respectivos. Es de resaltar que dicha tabla, debe guardarse como Libro de Excel 97 – 2003 para realizar el “Join” en ArcGis. En su estructura fueron asignados los siguientes campos:

- ID.
- ID\_ESTACION.
- DEPARTAMENTO.
- CIUDAD/MUNICIPIO.
- LATITUD.
- LONGITUD.
- NOMBRE\_ESTACION.

Facultad de Ciencias Agropecuarias

	A	B	C	D	E	F	G
	ID ESTA	DEPARTAMENTO	CIUDAD_MUNI	LATITUD	LONGITUD	NOM ESTA	
2	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	04°42'42" N	74°05'12" O	PLEDAYES	
3	2	ANTIOQUIA	MEDELLIN	06°13'23" N	75°33'54" O	FINCA_EL_ROSAL	
4	3	BOLIVAR	CARTAGENA	10°25'58" N	75°32'15" O	FUERTE_DE_LA_TENZA	
5	4	VALLE_DEL_CAUCA	CALI	03°27'30" N	76°29'24" O	BASE_AEREA_MARCO_FIDEL_SUAREZ	
6	5	VALLE_DEL_CAUCA	CALI	03°29'48" N	76°31'36" O	HACIENDA_LA_FLORA	
7	6	HUILA	NEIVA	02°56'37" N	75°16'03" O	ESTACION_ASTRONOMICA_Nº_26	
8	7	HUILA	NEIVA	02°54'36" N	75°17'12" O	CARRETERA_A_CAMPOALEGRE	
9	166	BOYACA	SOGAMOSO	05°40'34" N	72°57'28" O	FUENTE_FLORES	
10	8	NARIÑO	PASTO	01°11'24" N	77°16'35" O	FINCA_CHAPALITO	
11	9	CORDOBA	PLANETA_RICA	08°23'43" N	75°34'26" O	AEROPUERTO	
12	10	CORDOBA	PLANETA_RICA	08°25'16" N	75°34'24" O	FINCA_EL_VOLAO	
13	11	ANTIOQUIA	PUERTO_BERRIO	06°29'45" N	74°24'01" O	LOS_INDIOS	
14	12	SANTANDER	PUERTO_OLAYA	06°28'00" N	74°20'20" O	FINCA_BOLIVIA	
15	13	VICHADA	PUERTO_CARREÑO	06°10'55" N	67°30'24" O	AEROPUERTO_EXTREMO_NO	
16	14	PUTUMAYO	PUERTO_LEGUIZAMO	00°11'00" S	74°47'24" O	CARRETERA_A_LA_TAGUA	
17	15	GUAJIRA	PUERTO_LOPEZ	11°55'22" N	71°16'28" O	AEROPUERTO	
18	16	CALDAS	MANIZALES	05°02'38" N	75°30'40" O	HACIENDA_LA_CHAGRA	
19	17	ANTIOQUIA	PUERTO_OSPINA	07°31'30" N	75°20'34" O	EL_RAYO	
20	18	VALLE_DEL_CAUCA	ZARZAL	04°23'24" N	76°01'54" O	FINCA_LA_PORCELANA	
21	19	SANTANDER	BARRANCABERMEJA	07°02'10" N	73°48'18" O	AEROPUERTO_EXTREMO_NE	
22	20	SANTANDER	BARRANCABERMEJA	07°01'10" N	73°49'00" O	AEROPUERTO_EXTREMO_SO	

Ilustración 18. Tabla Creada para Realizar la Unión.

Ahora bien, para llevar a cabo la unión de datos de las tablas, se enlazarán a través de un Campo en común ente éstas; en este caso, para el shapefile se escogerá el Nombre, que corresponde al serial de las estaciones, y en la tabla de Excel será ID\_ESTACION. Con esto, los datos se interrelacionan y completan la información requerida.

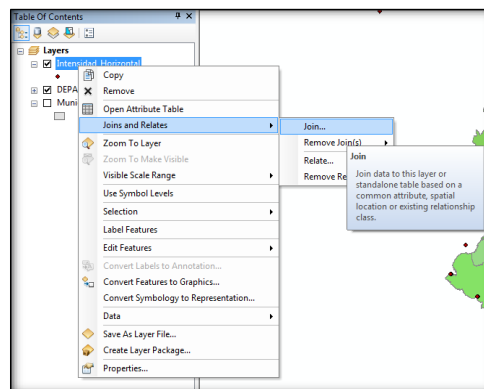


Ilustración 19. Join: Unión de Tablas para Completar los Datos Requeridos.

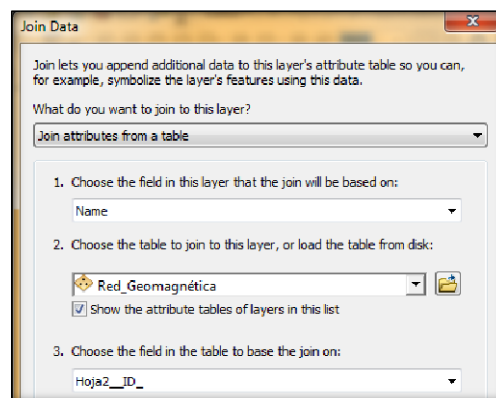


Ilustración 20. Parámetros para Enlazar las Tablas. En Este Caso, con el Campo Correspondiente al Serial de Cada Estación.

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Hoja2	ID	Shape	OID	Name	Hoja2 ID	Hoja2 DEP	Hoja2 CIU	Hoja2 LAT	Hoja2 LON	Hoja2 NOM
0	Point ZM	0	1	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	04°42'42" N	74°05'12" O	PLEDAYES	
1	Point ZM	0	4	4	ANTIOQUIA	MEDELLIN	06°13'23" N	75°33'54" O	FNCA_EL_ROSAL	
2	Point ZM	0	5	5	BOLIVAR	CARTAGENA	10°25'55" N	75°32'15" O	FUERTE_DE_LA_TENAZA	
3	Point ZM	0	45	45	ANTIOQUIA	PUERTO_BERRIO	08°29'45" N	74°24'01" O	LOS_HIDIOS	
4	Point ZM	0	10	10	VALLE_DEL_CAUCA	CALI	03°29'48" N	78°31'36" O	HACIENDA_LA_FLORA	
5	Point ZM	0	9	9	VALLE_DEL_CAUCA	CALI	03°27'30" N	78°29'24" O	BASE_AEREA_MARCO_FDEL_SUAREZ	
6	Point ZM	0	15	15	HUILA	NEIVA	02°56'37" N	75°16'03" O	ESTACION_ASTRONOMICCA_N_26	
7	Point ZM	0	16	16	HUILA	NEIVA	02°54'36" N	75°17'12" O	CARRETERA_A_CAIMPOALEGRE	
8	Point ZM	0	29	29	NARIÑO	PASTO	01°11'24" N	77°16'35" O	FNCA_CHAPALITO	
9	Point ZM	0	41	41	CORDOBA	PLANETA_RICA	08°23'43" N	75°34'26" O	AEROPUERTO	
10	Point ZM	0	42	42	CORDOBA	PLANETA_RICA	08°25'16" N	75°34'24" O	FNCA_EL_VOLAO	
11	Point ZM	0	46	46	SANTANDER	PUERTO_OLAYA	08°28'00" N	74°20'20" O	FNCA_BOLIVIA	
12	Point ZM	0	50	50	VICHADA	PUERTO_CARRENO	06°10'55" N	67°30'24" O	AEROPUERTO_EXTREMO_NO	
13	Point ZM	0	57	57	PUTUMAYO	PUERTO_LEGUIZAMO	00°11'00" S	74°47'24" O	CARRETERA_A_LA_TAGUA	
14	Point ZM	0	61	61	GUAJIRA	PUERTO_LOPEZ	11°55'22" N	71°16'28" O	AEROPUERTO	
15	Point ZM	0	64	64	CALDAS	MANIZALES	05°02'38" N	75°39'40" O	HACIENDA_LA_CHAGRA	
16	Point ZM	0	69	69	ANTIOQUIA	PUERTO_OSPINA	07°31'30" N	75°20'34" O	EL_RAYO	
17	Point ZM	0	75	75	SANTANDER	BARRANCABERMEJA	07°02'10" N	73°48'18" O	AEROPUERTO_EXTREMO_NE	
18	Point ZM	0	72	72	VALLE_DEL_CAUCA	ZARZAL	04°23'24" N	76°01'54" O	FNCA_LA_PORCELANA	
19	Point ZM	0	87	87	ANTIOQUIA	SONSON	05°42'21" N	75°15'38" O	FNCA_LAVAPATAS	
20	Point ZM	0	88	88	ANTIOQUIA	SONSON	05°43'10" N	75°17'00" O	HACIENDA_SAN_RAFAEL	
21	Point ZM	0	91	91	NARIÑO	PIALES	00°51'35" N	77°39'44" O	AEROPUERTO_EXTREMO_NO	
22	Point ZM	0	95	95	SANTANDER	EL_SOCORRO	06°28'54" N	73°15'16" O	HACIENDA_SARAVITA	
23	Point ZM	0	96	96	SANTANDER	EL_SOCORRO	06°28'08" N	73°16'20" O	CASAS_FISCALES_DEL_BATALLON_GALAN	
24	Point ZM	0	99	99	TOLIMA	IBAGUE	04°25'20" N	75°07'52" O	AEROPUERTO_PERALES	
25	Point ZM	0	76	76	SANTANDER	BARRANCABERMEJA	07°01'10" N	73°49'00" O	AEROPUERTO_EXTREMO_SO	
26	Point ZM	0	77	77	NORTE_DE_SANTANDE	OCAÑA	08°14'40" N	73°21'11" O	CERRO_CRISTO_REY	
27	Point ZM	0	82	82	CAUCA	EL_BORDO	02°06'25" N	76°57'43" O	PIEDRA_RICA	
28	Point ZM	0	84	84	HUILA	LA_PLATA	02°21'20" N	75°54'32" O	FNCA_LA_MARIA	

Ilustración 21. Tabla de Atributos Final.

Las características del sistema de referencia empleado para la realización de este proceso y los cinco mapas de más fueron:

- Sistema de Coordenadas Geográfico: GCS\_MAGNA.
- Datum: D\_MAGNA.
- Meridiano Principal: Greenwich.
- Unidad Angular: Grado.

Adicionalmente, la escala de las salidas gráficas más acorde al tamaño y para la visualización de la cartografía nacional es de: 1: 2'200.000.

7.1.4.2. Reapertura Red Geomagnética Nacional.

Para el desarrollo de este objetivo, fue necesario examinar los requisitos del IGAC en los que se trata sobre la materialización y objetos que se encuentren alrededor de la zona, para determinar si el sitio escogido es apto o descartable. De esta manera, según el informe *Observatorio Geomagnético de Fúquene, 1953* de la Subdirección de Geografía y Cartografía del Instituto, estipula que las estaciones deben tener un diámetro de 50 metros distantes de lugares con las siguientes características:

*“Lejos de presencia cercana a líneas férreas, redes de alto voltaje, y estructuras metálicas.*

*(Instituto Geográfico Agustín Codazzi s.f. Pp: 2)*

De acuerdo con señalado, fueron utilizadas las Geodatabase (GDB), más recientes y accesibles del Instituto, escalas 1:100.000 y 1:25.000 con cobertura nacional. Fue necesario el uso de estas dos GDB debido a que alguna información de la segunda, no se encontraba en la primera. Igualmente, la GDB 1:100.000 presenta en algunas capas necesarias, información más completa que la que se encuentra en la GDB 1:25.000. En ese sentido, se tomaron las capas de los elementos causantes de perturbaciones en las ondas magnéticas, estos: Red de Alta Tensión, Torre, Vía Férrea, Teleférico, Antenas, Centrales de Energía. Además de estos, también se tuvo

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

en cuenta Aeropuertos, debido que actualmente se requieren de diversos permisos y solicitudes para tomar datos en las estaciones que se encuentren dentro de éstos. Por ello, es necesario analizar el total de estaciones (1977 – 1997) que se ubiquen allí, según los resultados obtenidos, y tomar decisiones secundarias al respecto para formalizar aquellas en las que no haya acceso y en las que aún se puedan tomar sin complicación, el valor de las componentes para la RGN.

De este modo, se utilizó la herramienta de “Buffer” (herramienta encargada de establecer análisis de proximidad), la cual permite aplicar el radio de 50 metros que debe tener cada estación sin elementos u objetos. Es decir, que con esta herramienta, se aplicó una distancia de 50 metros a cada capa ya mencionada para el estudio y diagnóstico de la RGN, con el fin de corroborar cartográficamente las estaciones de repetición óptimas para la reapertura de la misma.

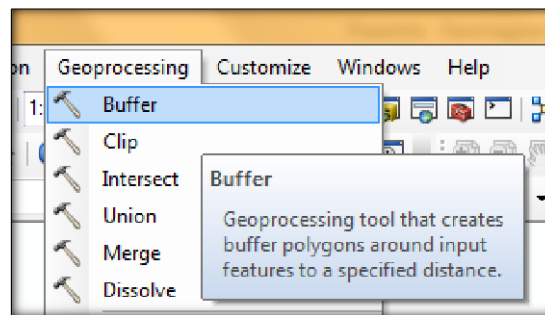


Ilustración 22. Buffer: Análisis de Estaciones Disponibles Actualmente.

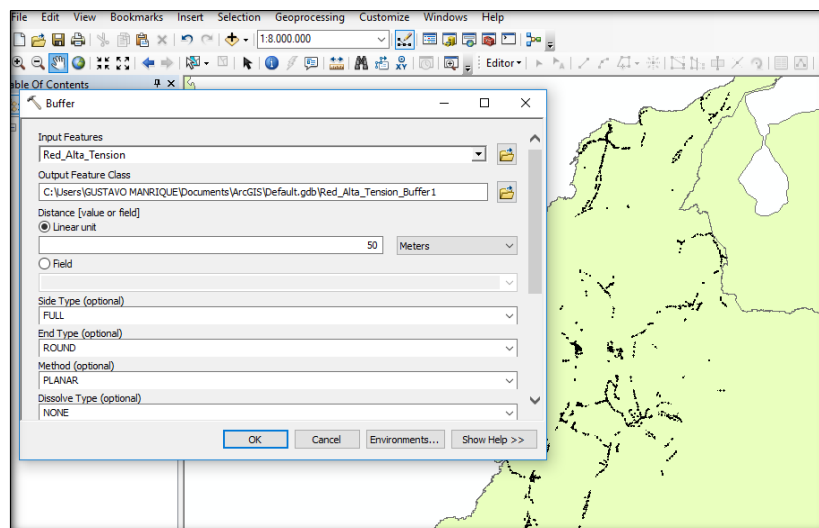
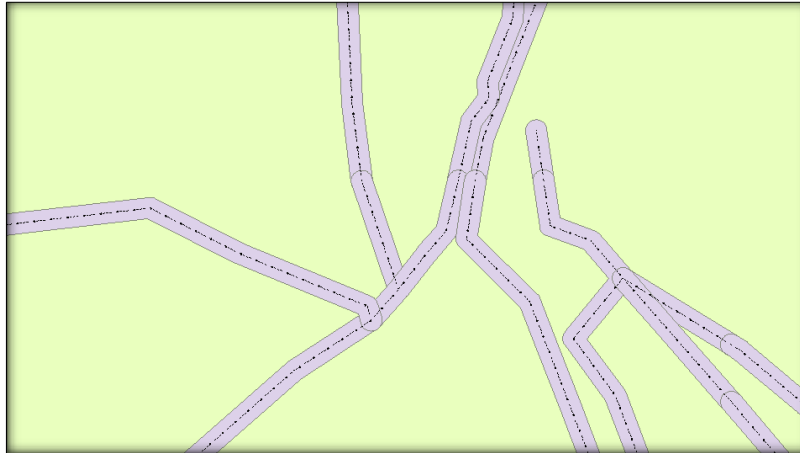


Ilustración 23. Parámetros para la Realización del Buffer.

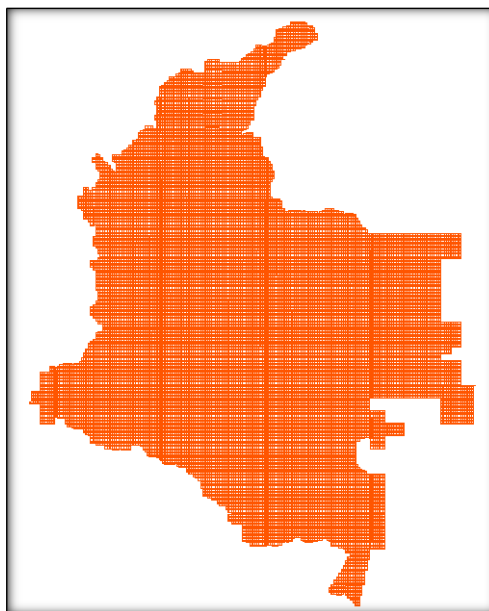
---

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**



*Ilustración 24. Muestra de Buffer Aplicado a Vías Férreas con una Distancia de 50 Metros.*

Ya habiendo aplicado los buffer a cada una de las capas seleccionadas para dicho análisis, se empleó la herramienta “Páginas Controladas por Datos” y con ella el índice de escala 1:25.000 para la visualización de las estaciones junto con los buffer realizados mediante una serie de mapas. Es de resaltar, que se seleccionaron únicamente las planchas en las que se ubicaban las estaciones.



*Ilustración 25. Índice de Escala 1:25.000 con Cobertura Nacional.*

Facultad de Ciencias Agropecuarias

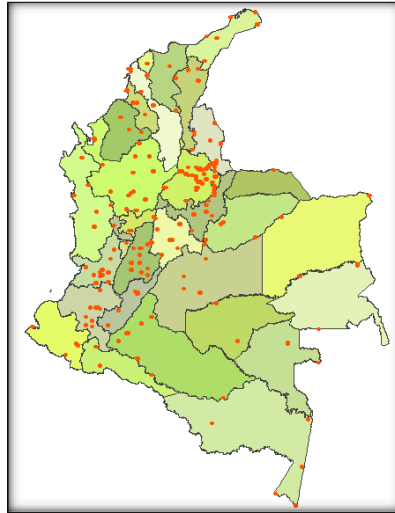


Ilustración 26. Selección de Planchas 1:25.000 en las que se Ubican las Estaciones.

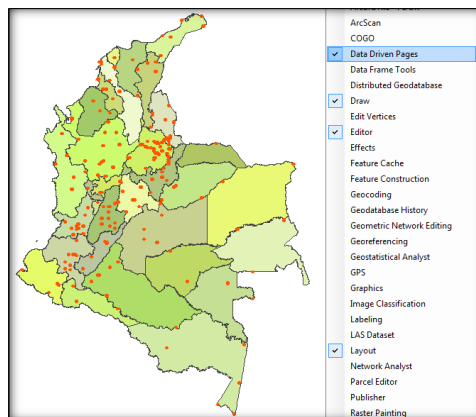


Ilustración 27. Herramienta "Páginas Controladas por Datos" para la creación de una Serie de Páginas por cada Entidad de Índice.

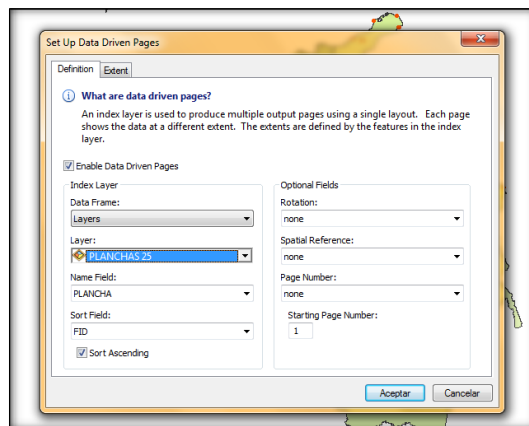


Ilustración 28. Parámetros para la Configuración de la Serie de Páginas.

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

Este proceso fue realizado con el objetivo de crear mediante la herramienta de “Páginas Controladas por Datos”, una mejor visualización de los buffer realizados y las Estaciones Geomagnéticas. De esta manera, para el primer paso se utilizó la capa de índice de escala 1:25.000 y de esta fueron seleccionadas únicamente las planchas que contenían las Estaciones. En ese sentido, para la nueva capa denominada “PLANCHAS25”, fueron obtenidas 190 entidades.

Por lo tanto, la serie de mapas creada con la respectiva capa, fue de 190 páginas en total donde mostraban las 223 Estaciones geomagnéticas.

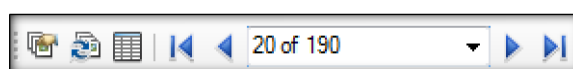


Ilustración 29. Generación de una Página por cada Entidad de Índice.

### 7.1.4.3. Mapas de las Componentes Geomagnéticas.

Para la representación de dichos mapas (Inclinación y Declinación Magnética e Intensidad Horizontal), se creó una tabla en Microsoft Excel 2013 con seis campos correspondientes a los valores de Promedios y Desviación Estándar de cada una de las estaciones de repetición para el análisis pertinente, para cada componente. Sin embargo, debido a que los datos de Declinación e Inclinación Magnética, se hallaban en sistema sexagesimal (Grados, minutos y segundo); fue necesario hacer la conversión a datos decimales y así, poder crear la unión de tablas entre Excel y ArcMap. Habiendo obtenido ya estos valores, se realizó el “Join” deseado.

Declinación	Grados	Minutos	Cifra Final
05°07,90' O	05	07,90	5,13166667
05°07,90' O	05	07,90	5,13166667
05°06,20' O	05	06,20	5,10333333
02°23,10' O	02	23,10	2,385
02°21,20' O	02	21,20	2,35333333
02°23,30' O	02	23,30	2,38833333

Ilustración 30. Conversión de Datos Sexagesimales a Decimales en Microsoft Excel 2013.

La opción de separación de cifras se hizo mediante la opción de “EXTRAER” y para la transformación numérica se usó la fórmula “ $(G) + (M/60) + (S/3600)$ ”, donde la G corresponde a los grados, la M a los minutos y la S a los segundos, por medio del programa Microsoft Excel 2013.

Facultad de Ciencias Agropecuarias

PROMEDIO D	PROMEDIO I	PROMEDIO H
1,637936	31,560083	29021
1,2925	0	29106
0,200417	29,931991	29213,125
2,186354	29,606823	28676,3125
2,247212	31,15579	28760,55
4,075	32,398398	28517,675
4,658905	39,103935	28410,285714
4,862292	32,157639	28083,875
5,91375	21,265938	27779,5
5,386771	0	27919,571429
1,073146	26,476508	28749,1875
5,046028	18,406944	27651,333333
5,315833	18,143368	27613,5
1,626687	32,051759	29036,633333
3,809167	0	28392,75
5,66375	0	28151,5
1,1795	25,634097	28425,875
1,182381	0	28591,25
0,624722	24,778287	28929,333333
1,149479	0	28539,5
3,375625	0	28350,909091
2,3425	0	0
0,338958	0	28819,5
1,805683	24,922639	28498,875
3,489188	34,589005	28765,310345
2,29375	0	28272,625
0,557	29,04559	28933,25
0,37719	28,825873	28799,214286
2,420656	28,47002	28400,6875
2,862083	28,364479	28419
5,70875	0	28219,375
4,777708	38,569375	28122,25
4,513125	39,454463	28504,5
4,489583	32,449757	28381,625
5,871042	40,171597	28036,5625
5,935	0	28037,375
6,545417	41,523542	28073
3,837708	39,679271	28345,875
3,672396	0	28417,4375
3,381	36,521285	28491,375
3,876364	37,899271	28468,625
1,992778	0	29091,25
3,708854	37,830787	28404,625
3,50875	38,275917	28482,6

Ilustración 31. Tabla Final con el Promedio de Valores de cada Estación de Repetición para ls componentes Declinación e Inclinación Magnética y la Intensidad Horizontal.

Ahora bien, se aplicó estadística descriptiva a las variables continuas, siendo estas los valores de las tres componentes mencionadas. Estas variables distribuidas en el espacio presentan una estructura espacial, por lo que son llamadas variables regionalizadas.

Por ello, es necesario realizar el análisis geoespacial de estas componentes en cada una de las estaciones existentes a nivel nacional. Dicho lo anterior, se aplicó el medio de interpolación espacial mediante el método determinístico Distancia Inversa Ponderada, para así observar la “vecindad” de cada una de las estaciones y así, estimar el valor y comportamiento de los mismos respecto a la capa y campo seleccionado.

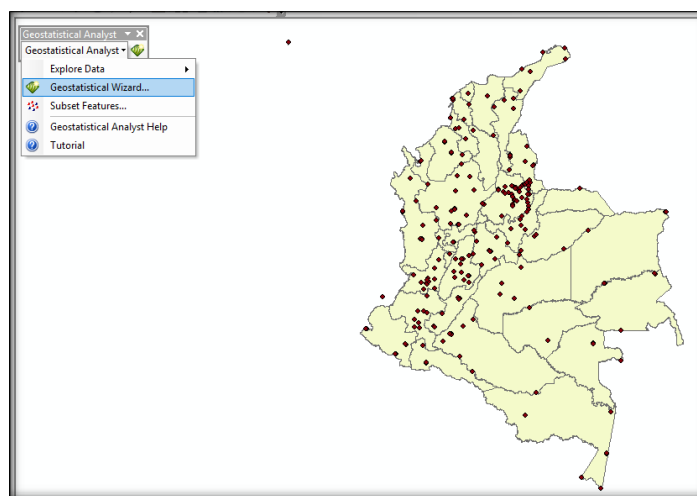
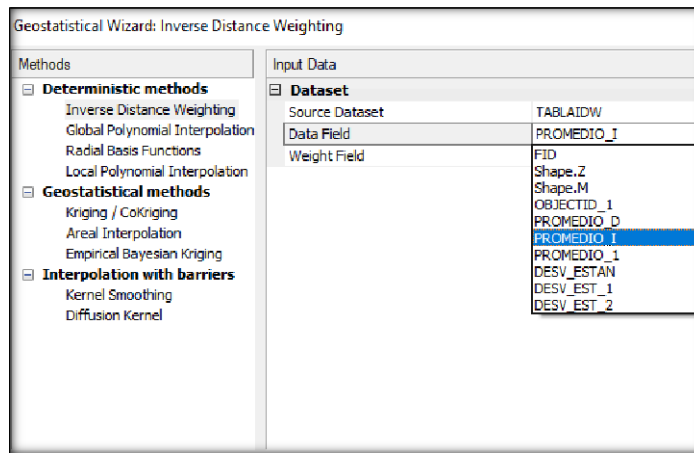


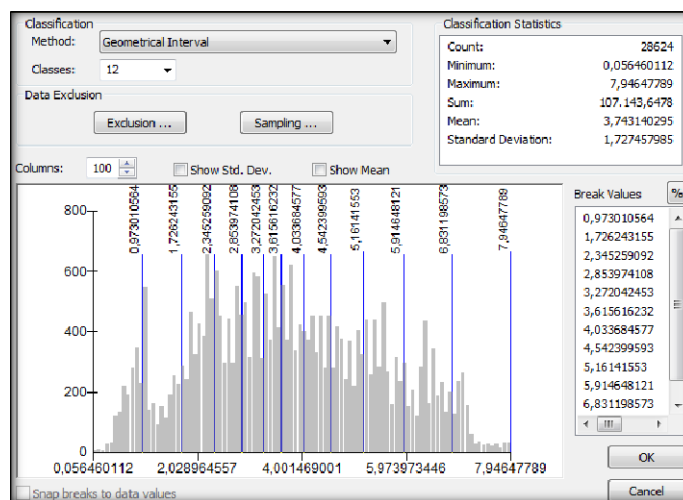
Ilustración 32. Herramienta Geostatistical Analyst para Estimar el Valor de una Variable Espacial Secundaria en Cualquier Punto del Espacio.

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**

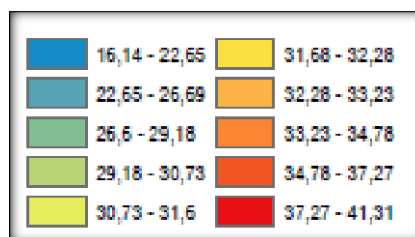
En este caso, la variable espacial principal son los valores de Promedio y de Desviación Estándar de los registros de las Estaciones Geomagnéticas de Repetición.



*Ilustración 33. Selección del Campo de cada componente geomagnética para aplicar IDW a la Capa de Estaciones Geomagnéticas.*



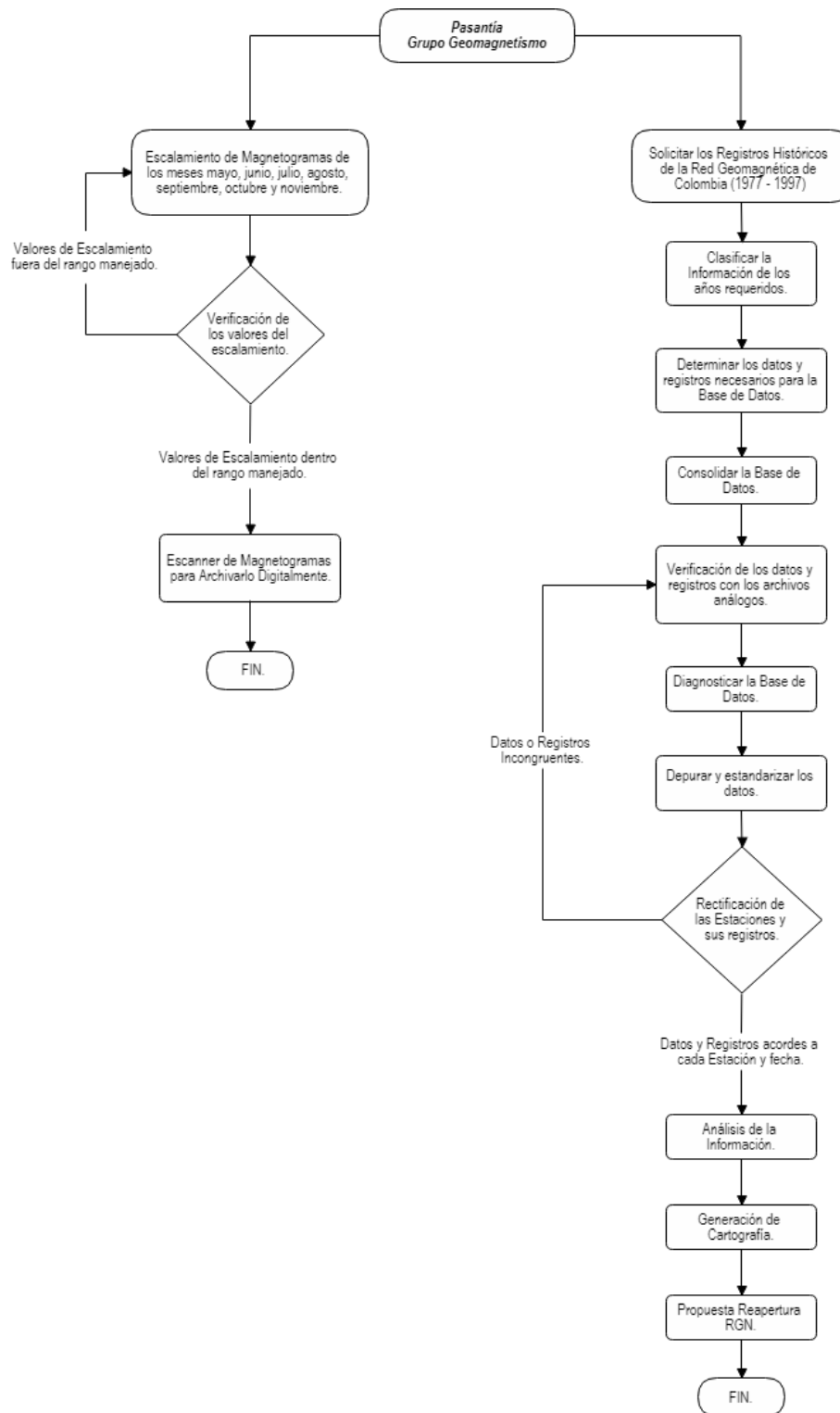
*Ilustración 34. Clasificación Mediante Intervalo Geométrico para los Valores Promedios de las Componentes del CMT. (Declinación Magnética)*



*Ilustración 35. Muestras de Clasificación por Clases - Valores Bajos a Altos, (Inclinación Magnética).*

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**

**7.2. Esquema Metodológico.**



*Ilustración 36. Esquema Metodológico.  
Elaboración Propia.*

---

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

### 7.3. Recursos.

**7.3.1. Humanos:** las personas involucradas son: el autor (a), encargado del desarrollo del proyecto de pasantía; dos directores, uno interno (Universidad de Cundinamarca), uno externo (Instituto Geográfico de Colombia Agustín Codazzi); un líder dentro del proyecto asignado en el GIT Geodesia – Geomagnetismo; y finalmente el cuerpo docente del programa de Tecnología en Cartografía.

Las siguientes son las funciones correspondientes a los ya mencionados que colaboraron con el buen desarrollo, evolución y culminación del proyecto pasantía.

**7.3.1.1. Autor (a) del Proyecto:** su función fue llevar a cabo el desarrollo del proyecto planteado hasta la culminación del mismo, sin dejar de lado las sugerencias y recomendaciones de los docentes. Para ello, se tuvo en cuenta el trabajo, desarrollo, cronograma estipulado por el mismo y manejo del tema respectivo.

**7.3.1.2. Tutores (Interno – Externo):** fueron las personas encargadas de vigilar y acompañar el proceso de apoyo durante la investigación requerida dentro de la pasantía, donde tomaron medidas o críticas negativas y positivas para el correcto desarrollo de la misma.

**7.3.1.3. Cuerpo Docente:** también llamados jurados, estuvieron encargados de evaluar el desarrollo del proyecto, otorgando opiniones y sugerencias al respecto para las debidas correcciones y alcance de los objetivos estipulados.

**7.3.2. Institucionales:** estuvieron involucrados para la recopilación de información y la elaboración del objetivo propuesto, los siguientes:

**7.3.2.1. Universidad de Cundinamarca:** entidad pública a la que pertenece el (la) estudiante pasante desde el Programa de Tecnología en Cartografía.

**7.3.2.2. Instituto Geográfico De Colombia Agustín Codazzi:** es la entidad a la cual el (la) estudiante tiene el vínculo y desarrolla la pasantía. Así mismo, fue el encargado de proveer la información necesaria para el proceso de desarrollo y culminación de la pasantía respectiva.

**7.3.3. Físicos, logísticos y/o técnicos:** Para escalamiento horario de los magnetogramas, fueron necesarios los elementos de medición respectivos, ello involucró el escalímetro.

Para recopilar sus registros análogos se emplearon hojas de Escalamiento Horario, mientras que, para archivarlo digitalmente, se usó una computadora; seguido de esto, se requirió de un scanner para los magnetogramas, con el propósito de almacenarlos también en formato digital.

Por otro lado, para la compilación de los registros geomagnéticos históricos y consolidación de la base de datos de éstos; se solicitaron los documentos que los contienen, almacenados en el Archivo General del Instituto y, una computadora para registrar los datos en formato digital.

---

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

Adicional a estos, para la estructuración de la base de datos y análisis de información se trabajó mediante el software Microsoft Excel 2013, programa propuesto por los líderes de Geodesia y Geomagnetismo. Así mismo, las salidas cartográficas fueron realizadas en el programa ArcMap 10.3 de ArcGIS.

---

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

### 8. RESULTADOS.

De acuerdo a los objetivos planteados, los resultados obtenidos son:

#### 8.1. Recopilación de la información almacenada de los datos de la red geomagnética nacional en los archivos históricos.

La recopilación de los registros entre los años 1977 y 1997 de las estaciones pertenecientes a la Red Geomagnética de Colombia, se ubicó en un total de 7 cajas y 49 carpetas que se sitúan en el Almacén General del Archivo Histórico del Instituto. No obstante, mediante la solicitud realizada por la líder de geomagnetismo para la adquisición y estudio de la información necesitada, fueron otorgadas un total de 15 cajas de los registros de las estaciones, que iban según el archivo en Gestión del Instituto, enumeradas desde la N° 10 hasta la N° 24. Sin embargo, se emplearon únicamente 7 de ellas, que iban desde la caja N° 18 a la 24.

Archivo Histórico. Número de Caja	Carpetas Contenedoras	Años de Registros
18	7	1977 - 1978
19	7	1978 - 1987
20	7	1980 - 1989
21	6	1989 - 1992
22	6	1990 - 1992
23	7	1990 - 1993
24	9	1993 - 1997

*Tabla 2. Recopilación de los Registros Análogos de la RGN (1977 - 1997)*

#### 8.2. Creación de la base de datos de los registros de la Red Geomagnética Nacional (1977 – 1997).

Para la planificación de la Base de datos, se postularon diversas preguntas con el fin de concretar los datos que realmente eran necesarios para el producto final y de esta manera, su disposición y funcionalidad a los usuarios. Estas son:

- ¿Qué datos son necesarios almacenar y cuál es la forma más adecuada para ello?
- ¿Qué información es la que se desea mostrar?

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

- ¿Cuáles son los datos, de la información a mostrar, necesarios para los usuarios? Es decir, que en esta etapa se clasificarán los datos o registros que hagan ruido y los requeridos.

Durante la realización de la base de datos de los registros, con el objetivo de tener la posibilidad de evaluar la información en formato digital, se determinaron un total de 253 estaciones utilizadas para la toma de dichos datos en los años correspondientes. Sin embargo, se georreferenciaron en el programa ArcMap 10.3, 223 de ellas, debido a que 25 estaciones no contaban con las coordenadas de ubicación y otras cinco presentaban algún tipo de anomalía; por lo que se optó por no realizar este proceso.

Estaciones	Total
Georreferenciadas	223
Sin Coordenadas	25
Anómalas	5

Tabla 3. Cantidad Total de las Estaciones en el Archivo Análogo.

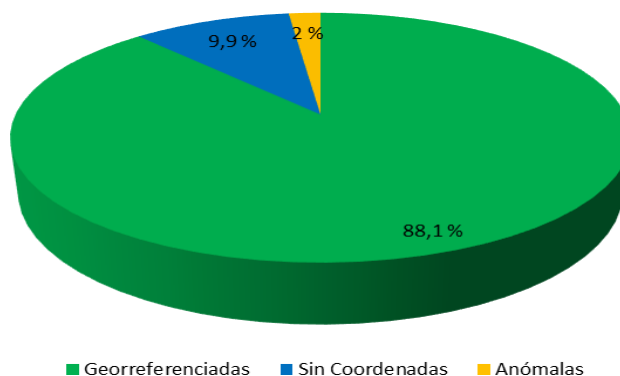


Gráfico 1. Distribución Porcentual de las Estaciones Análogas Recopiladas.

- *Nomenclatura de las Estaciones.*

Durante el diagnóstico y análisis de las estaciones que fueron archivadas digitalmente en la base de datos, se observó cierto tipo de nomenclatura que diferenciaba a las estaciones entre sí. Lo anterior, con respecto al sitio de toma puesto que algunas mediciones geomagnéticas se realizan en puntos materializados destinados a nivelación, gravimetría o red geodésica nacional, esto se muestra en la siguiente tabla:

Sitio de Toma	Cantidad de Estaciones
GPS	6
Geoceiver	6

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**

Perfil Gravimétrico	24
Astronómica	1
NP	1
PT	1
Numérica	214
<b>Total</b>	<b>253</b>

Tabla 4. Clasificación de Estaciones Según su Uso.

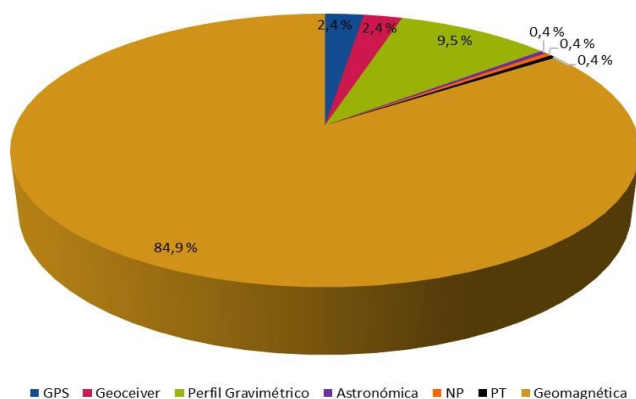


Gráfico 2. Distribución Porcentual de la Clasificación de Estaciones Utilizadas en la RGN.

El total de los registros recopilados en la base de datos fue de 2737.

- *Estaciones por Departamento.*

Por medio de la cartografía básica generada, se determinó un patrón de acumulación de estaciones, es decir, que para la parte Noreste del País se localizan más estaciones en contraste con el Sureste. Sin embargo, se aprecia en el centro del país hacia el Norte la mayor cantidad de éstas. La siguiente tabla da cuenta de los departamentos con mayor número de estaciones:

Departamento	Número de Estaciones
Amazonas	7
Antioquia	19
Arauca	1
Atlántico	1
Bolívar	6
Boyacá	9
Caldas	5
Caquetá	8

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**

Casanare	4
Cauca	10
Cesar	5
Chocó	9
Córdoba	6
Cundinamarca	9
Guainía	6
Guajira	7
Guaviare	3
Huila	7
Magdalena	2
Meta	5
Nariño	6
Norte de Santander	15
Putumayo	6
Quindío	1
Risaralda	1
San Andrés	1
Santander	30
Sucre	4
Tolima	12
Valle del Cauca	12
Vaupés	3
Vichada	3

Tabla 5. Total de Estaciones por Departamento.

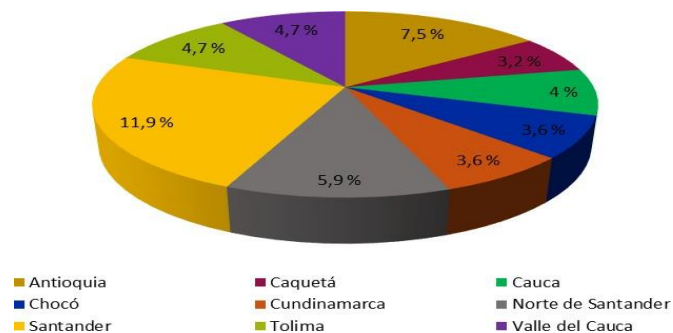


Gráfico 3. Distribución Porcentual de los Departamentos con Mayor Número de Estaciones.

---

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

### *8.2.1. Base de Datos Espacial.*

Partiendo de la base de datos realizada en Excel, se lograron almacenar todos sus registros en una Personal GDB en el programa ArcGIS 10.3, con la diferencia de que ésta contiene, como su nombre lo indica, una referencia espacial. Al Feature Dataset que lo contiene, se le asignó el sistema de referencia espacial geográfico WGS 1984.

Es así como finalmente, dicha base contiene 2736 registros pertenecientes a la antigua Red Geomagnética Nacional de 1977 -1997.

### **8.3. Análisis de Mapas.**

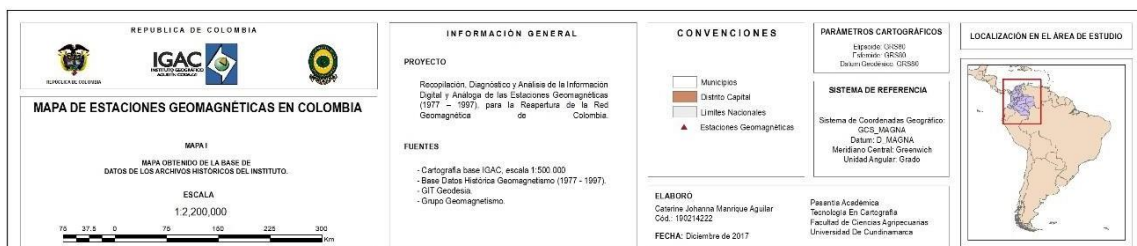
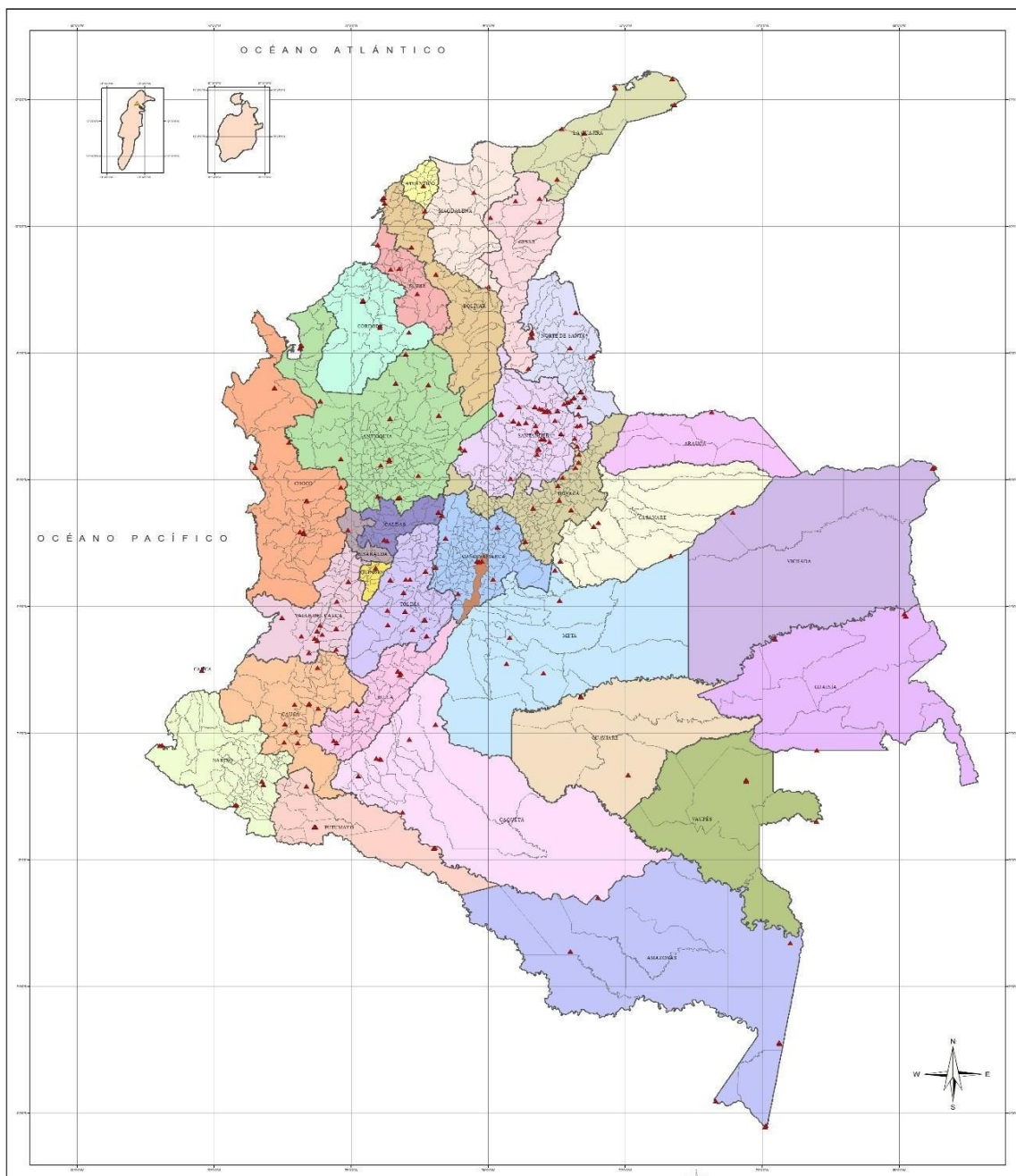
De acuerdo con los procesos realizados en los registros de la base de datos y el análisis estadístico, se generaron cinco mapas. Estos son:

**8.3.1. Mapa de Estaciones de la Red Geomagnética Nacional:** mediante esta cartografía, se pudo evidenciar un patrón de acumulación de estaciones. Es decir, que éstas en su mayoría, se encuentran ubicadas hacia la parte occidental del país. Sin embargo, la mayor presencia se ubica en la parte central hacia el Norte, en el departamento de Santander con 30 estaciones.

Por otro lado, se evidencia en la zona Oriental, en los departamentos de Arauca, Vichada, Guainía, Vaupés, y el Amazonas; una menor cantidad de Estaciones. Otro aspecto por resaltar es que dichas estaciones, tienen una tendencia de localización hacia los límites municipales y departamentales del país.

Finalmente, es de destacar que todos los departamentos, incluidos el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, y la Isla Gorgona, cuentan con al menos una Estación de toma de datos para la Red Geomagnética de Colombia.

Facultad de Ciencias Agropecuarias

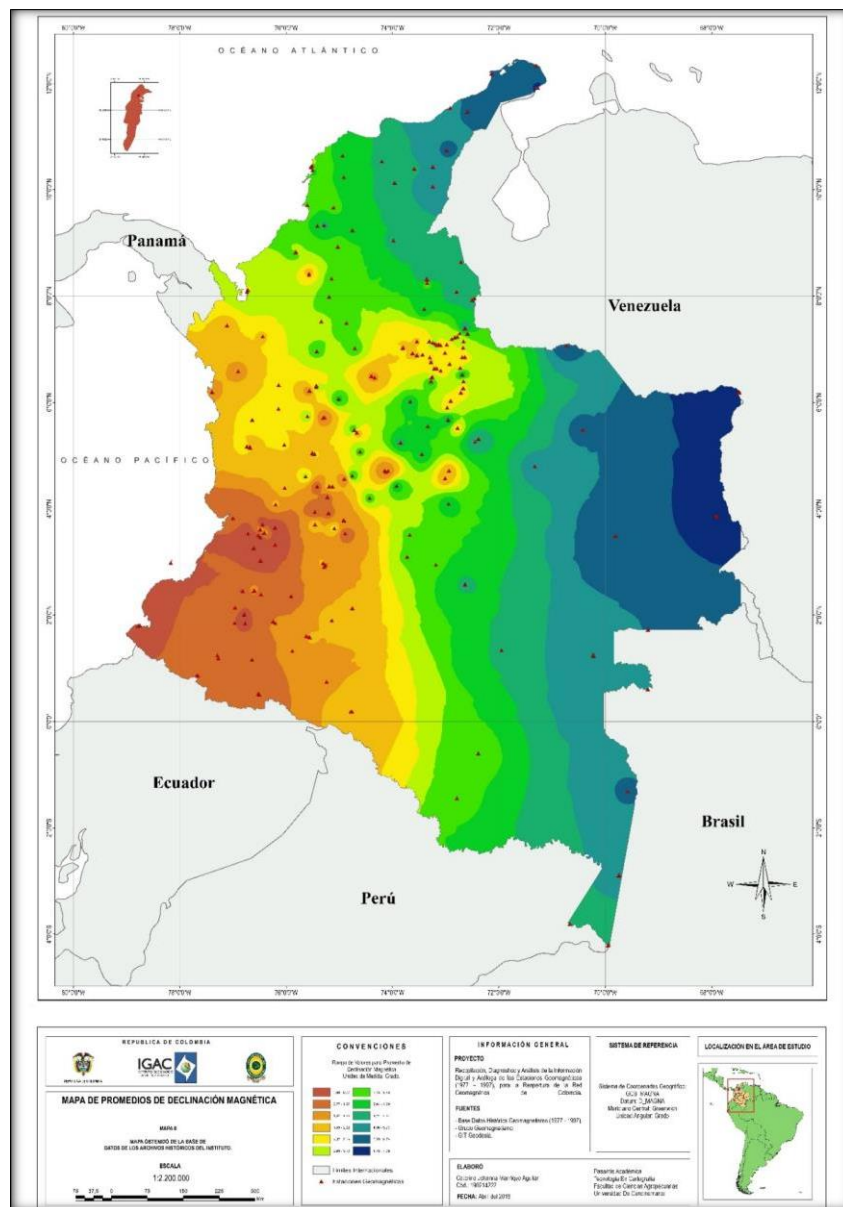


Mapa 1. Estaciones Geomagnéticas 1977 - 1997.

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**

**8.3.2. Mapas de los Promedios de Valores para las componentes Inclinación y Declinación Magnética e Intensidad Horizontal:** teniendo en cuenta que no se poseían valores para las componentes que pudieran explicar su comportamiento, variación y cálculos positivos o negativos, se tuvieron en cuenta los registros de cada departamento durante el lapso estudiado. Con ello, fue posible una caracterización de valores promedio, en los que se asociaron dichos valores, altos y bajos por departamento con la zona de ubicación y número de estaciones disponibles.

**8.3.2.1. Mapa Declinación Magnética:** mediante la cartografía se evidencia un descenso de valores desde la parte Este hacia el Oeste del país con un valor de 7,503188 el mayor y 0,122917 el menor, ocupados por Vichada y San Andrés y Providencia, respectivamente.



Mapa 2. Promedios de Declinación Magnética.

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**

En contraste a ello, se encuentran las Islas de San Andrés y providencia, Cauca y Nariño con los valores más bajos. No obstante, es el Suroeste del país donde se que presentan los datos con menor valor en la presente componente y se infiere, en ese sentido de orientación, una tendencia y patrón de la presente componente, puesto que se asocia que el número de estaciones no depende del valor de la ubicación geográfica.

8.3.2.1.1. Análisis Estadístico:

- Histograma.

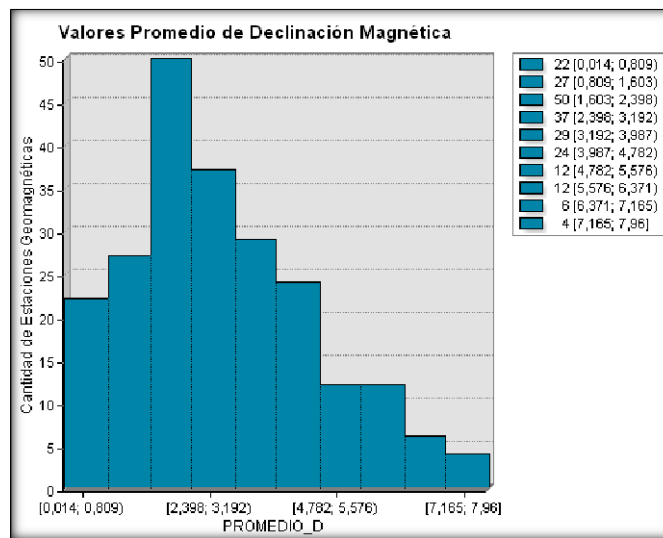
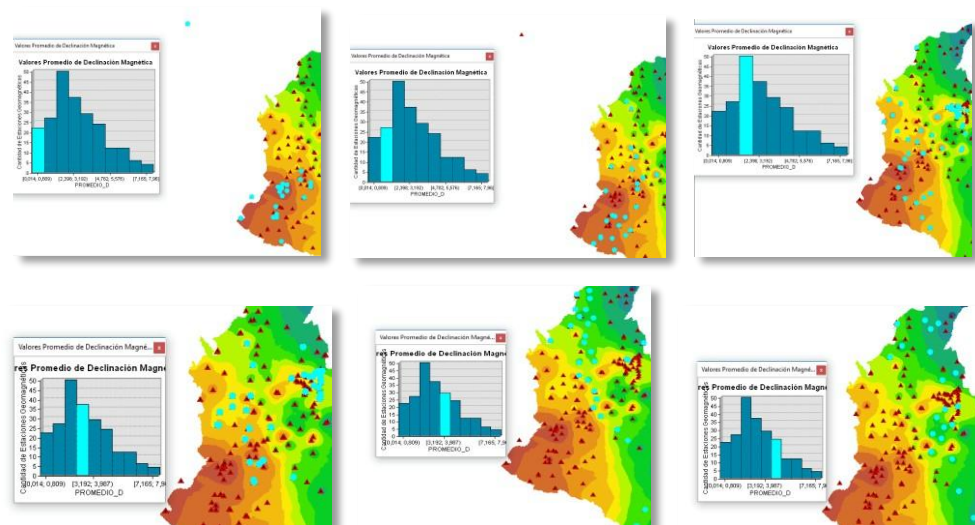


Gráfico 4. Histograma de Declinación Magnética.



Facultad de Ciencias Agropecuarias

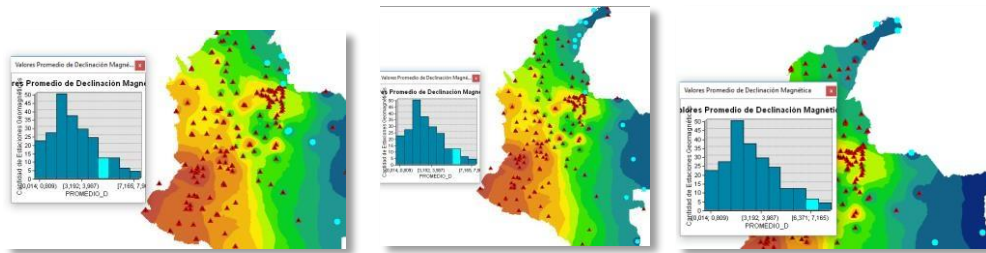


Gráfico 5. Identificación Espacial de las Estaciones según su Valor Promedio de Declinación Magnética.

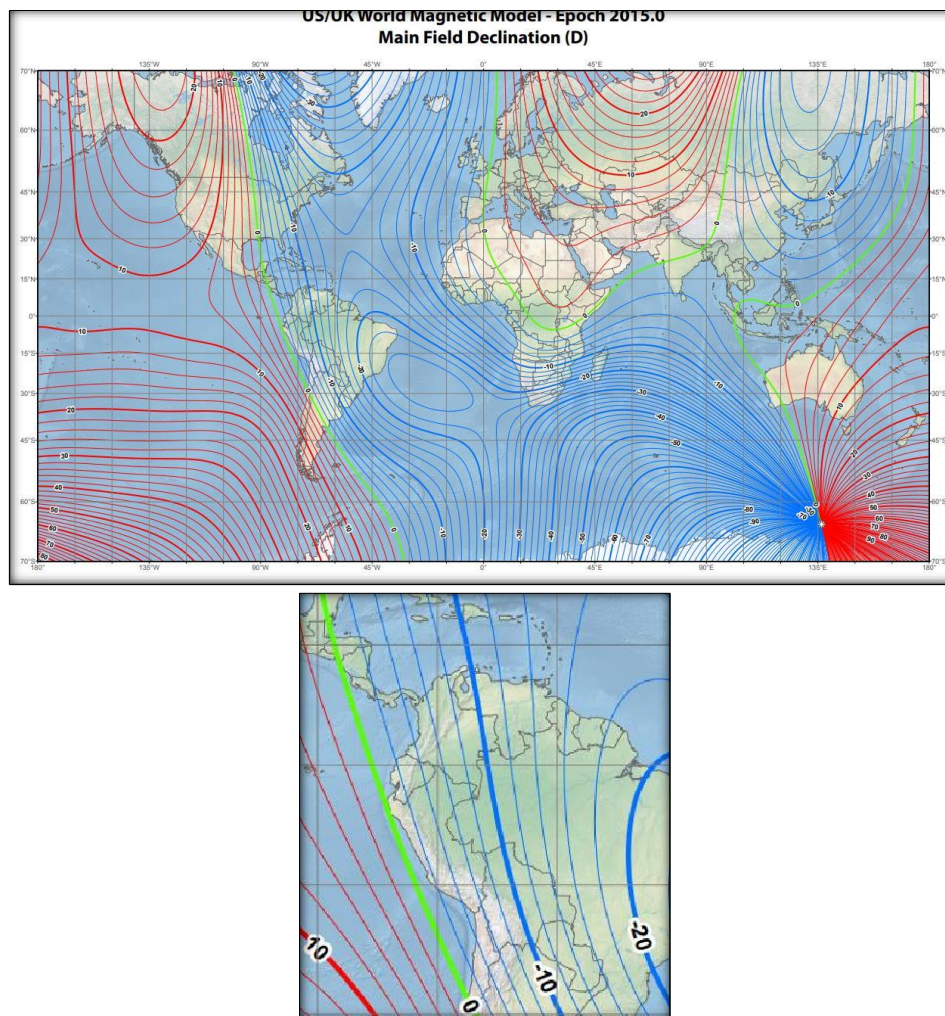


Ilustración 37. Modelo de Declinación Magnética Mundial 2105 -2019.

Recuperado de: [https://ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/data/WMM2015/WMM2015\\_D\\_MERC.pdf](https://ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/data/WMM2015/WMM2015_D_MERC.pdf)

Mediante la imagen anterior, se puede inferir que los promedios obtenidos en las Estaciones Geomagnéticas y aplicando el método de interpolación IDW con el fin de predecir los posibles valores promedios; concuerdan con el modelo actual para la respectiva componente, encontrándose los valores dentro del rango estandarizado, dado en el año 2015 por la National Centers For Environmental Information, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Facultad de Ciencias Agropecuarias

-Semivarianza.

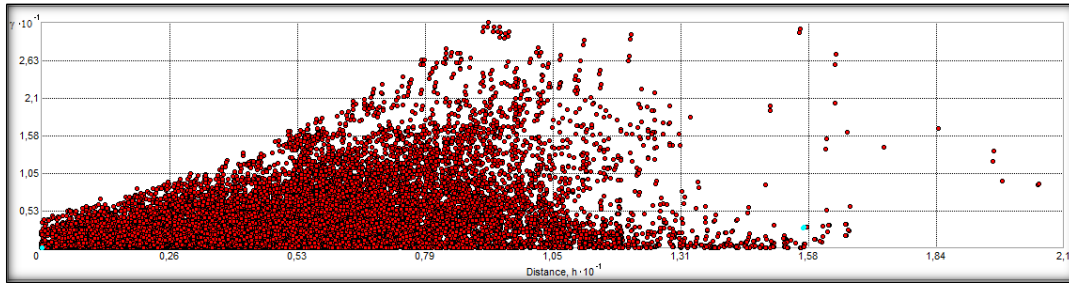


Gráfico 6. Nube de Semivarianza de Declinación Magnética, con Ángulo de Tolerancia 0°.

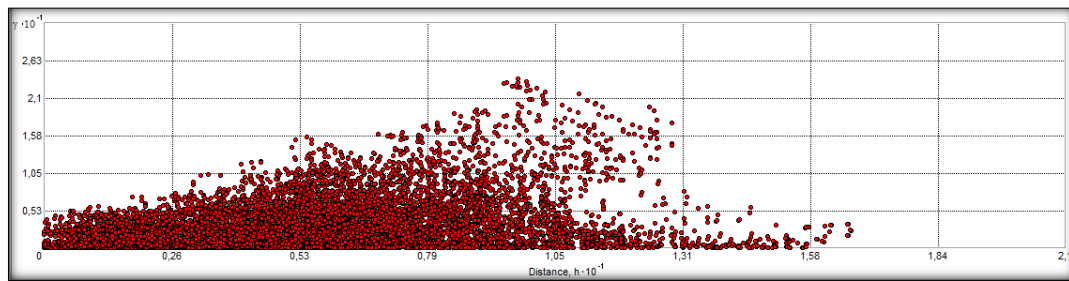


Gráfico 7. Nube de Semivarianza de Declinación Magnética, con Ángulo de Tolerancia 45°.

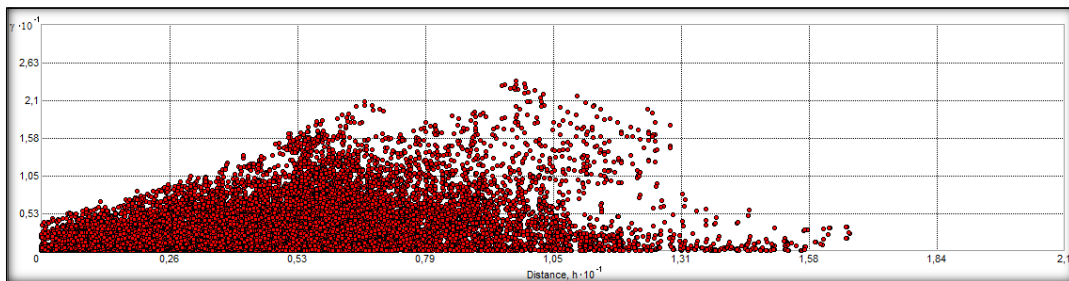


Gráfico 8. Nube de Semivarianza de Declinación Magnética, con Ángulo de Tolerancia 90°.

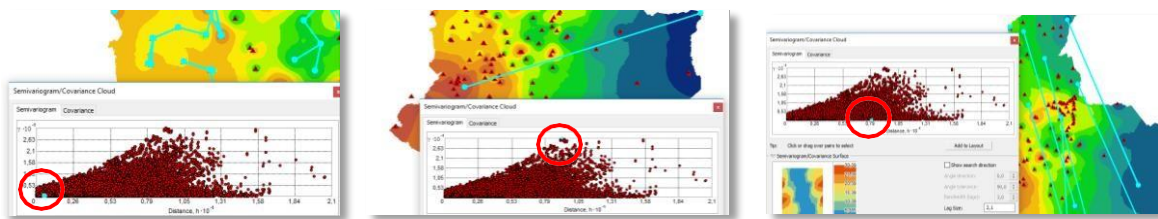


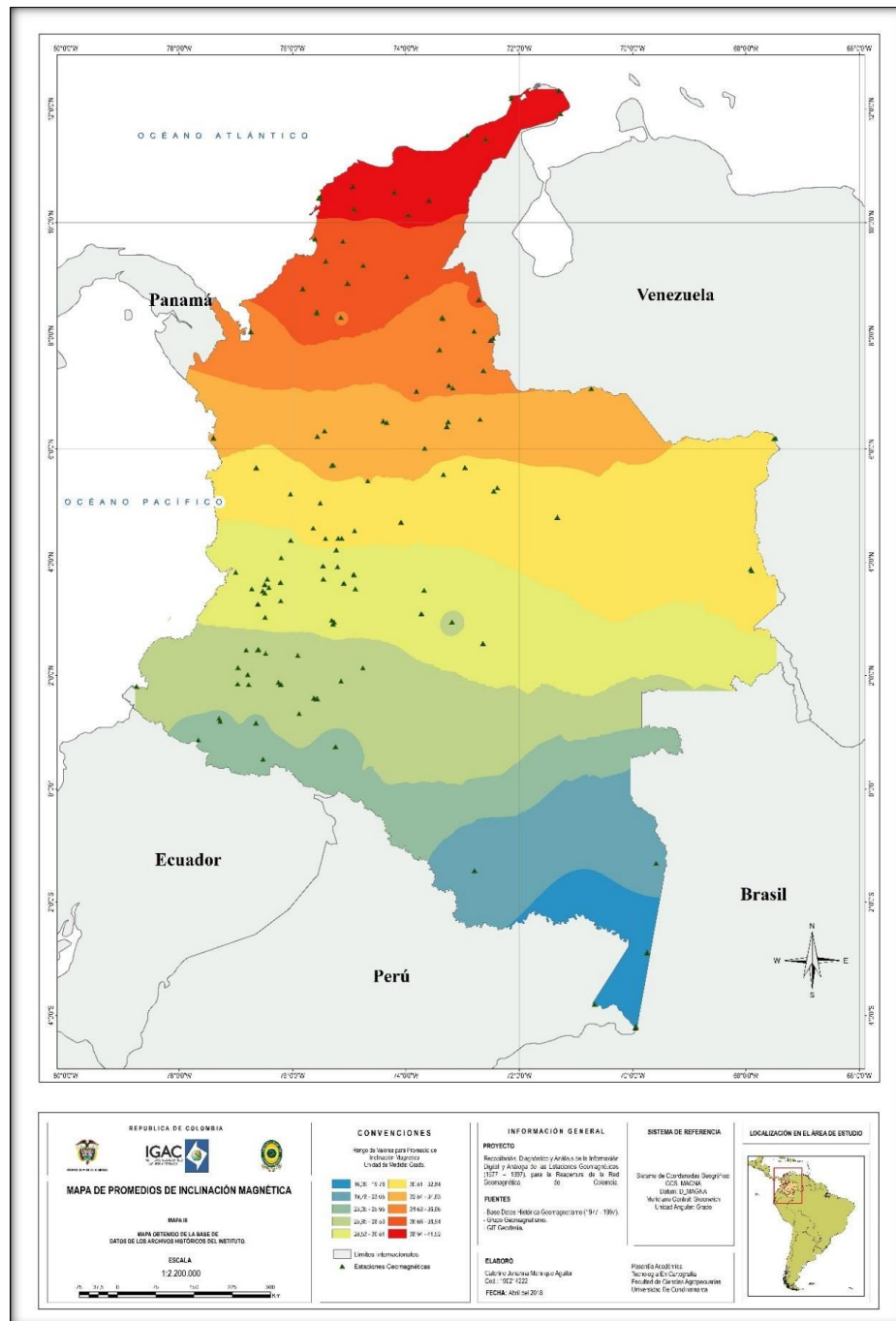
Gráfico 9. Identificación de la relación Distancia - Dirección – Valores de Declinación Magnética.

Esta herramienta estadística caracteriza las propiedades de dependencia espacial. De esta manera, se puede apreciar mediante la nube de semivarianza el comportamiento de la variable Declinación con respecto a las Estaciones y el valor adquirido.

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**

Siendo así, se aplicaron Ángulos de Tolerancia para analizar el comportamiento de dicha variable. El primero corresponde a 0°, el segundo a 45° y el tercero a 90°. De esto se obtuvo una disminución de puntos en cada uno de los semivariogramas, lo que correspondió a la identificación de ciertas características de esta.

**8.3.2.2. Mapa Inclinación Magnética:**



Facultad de Ciencias Agropecuarias

8.3.2.2.1. Análisis Estadístico:

- Histograma.

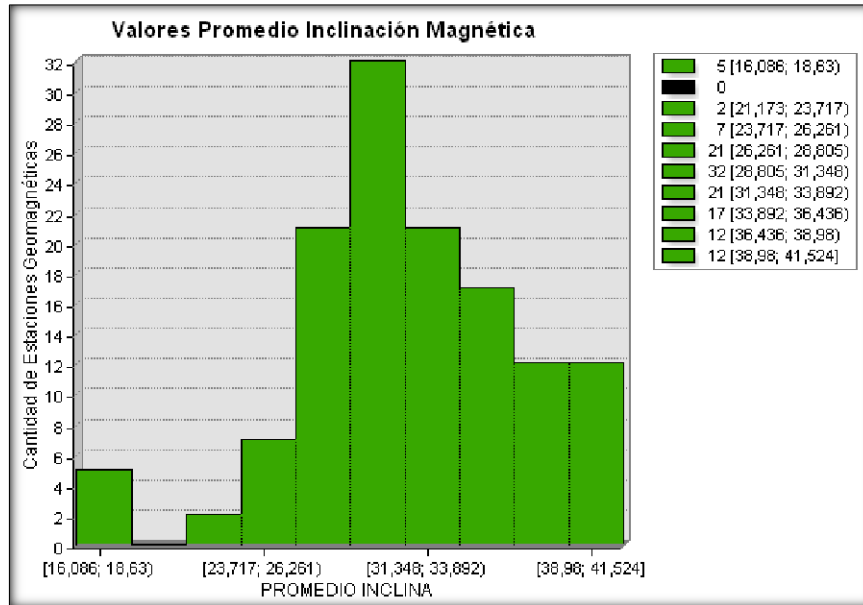


Gráfico 10. Histograma de Inclinación Magnética.

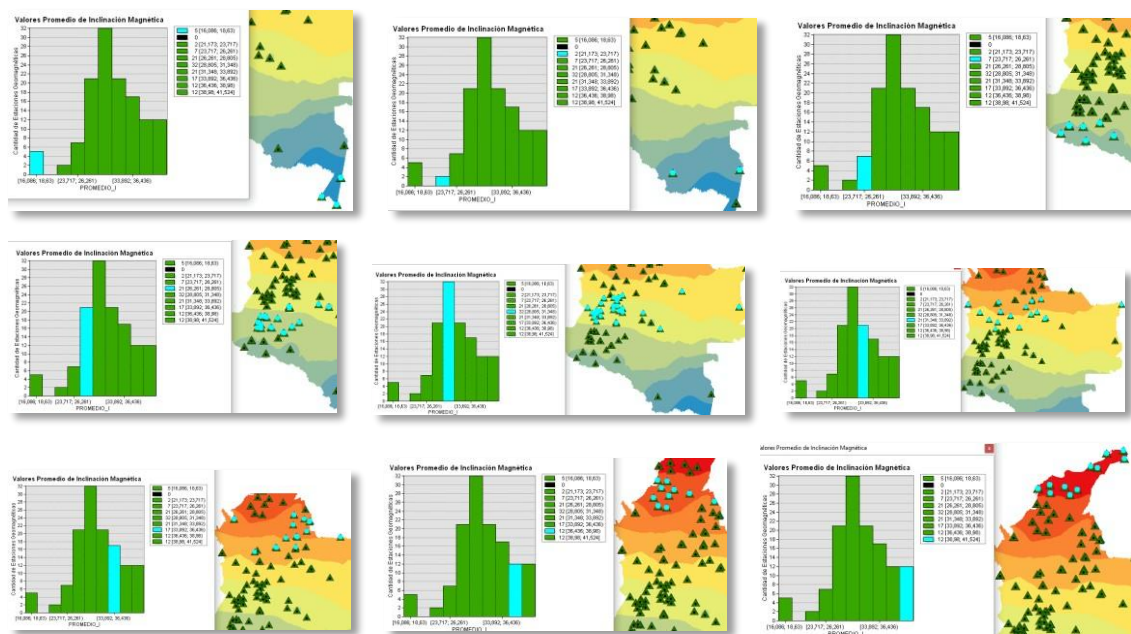
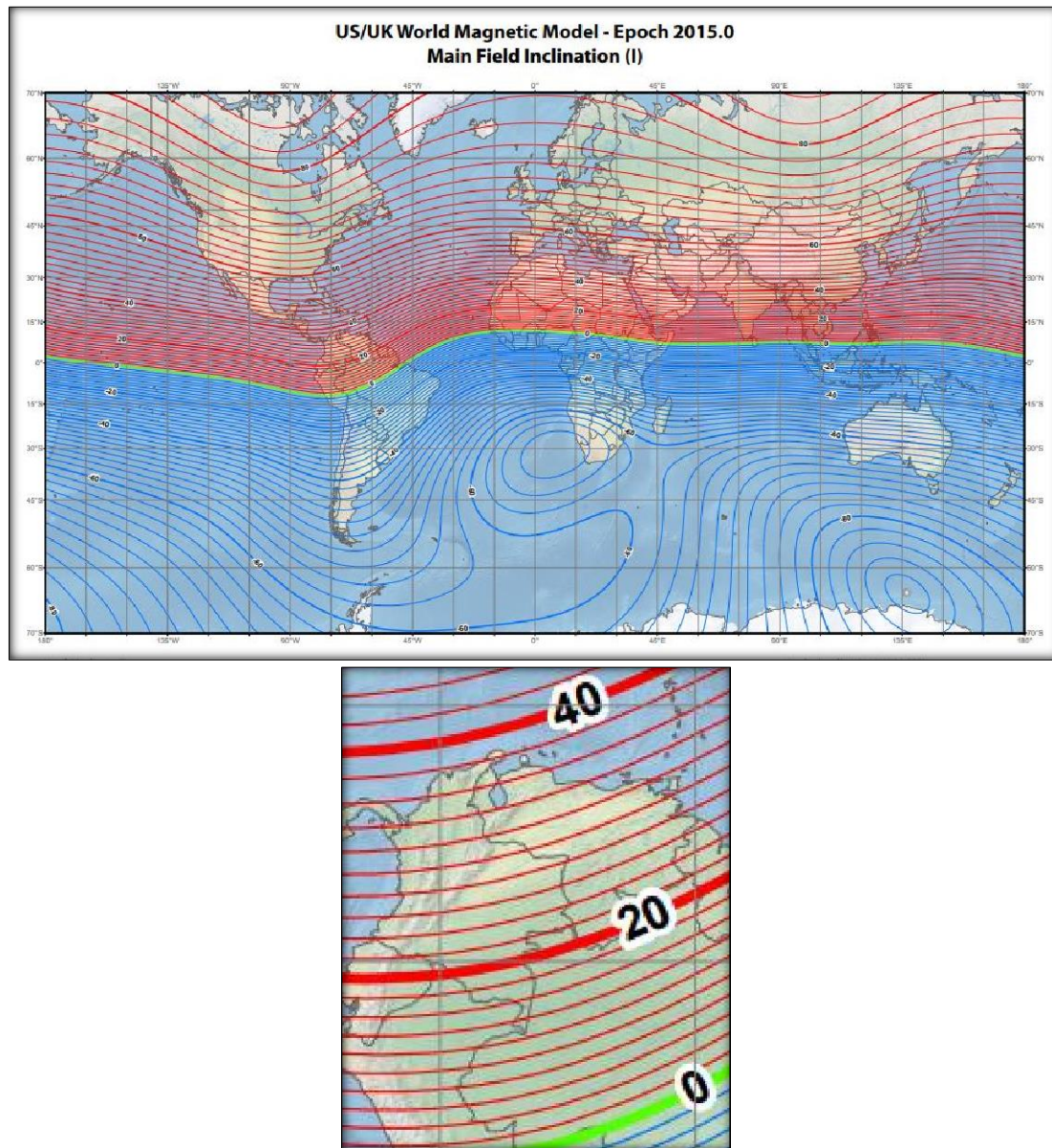


Gráfico 11. Identificación Espacial de las Estaciones según su Valor Promedio de Inclinación Magnética.

Facultad de Ciencias Agropecuarias



*Ilustración 38. Modelo de Inclineración Magnética Mundial 2105 -2019.*

Recuperado de: [https://ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/data/WMM2015/WMM2015\\_D\\_MERC.pdf](https://ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/data/WMM2015/WMM2015_D_MERC.pdf)

La comparación entre la cartografía generada de los registros de la base de datos 1977 – 1997 y el modelo de la NOAA para la Inclineración Magnética del año 2015; dio como resultado la similitud de valores para las diferentes latitudes, pues estos datos, tienen un patrón en el que sus valores ascienden para dicha zona, en sentido sur – norte y se argumenta dicho patrón con la tabla de atributos que muestra sus valores más altos en la Región Caribe, con 40,874266 para La Guajira, luego siguen Atlántico, Magdalena, Bolívar y Cesar.

De esta forma, se asume que el comportamiento de esta componente para el lapso estudiado es normal frente al modelo propuesto y así mismo, no se evidencia gran cambio entre los valores para el dicha época y la actual.

Facultad de Ciencias Agropecuarias

- Semivarianza:

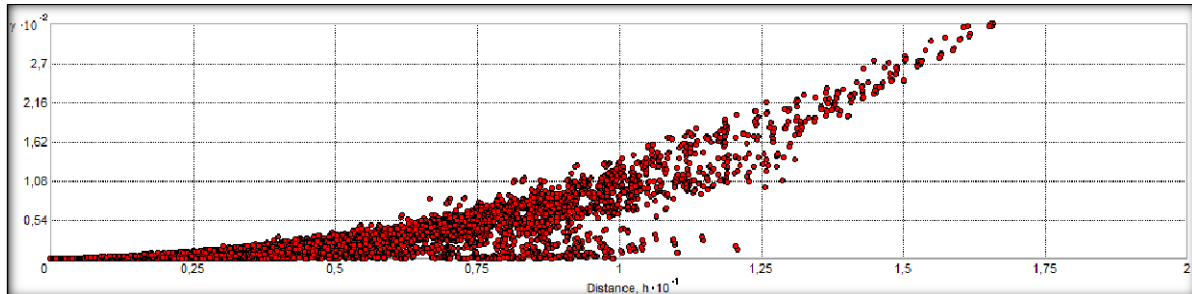


Gráfico 12. Nube de Semivarianza de Inclinación Magnética, con Ángulo de Tolerancia 0°.

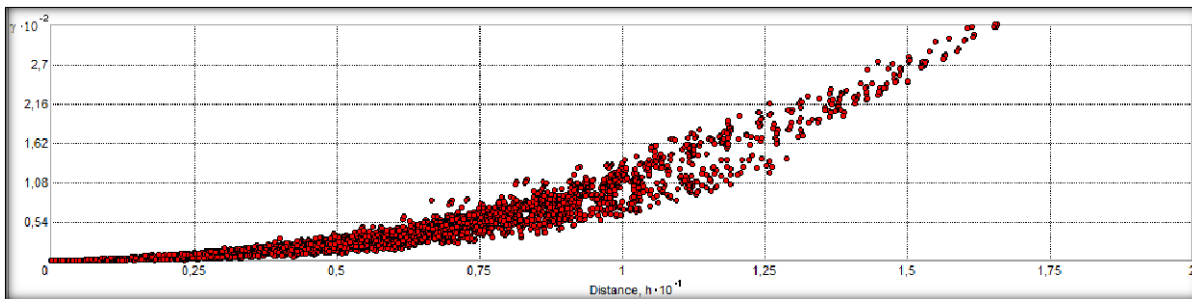


Gráfico 13. Nube de Semivarianza de Inclinación Magnética, con Ángulo de Tolerancia 45°.

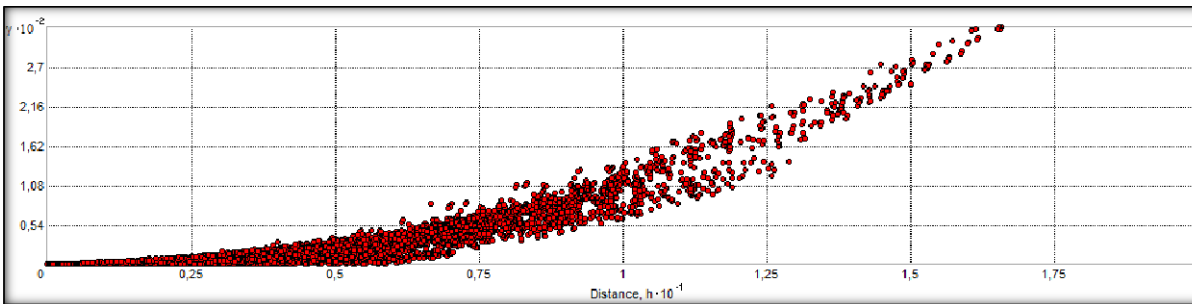
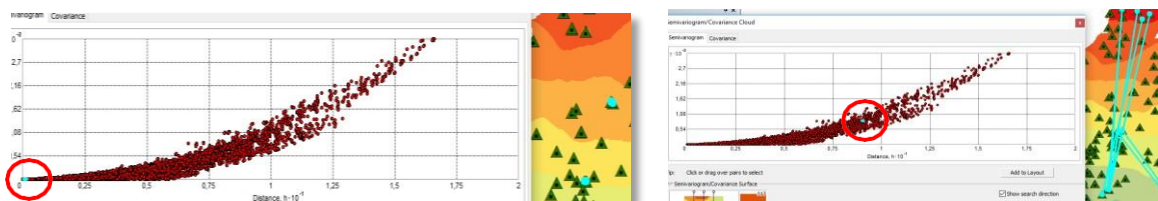


Gráfico 14. Nube de Semivarianza de Inclinación Magnética, con Ángulo de Tolerancia 90°.



## Facultad de Ciencias Agropecuarias

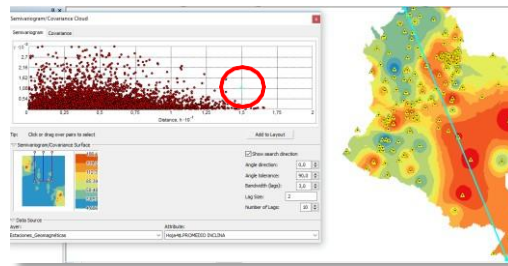


Gráfico 15. Identificación de la relación Distancia - Dirección – Valores de Inclinación Magnética.

Según los semivariogramas, el comportamiento de los valores para esta componente aumenta a medida que aumenta la distancia. Es decir, que a medida que se toman los datos en las estaciones de sur a norte, aumenta su valor. Por lo tanto, se puede inferir que tiene un comportamiento normal respecto al modelo de la NOAA y que dicha variable, no ha tenido un cambio tan notorio a diferencia que la Declinación Magnética.

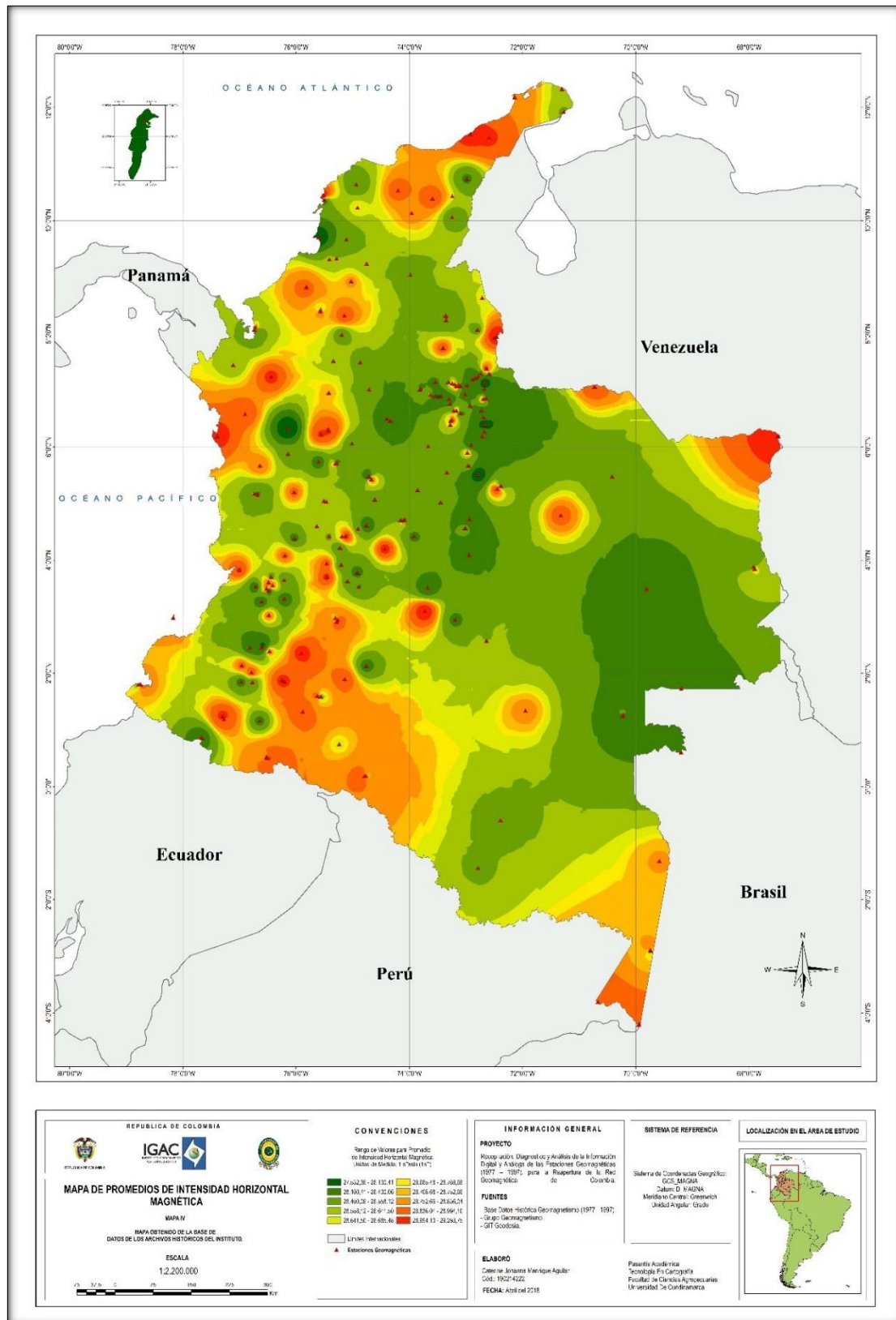
### 8.3.2.3. Mapa de Intensidad Horizontal:

En efecto, se aprecia una concentración de los valores más altos hacia la parte central del país, evidenciándose desde el Suroeste hacia el Noreste.

En este sentido, decrecen los datos donde se refleja una tendencia desde el centro hasta la periferia del país de los valores más altos a los más bajos respectivamente. En ese sentido, Santander presenta el valor promedio más alto, éste de 28843,043; y de esta manera, ocupan lugar en dicho rango de valores, Cauca, Valle del Cauca, Huila, Tolima, Caldas y Norte de Santander. Por otro lado, Atlántico, Cesar, Vaupés y La Guajira son los departamentos con menor valor en los promedios para esta componente; es de resaltar que el Amazonas es el departamento con el valor promedio más bajo siendo éste de 27649,223.

Contrario a esto, Amazonas presenta la Inclinación Magnética más baja, con un valor de 18,652335; adicionalmente los departamentos siguientes en este sentido son Caquetá, Putumayo y Nariño.

Facultad de Ciencias Agropecuarias



Mapa 4. Promedios de Intensidad Horizontal.

Facultad de Ciencias Agropecuarias

8.3.2.3.1. Análisis Estadístico.

- Histograma.

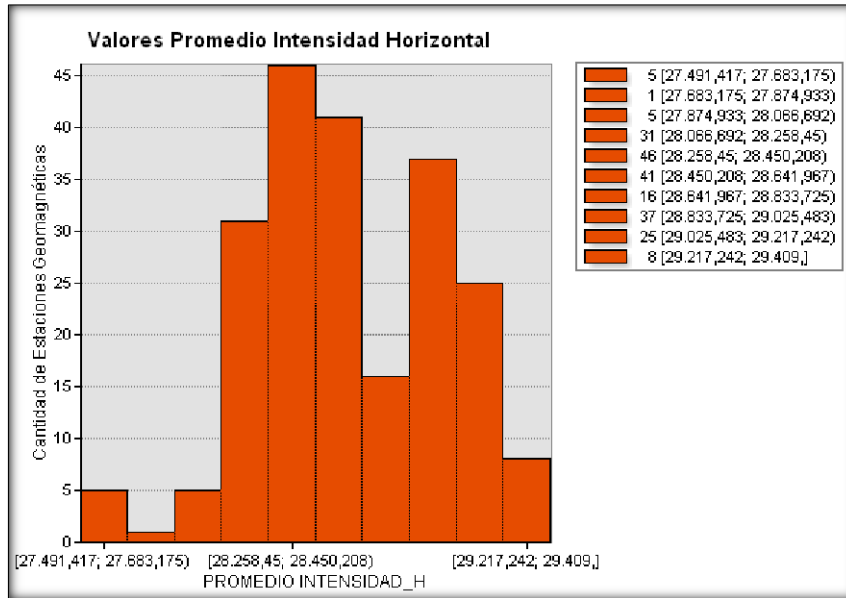
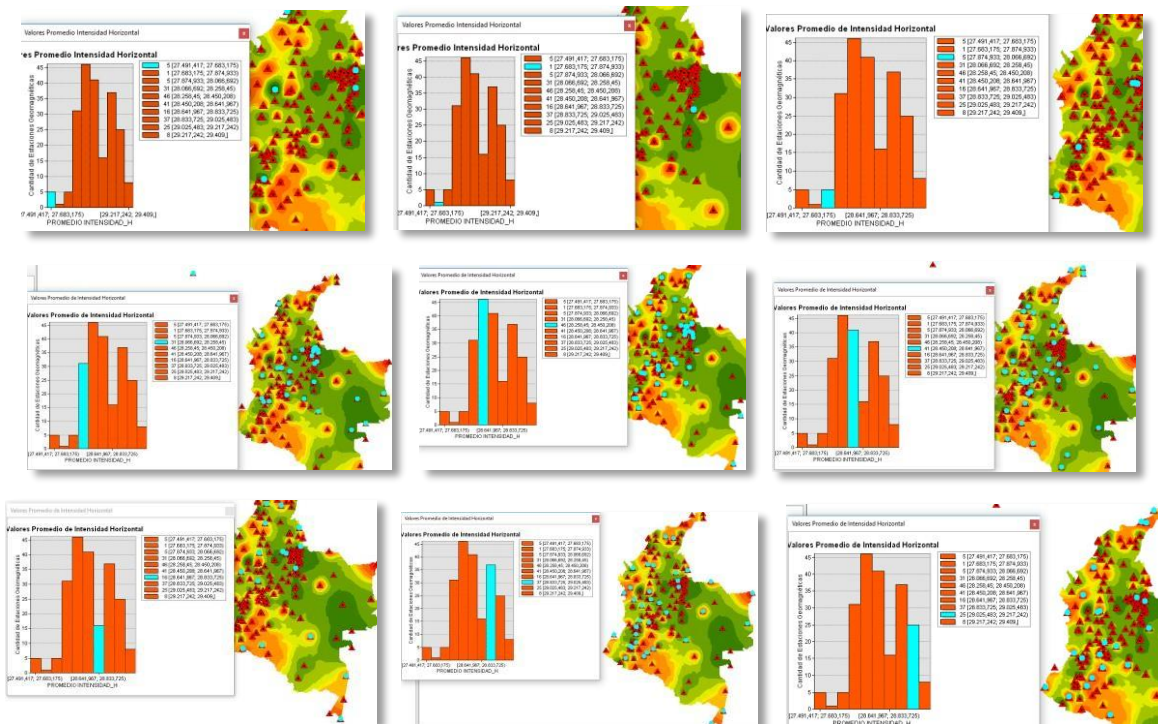


Gráfico 16. Histograma de Inclinación Magnética.



Facultad de Ciencias Agropecuarias

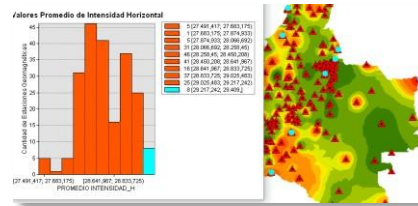


Gráfico 17. Identificación Espacial de las Estaciones según su Valor Promedio de la Intensidad Horizontal.

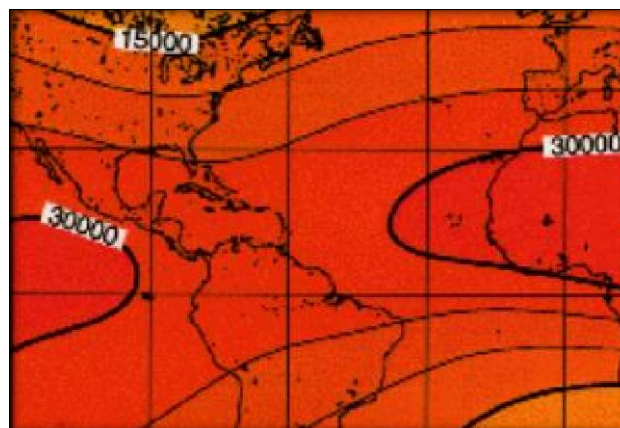
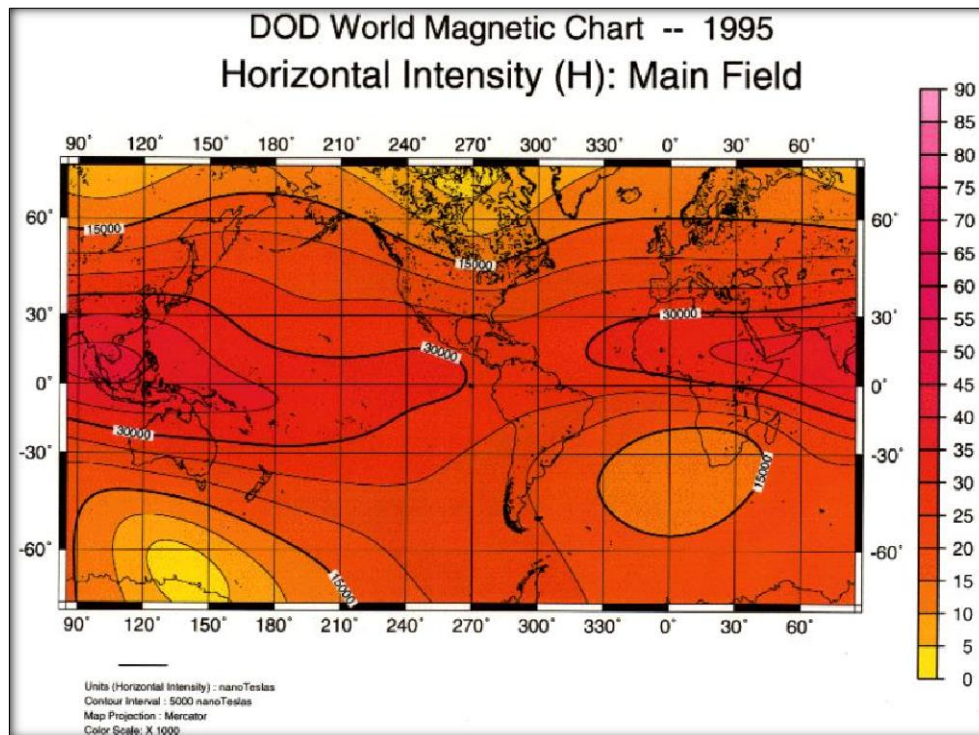


Ilustración 39. Modelo de Intensidad Horizontal Mundial 1995.

Recuperado de: <http://www.geociencias.unam.mx/~rmolina/Paleomagnetismo-html/magearth.html>

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

El contraste entre el modelo de 1995 y la cartografía adquirida de los registros de 1977 – 1997, presenta los valores dentro del rango que se presenta en Colombia para la época. De esta manera, se localizan los valores más altos hacia las periferias del país, concentrándose en la zona suroeste.

En efecto, se aprecia una concentración de los valores más bajos representados por las tonalidades verdes hacia el centro del país.

En ese sentido, Santander presenta el valor promedio más alto, éste de 28843,043; y de esta manera, ocupan lugar en dicho rango de valores, Cauca, Valle del Cauca, Huila, Tolima, Caldas y Norte de Santander.

### - Semivarianza.

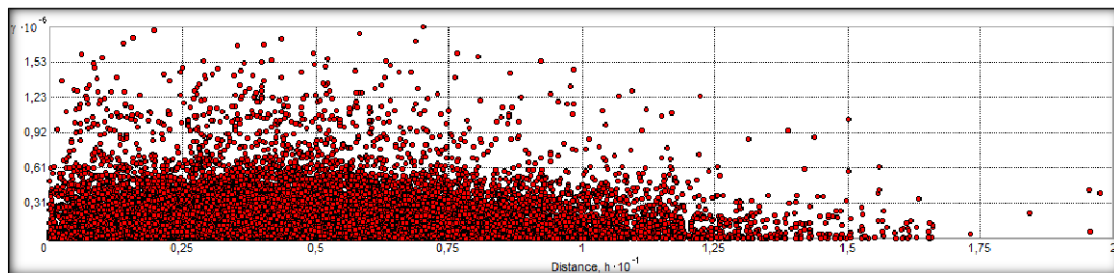


Gráfico 18. Nube de Semivarianza de la Intensidad Horizontal con Ángulo de Tolerancia 0°.

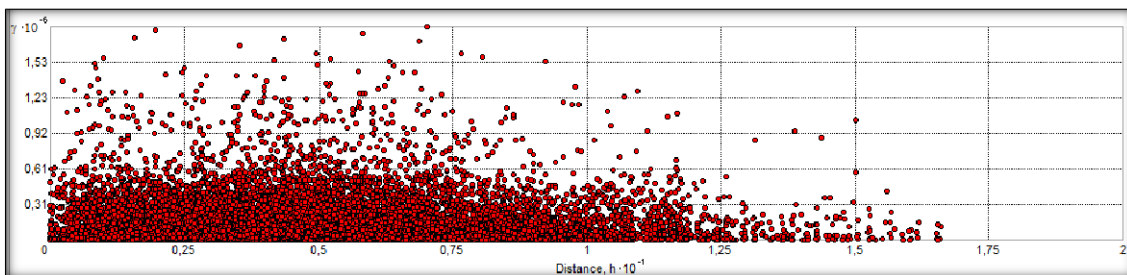


Gráfico 19. Nube de Semivarianza de la Intensidad Horizontal con Ángulo de Tolerancia de 45°.

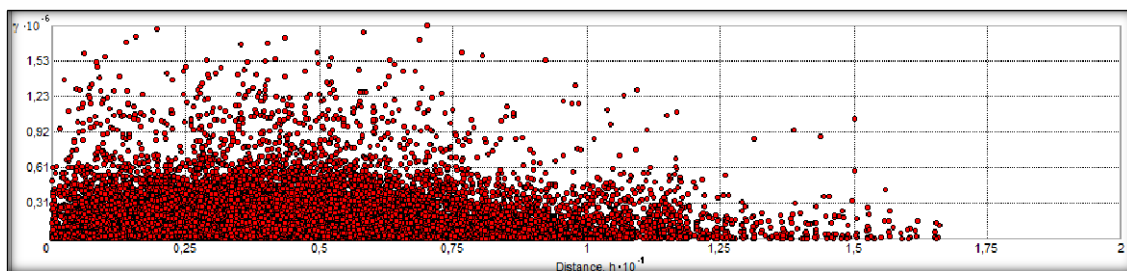


Gráfico 20. Nube de Semivarianza de la Intensidad Horizontal con Ángulo de Tolerancia de 90°.

Facultad de Ciencias Agropecuarias

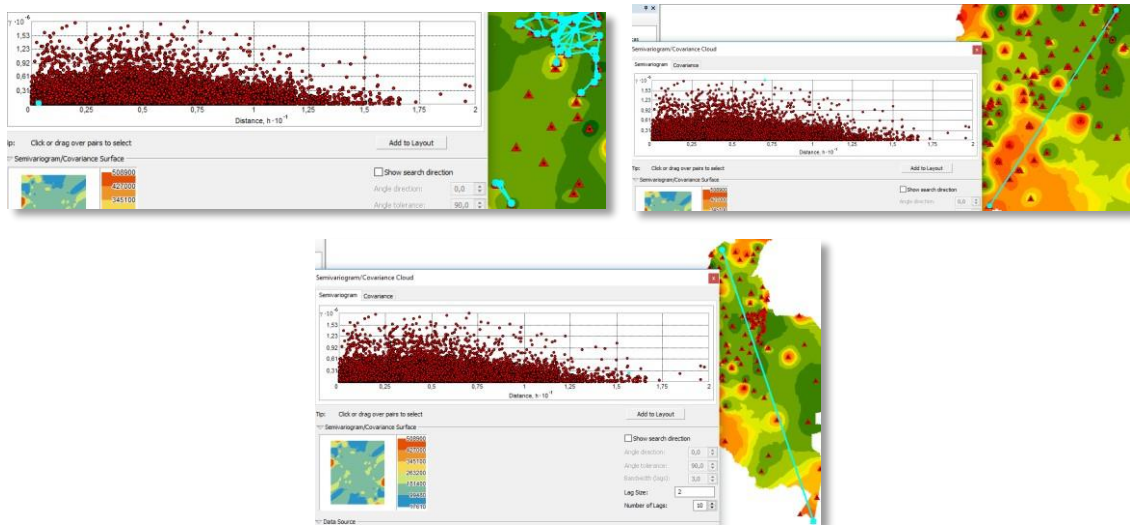


Gráfico 21. Identificación de la relación Distancia - Dirección – Valores de Intensidad Horizontal.

En la Semivarianza se puede inferir que los datos no tienen una relación fuerte con la distancia debido a que en distancias cortas y largas hay valores bajos y altos. Sin embargo, en lugares muy distantes si se alcanza a presenciar valores medios de los promedios.

Dicho lo anterior, se puede contrastar la cartografía generada con el modelo plasmado donde se rectifica la fidelidad de los valores debido a que para Colombia, los valores se encuentran entre 30.000 y 25.000 nanoteslas.

**8.4. Análisis Reapertura Red Geomagnética Nacional.**

Dentro de los resultados obtenidos, se encontraron en las páginas 76 y 84, que dos estaciones presentan perturbaciones geomagnéticas según los parámetros establecidos. Esto debido a que la proximidad entre estaciones y objetos o elementos de afectación a la Red, no cumple lo establecido. En este caso, se presenta un traslapo con la capa vectorial de Red de Alta Tensión para las dos estaciones. Lo siguiente se muestra a continuación:

- *Estación con Nomenclatura 274.*

Ubicada en el departamento del Quindío, en el municipio de Armenia.

Facultad de Ciencias Agropecuarias

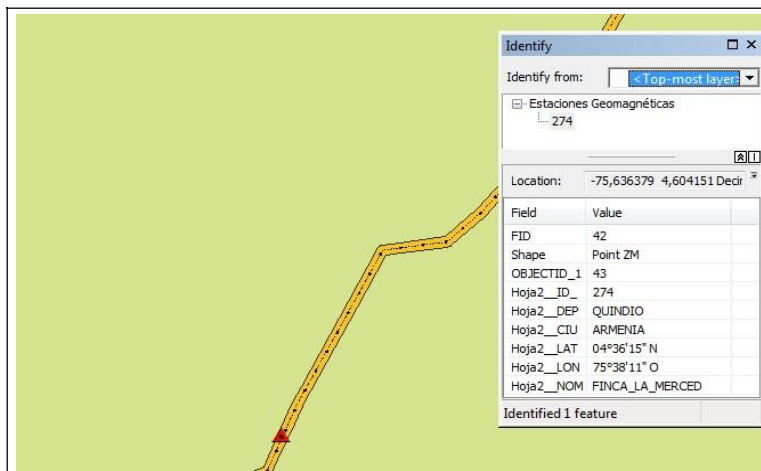


Ilustración 40. Traslapo entre Estación 274 y Buffer de Red de Alta Tensión.

- **Estación con Nomenclatura 72.**

Ubicada en el departamento del Valle del Cauca, en el municipio de Zarzal.

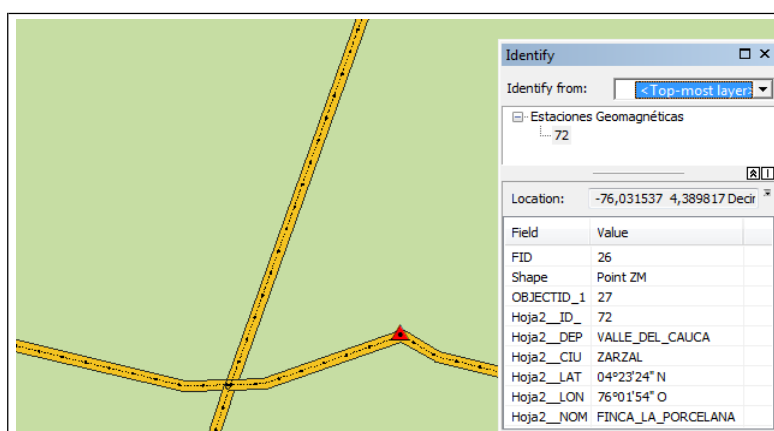


Ilustración 41. Traslapo entre Estación 72 y Buffer de Red Alta Tensión.

---

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

### 9. CONCLUSIONES.

Se logró de forma satisfactoria transformar la información de los datos de registros de la antigua Red Geomagnética Nacional (1977 - 1997), de formato análogo a digital por medio del programa de Microsoft Excel 2013, bajo una base de datos, con la cual, se generó una Personal Geodatabase en el programa ArcGIS 10.3. Sin embargo, es necesario aclarar, que algunas estaciones de repetición no contaban con sus coordenadas de localización, nombre completo o datos faltantes de las componentes tomadas en cada una de las estaciones. Además, es importante resaltar que la estructuración de la base de datos histórica no solo contiene los registros de las estaciones sino también el nombre de cada una de estas, su ubicación municipal y departamental, los instrumentos y la fecha en que fueron tomados dichos datos.

Por otro lado, mediante los cinco mapas generados, y el análisis de los buffer realizados a los parámetros establecidos por el IGAC para la reapertura de la Red, se pudo deducir que, a través del análisis bajo la GDB escala 1:100.000 y GDB escala 1:25,000, las estaciones con nomenclatura 274 ubicada en el departamento del Quindío y la 26 en el departamento del Valle del Cauca, presentan un traslapeo en el búffer aplicado a la capa de Red de Alta Tensión. Por lo tanto, se infiere que hay una alteración en las señales geomagnéticas, según el resultado obtenido. En ese sentido, los responsables del trabajo de campo para la revisión y rectificación de estaciones geomagnéticas deben tener presente dicho análisis cartográfico para la reubicación o eliminación de estas dos estaciones del respectivo proyecto.

Para el mapa Promedio Declinación Magnética, al haber espacializado los datos recopilados de las estaciones geomagnéticas dentro de la cartografía generada se comparó con el modelo propuesto por la NOAA y se logró apreciar que estos dos modelos tienen valores muy aproximados dentro del área de estudio, dando así una fidelidad y confiabilidad más precisa a los rangos de valores obtenidos mediante el método de interpolación IDW. Sin embargo, es de notar que se ve un decaimiento del campo geomagnético en esta componente debido a que se los registros tomados entre los años 1977 y 1997 tienen una diferencia de  $2^{\circ}$  -  $4^{\circ}$  aproximadamente, en contraste a los valores postulados en el modelo de la NOAA para los años 2015 - 2019.

Por otro lado, para el mapa de valores Promedio de la Inclinación Magnética la comparación realizada con el modelo postulado por la NOAA, los valores se encuentran dentro del rango respectivo para Colombia y así mismo se evidencia el aumento de la misma con sentido norte, con un valor aproximado entre  $2^{\circ}$  y  $4^{\circ}$ .

La Intensidad Horizontal, al igual que las dos componentes anteriores, se encuentra dentro del rango establecido según el modelo mundial, puesto que su rango de valores oscila entre los 30.000 y 25.000 nanoTesla.

Finalmente, para estas tres componentes se puede decir que son variables regionalizadas que presentan una estacionariedad débil ya que sus valores dependen de la distancia y la orientación. Por ello, son procesos anisotrópicos en los que se ve claramente la función de dependencia en los dos factores ya mencionados.

---

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

No obstante, la toma de decisiones y medidas para reabrir la Red, debe apoyarse tanto en la cartografía pertinente generada y necesariamente a través de la corroboración en campo de las zonas donde se encuentran todas las estaciones y así verificar que no existan elementos u objetos alrededor de las mismas dentro de un radio de 50 metros (parámetro establecido por el IGAC, para la materialización y toma de datos magnéticos).

Bajo este marco de desarrollo, se postula realizar una búsqueda en la parte Suroeste del país, debido a que es la zona con los índices más bajos de toma de datos para la Red Geomagnética. Lo anterior, se evidencia en los mapas de valores promedios de las componentes (Inclinación y Declinación Magnética e Intensidad Horizontal), debido a que coincide con distintos departamentos que presentan valores promedios bajos o los más bajos a nivel nacional, concluyendo que es debido a la carencia de estaciones respecto al resto del país.

Finalmente, se resalta el proyecto puesto que en la actualidad es necesario contar con estos datos históricos de forma digital, concisa y verídica debido a que hace parte del patrimonio nacional y con la información consolidada de sus datos, puede ser de gran ayuda para la Red Geomagnética Mundial INTERMAGNET. Paralelamente, con la reapertura de la Red, se podrá demostrar el desplazamiento de las componentes de las señales magnéticas y así, se determinarán los patrones y tendencias de cada una de éstas, observando las cartas magnéticas históricas y realizando una comparación con la cartografía próxima a generar; actualizando la información requerida para diversos estudios e investigaciones, tanto nacionales como internacionales, a fin de este proyecto.

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**

**10. CRONOGRAMA.**

N°	Actividades	MES																
		SEP				OCT				NOV				DIC				
		semana				semana				semana				semana				
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	Desarrollo de escalamientos de magnetogramas correspondientes a los meses de julio y agosto del año 2017.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
2	Escaneo de magnetogramas correspondientes a los meses de (II Periodo) del año 2017.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
3	Elaboración y Entrega Informe mensual con las actividades ejecutadas (Sept- Oct-Nov-Dic) y avances de los documentos finales.				X				X				X				X	
4	Revisión bibliográfica y documentación de geomagnetismo general.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
5	Recopilación y revisión bibliográfica de la documentación histórica referente a la Red Geomagnética Nacional (IGAC).				X	X	X	X	X									
6	Recopilación y revisión de los datos geomagnéticos históricos de las estaciones Red Geomagnética Nacional.				X	X	X	X	X									
7	Diagnóstico de la documentación y los datos geomagnéticos históricos de las estaciones de la Red Geomagnética Nacional.						X	X	X	X	X							
8	Desarrollo de la metodología para la consolidación de la información: Organización, estructuración y entrega de la base de datos histórica de la Red Geomagnética Nacional en análogo y digital.								X	X	X	X						
9	Desarrollo de metodología para la investigación de la Red Geomagnética nacional: Generación de propuesta para el re-establecimiento de la Red con base a la revisión de la documentación y datos históricos de las estaciones, incluyendo resumen de parámetros y especificaciones								X	X	X	X						

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**

	históricas que fundamentaban la Red.																	
<b>10</b>	Investigación de parámetros y especificaciones de Redes Geomagnéticas.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
<b>11</b>	Estructuración del informe final de acuerdo a los lineamientos acordados en el documento de proyecto pasantía.											X	X	X	X			
<b>12</b>	Socialización del proyecto y realización de correcciones.															X	X	
<b>13</b>	Cierre del proyecto y presentación final.															X	X	

---

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

### 11. BIBLIOGRAFÍA.

- Universidad Nacional Experimental Antonio José De Sucre. (5 de octubre de 2011). *www.electromagnetismounexpo.blogspot.com.co*. Obtenido de <http://electromagnetismounexpo.blogspot.com.co/2011/10/william-gilbert.html>
- Aguirre, F. A. (abril de 2012). Antecedentes del Estudio del Campo Magnético Terrestre en Colombia. *Scientia Et Technica*, vol. XVII, núm. 50.
- Cipagauta-Lara, E. C., & Durand-Manterola, H. J. (2010). Efectos de Tormentas Geomagnéticas sobre la Ionosfera de las Estaciones El Cerrillo (Toluca, México) y Boulder (Colorado, EUA). *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 27, núm. 2.
- Date, C. (2001). *Introducción a los Sistemas de Bases de Datos*. Obtenido de <https://unefazuliasistemas.files.wordpress.com/2011/04/introduccion-a-los-sistemas-de-bases-de-datos-cj-date.pdf>
- El Campo Magnético de la Tierra. (s.f.). En *Geofísica de la Tierra Sólida* (pág. 71).
- Escuela Latinoamericana de Geomagnetismo. (2004). 50 Años de Historia del Geomagnetismo en Colombia. *Geos Vol. 24, No. 2*.
- Española, A. (s.f.). <http://www.armada.mde.es>. Obtenido de [http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/ciencia\\_observatorio/prefLang\\_es/05\\_Geofisica--02\\_servicio\\_geomagnetismo#](http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/ciencia_observatorio/prefLang_es/05_Geofisica--02_servicio_geomagnetismo#)
- Fuentes, S. (12 de julio de 2009). *Campos Magnéticos*. Obtenido de <http://magnetofis221.blogspot.com.co/2009/07/ley-de-coulomb.html>
- Geomagnetismo, S. d. (Dirección). (2015). *Pliegues y Cabaldaduras de la Deformación Chilpanteca Durante el Eoceno, Sector Tierra Colorada, Gro.* [Película].
- IGAC - Subdirección de Cartografía y Geografía. (s.f.). *Observatorio Geomagnético de Fúquene*.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (s.f.). [www.igac.gov.co](http://www.igac.gov.co). Obtenido de [http://www.igac.gov.co/wps/portal/igac/raiz/iniciohome/TramitesServicios/FueraDeServicio!/ut/p/c4/04\\_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hHT3d\\_JydDRwN3A083A08jJ1MDlxBXYwsnE\\_2CbEdFAGrs9jg!/?WCM\\_PORTLET=PC\\_7\\_AIGOBB1A0G0IF0I2B50DTE38R4\\_WCM&WCM\\_GLOBAL\\_CONTEXT=/wps/wcm](http://www.igac.gov.co/wps/portal/igac/raiz/iniciohome/TramitesServicios/FueraDeServicio!/ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hHT3d_JydDRwN3A083A08jJ1MDlxBXYwsnE_2CbEdFAGrs9jg!/?WCM_PORTLET=PC_7_AIGOBB1A0G0IF0I2B50DTE38R4_WCM&WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm)
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (s.f.). Observatorio Geomagnético de Fúquene, 1953.
- Intermagnet. (24 de febrero de 2017). <http://www.intermagnet.org/>. Obtenido de <http://www.intermagnet.org/history-eng.php>

---

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

Larocca, P. A., & Silbergleit, V. M. (2010). Períodos Perturbados: Disipación de Energía y Corrientes Geomagnéticas Inducidas. *Geoacta* v.35 n.1.

*Magnetismo Terrestre* (s.f.). [Película].

Magnetismo terrestre. Carl Friedrich Gauss. (12 de julio de 2012). *El Magnetismo Terrestre*. Grandes genios e inventos de la humanidad.

Moisés López Caeiro. (14 de Julio de 2012). El Magnetismo Terrestre - Carl Friedrich Gauss - Física Geofísica. *El Magnetismo Terrestre*.

Montero, G., & Naranjo, J. (2008). Caracterización Geomagnética y Geoeléctrica en la Ciudad Universitaria de la Universidad del Zulia. *Omnia*, vol. 14, núm. 1,.

NASA. (29 de Noviembre de 2003). *NASA Ciencia Beta*. Obtenido de El Inconstante Campo Magnético de la Tierra: [https://ciencia.nasa.gov/science-at-nasa/2003/29dec\\_magneticfield](https://ciencia.nasa.gov/science-at-nasa/2003/29dec_magneticfield)

Nichese. (13 de octubre de 2013). Magnetismo Terrestre, Teoría de la Dinamo Terrestre, Efecto de Coriolis.

Ochoa, E. G., Corvo, F., Estupiñán, P., & Sosa, V. (2015). Efecto del Campo Magnético en la Corrosión del Cobre En Ausencia De Fuerzas De Lorenz. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, Vol 46, Número Especial., 60.

Rams, M. (2 de Septiembre de 2015). *Cinco Claves para Crear una Base de Datos*. Obtenido de <https://marketing4ecommerce.net/cinco-claves-crear-una-base-de-datos/>

Rathert, M. C. (22 de Junio de 2013). *Unión Geofísica Mexicana*. Obtenido de Paleomagnetismo y el Estudio del Campo Magnético Terrestre: <http://ugm.org.mx/wordpress/paleomagnetismo-y-el-estudio-del-campo-magnetico-terrestre/>

Ríos, H. B., Calderón, E. R., & Parra, E. R. (2012). *Principios de Electricidad y Magnetismo*. Manizales, Colombia.

Rosales, D., Vidal, E., & Orihuela, S. (2011). Desplazamiento del Ecuador Magnético, Próximo Arribo al Observatorio Geomagnético de Huancayo. *Latinmag Letters*, Volume 1, Special.

Ruíz, F. (s.f.). Geomagnetismo. *Instituto Geofísico Sismológico "Ing. F. Volponi", Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan - Argentina.*, 2.

---

## Facultad de Ciencias Agropecuarias

- Sánchez, H. J. (s.f.). *El Origen del Campo Magnético Terrestre*. Obtenido de [http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/42637/1/Origen\\_Campo\\_Magnetico\\_Hector\\_Jardon.pdf](http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/42637/1/Origen_Campo_Magnetico_Hector_Jardon.pdf)
- Sánchez, M. A., Fernández, M. R., Folguera, A., Martínez, M., & Álvarez, O. (2016). Interpretación Estructural del Sector Norte del Flatslab Pampeano a Partir de Datos Magnéticos. Precordillera de San Juan y la Rioja. *Geoacta*.
- Soberanes, C. L. (25 de abril de 2004). *www.astronomos.org*. Obtenido de Campo Magnético de la Tierra: <http://www.astronomos.org/articulistas/Polaris/2004/17-Cmagnetico.pdf>
- Tiempo. (7 de Febrero de 2011). *¿Por qué el Polo Norte Magnético se Dirige Hacia Siberia?* Obtenido de <https://www.tiempo.com/ram/13031/13031/>
- Ubieta, K. (Marzo de 2010). *Universidad Nacional Abierta y a Distancia*. Obtenido de Paleomagnetismo: Inversión de los Polos Magnéticos en Tiempos Geológicos.: <https://www.unan.edu.ni/oaunan/Palomagnetismo.pdf>
- Universidad de Alicante. (s.f.). *Teoría de Bases de Datos*. Obtenido de <https://si.ua.es/es/documentos/documentacion/office/access/teoria-de-bases-de-datos.pdf>
- Universidad de Granada. (s.f.). *Departamento de Ciencias de la Comunicación e I.A.* Obtenido de Introducción a las Bases de Datos - Fundamentos de Diseño de Bases de Datos: <http://elvex.ugr.es/idbis/db/docs/intro/B%20Bases%20de%20Datos.pdf>
- Zander. (2016). *¿Cómo se Origina el Campo Magnético Terrestre? México*.
- Zeke, M. A. (2014). Las Variaciones Geomagnéticas Tranquilas (Sq) y su Relación con el Vórtice de Corrientes Ionosféricas Equivalentes. *Geoacta*.
- Zeke, M. A. (junio 2010). Influencia de la Anomalía Geomagnética del Atlántico Sur (Sama) en las Variaciones Geomagnéticas Debidas a Compresiones Magnetosféricas Súbitas por el Viento Solar. *Geoacta v.35 n.1*.