



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

PAULA DANIELA SÁNCHEZ CIFUENTES

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
TECNOLOGÍA EN CARTOGRAFÍA
FUSAGASUGÁ
2018**



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

**PAULA DANIELA SÁNCHEZ
COD: 190214219**

**DIRECTOR
SOCRATES CARDONA GIRALDO
Ingeniero Topográfico
Especialista en Avalúos**

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
TECNOLOGÍA EN CARTOGRAFÍA
FUSAGASUGÁ
2018**



**ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES
GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO
DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.**

NOTA DE ACEPTACIÓN

SÓCRATES CARDONA GIRALDO
Director de proyecto

ALVARO ÁNDRES PARRA
Jurado

LUIS ANTONIO HERNADEZ
Jurado



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios por ser mi guía y brindarme las capacidades necesarias para cumplir cada objetivo de mi vida, a mis padres por la oportunidad y apoyo durante el transcurso de la carrera y a todos los docentes del programa de Tecnología en Cartografía que me aportaron los conocimientos necesarios para el desarrollo de este proyecto.



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

DEDICATORIA

A Dios por permitirme llegar hasta este punto, dándome la salud y capacidad de discernir a lo largo de mi vida, además de su paciencia y bondad. A mis padres por inculcarme los valores y mostrarme verdaderos ejemplos de perseverancia y amor, y a cada uno de los docentes del programa de Tecnología en Cartografía que me acompañaron y brindaron su apoyo a lo largo de la carrera.



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE
COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO
DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

CONTENIDO

1. RESUMEN	10
2. INTRODUCCIÓN.....	11
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
4. JUSTIFICACIÓN.....	13
5. OBJETIVOS.....	14
5.1 Objetivo General.....	14
5.2 Objetivos Específicos.....	14
6. MARCO REFERENCIAL	15
6.1 Marco Teórico.....	15
6.1.1 Geomagnetismo y Orígenes del CMT.....	15
6.1.2 Campo Dipolar y Paleomagnetismo.....	16
6.1.3 Campo Magnético Externo.....	17
6.1.4 Componentes del CMT.....	18
6.1.5 Modelos Teóricos del CMT: IGRF - WMM.....	19
6.1.6 Red de Observatorios Globales.....	20
6.1.6.1 Observatorio Geomagnético de Fúquene.....	21
6.1.7 Cartas Geomagnéticas.....	24
7. DISEÑO METODOLÓGICO.....	26
7.1 Descripción del Área de Estudio.....	26
7.2 Metodología.....	28
7.2.1 Esquema Metodológico.....	29
7.2.2 Recopilación y Revisión Bibliográfica.....	29
7.2.3 Diagnóstico de la Documentación (Archivos Históricos- Datos de Estaciones).....	30
7.2.4 Creación y Estructuración de la Base de Datos.....	31
7.2.4.1 Determinación de Campos.....	31
7.2.4.2 Entrada de Datos:.....	32
7.2.4.3 Revisión y Comprobación.....	33
7.2.5 Geoprocesos y Edición Cartográfica.....	33
7.2.5.1 Edición de Mapas (Distribución y Densidad de Estaciones).....	36
7.2.5.2 Edición de Mapas (Promedios y Comportamiento de las Componentes).....	37
7.2.6 Análisis de la Base de Datos y Cartografía.....	41
7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	42



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

8. RESULTADOS	43
8.1 Archivos Históricos y Documentación (Análogo-Digital)	43
8.2 Base de Datos.....	43
8.3 Estaciones de Repetición	47
8.4 Nomenclatura de las Estaciones.....	48
8.5 Distribución de Estaciones por Departamento.....	48
8.6 Distribución Espacial de Estaciones de Repetición	50
8.7 Densidad de Estaciones de Repetición a Nivel Nacional.	51
8.8 Comportamiento y Promedio de Componentes (D, I, H).	51
9. CONCLUSIONES.....	58
10. REFERENCIAS.	60



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE
COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO
DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

CONTENIDO DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 1. Representación CMT.	15
Ilustración 2. Posición Polos Magnéticos.	16
Ilustración 3. Interacción de Viento Solar con la Magnetosfera 17	17
Ilustración 4. Elementos del Campo Magnético terrestre (D, I, H, F). 18	18
Ilustración 5. Distribución Espacial de Observatorios Geomagnéticos ITERMAGNET 20	20
Ilustración 6. Magnetómetro Ruska 22	22
Ilustración 7. Magnetómetro de Protones..... 22	22
Ilustración 8. Magnetogramas. 22	22
Ilustración 9 Inductor Terrestre..... 23	23
Ilustración 10. Cronometro 23	23
Ilustración 11. Giroteodolito. 23	23
Ilustración 12. Teodolito Kern. 23	23
Ilustración 13. Esquema “Isla del Santuario”, Laguna de Fúquene. 27	27
Ilustración 14. Formato Digital de Registro IGAC 28	28
Ilustración 15 Magnetograma Correspondiente a Julio 2017..... 28	28
Ilustración 16 Esquema Metodológico..... 29	29
Ilustración 17 Archivo Histórico de Geomagnetismo IGAC 30	30
Ilustración 18 Presentación de Hojas de Campo y Registro de Componentes (D, I, H) 30	30
Ilustración 19. Formato de Estructura Google Docs. 31	31
Ilustración 20 Digitación de Datos. Parámetros..... 33	33
Ilustración 21. Digitación de Datos Componentes. Parámetros..... 33	33
Ilustración 22. División Municipal Nacional y Distribución de Marcas de Punto..... 34	34
Ilustración 23. Exportación a shapefile 34	34
Ilustración 24 Unión de Puntos de Estaciones de Repetición. 35	35
Ilustración 25 .Tabla de Atributos Join, Modificada..... 36	36
Ilustración 26. Plantilla IGAC..... 36	36
Ilustración 27 .Representación del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. 37	37
Ilustración 28 Formula de Transformación Sexagesimal-Decimal. 37	37
Ilustración 29“Join” Componente de Declinación Magnética 39	39
Ilustración 30. Ajuste del Kriging Ordinario (OK), Componente de Intensidad Horizontal. 40	40
Ilustración 31. Creación de Isolíneas Componente de Inclinación Magnética 40	40
Ilustración 32. Placa Red Geomagnética Nacional. 47	47
Ilustración 33. Semivariograma KO – Declinación Magnética 51	51
Ilustración 34 Resultando Interpolación y Mapa de Error D. 52	52
Ilustración 35 .Semivariograma KO –Inclinación Magnética..... 54	54
Ilustración 36. Resultando Interpolación y Mapa de Error I..... 55	55
Ilustración 37 Semivariograma KO –Intensidad Horizontal..... 56	56
Ilustración 38 Resultando Interpolación y Mapa de Error H. 57	57



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

CONTENIDO DE TABLAS.

Tabla 1. Instrumentos de Mediciones Magnéticas.....	23
Tabla 2. Localización Observatorio Geomagnético de Fúquene	27
Tabla 3. Tabla de Campos para la Base de Datos.....	32
Tabla 4 .Transformación Sexagesimal-Decimal.....	38
Tabla 5. Cronograma de Actividades.....	42
Tabla 6. Resultados Base de Datos Histórica.....	44
Tabla 7. Estaciones Sin Información de Coordenadas.....	45
Tabla 8 .Instrumentos de Campo.	46
Tabla 9. Clasificación de Estaciones de Repetición.....	48
Tabla 10. Distribución de Estaciones por Departamento.....	49
Tabla 11. Parámetros KO-Declinación Magnética	52
Tabla 12. Parámetros KO-Inclinación Magnética.....	54
Tabla 13. Parámetros KO-Intensidad Horizontal.....	56

CONTENIDO DE GRAFICAS.

Gráfica 1. Cantidad de Registros por Año	35
Gráfica 2. Instrumentos de Campo.....	37
Gráfica 3. Porcentaje de Estaciones Base de Datos (1977-1997)	38
Gráfica 4. Porcentajes de Clasificación de Estaciones de Repetición.....	39
Gráfica 5. Porcentajes de Concentración por Departamento	40
Gráfica 6. Departamentos-Estaciones de Repetición	41

CONTENIDO DE MAPAS

Mapa 1. Valores de Declinación año 2015.....	19
Mapa 2. Fronteras Terrestres y Marítimas Nacionales.	21
Mapa 3. Distribución de Estaciones de Repetición (Anexo).....	
Mapa 4. Densidad de Estaciones de Repetición por Departamento (Anexo).	
Mapa 5. Comportamiento Declinación Magnética (Anexo).....	
Mapa 6. Comportamiento Inclinación Magnética (Anexo).....	
Mapa 7. Comportamiento de Intensidad Horizontal (Anexo).....	
Mapa 8. Promedios de Declinación Magnética por Departamento (Anexo).	
Mapa 9. Promedios de Inclinación Magnética por Departamento (Anexo).....	
Mapa 10. Promedios de Intensidad Horizontal por Departamento (Anexo).....	



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

1. RESUMEN.

En Colombia los estudios del Campo Magnético Terrestre se remontan desde el año 1801 hasta la actualidad, donde científicos como Alexander Von Humbolt, Julio Garavito, Campbell, entre otros, han contribuido a las investigaciones de este fenómeno dentro del territorio nacional. En el año 1953 el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) se vincula con este tipo de proyectos científicos, con la apertura del primer Observatorio Geomagnético de registro permanente del país, ubicado en la “Isla Santuario” en la Laguna Fúquene, dentro de los límites de departamentales de Cundinamarca y Boyacá, además de la materialización de una serie de Estaciones de Repetición que conformaban la Red Geomagnética Nacional.

Sin embargo, debido a diversas condiciones como el transcurrir del tiempo y una serie de inconvenientes operacionales, dichas estaciones dejaron de funcionar hasta alrededor de los años 90's. El presente proyecto dentro de la modalidad de pasantía presenta un estudio de recopilación y análisis los de datos históricos del Instituto, sobre su operación, en conjunto con los registros de campo entre los años 1977-1997, con los objetivos de configurar una Base de Datos Histórica, junto con la cartografía correspondiente a su distribución espacial y comportamiento promedio para cada una de las componentes del Campo Magnético Terrestre a Nivel Nacional.



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

2. INTRODUCCIÓN.

La Tierra es un sistema integrado por diferentes subsistemas en constante interacción de procesos (físicos, químicos y biológicos) que intervienen en su conformación y composición. Estos son estudiados por diversas ciencias, encargadas de dar explicación sobre el origen y relación con las dinámicas actuales. Dentro de estas, se encuentran las investigaciones sobre el campo magnético, cuyos antecedentes se remontan a más de 4 siglos, resaltando así, su importancia dentro del equilibrio del planeta. En este contexto, el Campo Magnético Terrestre (CMT) es una magnitud de tipo vectorial que cambia dentro del espacio y el tiempo, generando así, una variación en la dirección de la prospección magnética (Casas Santiuste & Casas Delgado, 2004).

Por otra parte, se han diseñado diversos sistemas para calcular el valor del CMT, junto con una forma de ilustrar sus componentes. De este modo, en el año de 1701, el británico Edmundo Halley especialista en astronomía, publicó un mapa con la representación de la declinación magnética del Océano Atlántico. Años más tarde elaboró un segundo mapa, con las líneas de declinación del Océano Indico, dando lugar a las primeras cartas magnéticas. Posteriormente en 1768 Johann Carl Wilcke de origen sueco, publicó la primera carta mundial de inclinación, confirmando así las teorías sobre la existencia y distribución de este fenómeno (Garavito Baraya, s.f). En la actualidad, las mediciones del CMT se realizan en observatorios magnéticos permanentes, acompañados estaciones de repetición; por medio de registros continuos que permiten suministrar información más precisa sobre un punto de la superficie terrestre.

En Colombia, desde el año 1953, bajo los acuerdos de la reunión Panamericana de consulta sobre Cartografía con el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), se instauró el primer Observatorio Geomagnético Nacional de registro permanente, con código internacional FUQ, en la “Isla Santuario”, ubicada en la Laguna de Fúquene, departamento de Cundinamarca. Esta zona fue escogida por no detectar ningún tipo de anomalía magnética local. Además, dentro del observatorio, se realizan las mediciones de las componentes de inclinación (I), declinación (D) e intensidad horizontal (H), para cada uno de los días del año en un orden de 24 horas, dando así sus respectivas gráficas, representados en magnetogramas (IGAC, s.f). Adicional a estos, existen una serie de registros de campo provenientes de las estaciones de repetición de la antigua Red Geomagnética Nacional, la cual estaba distribuida por todo el territorio. Bajo este contexto, se realizó un análisis y diagnóstico de la información histórica del funcionamiento del observatorio, junto con la recopilación de datos históricos de las antiguas estaciones de repetición, con el fin de generar una base de datos entre los años 1977-1997 y la cartografía correspondiente a su distribución espacial, como principio de estudio para la fundamentación y posible restablecimiento de la Red Geomagnética Nacional.



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Alrededor de los años 1953-1954 en Colombia el IGAC, se unió a los estudios del geomagnetismo, con el inicio oficial del Observatorio Geomagnético de Fúquene, registrando de forma permanente hasta el día de hoy, con el objetivo de estudiar el comportamiento del CMT y el cálculo de las correcciones por variación, de las observaciones realizadas en campo, con las estaciones de repetición (IGAC, s.f).

De esta manera, se ha estudiado el comportamiento de este fenómeno por medio de la revelación de magnetogramas y la antigua elaboración de cartas magnéticas con la representación del comportamiento del CMT en el país. Este tipo de información y datos se encuentra en su gran mayoría en formato análogo, dentro del archivo histórico del instituto, junto con otros datos de registro de las estaciones de repetición que existieron entre los años de 1977 a 1997.

En este contexto, una base de datos responde como herramienta útil permitiendo manipular, optimizar y actualizar el contenido de los datos de registros de campo, acompañados de los instrumentos de medición y su respectiva ubicación geográfica, donde esta última se representa cartográficamente con los valores promedio de las componentes (D, I, H), para una mejor visualización de su distribución espacial, dentro del lapso de 1977-1997, como fundamento para la continuación de la Red Geomagnética Nacional. Sin embargo, el presente proyecto, fue realizado bajo la modalidad de pasantía académica y su desarrollo fue llevado a cabo, bajo a las especificaciones del GIT (Grupo Interno de Trabajo) geodesia, grupo de Geomagnetismo pertenecientes al Instituto Geográfico Agustín Codazzi.



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

4. JUSTIFICACIÓN

La creación de una base de datos histórica es uno de los pasos de apoyo para restablecimiento de la Red Geomagnética Nacional, obtenida a partir del diagnóstico de los archivos históricos y hojas de campo de las estaciones de repetición (1977-1997), permitiendo así una transformación de formato análogo a digital y generando una solución en la búsqueda de información que, con el avance de la tecnología, es importante para la optimización de procesos, pues gracias a su conformación se pueden manipular los datos de una manera ordenada y coherente.

Por otra parte, es importante resaltar que las estaciones de repetición se definen como aquel lugar donde se realizan mediciones del vector del campo magnético en intervalos regulares de tiempo y cuya posición es conocida, con el fin de proveer información acerca del cambio de la variación secular del campo geomagnético en el tiempo (Barraclough y De Santis, 2011). Además, el Observatorio Geomagnético de Fúquene es de los pocos instalados sobre la zona del ecuador, lo cual, junto con la reapertura de las estaciones de repetición, posibilitan una mayor precisión en el análisis del CMT dentro del territorio Nacional y contribuirá a estudios internacionales.

El proyecto pretende, analizar los registros históricos y estado de las estaciones geomagnéticas de la Red Geomagnética de Colombia (1977-1997), partiendo de la creación de una base de datos, como herramienta para la gestión y manejo adecuado de la información registrada, donde a partir de cartografía a escala nacional, se identifican las zonas y áreas con menor y mayor promedio de las componentes (D,I,H), además de la distribución espacial de patrones y tendencias de las estaciones por departamentos. Vale aclarar que este proyecto, es un primer acercamiento para el restablecimiento de la red, catalogándose dentro de la investigación histórica y descriptiva. Por lo tanto, la toma de decisiones de los puntos de reapertura, requieren trabajo de campo para realizar una comprobación y prueba de sitio, tanto a las estaciones existentes como a las que se pretenden instalar en un futuro.



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo General.

Analizar los registros históricos y estado de las estaciones geomagnéticas de Colombia (1977-1997) para el restablecimiento de la Red Geomagnética Nacional.

5.2 Objetivos Específicos.

- Generar una base de datos histórica 1977-1997 de Colombia para el restablecimiento de la Red Geomagnética Nacional.
- Representar cartográficamente la distribución y comportamiento promedio de las componentes (D, I, H), correspondientes a las estaciones de repetición geomagnéticas a nivel nacional.
- Analizar espacialmente las zonas y áreas a nivel nacional, donde se evidencie mayor y menor concentración de estaciones de repetición, relacionando su comportamiento promedio para cada una de las componentes.



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

6. MARCO REFERENCIAL.

6.1 Marco Teórico.

6.1.1 Geomagnetismo y Orígenes del CMT.

A nivel mundial el monitoreo continuo del comportamiento del Campo Magnético Terrestre (CMT), es de gran importancia para las diferentes actividades que desarrolla el ser humano, en las áreas económicas, sociales y científicas, como la geofísica, navegación, aeronomía, cartografía, geología, aeronáutica civil, ingeniería, industria militar, telecomunicaciones, entre otras. Debido a la alta vulnerabilidad que experimentan muchos de estos sistemas, como consecuencia de los cambios, a corto plazo del campo externo y en un tiempo más prologado del campo interno del planeta (Calzadilla, Gozalez, & Muñis, 2012).

En este contexto, el estudio del geomagnetismo es uno de los más antiguos de las ciencias geofísicas, debido a que es la rama encargada de indagar sobre los orígenes, comportamientos y variaciones espaciotemporales del CMT. Siendo este originado, desde el núcleo externo de la tierra, compuesto principalmente por Hierro (Fe) y Níquel (Ni), en estado líquido. Donde, su constante interacción provoca un aumento de temperatura, efectuando, fuertes corrientes de circulación eléctrica, definidas como el efecto dinamo. Según la Universidad de Navarra (España), este fenómeno físico consiste en la generación de campos magnéticos a partir del movimiento. Dichas corrientes, se propagan desde el interior hacia el exterior del planeta, creado un escudo invisible de energía que protege a la Tierra de las tormentas solares, incluyendo así, la Magnetósfera, como capa protectora de la radiación y rayos cósmicos.

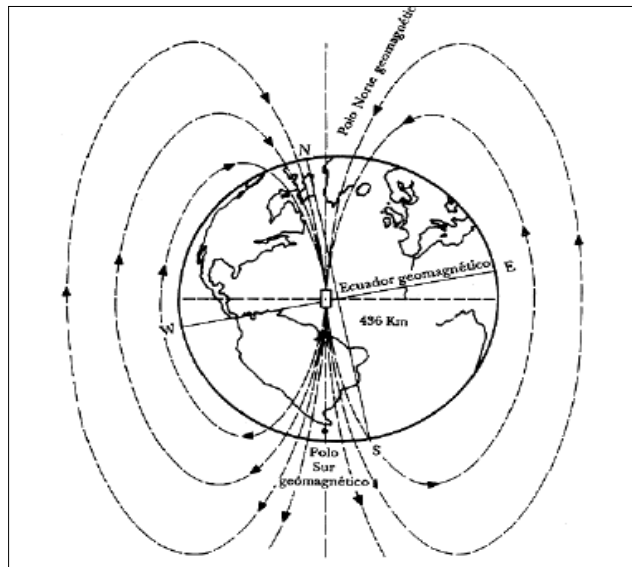


Ilustración 1. Representación CMT.

Fuente: Antecedentes del estudio del campo magnético terrestre en Colombia. Universidad Tecnológica de Pereira.



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

6.1.2 Campo Dipolar y Paleomagnetismo.

El campo geomagnético puede asociarse a un campo dipolar similar a un imán ubicado en el centro de la tierra y orientado según su eje de rotación, donde el polo sur magnético es el polo norte geográfico y el polo norte magnético es el polo sur geográfico (Serway, 1999).

Una de las leyes que rige y controla la atracción magnética, junto con la gravimétrica, es la Ley de Coulomb. Esta tiene como fundamento para el geomagnetismo, que los polos del mismo nombre se repelan y los polos de nombre contrario, sienten más fuerza de atracción; gracias a ella, se calcula la magnitud de la fuerza entre dos polos magnéticos. Otra de las propiedades a resaltar, son con los campos dipolares, que posee dos polos magnéticos y un ecuador magnético, diferenciándose así del ecuador y polos geográficos. En este caso, el que mejor se ajusta al campo actual de la Tierra, sus polos se encuentran separados aproximadamente a una distancia de 11° de los polos geográficos, estando el polo Norte al noroeste de Groenlandia. Esta coincidencia entre los dos campos fue desarrollada en un principio por William Gilbert de Colchester (Medina Aguirre, 2012).

Históricamente, se determinó que la localización de los polos magnéticos no es estática, sino que por el contrario presenta una variación aproximada de 15 kilómetros cada año sobre la superficie de la Tierra; además, no presentan el mismo eje central, es decir, no están en posiciones opuestas en el globo. En la actualidad, el polo sur magnético está más lejos del polo sur geográfico que el polo norte magnético del polo norte geográfico; esto se evidencia en las posiciones geográficas, las cuales son: $82,7^\circ$ de latitud N y $114,4^\circ$ de longitud W, para el polo norte magnético, y $63,1^\circ$ de latitud S y $137,5^\circ$ de longitud W, para el polo sur magnético (Lowrie, 2007).

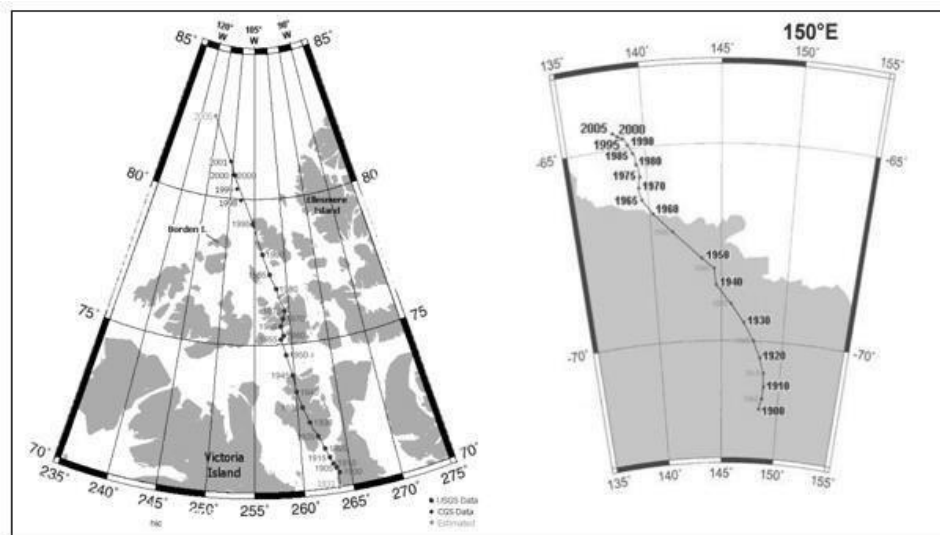


Ilustración 2. Posición Polos Magnéticos.

Fuente: Campo Magnético Terrestre y Declinación Magnética. UNAM (México).



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

Las variaciones del CMT, como consecuencia de la circulación de corriente eléctrica hacen que su dirección no sea constante, como se ve evidenciado en las muestras de rocas de diferentes edades en lugares similares, que presentan distintas direcciones de magnetización. Esto demuestra una variación secular, puesto que los polos del CMT pueden invertirse. El norte se desplaza al sur, y el sur al norte. Este evento a gran escala sucede con una frecuencia media de alrededor de una vez cada 200.000 o 300.000 años aproximadamente. Dentro del geomagnetismo, existe una disciplina encargada de estudiar el pasado geológico de las rocas, llamada paleomagnetismo, basada en la propiedad que retención magnética de sus minerales, durante sus procesos y ciclos de formación, pues la mayoría de las rocas contienen una pequeña cantidad de hierro. Las más usadas en los estudios paleomagnéticos son las ígneas como basaltos y las sedimentarias con los silicatos. Cuando las rocas se encuentran fundidas pierden su magnetización, pero cuando éstas se enfrían nuevamente, sufren del fenómeno de magnetización remanente natural, lo cual permite generar una serie de líneas que van parablemente asociadas al CMT (Estrada, 2013, pág. 20).

Los estudios paleomagnéticos, confirman la inversión de los polos, dando paso al estudio de las características espaciales y temporales del CMT en el pasado, siendo de gran utilidad para las ciencias como a geofísica, geología, biología y arqueología, además son importantes para el estudio de exploración y explotación de recursos minerales, que en la actualidad son necesarios para la generación de energía. Además, es importante resaltar que el paleomagnetismo es base fundamental para las investigaciones de la tectónica de placas y expansión del fondo oceánico, mejorado la forma de comprender el dinamismo del planeta.

6.1.3 Campo Magnético Externo.

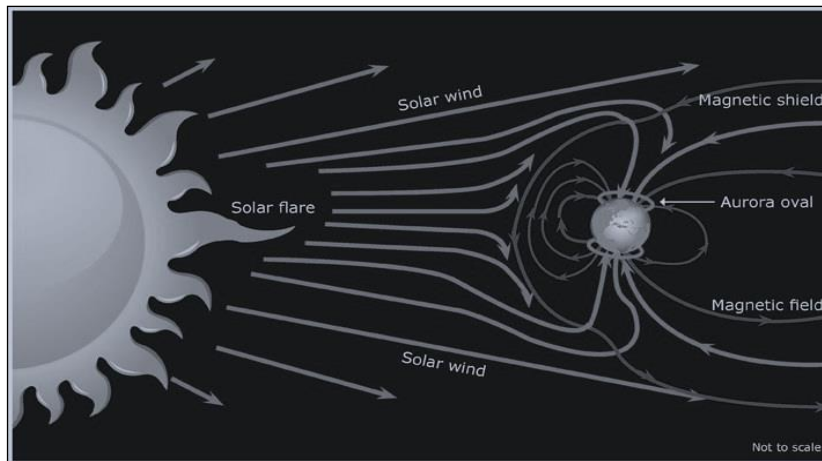


Ilustración 3. Interacción de Viento Solar con la Magnetosfera.

Fuente: Cosmología del Plasma.



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

Bajo este marco, el geomagnetismo desarrolla diferentes métodos y técnicas que ayudan a la medición del CMT y de esta forma surge la magnetometría, como un método geofísico, para la medición de las anomalías magnéticas en la superficie terrestre; los magnetogramas son su forma gráfica, basado en la revelación de la intensidad horizontal (H), intensidad vertical (Z) y la declinación (D). La unidad de medida para la intensidad del campo magnético es nanotesla (nT), y depende de la región en la cual se registren este tipo de datos. Este instrumento toma los efectos del campo magnético terrestre, originados del núcleo externo, que representa el 95 % del valor total determinado en forma absoluta en la superficie terrestre. El 5 % restante corresponde al campo producido por la corteza terrestre, con las corrientes de origen externo representadas

por el sistema de corrientes ionosféricas, la corriente anillo de la magnetosfera, corriente de la magnetopausa, corriente de la cola de la magnetósfera y los efectos de los sistemas de corrientes derivadas de los casquetes polares. Además, existe un porcentaje representado dentro de este último por la inducción en la corteza, hidrósfera, astenosfera, litósfera y Manto Inferior, producidos por los sistemas de corrientes externos y son componentes del gran geoistema (Gianibelli & Quaglino).

6.1.5 Modelos Teóricos del CMT: IGRF - WMM.

La medición del campo geomagnético sobre cualquier punto de la superficie terrestre es una combinación de varios campos magnéticos generados por distintas fuentes. Estos campos se superponen e interactúan entre sí. Se considera que en un promedio del 90% del campo medido es de origen interno. Esta porción del campo geomagnético se denomina Campo Principal, que varía lentamente en el tiempo y puede ser descrita por Modelos Matemáticos, como el Campo de Referencia Geomagnético Internacional o International Geomagnetic Reference Field (IGRF) y el Modelo Magnético Mundial o World Magnetic Model (WMM) (Castro, 2016).

El IGRF, Campo de Referencia Geomagnético, es definido como una serie de modelos matemáticos del CMT y su variación secular (tasa de variación ínter anual), basado en el modelamiento mediante armónicos esféricos que representa el “campo principal” generado por el núcleo de la Tierra, permitiendo calcular los valores actuales desde el campo interno, hacia cualquier lugar en el espacio. Fue creado en el año de 1965 por la Asociación Internacional de Geomagnetismo y Aeronomía (IAGA) y actualmente su revisión es cada 5 años. El modelo del campo geomagnético es desarrollado bajo la recolección de datos de los observatorios asociados y distribuidos alrededor de la superficie terrestre, con una actualización anteriormente descrita, junto con boletines mensuales de los efectos cromosféricos para el estudio de la actividad solar. Además de esta, se encuentra el centro de datos geofísicos nacionales de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), esta desarrolla y distribuye modelos del campo geomagnético y mantiene archivos de datos geomagnéticos para promover el conocimiento del magnetismo de la tierra y el entorno sol-tierra (NOAA, 2017).



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

6.1.6 Red de Observatorios Globales.

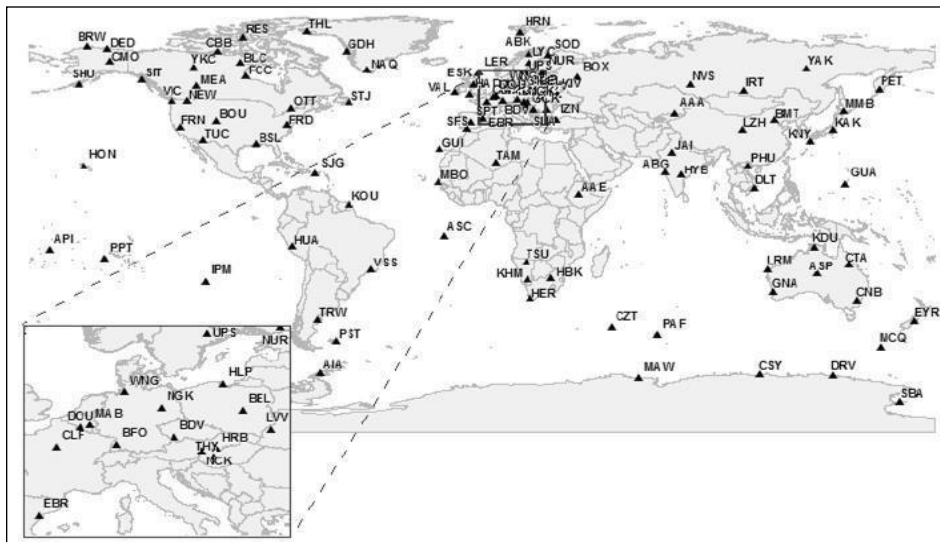


Ilustración 5. Distribución Espacial de Observatorios Geomagnéticos INTERMAGNET

Fuente: INTERMAGNET

Otro de los parámetros internacionales, es la red de observatorios globales INTERMAGNET, creada a finales de los años 80 con el fin de producir datos geomagnéticos de alta calidad, facilitando así, una mejor perspectiva sobre el conocimiento de las dimensiones, estructura y composición del planeta tierra. En la actualidad cuenta con 57 institutos de 40 países que prestan apoyo a 120 observatorios. Los datos de esta red internacional están compuestos por series temporales del vector geomagnético, muestreadas alrededor del minuto y cuidadosamente filtradas. Estos datos son recolectados por el Observatorio Magnético de INTERMAGNET, los cuales se localizan alrededor del mundo.

En este contexto, es importante tener un control en las variaciones del día y la noche por los intervalos en las pulsaciones geomagnéticas y tormentas magnéticas derivadas. Además de esto, las variaciones a lo largo del año son directamente relacionadas con los ciclos solares y finalmente en una escala de mayor tiempo, se puede registrar un cambio drástico de polaridad magnética, como se mencionaba en los párrafos preliminarmente. Es así, que existen diferentes tipos de observatorios y estaciones magnéticas para el registro y control de este tipo de datos, donde se realizan mediciones en el tiempo que dependen de su escala espacial, además para su construcción cuentan con niveles bajos de magnetismo, para tener poca incidencia y ruido en los resultados arrojados por los instrumentos instalados. A continuación, se presenta su clasificación:

1. *Observatorios Magnéticos Permanentes (OMP)*: Tienen la finalidad de registrar las variaciones del CMT sobre un punto fijo de la superficie terrestre, de manera absoluta y a



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

través de sus componentes (D, H, Z). Dichas observaciones se llevan a cabo de manera continua, con el fin de obtener información más precisa en la determinación de la variación secular.

- II. *Observatorios Magnéticos Semipermanente (OMS)*: Operan por intervalos de tiempo en un rango de 11 a 22 años, con el fin de abarcar un ciclo solar. Cumplen las mismas funciones de un OMP.
- III. *Estación Magnética de Repetición (EMR)*: Son utilizadas en cortos periodos de tiempo, cumpliendo con la función de registrar uno o más elementos del CMT de forma repetitiva en un punto fijo materializado sobre la superficie terrestre, contribuyendo a estudios de variaciones temporales.

6.1.6.1 Observatorio Geomagnético de Fúquene.



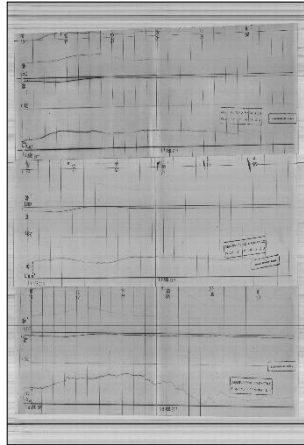
En Colombia se encuentra en funcionamiento el Observatorio Geomagnético de Fúquene, instalado en la “Isla Santuario”, de la laguna de Fúquene, a una distancia aproximada de 100 km del Distrito Capital (Bogotá). Este observatorio fue instalado en el año 1954 por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el cual es el ente encargado de la producción cartográfica del país. El objetivo principal del observatorio es registrar permanentemente las variaciones del CMT a corto y largo plazo. Además, en este se calibran los instrumentos magnéticos que sirven de apoyo para los trabajos e investigaciones de cartografía y minería realizados sobre el territorio Nacional (IGAC, 2016).

Es importante resaltar que en el país existió una Red Geomagnética Nacional conformada por el Observatorio Geomagnético de Fúquene, como registrador permanente junto con 510 Estaciones de Repetición distribuidas por los 32 departamentos del país. Los datos recolectados, eran usados en la elaboración de cartas magnéticas, cálculos de promedios mensuales como soporte para la elaboración de modelos del IGRF, enviados a los centros mundiales de datos (WDC), evaluación de inicios de tormentas solares para la IAGA, además de suministrar datos de apoyo a las investigaciones de exploración minera, correcciones de rumbos y soporte para el diseño de planchas cartográficas.

Para el funcionamiento adecuado del observatorio se han realizado una serie de calibraciones (1953-1993- 1996) a sus instrumentos de medición, algunos de estos también fueron utilizados durante la toma de datos en las Estaciones de Repetición.



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
<p style="text-align: center;"><i>Magnetómetro Diflux Ruska</i></p>	<p>Este instrumento determina la inclinación (I) y declinación magnética (D). Por medio de un núcleo de alta permeabilidad magnética, con un sistema electrónico de medición, donde el sensor debe orientarse paralelo a las líneas de fuerza del CMT para I y por otra parte debe ubicar conforme que el sensor se direcciona al meridiano magnético para determinar D. Actualmente el observatorio cuenta con dos de estos instrumentos Diflux RL1 y RL2.</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Ilustración 6. Magnetómetro Ruska</i></p> <p style="text-align: center;">Fuente: IGAC</p>
<p style="text-align: center;"><i>Magnetómetro de Protones (PPM Geometrics 816).</i></p>	<p>El magnetómetro de precisión protónica es utilizado para calcular la fuerza total (F) del CMT. Contiene un sensor conectado a un monitor de circuitos eléctricos y una botella orientadora, que durante su funcionamiento se alinea paralelamente a la dirección de las líneas de fuerza del campo magnético.</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Ilustración 7. Magnetómetro de Protones</i></p> <p style="text-align: center;">Fuente: IGAC.</p>
<p style="text-align: center;">Sistema de Variómetros.</p>	<p>Estos instrumentos de medición son utilizados diariamente conectados a un registro de papel fotográfico, indicando la variación de las componentes (D, H, Z) en las 24h, gracias a un tambor suspendido por un eje horizontal que gira libre y permanente en ese lapso. El tambor contiene enrollado el papel fotográfico y de acuerdo con el principio de funcionamiento de cada uno de los Variómetros se logra en conjunto la gráfica de las variaciones del campo magnético terrestre (magnetogramas), el cual se obtiene con el procedimiento de revelado y fijado dentro del laboratorio.</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Ilustración 8. Magnetogramas.</i></p> <p style="text-align: center;">Fuente: IGAC.</p>



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

<p align="center">Inductor Terrestre</p>	<p>Instrumento utilizado para la medición de la componente de inclinación (I). Su funcionamiento se basa en una boina circular que puede girar sobre su mismo diámetro y cuya orientación es variable, conectada junto a un gravímetro que permite el movimiento para la obtención del ángulo de inclinación por las líneas paralelas al CMT.</p>	 <p align="center"><i>Ilustración 9 Inductor Terrestre.</i></p> <p align="center">Fuente: GEOMAG.</p>
<p align="center">Cronometro Casio</p>	<p>Instrumento mecánico de alta presión, utilizado para la determinación del tiempo en el que se realizan las observaciones de campo. Durante la ocupación de las estaciones de repetición en el tiempo de estudio del proyecto se utilizaron dos referencias de Casio 503 y 863.</p>	 <p align="center"><i>Ilustración 10. Cronometro</i></p> <p align="center">Fuente: IGN.</p>
<p align="center">Giroscopo o Giroteodolito</p>	<p>Instrumento de medición que permite determinar la dirección del norte verdadero. Está compuesto por un disco de inercia que gira a gran velocidad sobre su eje, teniendo la capacidad de orientarse en cualquier dirección en el espacio.</p>	 <p align="center"><i>Ilustración 11. Giroteodolito.</i></p> <p align="center">Fuente: Ciencias Geomáticas</p>
<p align="center">Teodolito</p>	<p>Instrumento de medición usado para el cálculo de ángulos verticales y horizontales, se compone de un trípode con un telescopio, que funciona bajo un sistema de círculos graduados. Durante la ocupación de las estaciones de repetición se usaron diferentes equipos con un nivel de precisión similar, ya que por tiempo y distancia debían usarse varios instrumentos.</p>	 <p align="center"><i>Ilustración 12. Teodolito Kern.</i></p> <p align="center">Fuente: IGN</p>

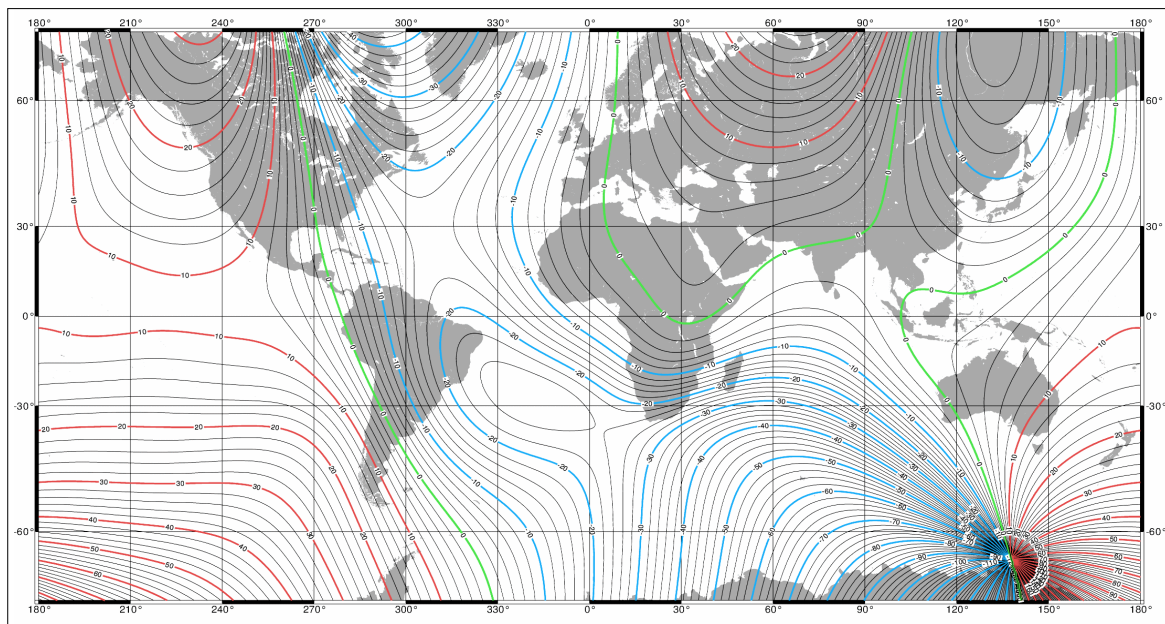
Tabla 1. Instrumentos de Mediciones Magnéticas.



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

6.1.7 Cartas Geomagnéticas.

Por otro lado, una de las formas de representación de las mediciones con respecto al comportamiento del CMT, son las denominadas cartas magnéticas o mapas de anomalías, de gran utilidad para el análisis del comportamiento de este fenómeno y siendo uno de los resultados de las redes geomagnéticas, con las isógonas que unen los puntos de la declinación magnética, por medio de líneas. Este tipo de cartografía magnética se basa en la declinación, definida como el ángulo de diferencia entre el meridiano geográfico y el magnético; además de estas existen las cartas isóclinas, que contienen los puntos de inclinación. Para la elaboración de estas cartas es importante tener en cuenta la reducción a la época, la eliminación diurna y las correcciones instrumentales. Es importante considerar que este tipo de resultados se obtienen de las estaciones de repetición y añadiendo a esto, la prueba de calidad está en las comparaciones con los modelos internacionales (Barreto, 1990; Hernández 1995).



Mapa 1. Valores de Declinación año 2015.

Fuente: NOAA.

Teniendo en cuenta lo anterior, Colombia posee una colección de cartografía magnética histórica elaborada por IGAC. Una de ellas corresponde a la Carta Geomagnética (1965), a una escala 1:11.000.000 donde se observan las líneas isodinámicas de 29.000 29.750 30.000, además de las líneas isóclina de cinco grados de 20-N hasta 40-N. Esta carta fue renovada para el año de 1968, bajo aportes de las investigaciones geomagnéticas, años más adelante entre 1975 y 1980, se obtuvieron nuevas cartas basadas en los datos ajustados del Observatorio Geomagnético de Fúquene. Sin embargo, en la siguiente lista se hace el recuento de las cartas magnéticas publicadas por el



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

Instituto:

- Carta Isogónica 1942.
- Carta Geomagnética 1950: Escala 1: 2.500.000.
- Carta Isogónica 1955.
- Carta Geomagnética 1955.5: Escala 1: 1.500.000.
- Carta Isogónica 1965: Escala 1: 1.500.000.
- Carta Geomagnética: Escala 1: 11.500.000.
- Carta Geomagnética 1968.



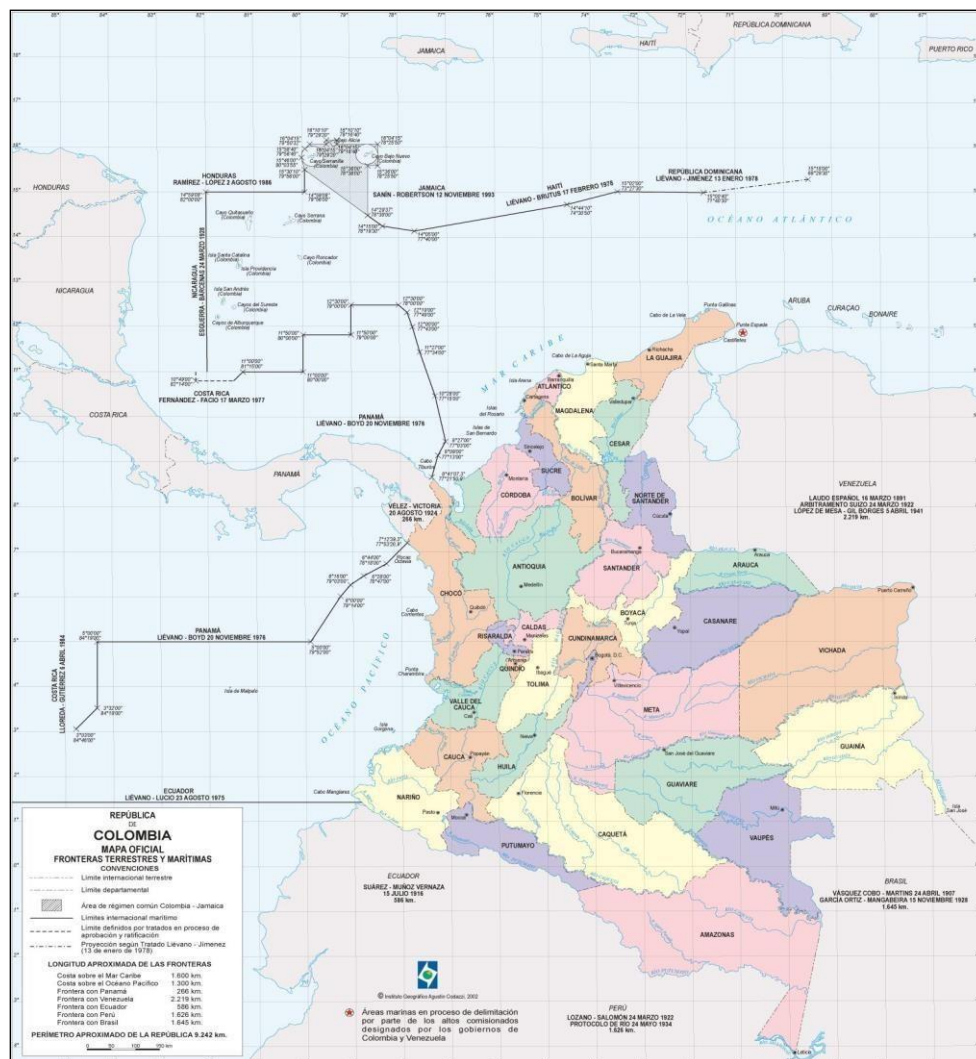
ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

7. DISEÑO METODOLÓGICO.

7.1 Descripción del Área de Estudio.

La República de Colombia se encuentra ubicada en la zona noreste de Sur América, en la parte central de América con territorio en los dos hemisferios, al occidente cuenta con la costa Pacífica, al norte con la costa Atlántica y al sur cruza la línea ecuatorial (Zambrano, 2008).

Cuenta con una extensión total de 2.070.408 km², dividida en dos partes, la mayor corresponde al área territorial con 1.141.748 km² y la restante al área marítima con 928.660 km² perteneciente al Océano Pacífico y mar Caribe. Siendo el cuarto país con mayor extensión de Sur América. Entre los territorios limitantes se encuentran: Panamá al Noroccidente, Perú y Ecuador al Sur y Venezuela al costado Oriental; entre los límites marítimos están, Costa Rica, Nicaragua, Honduras, Jamaica, Haití y República Dominicana.



Mapa 2. Fronteras Terrestres y Marítimas Nacionales.



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

De esta manera, la posición geográfica privilegiada de Colombia dentro del globo terrestre, en conjunto con su geomorfología, hacen que presente una variedad de climas y ecosistemas, dividiéndola así en 6 regiones naturales (Amazonia-Andina- Caribe-Insular-Orinoquía-Pacífico). Políticamente el país se encuentra organizado en 32 departamentos, contando con un Distrito Capital (Bogotá), como sede administrativa nacional. Además, se resalta que, por su cercanía al ecuador, hace parte de un segmento significativo de la órbita geostacionaria, del espacio aéreo y del espacio electromagnético.

En este contexto, es importante resaltar el comportamiento del CMT, por lo cual se describen las características principales de ubicación del, Observatorio Geomagnético de Fúquene (código internacional FUQ).

País	Colombia
Departamento	Cundinamarca
Municipio	Fúquene Laguna de Fúquene Isla del Santuario
Coordenadas	5°28'12" N 74°44'14" O
Área	3.75 Hectáreas
Altura	2.543 m.s.n.m

Tabla 2. Localización Observatorio Geomagnético de Fúquene.

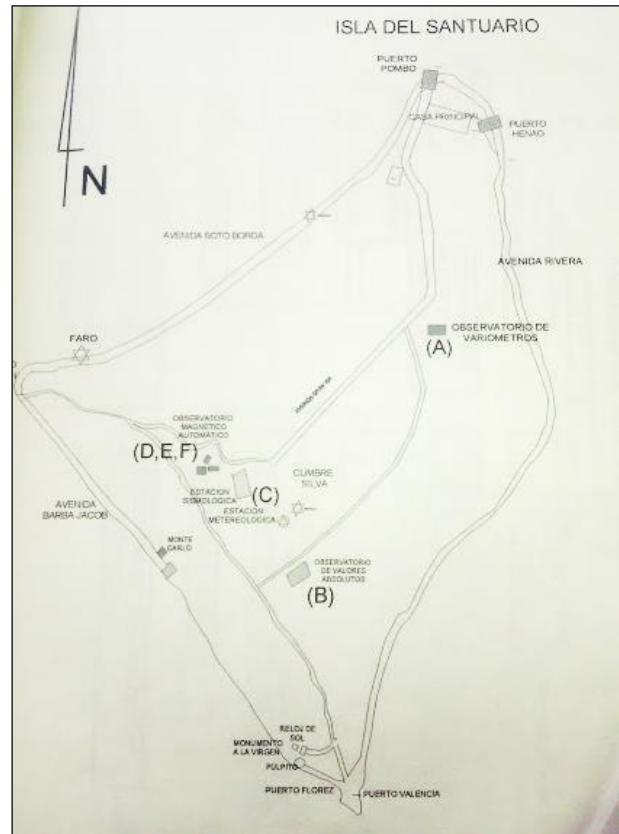


Ilustración 13. Esquema “Isla del Santuario”, Laguna de Fúquene.

Fuente: Archivos Históricos IGAC.

El observatorio se encuentra sobre Laguna de Fúquene en la planicie de la “Isla Santuario”, su conformación corresponde a un valle pre-cuaternario, notablemente erosionado que fue representado tectónicamente hacia al norte y rellenado de sedimentos cuaternarios de destacada fertilidad. Estratigráficamente las formaciones la isla y los bordes de la laguna corresponden al Pleistoceno (Cuaternario), además, muestra sedimentos superficiales, preferentemente limosos, derivados de esquistos arcillosos su base más arenosa. Litológicamente se constituye de areniscas de grano fino con un porcentaje de hierro del 3%(IGAC, s.f).

Debido a las características de la zona, se realizaron una serie de pruebas y observaciones con magnetómetro, en donde el resultado final arrojó que la Isla y sus alrededores no presentaban anomalías de tipo magnético local que pudiera perturbar los delicados instrumentos.



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

7.2 Metodología.

Conforme con las especificaciones y parámetros por parte del IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) para el desarrollo de las actividades propuestas dentro del cronograma, se tomaron una serie de métodos y técnicas, acordes al cumplimiento de cada uno de los objetivos propuestos.

Por otra parte, dentro del apoyo a las tareas del Observatorio Geomagnético de Fúquene, se realizaron una serie de escalamientos y escaneos de magnetogramas. Estos se efectuaron progresivamente durante la presentación de las pasantías, los datos fueron registrados en los formatos oficiales de IGAC, análogo y digital, con sus componentes (Z-D-H) en la fecha y hora correspondiente. Los meses a escalados (Mayo-Junio-Junio-Agosto-Septiembre-Octubre) corresponde al año 2017 y se llevaron a cabo conforme a la revelación de los magnetogramas.

REPUBLICA DE COLOMBIA INSTITUTO GEOGRAFICO "AGUSTIN CODAZZI" ESCALAMIENTO HORARIO DE MAGNETOGRAMAS FÚQUENE (Col) JULIO 2017 - 0																												
DH	C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	SUMA	PROMEDI	
1																												
2		-7.6	-8.6	-10.6	-12.6	-20.1	-13.0	-18.1	-20.9	-24.7	-19.8	-16.8	-17.0	-21.8	-23.8	-20.9	-20.8	-23.4	-24.0	-19.6	-18.6	-20.5	-15.6	-13.6	-11.7	-423.1	-17.6	
3		-12.1	-12.9	-10.8	-16.4	-20.6	-21.9	-23.8	-23.9	-25.0	-24.2	-25.6	-25.0	-22.6	-20.2	-16.6	-13.6	-14.0	-13.8	-14.6	-16.5	-15.5	-14.4	-13.9	-12.3	-436.2	-17.9	
4		-13.8	-12.9	-15.4	-17.5	-18.9	-18.9	-20.9	-20.9	-20.0	-19.8	-19.2	-18.3	-13.8	-10.6	-8.4	-7.8	-6.8	-13.0	-16.4	-19.5	-20.9	-16.5	-15.5	-12.5	-386.2	-15.8	
5		-13.8	-15.0	-17.1	-19.0	-20.4	-21.5	-23.0	-24.4	-25.5	-26.3	-25.4	-24.9	-21.8	-20.0	-18.0	-15.3	-14.4	-14.0	-18.5	-19.9	-16.4	-13.8	-13.3	-13.1	-468.0	-19.0	
6		-12.9	-14.4	-14.9	-15.5	-17.7	-20.0	-20.5	-18.0	-17.6	-18.5	-16.6	-14.5	-11.4	-9.6	-8.6	-8.9	-11.0	-15.5	-20.3	-23.5	-25.0	-25.5	-25.6	-22.0	-412.0	-17.2	
7		-23.6	-23.9	-23.0	-25.0	-25.0	-24.9	-25.8	-26.8	-26.7	-25.5	-22.4	-21.3	-21.0	-22.5	-21.6	-19.4	-20.4	-21.4	-20.9	-21.9	-20.0	-19.9	-18.3	-16.0	-589.2	-22.4	
8		-16.6	-17.5	-18.0	-20.9	-21.8	-22.6	-23.4	-24.4	-25.6	-25.4	-23.2	-20.9	-18.1	-15.4	-13.5	-12.6	-13.8	-15.0	-17.2	-18.8	-17.4	-15.0	-14.7	-13.2	-448.6	-18.6	
9																												
10		-20.1	-24.2	-24.0	-24.2	-26.0	-26.9	-26.8	-26.8	-27.9	-26.0	-22.3	-21.0	-17.9	-14.9	-13.4	-12.3	-12.0	-15.0	-19.0	-19.1	-16.9	-15.3	-14.3	-15.4	-489.7	-20.0	
11		-17.6	-20.4	-21.4	-27.4	-26.0	-25.8	-28.8	-27.3	-27.7	-27.0	-20.9	-17.8	-17.6	-19.5	-20.0	-19.9	-23.0	-23.6	-25.9	-24.9	-22.5	-21.9	-22.9	-22.3	-551.9	-23.0	
12		-22.0	-21.3	-21.9	-23.8	-24.3	-25.1	-26.9	-27.6	-28.0	-26.5	-23.4	-20.0	-17.1	-15.5	-14.9	-16.4	-19.4	-19.7	-21.8	-23.4	-22.5	-21.3	-21.2	-20.5	-524.8	-21.9	
13		-21.6	-23.6	-25.2	-25.2	-24.9	-25.3	-26.6	-26.6	-26.9	-24.9	-20.3	-15.4	-14.3	-14.4	-15.0	-18.6	-22.7	-23.1	-20.5	-18.0	-16.9	-17.3	-18.0	-18.0	-610.9	-21.3	
14		-18.6	-18.7	-19.5	-19.5	-20.7	-21.7	-23.3	-25.0	-25.4	-24.9	-20.6	-12.9	-12.0	-10.4	-10.4	-12.1	-12.1	-13.9	-19.4	-21.4	-20.6	-19.7	-19.4	-18.4	-440.6	-18.4	
15		-20.6	-22.4	-23.0	-24.0	-2.9	-15.4	-29.9	-22.9	-28.2	-35.5	-38.3	-36.5	-39.4	-46.0	-44.3	-41.4	-43.0	-43.3	-41.9	-41.6	-42.2	-43.2	-44.0	-45.0	-818.0	-34.1	
16		-44.4	-45.0	-45.4	-45.0	-44.8	-44.9	-44.8	-44.5	-44.5	-45.3	-44.8	-42.4	-44.1	-45.6	-50.2	-47.6	-42.6	-40.6	-35.4	-41.9	-41.4	-44.9	-38.0	-37.4	-37.5	-1038.5	-43.3
17		-48.4	-29.0	-32.4	-32.1	-34.9	-40.2	-41.5	-47.6	-39.2	-37.0	-35.4	-34.4	-29.5	-27.9	-26.0	-25.8	-26.6	-26.8	-27.5	-28.0	-26.6	-25.0	-25.9	-26.0	-772.0	-32.2	
18		-26.6	-27.5	-29.6	-30.5	-31.4	-32.0	-32.9	-33.6	-34.7	-33.0	-30.9	-28.6	-10.0	-6.0	-6.6	-7.5	-13.3	-14.0	-15.9	-19.3	-24.9	-23.4	-19.8	-18.2	-831.7	-32.1	
19		-18.0	-27.5	-26.5	-32.4	-23.5	-27.0	-30.2	-31.6	-33.1	-34.4	-34.0	-32.5	-34.0	-25.4	-22.6	-25.0	-20.0	-19.8	-21.5	-22.5	-22.5	-19.9	-18.1	-18.2	-631.5	-26.3	
20		-18.5	-19.5	-21.0	-21.9	-23.0	-23.0	-22.8	-21.5	-21.6	-20.6	-17.0	-34.1	-37.0	-39.1	-39.5	-34.4	-29.9	-25.4	-21.5						-491.3	-25.9	
21																												
22		-14.0	-14.9	-15.9	-11.9	-6.1	-7.2	-7.0	-5.9	-6.8	-6.9	-13.8														-115.4	-16.8	
23																											0.0	#DIV/0!
24																											0.0	#DIV/0!
25		-15.0	-18.1	-20.0	-20.1	-20.9	-23.9	-25.0	-19.9	-19.5	-16.9	-15.6														-214.9	-19.5	
26																											0.0	#DIV/0!
27																											0.0	#DIV/0!
28																											0.0	#DIV/0!
29		-22.5	-24.5	-25.0	-24.6	-23.6	-23.8	-25.0	-26.4	-26.5	-22.5	-18.5														-293.6	-19.6	
30																											0.0	#DIV/0!
31																											0.0	#DIV/0!
UNH		-419.5	-411.9	-471.6	-489.5	-480.5	-604.7	-546.8	-548.5	-555.0	-543.4	-608.5	-535.8	-481.0	-477.1	-489.7	-438.8	-454.3	-478.0	-512.4	-503.4	-485.9	-458.4	-443.8	-426.7			
ROM		-30.4	-31.9	-32.4	-33.1	-32.9	-31.1	-34.0	-34.0	-34.5	-36.1	-31.1	-33.1	-31.1	-30.7	-31.4	-31.1	-30.7	-30.4	-31.1	-31.1	-31.1	-30.8	-30.7	-31.1		-1166.3	
Q		-11.6	-12.2	-11.9	-14.6	-14.7	-14.9	-15.7	-15.3	-15.5	-14.8	-12.3	-18.3	-17.9	-18.1	-18.1	-17.8	-18.3	-18.0	-18.9	-14.8	-13.5	-12.4	-12.1	-11.9			
S		-9.9	-11.2	-12.0	-12.2	-12.7	-13.8	-14.2	-12.9	-12.7	-12.5	-11.4	-7.9	-8.4	-4.8	-4.6	-4.8	-4.8	-5.9	-7.6	-8.7	-8.8	-9.3	-8.6	-8.0			

Ilustración 14. Formato Digital de Registro IGAC.

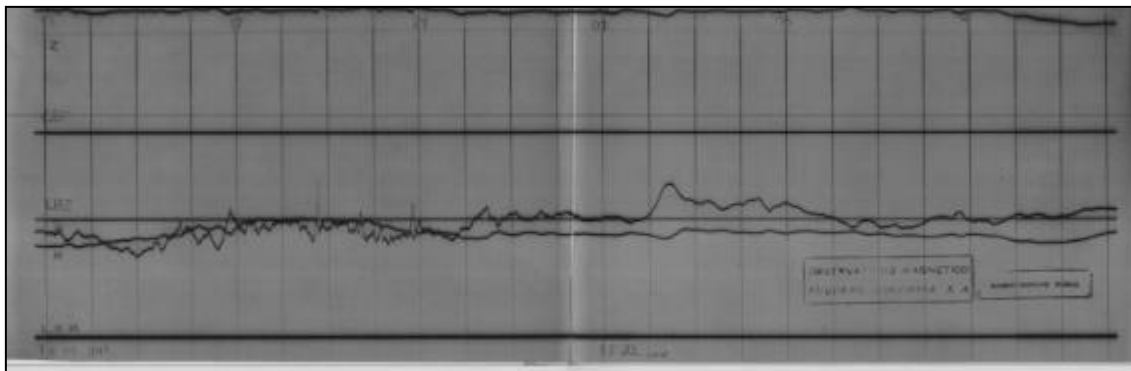


Ilustración 15 Magnetograma Correspondiente a Julio 2017.



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

7.2.1 Esquema Metodológico.

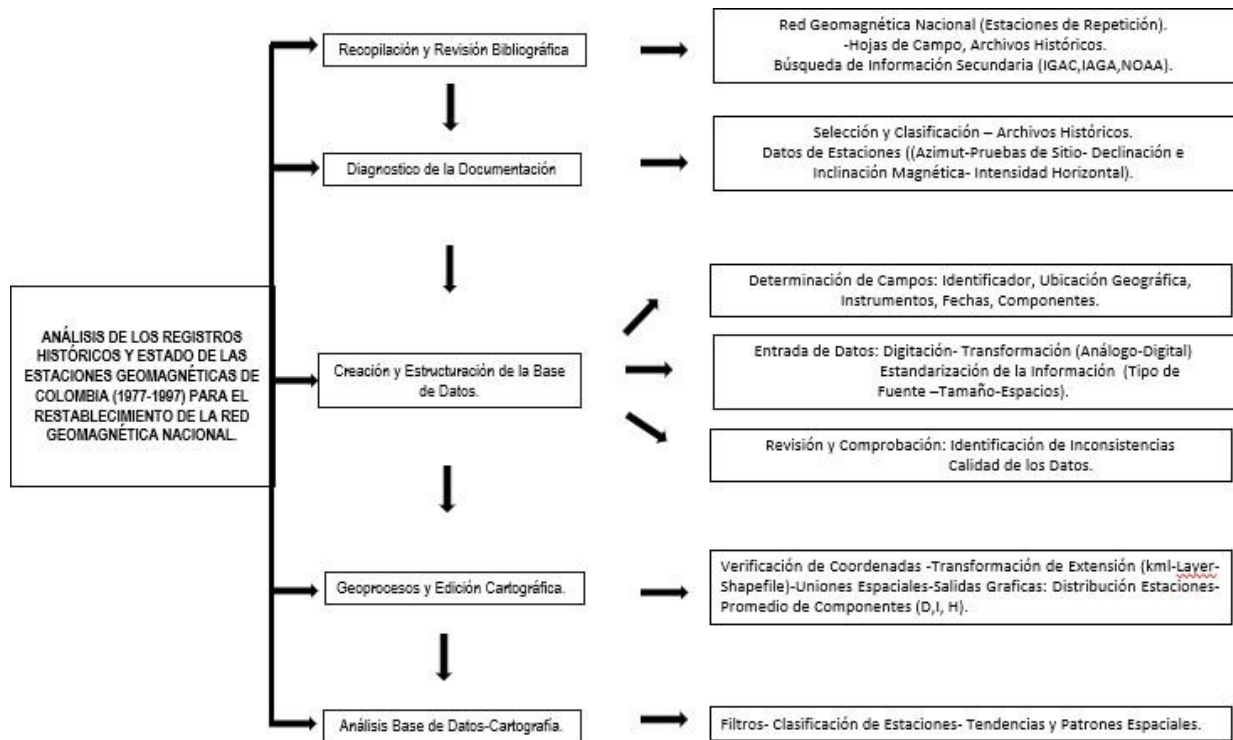


Ilustración 16 Esquema Metodológico

A continuación, se describen las fases desarrolladas durante el proyecto para el análisis de los registros históricos y estado de las estaciones geomagnéticas de Colombia (1977-1997).

7.2.2 Recopilación y Revisión Bibliográfica.

En esta primera etapa se recolectaron los datos existentes dentro del archivo histórico del Instituto, sobre la Red Geomagnética Nacional. Este tipo de documentación se encontraba distribuida en 15 cajas, de las cuales se tomaron 7, que pertenecían a las fechas de estudio (1977-1997). Dichas cajas, contenían un total de 49 carpetas, con la información correspondiente a las hojas de campo de las estaciones.

En cuanto a la revisión bibliográfica, se realizó una búsqueda de información secundaria, partiendo de artículos web y páginas oficiales (IGAC, Servicio Geológico, IAGA, Instituto Geográfico Nacional de España, IAGA, NOAA). Además, dentro del archivo histórico se encontraba una caja que contenía información referente al geomagnetismo, la Red Geomagnética Nacional, el Observatorio Geomagnético de Fúquene, junto con la determinación de las cartas geomagnéticas de Colombia 1950- 1995.



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

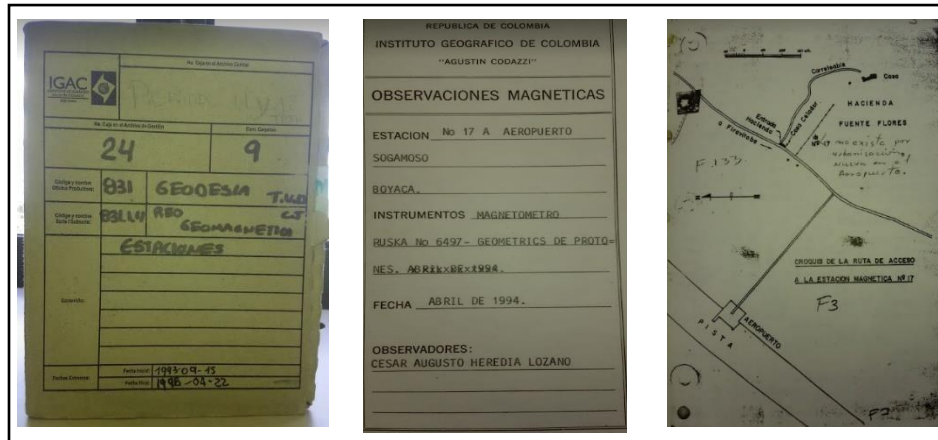


Ilustración 17 Archivo Histórico de Geomagnetismo IGAC

7.2.3 Diagnóstico de la Documentación (Archivos Históricos- Datos de Estaciones).

Durante esta etapa se llevó a cabo la selección de información, clasificando los registros de las estaciones de repetición por años, mediante la herramienta de Google Docs, para una mayor efectividad y seguridad. Estos datos se manejaban de manera simultánea e interactiva, siendo esta el primer acercamiento en la transformación de formato análogo a digital.

Otra de las tareas realizadas dentro de esta etapa, fue el establecimiento de relaciones, para la estructuración de la base de datos, analizando su ubicación geográfica, los instrumentos utilizados en el registro de campo y los datos promedio de la Inclínación, Declinación Magnética e Intensidad Horizontal, consignados dentro de las carpetas de observaciones geomagnéticas.

Es importante resaltar que los recursos utilizados durante esta etapa y las siguientes, fueron equipos portátiles personales, con los softwares previamente instalados (Microsoft Word- Excel). Con respecto a los procesos cartográficos se utilizó el programa Google Earth y ArcMap en versión 10.3, bajo la licencia estudiantil.

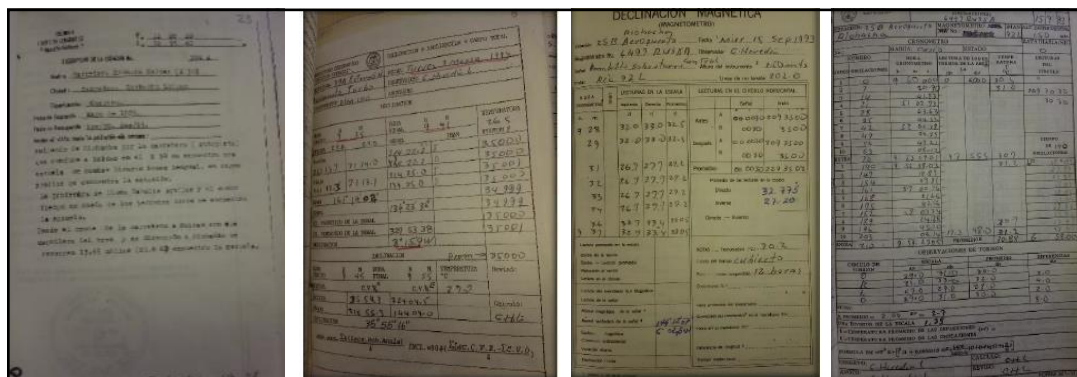


Ilustración 18 Presentación de Hojas de Campo y Registro de Componentes (D, I, H).



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

159. Camen de Bolívar, Bolívar. Estación: N° 200A Aeropuerto - Carmen de Bolívar, Bolívar. Instrumentos: Magnetómetro Ruska N° 6497 - Inductor Terrestre N° 6499. Coordenadas: 09° 40' 00" N - 75° 06' 47" W. Declinación Magnética: <ul style="list-style-type: none">• 17/07/89: 03°26.3 W, -03°27.8 W, -03°26.0 W, -03°27.4 W, -03°35.7 W,• 18/07/89: 03°28.5 W, 03°28.4, 03°35.3 W, 03°35.7• 19/07/89: 03°29.4 W, 03°29.6 Inclinación Magnética: <ul style="list-style-type: none">• 17/07/89: CORREG: 38°10'43" - 38°11'00" - 38°18'10" - 38°18'26"• 18/07/89: CORREG: 38°16'49" - 38°16'58" - 39°17'00" - 38°15'32"• 19/07/89: CORREG: 38°20'40" - 38°20'15" Intensidad Horizontal: <ul style="list-style-type: none">• 17/07/89: 28475 - 28543 - 28455 - 28420• 18/07/89: 28459 - 28454 - 28432 - 28422• 19/07/89: 28471 - 28495

Ilustración 19. Formato de Estructura Google Docs.

7.2.4 Creación y Estructuración de la Base de Datos.

En la tercera etapa del proyecto se inició la creación de la base de datos, teniendo en cuenta la clasificación por años de la etapa anterior, además de la ubicación de las estaciones y los campos de asignación para cada uno de los datos. Este paso dentro del proyecto, llevo al cumplimiento de uno de los objetivos específicos junto con la transformación de formato análogo a digital.

El programa asignado por el IGAC para la generación de la base de datos fue Microsoft Excel, con versión 2016. Esta aplicación de hojas de cálculo hace parte de Microsoft Office y se caracteriza por organizar los datos de una manera fácil y coherente, añadiendo a esto, permite la realización de filtros para distintas consultas, que fueron requeridas para el análisis de los datos históricos. A continuación, se presentan los pasos llevados a cabo para la creación y estructuración de la base de datos:

7.2.4.1 Determinación de Campos: A partir de la clasificación, se establecieron un total de 16 campos para la estructuración de la base de datos, siendo la ubicación geográfica uno de los más influyentes, tendiendo un orden del general a lo particular (Departamento-Ciudad/Municipio-Estación), así mismo se incluyeron los instrumentos de medición, fechas y registros de las componentes (D, I, H). Cabe mencionar, que los datos contienen un identificador único para cada estación (ID-Estación), dada su nomenclatura, y un consecutivo para el numero de la caja y carpeta, según corresponda, para la corroboración del dato o consulta que se presente en el futuro. En este sentido se presenta la tabla con los campos determinados para la base de datos:



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

ID	<i>Consecutivo de la Base de Datos</i>	Estación	<i>Nombre correspondiente al lugar de ubicación.</i>
Número de Caja	<i>Archivo Histórico IGAC</i>	Instrumentos	<i>Elementos utilizados para las mediciones de campo.</i>
Número de Carpeta	<i>Archivo Histórico IGAC</i>	Año	<i>Fecha de Registro</i>
ID Estación	<i>Nomenclatura de Placa IGAC</i>	Mes	<i>Fecha de Registro</i>
Departamento	<i>Ubicación Geográfica</i>	Día	<i>Fecha de Registro</i>
Ciudad-Municipio	<i>Ubicación Geográfica</i>	Declinación Magnética (D)	<i>Ángulo formado por el meridiano geográfico y el meridiano magnético.</i>
Latitud	<i>Ángulo medido a partir de la Línea Ecuatorial (0°), en sentido Norte y Sur.</i>	Inclinación Magnética (I)	<i>Ángulo formado por las líneas del CMT con el plano horizontal en un punto dado de la superficie.</i>
Longitud	<i>Ángulo medido a partir del meridiano de Central (0°), en sentido Este y Oeste.</i>	Intensidad Horizontal (H)	<i>Proyección de la intensidad magnética total (F) sobre el plano horizontal.</i>

Tabla 3. Tabla de Campos para la Base de Datos.

7242 *Entrada de Datos:* En acuerdo con el paso anterior, se procedió a realizar la digitación restante de los datos de las estaciones de repetición, vale aclarar que dentro de la segunda etapa (Diagnostico), algunos de estos habían transformado en formato digital. Después de consignar cada uno de los datos en el campo correspondiente, se realizó una reorganización alfanumérica en el campo de ID ESTACIÓN, de este modo se adquirió el consecutivo (ID), debido a que existían diferentes años con la misma estación y estas en su nomenclatura no presentan un orden, además con esto se logró conseguir el total de estaciones de repetición.

Se debe agregar que, se realizó una normalización de los datos, previniendo posibles problemas futuros al momento de subirla a un servidor web, además parte de los principios de estructuración y organización de una base de datos para dar formato a cada campo. Conforme a esto, los parámetros fueron los siguientes:

- Tipo de Fuente: Calibri.
- Tamaño de Fuente: 11.
- Mayúscula Sostenida.
- Encabezados: Negrita.

- Sin Tildes.
- Espacios reemplazados por raya al piso.
- Los campos vacíos, se denotaron como "SIN_INFORMACION".



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

ID	NUMERO DE CAJA	NUMERO DE CARPETA	ID ESTACION	DEPARTAMENTO	CIUDAD_MUNICIPIO	LATITUD	LONGITUD	ESTACION	INSTRUMENTOS	AÑO	MES	DIA
1	19	4	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	04°42'42" N	74°05'12" O	PLEDAYES	MAGNETOMETRO_RUSKA_N°_6497	1981	FEBRERO	18
1	19	4	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	04°42'42" N	74°05'12" O	PLEDAYES	INDUCTOR_TERRESTRE_RUSKA_N°_3048	1981	FEBRERO	18
1	19	4	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	04°42'42" N	74°05'12" O	PLEDAYES	SIN_INFORMACION	1981	FEBRERO	19
1	19	4	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	04°42'42" N	74°05'12" O	PLEDAYES	SIN_INFORMACION	1981	FEBRERO	19
1	19	4	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	04°42'42" N	74°05'12" O	PLEDAYES	SIN_INFORMACION	1981	FEBRERO	19
1	19	4	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	04°42'42" N	74°05'12" O	PLEDAYES	SIN_INFORMACION	1981	FEBRERO	19
1	18	7	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	04°42'42" N	74°05'12" O	PLEDAYES	SIN_INFORMACION	1978	MAYO	11
1	18	7	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	04°42'42" N	74°05'12" O	PLEDAYES	SIN_INFORMACION	1978	MAYO	12
1	18	7	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	04°42'42" N	74°05'12" O	PLEDAYES	SIN_INFORMACION	1978	MAYO	11
1	18	7	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	04°42'42" N	74°05'12" O	PLEDAYES	SIN_INFORMACION	1978	MAYO	11
1	18	7	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	04°42'42" N	74°05'12" O	PLEDAYES	SIN_INFORMACION	1978	MAYO	11

Ilustración 20 Digitación de Datos. Parámetros

DECLINACION_MAG	INCLINACION_MAG	INTESIDAD_HORIZONTAL
01°52,33' O	31°34'15"	28958
01°52,39' O	31°35'00"	28958
01°49,14' O	31°33'15"	28958
01°51,03' O	31°33'30"	28958
01°49,87' O	31°33'00"	28968
01°50,53' O	31°32'38"	28975
SIN_INFORMACION	SIN_INFORMACION	29042
01°27,30' O	SIN_INFORMACION	29051
01°29,80' O	SIN_INFORMACION	29054

Ilustración 21. Digitación de Datos Componentes. Parámetros

7.2.43 Revisión y Comprobación.

La calidad de la base de datos depende las continuas revisiones de la información, para este caso se realizaron comprobaciones a lo largo de todas las etapas, para una mayor seguridad en los resultados. Además, se realizó una depuración, en donde se detectaban los datos incorrectos, incompletos, inexactos o irrelevantes que se encuentran dentro de la base de datos. Después de identificar este tipo de inconsistencias, se realizaba su correspondiente corrección.

7.2.5 Geoprocesos y Edición Cartográfica.

En esta etapa se efectuaron diferentes procesos, que llevaron a la consolidación de los mapas de distribución de las estaciones de repetición, en conjunto con los mapas de promedio y comportamiento para cada una de las componentes (D, I, H).

Siguiente a la estructuración y digitación de la base de datos, con los registros e información de ubicación correspondiente, se procedió a verificar cada una de las coordenadas de las estaciones, utilizando la aplicación de Google Earth, mediante la herramienta de marca de punto y teniendo como base la división municipal del país, previamente transformada de shapefile (shp) a kml,



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

como lo muestra la siguiente ilustración.

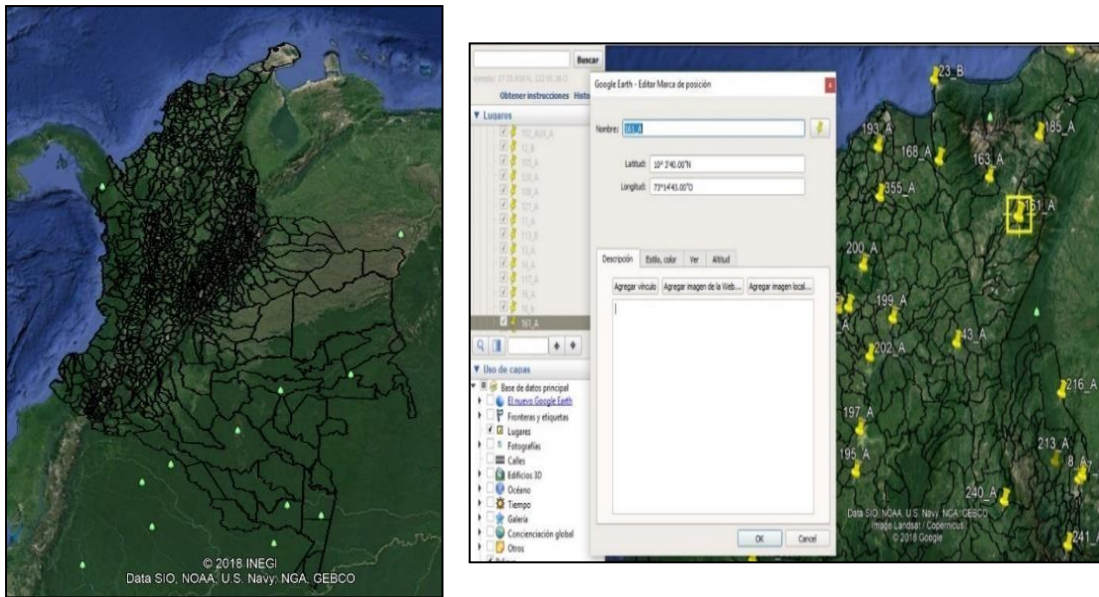


Ilustración 22. División Municipal Nacional y Distribución de Marcas de Punto

Fuente: Google Earth-IGAC.

Una vez se posicionaron todas las estaciones y se corroboró que la ubicación correspondía a la descrita en las hojas de campo (Municipio- Departamento), se llevó a cabo la transformación de extensión. Los datos fueron guardados en .kml y debían convertirse en “Layer” (ly), para este procedimiento se utilizó la herramienta “Conversion Tools” de “ArToolbox”, que ofrece ArcGIS en el programa ArcMap 10.3. Además, se ejecutó un “Batch”, permitiendo ingresar mayor número de datos a una sola sesión sin iniciar manualmente otro trabajo sucesivo. Seguido de esto se continuo con la exportación a shp.

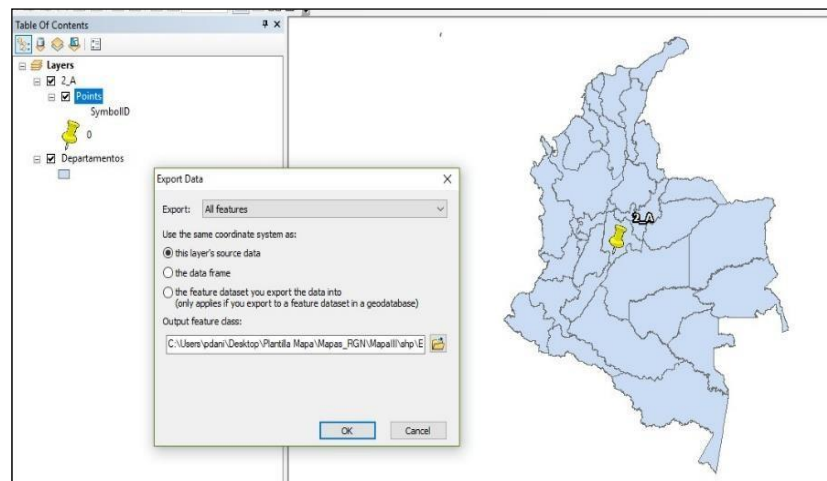


Ilustración 23. Exportación a shapefile.



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

La optimización de procesos es una de las piezas claves para el desarrollo del proyecto, y por lo tanto es necesario realizar una unión espacial, entre los shapefiles de tipo punto, para la consolidación de los datos de ubicación de las estaciones. En este contexto, por medio de los Geoprocesos de ArcMap 10.3, se utiliza un “Merge”, con el fin de generar una nueva capa (punto) que contenga los elementos geográficos, de todas las capas de entrada.

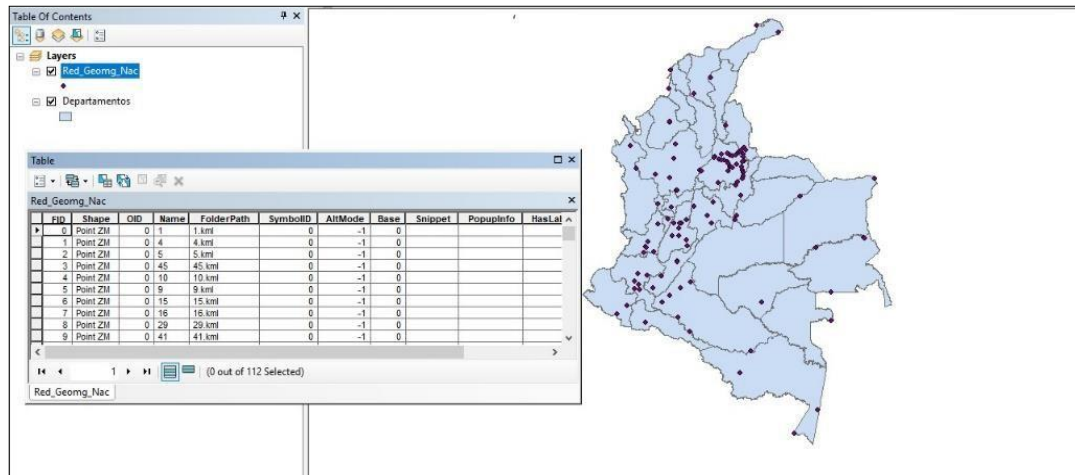


Ilustración 24 Unión de Puntos de Estaciones de Repetición.

Continuando con esta fase, se generó una operación de unión entre la capa resultante del proceso anterior “Red_Geomag_Nac” y una tabla de datos, previamente realizada en Excel, con los campos de: *ID*, *ID Estaciones*, *Departamento*, *Ciudad-Municipio*, *Latitud*, *Longitud* y *Nombre de Estación*. Es importante resaltar que no todas las Estaciones registradas en la base de datos contenían información de ubicación geográfica, por lo tanto, se realizó un filtro, consultando cuales podían representarse cartográficamente. En este proceso se tuvo en cuenta, un campo en común, “ID_ETACIONES”, que contenía los mismos valores de la capa a fusionar. Por lo tanto, la herramienta elegida fue “Join”, la cual también ofrece ArcMap 10.3, dentro de la gestión de tabla, permitiendo anexar los atributos, relacionando así las tablas en función de un campo en común.



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

FID	Shape *	ID	ID ESTACION	DEPARTAMENTO	CIUDAD MUNICIPIO	LATITUD	LONGITUD	NOMBRE ESTACION
0	Point ZM	1	17	BOYACA	SOGAMOSO	05°40'24" N	72°57'28" O	FUENTE_FLORES
1	Point ZM	2	598	CUNDINAMARCA	SAN BERNARDO	04°12'00" N	74°28'02" O	ALTO DE LA VIRGEN
2	Point ZM	3	40_C	ANTIOQUIA	TURBO	08°04'25" N	76°44'07" O	AEROPUERTO_EXTREMO_S
3	Point ZM	4	287_A	ANTIOQUIA	LA PINTADA	05°44'15" N	75°36'10" O	HACIENDA_MONTENEGRO
4	Point ZM	5	225_A	TOLIMA	NATAGAMA	03°38'00" N	75°05'46" O	FINCA_BUENOS_AIRES
5	Point ZM	6	120_A	PUTUMAYO	MOCOA	01°09'40" N	76°38'44" O	UNIVERSIDAD_MOCOA
6	Point ZM	7	311	SANTANDER	LOS CUROS PEDEUESTA	06°56'00" N	73°01'00" O	FINCA_EL_PORVEIR
7	Point ZM	8	130	CAUCA	ISLA GORGONA	02°58'55" N	78°10'21" O	GRAJUA_LA ESPERANZA
8	Point ZM	9	270	VALLE DEL CAUCA	QUEREMAL	03°31'50" N	76°43'08" O	FINCA_LAS_BRISAS
9	Point ZM	10	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	04°42'42" N	74°05'12" O	PLEDAYES
10	Point ZM	11	4	ANTIOQUIA	MEDELLIN	06°13'23" N	75°33'54" O	FINCA_EL_ROSAL
11	Point ZM	12	5	BOLIVAR	CARTAGENA	10°25'58" N	75°32'15" O	FUERTE_DE_LA_TENAZA
12	Point ZM	13	10	VALLE DEL CAUCA	CALI	03°29'48" N	76°31'36" O	HACIENDA_LA_FLORA
13	Point ZM	14	9	VALLE DEL CAUCA	CALI	03°27'30" N	76°29'24" O	BASE_AEREA_MARCO_FIDEL_SUAREZ
14	Point ZM	15	15	HUILA	NEVA	02°56'37" N	75°16'03" O	ESTACION_ASTRONOMICA_N°_26
15	Point ZM	16	16	HUILA	NEVA	02°54'36" N	75°17'12" O	CARRITERA_A_CAMPOALEGRE
16	Point ZM	17	29	NARIÑO	PASTO	01°11'24" N	77°16'35" O	FINCA_CHAPALITO
17	Point ZM	18	41	CORDOBA	PLANETA_RICA	08°23'43" N	75°34'26" O	AEROPUERTO
18	Point ZM	19	42	CORDOBA	PLANETA_RICA	08°25'16" N	75°34'24" O	FINCA_EL_VOLAO
19	Point ZM	20	46	SANTANDER	PUERTO_OLAYA	06°28'00" N	74°20'20" O	FINCA_BOLIVIA
20	Point ZM	21	50	VICHADA	PUERTO_CARRERIO	06°10'55" N	67°30'24" O	AEROPUERTO_EXTREMO_NO
21	Point ZM	22	57	PUTUMAYO	PUERTO_LEGUIZAMO	00°11'00" S	74°47'24" O	CARRITERA_A_LA_TAGUA
22	Point ZM	23	61	GUAJIRA	PUERTO_LOPEZ	11°55'22" N	71°16'28" O	AEROPUERTO
23	Point ZM	24	64	CALDAS	MANIZALES	05°02'38" N	75°30'40" O	HACIENDA_LA_CHAGRA
24	Point ZM	25	69	ANTIOQUIA	PUERTO OSPINA	07°31'30" N	75°20'34" O	EL_RAYO
25	Point ZM	26	75	SANTANDER	BARRANCABERMEJA	07°02'10" N	73°48'16" O	AEROPUERTO_EXTREMO_NE
26	Point ZM	27	72	VALLE DEL CAUCA	ZARZAL	04°23'24" N	76°01'54" O	FINCA_LA_PORCELAMA
27	Point ZM	28	87	ANTIOQUIA	SONSON	05°42'21" N	75°18'38" O	FINCA_LAVAPATAS
28	Point ZM	29	88	ANTIOQUIA	SONSON	05°43'10" N	75°17'00" O	HACIENDA_SAN_RAFAEL
29	Point ZM	30	91	NARIÑO	IPALES	00°51'35" N	77°39'44" O	AEROPUERTO_EXTREMO_NO
30	Point ZM	31	95	SANTANDER	EL SOCORRO	06°28'54" N	73°15'16" O	HACIENDA_SARAVITA
31	Point ZM	32	96	SANTANDER	EL SOCORRO	06°28'06" N	73°16'20" O	CASAS_FISCALES_DEL_BATALLON_GALAN
32	Point ZM	33	99	TOLIMA	IBAGUE	04°25'20" N	75°07'52" O	AEROPUERTO_PERALES
33	Point ZM	34	76	SANTANDER	BARRANCABERMEJA	07°01'10" N	73°49'00" O	AEROPUERTO_EXTREMO_SO
34	Point ZM	35	77	NORTE DE SANTANDE	OCAÑA	08°14'40" N	73°21'11" O	CERRO_CRISTO_REY
35	Point ZM	36	82	CAUCA	EL BORDO	02°38'25" N	76°57'43" O	PREDA_RICA
36	Point ZM	37	84	HUILA	LA PLATA	02°21'20" N	75°54'39" O	FINCA_LA_MARIA
37	Point ZM	38	237	SANTANDER	ARATOCA	06°43'30" N	72°55'46" O	FINCA_SAN_PEDRO
38	Point ZM	39	238	SANTANDER	SAN VICENTE DEL CHUCURI	06°54'00" N	73°26'24" O	AEROPUERTO
39	Point ZM	40	241	NORTE DE SANTANDE	PAMPLONA	07°23'10" N	72°38'46" O	EL_ARENAL
40	Point ZM	41	249	SANTANDER	VELEZ	05°40'24" N	73°40'10" O	LAS_CUADRAS
41	Point ZM	42	258	CUNDINAMARCA	GUADUAS	05°04'30" N	74°36'46" O	FINCA_LA_INORPA
42	Point ZM	43	274	QUINDIO	ARMENIA	04°36'15" N	75°38'11" O	FINCA_LA_MERCED
43	Point ZM	44	100	TOLIMA	IBAGUE	04°25'20" N	75°11'38" O	FINCA_DE_FABIO_ESPINOSA
44	Point ZM	45	103	CESAR	EL COPEY	10°08'03" N	73°57'42" O	FINCA_DE_BILALDO_GONZALEZ

Ilustración 25 .Tabla de Atributos Join, Modificada

7.2.5.1 Edición de Mapas (Distribución y Densidad de Estaciones).

Es importante resaltar que el sistema de referencia y la escala escogida para la realización de los mapas a nivel Nacional (1:2.200.00), estaban estipulados dentro de los parámetros de presentación de pasantía, dada por parte del GIT (Grupo Interno de Trabajo) de Geodesia, grupo de Geomagnetismo. Por lo tanto, el sistema de referencia fue MAGNA (Marco Geocéntrico Nacional de Referencia), acompañado de SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas) de la extensión ITRF (Marco de Referencia Terrestre Internacional).

- Sistema de Coordenadas Geográfico: GCS_MAGNA.
- Datum: D_MAGNA.
- Elipsoide Asociado GRS 80 (Geodetic Reference System 1980)
- Modelo: Geocéntrico-Tridimensional (φ , λ , h)
- Meridiano Principal: Greenwich.
- Unidad Angular: Grado.



Ilustración 26. Plantilla IGAC.



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

Teniendo en cuenta los parámetros y especificaciones dadas por el instituto, se procede a la realización de las salidas gráficas. Para el mapa de distribución de Estaciones de Repetición, se utilizaron bases cartográficas a nivel Nacional, Departamental y Municipal, junto con el shapefile resultado de la operación del “Join”. Después de obtener las capas necesarias para la representación, se procedió al diseño de la salida gráfica, bajo la plantilla del Instituto.

De acuerdo, con los datos de la capa de Estaciones de Repetición, se agregaron dos “Data Frame” (Marco de Datos), para la representación del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en una escala de 1:200.000, por lo que generaba más detalle de la estación que se encontraba en la isla.

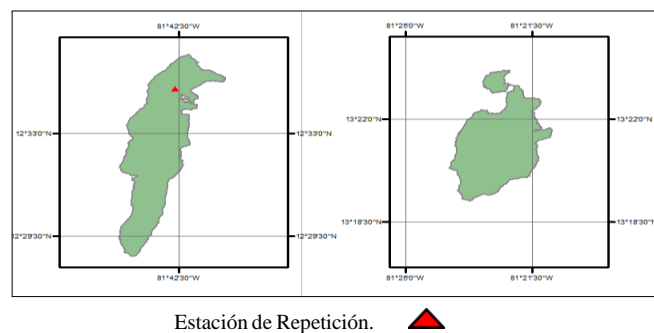


Ilustración 27 .Representación del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

Posterior a la edición del mapa de distribución, se realizó el recuento de estaciones por departamento para la configuración del mapa de densidad, para este se utilizó como base un shapefile de división departamental, donde se agregó un nuevo campo con el nombre de “N_ESTACION” a la tabla de atributos. Para la visualización de la suma de Estaciones de Repetición, se utilizó el método de representación “Quantity by Category” establecido en ArcMap, este representa la capa teniendo en cuenta la cantidad por categoría, para este caso, el número de Estaciones por Departamento, además se utilizaron símbolos graduados para cada uno.

7.2.5.2 Edición de Mapas (Promedios y Comportamiento de las Componentes).

En relación con los mapas de las componentes (D, I, H), se desarrolló un promedio de los puntos de Estaciones por Departamento, para el caso de la Inclinación (I) y la Declinación (D), los datos se encontraban dentro del sistema de sexagesimal, por lo tanto, se llevó a cabo una transformación a decimal con la siguiente fórmula:

$$R + (S/60) + (T/3600)$$

R: Grados S: Minutos T: Segundos

Ilustración 28 Fórmula de Transformación Sexagesimal-Decimal.



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

GRADOS	MIN	SEG	DECIMAL
04	07	10	5,486388889
03	28	70	5,4925
03	29	10	3,486111111
03	28	30	3,475
03	28	00	3,466666667
03	35	00	3,583333333
03	29	70	3,502777778
03	30	00	3,5
03	34	90	3,591666667
05	27	78	5,471666667
05	27	60	5,466666667
05	27	42	5,461666667
05	28	71	5,486388889
05	29	33	5,4925
05	29	23	5,489722222
05	27	83	5,473055556
05	28	60	5,483333333
05	29	78	5,505

Tabla 4 .Transformación Sexagesimal-Decimal.

La herramienta utilizada para los cálculos de los promedios fue Microsoft Excel. Teniendo en cuenta que la base de datos se encontraba organizada alfabéticamente por Departamento, por lo tanto, se realizaron los correspondientes promedios para cada uno de estos, posteriormente se toma como base un shapefile con la división departamental del país, agregando un campo de promedio para cada componente (D, I, H) y así editar dentro de la tabla de atributos los promedios proporcionados a cada Departamento. Es importante aclarar que no todos contenían la misma cantidad de estaciones y además éstas, no presentaban registros equivalentes. Por consiguiente, los mapas son una aproximación a los valores reales entre el periodo de estudio.

En este contexto, dentro del diseño de la salida grafica para cada uno de los mapas de las componentes, se seleccionó la técnica de matices hipsométricos, utilizada generalmente para la representación de alturas y profundidades en las superficies. Sin embargo, esta técnica se adecuo en una escala de colores pertinente, donde los más fuertes se asocian a los promedios más altos por Departamento y por consiguiente los tonos más débiles u opacos se asemejan a los menores.

Además de la generación de este tipo de mapas, se aplicaron cálculos geoestadísticos para el análisis de las variables numéricas distribuidas en el espacio, para esto se realizó una interpolación, la cual consiste en la predicción de valores a partir de puntos conocidos, en este caso los valores de registro para cada una de las componentes dentro de las Estaciones de Repetición distribuidas a nivel Nacional. Añadiendo a esto, se utilizó la técnica de isolíneas, importante para la representación adecuada del comportamiento de cada una de las componentes (D, I, H). A continuación, se describen los pasos ejecutados para la obtención de las cartas magnéticas:

- I. *Selección de Información:* Dentro de la Base de Datos se seleccionaron las Estaciones que contenían los registros de las componentes, junto con su correspondiente ubicación



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

geográfica. Los programas utilizados para el desarrollo de esta serie de mapas fueron Microsoft Excel y ArcMap en versión 10.3, dentro de este último se toma la herramienta “Join” para relacionar espacialmente el shapefile de Estaciones tipo punto con los datos de las componentes, para el caso de la Declinación Magnética (D) se tomaron 223 Estaciones, La Inclinación (I) 129 y finalmente la Intensidad Horizontal (H) 218. Vale aclarar que se realizó un promedio previo por componente para cada punto de las estaciones, ya que existían varios registros por fecha de ocupación y además no todas las componentes se registraban en las mismas estaciones.

Estaciones de Repetición													
FID	Shape *	ID_ESTACION	DEP	CIU	LAT	LON	NOM	POINT X	POINT Y	ID_ESTACION	B	D	
9	Point ZM	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	4° 42' 42.000" N	74° 5' 12.000" W	PLEDAYES	-74.08667	4.711667	1	1	1.491667	
125	Point ZM	1_A	CUNDINAMARCA	BOGOTA	4° 42' 55.000" N	74° 9' 12.000" W	AEROPUERTO_EL_DORADO_EXTREMO	-74.153333	4.715278	1_A	1_A	1.291667	
12	Point ZM	10	VALLE DEL CAUCA	CALI	3° 29' 48.000" N	76° 31' 36.000" W	HACIENDA_LA_FLORA	-76.526667	3.496667	10	10	0.133	
126	Point ZM	10_A	VALLE DEL CAUCA	PALMIRA	3° 33' 10.000" N	76° 24' 58.000" W	CAUCAYA	-76.415556	3.552778	10_A	10_A	2.385	
43	Point ZM	100	TOLIMA	IBAGUE	4° 25' 20.000" N	75° 11' 38.000" W	FINCA_DE_FABIO_ESPINOSA	-75.193889	4.422222	100	100	3.220333	
127	Point ZM	102_AUX_A	BOYACA	TUNJA	5° 32' 59.990" N	73° 20' 22.000" W	FINCA_FRANCISCO_GRANADOS	-73.339444	5.549997	102_AUX_A	102_AUX	4.063333	
44	Point ZM	103	CESAR	EL COPEY	10° 8' 3.000" N	73° 57' 42.000" W	FINCA_DE_BILIALDO_GONZALEZ	-73.961667	10.134167	103	103	5.086667	
128	Point ZM	105_A	CASANARE	EL YOPAL	5° 15' 35.000" N	72° 27' 2.000" W	AEROPUERTO	-72.450556	5.259722	105_A	105_A	4.881667	
129	Point ZM	108_A	AMAZONAS	LA PEDRERA	1° 19' 0.000" S	69° 35' 4.000" W	INTERIADO_SAIN_JOSE	-69.584444	-1.316675	108_A	108_A	5.941667	
130	Point ZM	11_A	VAUPES	MITU	1° 15' 32.000" N	70° 13' 44.000" W	AEROPUERTO_EXTREMO_N	-70.226889	1.258889	11_A	11_A	5.546667	
45	Point ZM	111	HUILA	SAN AGUSTIN	1° 52' 50.000" N	76° 15' 0.000" W	FINCA_YUMBE	-76.25	1.880556	111	111	1.783333	
131	Point ZM	113_B	AMAZONAS	TARAPACA	2° 53' 11.030" S	69° 44' 44.970" W	PUERTO_MILITAR	-69.745825	-2.886397	113_B	113_B	5.306667	
46	Point ZM	114	AMAZONAS	TARAPACA	2° 54' 19.997" S	69° 44' 27.997" W	BELLA_VISTA	-69.741111	-2.905555	114	114	5.348333	
132	Point ZM	117_A	CALDAS	LA DORADA	5° 26' 5.000" N	74° 40' 26.000" W	RIO_MAGDALENA	-74.673889	5.434722	117_A	117_A	1.661333	
133	Point ZM	117_B	CALDAS	LA DORADA	5° 29' 1.800" N	74° 43' 17.700" W	PUENTE_COLGANTE	-74.721583	5.483778	117_B	117_B	3.815	
134	Point ZM	12_B	VAUPES	MITU	1° 14' 20.000" N	70° 13' 34.000" W	INTERIADO_MARIA_REINA	-70.226111	1.238889	12_B	12_B	5.668333	
5	Point ZM	120_A	PUTUMAYO	MOCOCA	1° 9' 40.000" N	76° 38' 44.000" W	UNIVERSIDAD_MOCOCA	-76.645556	1.161111	120_A	120_A	1.63	
135	Point ZM	121_A	PUTUMAYO	PUERTO_ASIS	0° 30' 38.000" N	76° 30' 31.000" W	AEROPUERTO	-76.508611	0.510556	121_A	121_A	1.703333	
47	Point ZM	122	PUTUMAYO	PUERTO_ASIS	0° 31' 20.000" N	76° 31' 20.000" W	FINCA_EL_PORVENIR	-76.522222	0.522222	122	122	0.661167	
136	Point ZM	122_A	PUTUMAYO	PUERTO_ASIS	0° 31' 5.000" N	76° 31' 5.000" W	EL_PORVENIR	-76.530556	0.518056	122_A	122_A	1.686667	
48	Point ZM	128	CAQUETA	ARARACUARA	0° 35' 48.000" S	72° 23' 29.000" W	AEROPUERTO	-72.391389	-0.596667	128	128	3.387333	
137	Point ZM	13_A	SANTANDER	BUCARAMANGA	7° 5' 33.900" N	73° 6' 9.000" W	AEROPUERTO	-73.105333	7.092772	13_A	13_A	2.34	
7	Point ZM	130	CAUCA	ISLA GORGONA	2° 58' 55.000" N	78° 10' 21.000" W	GRANJA_LA_ESPERANZA	-78.1725	2.981945	130	130	0.353333	
49	Point ZM	133	CAQUETA	TRES ESQUINAS	0° 44' 48.000" N	75° 14' 30.000" W	AEROPUERTO_EXTREMO_SO	-75.241667	0.748667	133	133	1.848333	
138	Point ZM	14_A	SANTANDER	GRON	7° 4' 30.000" N	73° 10' 20.000" W	PARAGUITA	-73.172222	7.075	14_A	14_A	4.05	
139	Point ZM	141_A	ANTIOQUIA	MUTATA	7° 14' 25.000" N	76° 26' 36.000" W	HACIENDA_MUTATA	-76.443333	7.240278	141_A	141_A	2.331667	
14	Point ZM	15	HUILA	NEIVA	2° 56' 37.001" N	75° 16' 3.002" W	ESTACION_ASTRONOMICA_N_26	-75.2675	2.943611	15	15	0.505833	
15	Point ZM	16	HUILA	NEIVA	2° 54' 36.002" N	75° 17' 11.999" W	CARRETERA_A_CAMPOALEGRE	-75.289666	2.91	16	16	1.86	
140	Point ZM	16_A	HUILA	NEIVA	2° 53' 34.942" N	75° 18' 36.000" W	GRANJA_AVICOLA_DIASA	-75.31	2.976373	16_A	16_A	2.86	
141	Point ZM	16_B	HUILA	NEIVA	2° 54' 36.000" N	75° 17' 12.000" W	CARRETERA_A_CAMPOALEGRE	-75.289667	2.91	16_B	16_B	2.89	
142	Point ZM	161_A	CESAR	CODAZZI	10° 9' 40.000" N	73° 14' 43.000" W	HACIENDA_SUHARES	-73.245278	10.061111	161_A	161_A	5.711667	
143	Point ZM	163_A	CESAR	PUEBLO BELLO	10° 23' 45.000" N	73° 35' 37.000" W	LOS_ESFUERZOS	-73.593611	10.395833	163_A	163_A	4.803333	
144	Point ZM	168_A	MAGDALENA	FUNDACION	10° 32' 0.000" N	74° 12' 13.000" W	LA_MARIA	-74.203611	10.533333	168_A	168_A	4.245	

Ilustración 29 “Join” Componente de Declinación Magnética.

II. *Interpolación:* Este tipo de método geoestadístico parte del principio donde “Todas las cosas están relacionadas entre sí y es muy probable que los valores de puntos cercanos sean más similares entre sí, que con valores de puntos más lejos” (Burrough y McDonnell, 1998).

Para este caso se tiene en cuenta el tipo de variable, la cantidad de estaciones que depende de cada componente, la distancia entre cada una, la continuidad y su distribución espacial (Irregular). De modo que, se seleccionó un modelo de tipo geoestadístico y analítico como lo es el Kriging Ordinario (OK), que tiene en cuenta la autocorrelación espacial de la variable a interpolar, proporcionando un menor error cuadrático y por consiguiente una mayor precisión de la predicción con respecto a otros tipos de interpolación.

Este proceso de interpolación se llevó a cabo por medio de la herramienta “Geoestatal Analyst” que ofrece ArcMap en versión 10.3 para cada una de las componentes del CMT, teniendo en cuenta los shapefiles editados en el anterior paso; y dentro de las opciones se tomó una transformación de tipo logarítmica para obtener una distribución simétrica de los datos, seguido de esto el programa registra la tendencia global del conjunto de datos y como



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

paso posterior se ajusta el modelo de semivariograma /covarianza de las relaciones espaciales, para la generación de esta predicción se usó un modelo de tipo esférico, que nivela las distancias más grandes, para así no sobrepasaran el rango, finalmente este tipo de procedimiento arroja como resultado una capa de tipo raster con la clasificación de superficie de predicción.

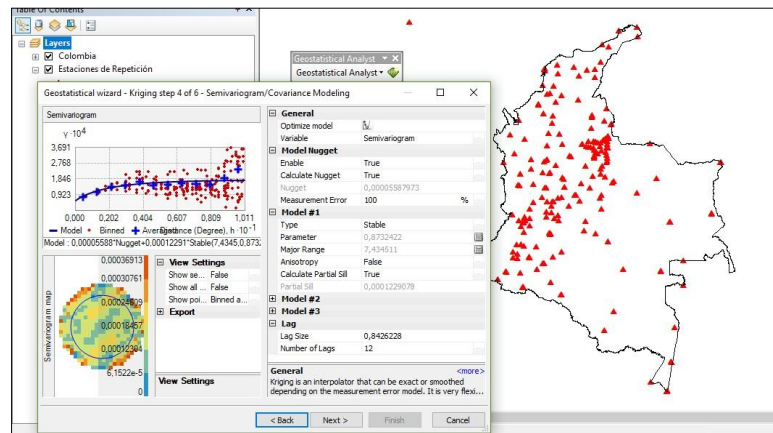


Ilustración 30. Ajuste del Kriging Ordinario (OK), Componente de Intensidad Horizontal.

- III. **Isolíneas:** De acuerdo con la capa de superficies de predicción arrojada para cada componente (D, I, H), se prosigue a generar una nueva capa tipo vector para la construcción de las cartas magnéticas mediante la técnica de isolíneas, para este proceso se empleó la caja de “ArcToolbox” con la extensión “Spatial Analyst Tools” que proporciona herramientas de análisis y modelado espacial, como “Surface”-“Contour”, donde a partir del modelo raster se crea una clase de identidad de línea, ajustando el intervalo entre cada una de ellas. Además de esto se aplicó un suavizado para cada una de estas, como operación de generalización dentro de las herramientas que ofrece “Cartography Tools” y por último para una mejor visualización cartográfica se clasificaron en dos tipos Índice e Intermedia.

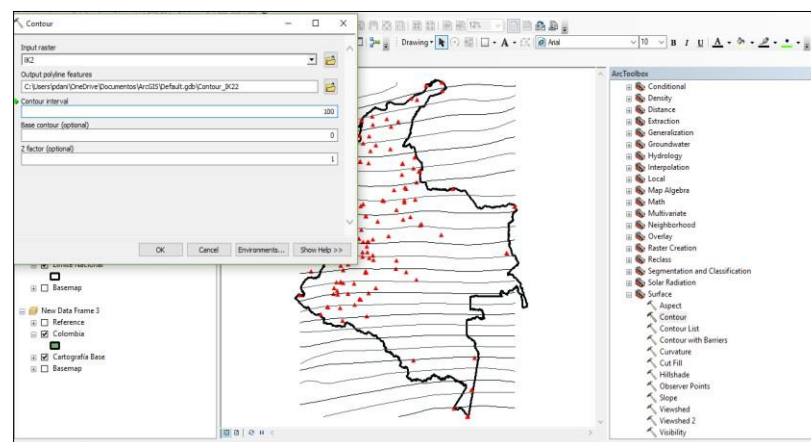


Ilustración 31. Creación de Isolíneas Componente de Inclinación Magnética.



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

7.2.6 *Análisis de la Base de Datos y Cartografía.*

Conforme al diagnóstico de la información histórica recolectada y la creación de la base de datos de las Estaciones de Repetición, se realizó un análisis por medio de filtros, teniendo en cuenta los parámetros de ubicación, ya que no todas las estaciones presentaban información de coordenadas geográficas. Además, se llevó a cabo la clasificación de estaciones por nomenclatura y departamento, donde se determina el número total de estaciones, su distribución espacial y gracias a los mapas realizados de las componentes se pueden observar una serie de tendencias y patrones.



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.

Actividades	Mes			
	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Desarrollo de escalamientos de magnetogramas correspondientes a los meses de (II Periodo) del año 2017.	X	X	X	X
Escaneo de magnetogramas correspondientes a los meses de (II Periodo) del año 2017.	X		X	X
Elaboración y Entrega Informe mensual con las actividades ejecutadas (Sept- Oct-Nov-Dic) y avances de los documentos finales.	X	X	X	X
Revisión bibliográfica y documentación de geomagnetismo general	X	X	X	
Recopilación y revisión bibliográfica de la documentación histórica referente a la Red Geomagnética Nacional (IGAC)	X	X		
Recopilación y revisión de los datos geomagnéticos históricos de las estaciones Red Geomagnética Nacional.	X	X		
Organización, estructuración y de la base de datos histórica de la Red Geomagnética Nacional en análogo y digital.		X	X	
Desarrollo de metodologías para la investigación de la Red Geomagnética Nacional: Generación de propuesta para el re- establecimiento de la Red en base a la revisión de la documentación y datos históricos de las estaciones, incluyendo resumen de parámetros y especificaciones históricas que la fundamentaban.		X	X	
Investigación de parámetros y especificaciones de Redes Geomagnéticas.	X	X	X	
Estructuración del informe final de acuerdo con los lineamientos acordados en el documento de proyecto pasantía.			X	X
Socialización del proyecto y realización de correcciones.				X
Cierre del proyecto y presentación final				X

Tabla 5. Cronograma de Actividades.



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

8. RESULTADOS.

8.1 Archivos Históricos y Documentación (Análogo-Digital).

De acuerdo con el intervalo de tiempo (1977-1997) se revisaron y transformaron de formato análogo a digital un total de 7 cajas, pertenecientes al archivo histórico del Instituto, cada una contenía diferentes carpetas con información referente a las hojas de campo de las estaciones de información con la siguiente estructura:

- Hoja de Presentación (Estación- Instrumentos-Fecha-Observaciones).
- Descripción de la Estación (Coordenadas-Nombre-Ciudad-Fecha de Ocupación- Acceso).
- Esquema de Vías de Acceso- Croquis Detallado del Punto.
- Datos Geomagnéticos (Azimut-Pruebas de Sitio- Declinación e Inclinación Magnética- Intensidad Horizontal).

Número de Caja	Cantidad de Carpetas	Años de Registro
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
Totales	49	15 años

Tabla 6. Archivos Históricos

8.2 Base de Datos.

La Base de Datos Histórica comprendida entre los años 1977 a 1997, cuenta 253 Estaciones de Repetición, distribuidas entre 16 campos, que representan su estructuración en columnas, y un total de filas de 2.737. Teniendo en cuenta la organización numérica con el campo “ID_Estación”, se puede observar que, en el Departamento de Cundinamarca, dentro de la ciudad de Bogotá, se encuentra la primera Estación, con respecto al orden dado por la nomenclatura del Instituto, Esta se ubica en el Aeropuerto Pledayes, con fechas de ocupación (1978-1981).

ID	NUMERO DE CAJA	NUMERO DE CARPETA	ID ESTACION	DEPARTAMENTO	CIUDAD_MUNICIPIO	LATITUD	LONGITUD	ESTACION	INSTRUMENTOS	AÑO	MES	DIA	DECLINACION_MAG	INCLINACION_MAG	INTESIDAD_HORIZONTAL
1	19	4	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	04°42'42" N	74°05'12" O	PLEDAYES	MAGNETOMETRO_RUSKA_N°_6497	1981	FEBRERO	18	01°52,33' O	31°34'15"	28958
1	19	4	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	04°42'42" N	74°05'12" O	PLEDAYES	INDUCTOR_TERRESTRE_RUSKA_N°_3048	1981	FEBRERO	18	01°52,39' O	31°33'00"	28958
1	19	4	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	04°42'42" N	74°05'12" O	PLEDAYES	SIN_INFORMACION	1981	FEBRERO	19	01°49,14' O	31°33'15"	28958
1	19	4	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	04°42'42" N	74°05'12" O	PLEDAYES	SIN_INFORMACION	1981	FEBRERO	19	01°51,03' O	31°33'30"	28958
1	19	4	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	04°42'42" N	74°05'12" O	PLEDAYES	SIN_INFORMACION	1981	FEBRERO	19	01°49,87' O	31°33'00"	28968
1	19	4	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	04°42'42" N	74°05'12" O	PLEDAYES	SIN_INFORMACION	1981	FEBRERO	19	01°50,53' O	31°32'38"	28975
1	18	7	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	04°42'42" N	74°05'12" O	PLEDAYES	SIN_INFORMACION	1978	MAYO	11	SIN_INFORMACION	SIN_INFORMACION	29042
1	18	7	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	04°42'42" N	74°05'12" O	PLEDAYES	SIN_INFORMACION	1978	MAYO	12	01°27,30' O	SIN_INFORMACION	29051
1	18	7	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	04°42'42" N	74°05'12" O	PLEDAYES	SIN_INFORMACION	1978	MAYO	11	01°28,80' O	SIN_INFORMACION	29054
1	18	7	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	04°42'42" N	74°05'12" O	PLEDAYES	SIN_INFORMACION	1978	MAYO	11	01°26,50' O	SIN_INFORMACION	29064
1	18	7	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	04°42'42" N	74°05'12" O	PLEDAYES	SIN_INFORMACION	1978	MAYO	11	01°28,20' O	SIN_INFORMACION	29072
1	18	7	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	04°42'42" N	74°05'12" O	PLEDAYES	MAGNETOMETRO_RUSKA_N°_6497	1978	MAYO	10	01°25,50' O	SIN_INFORMACION	29078
1	18	7	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	04°42'42" N	74°05'12" O	PLEDAYES	SIN_INFORMACION	1978	MAYO	10	01°25,70' O	SIN_INFORMACION	29079
1	18	7	1	CUNDINAMARCA	BOGOTA	04°42'42" N	74°05'12" O	PLEDAYES	SIN_INFORMACION	1978	MAYO	12	01°29,30' O	SIN_INFORMACION	29079

Ilustración 33. Datos Estación 1-Pledayes, Cundinamarca.



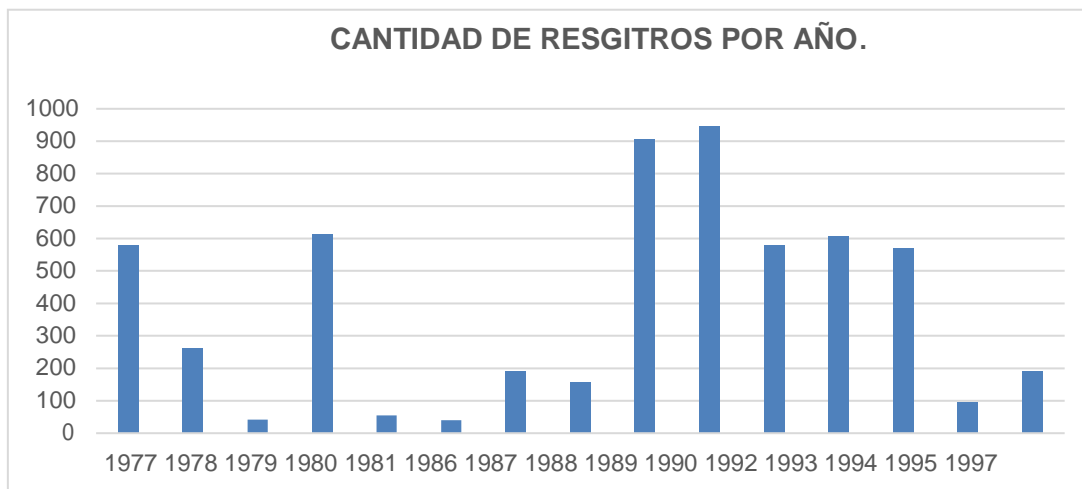
ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

Este tipo de información, agregando los otros campos de datos, se pueden encontrar en cada una de las 253 Estaciones de Repetición registradas dentro de la Base de Datos Histórica. Realizando diferentes filtros por cada uno de los campos atribuidos a la base, se pueden observar los siguientes resultados:

Campo	Total	Sin Información
Número de Cajas	7 (18-24)	0 (Celdas)
Número de Carpetas	49	0 (Celdas)
Estaciones	253 Estaciones Registradas BD 227 Estaciones con Información Geográfica (4 Anomalías)	26 Estaciones sin Información Geográfica
Departamentos	32	1 (Estación) 14 (Celdas)
Ciudad-Municipio	168	1 (Estación) 14 (Celdas)
Instrumentos	22	0 (Celdas)
Años	15	0 (Celdas)
Declinación Magnética	2.666	70 (Celdas)
Inclinación Magnética	1.224	1.512 (Celdas)
Intensidad Horizontal	2.448	288 (Celdas)

Tabla 6. Resultados Base de Datos Histórica.

El intervalo de tiempo entre 1977 a 1997, da un total de 21 años, sin embargo, dentro de la base de datos solo existen registros de 15 años, lo que quiere decir en los años 1982,1983,1984,1985-1991 y 1996 no se realizó ninguna actividad relacionada con este tipo de datos, por motivos de presupuesto del Instituto. Añadiendo a esto, el año que más presento registro de campo fue en 1990 con 944 y el más bajo con esta condición fue 1986 con 40. En la gráfica se observa el total por cada año.



Gráfica 1. Cantidad de Registros por Año.



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

Bajo el recuento anterior, se evidencian que existen 26 Estaciones de Repetición que no cuentan con información Geográfica, en el caso particular de la Estación 484 “Macarena”, no se encontraron datos de Departamento, Ciudad-Municipio y Coordenadas (Latitud, Longitud). La tabla a continuación muestra la información respecto a la nomenclatura y ubicación de las estaciones.

ID Estación	Departamento	Ciudad-Municipio
431	Amazonas	La Pedrera
323	Antioquia	Cocorná
522	Antioquia	Caucasia
523	Antioquia	Caucasia
144_A	Antioquia	Giraldo
47_C	Arauca	Arauca
21_D_AUX_B	Atlántico	Barranquilla
101	Boyacá	Tunja
102_A	Boyacá	Tunja
17_A	Boyacá	Sogamoso
51_A	Casanare	Orocué
498	Cauca	Guapi
79_A	Cauca	Santander de Quilichao
86_A	Cesar	Valledupar
478	Guainía	Cerro Nariz
479	Guainía	Morrocó
483	Guainía	San Felipe
480_REF_N°_2	Guainía	Cumaral
481_REF_N°_1	Guainía	Tonina
482_REF_N°_1	Guainía	La Guadalupe
111_AUX_A	Huila	San Agustín
43_A_AUX_A	Magdalena	El Banco
126_C	Meta	Villavicencio
484	Sin Información	Sin información
524	Sucre	Corozal
49_A	Vichada	Puerto Carreño

Tabla 7. Estaciones Sin Información de Coordenadas.

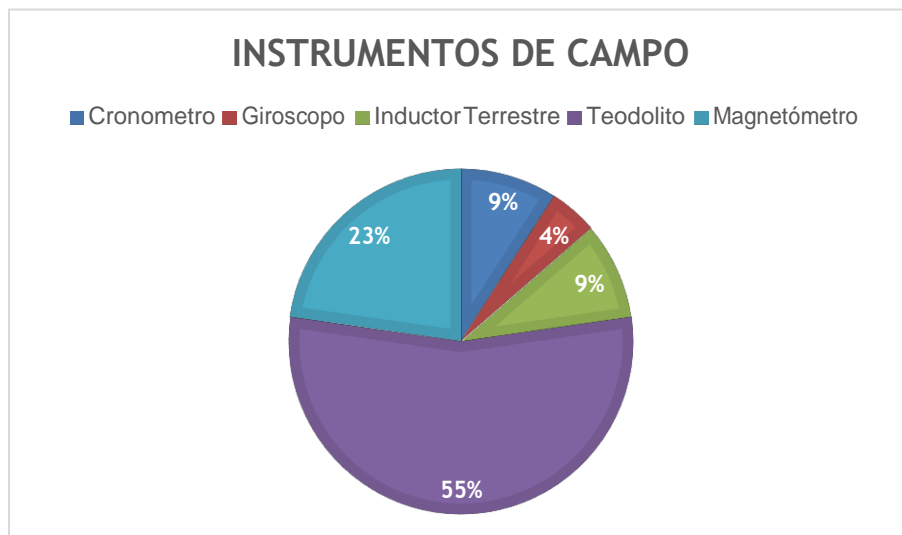


ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

A partir de los datos registrados dentro de la Tabla 6, se puede visualizar que en los registros de la Base de Datos existen 22 Instrumentos de Tipo Geomagnético que se utilizaron para la toma de datos de campo, respecto a las componentes (D, I, H), además de las pruebas de sitio que se ejercieron antes de la materialización de los puntos.

Instrumento	Cantidad	Referencia	Años de Ocupación
Cronometro	2	Casio 503 Casio 863	1989-1990-1992-1997
Giroscopo	1	Gak 1 N° 26193	1979-1986
Inductor Terrestre	2	Ruska N° 6499 Ruska N° 3048	1978-1979-1980-1081-19871989-1990-1993
Teodolito	12	Askania_N°_6497 Kern_DKM2_N°_308633 Kern_DKM2_n°_33105 Kern_DKM2_N°_33705 Kern_DKM2_N°_35723 Kern_DKM2_N°_35724 Ruska_N°_6497 Wild_T1_N°_35724 Wild_T2_N°_16739 Wild_T2_N°_274894 Wild_T2_N°_28670 Wild_T2_N°_93554	1977 a 1997
Magnetómetro	5	Askania N° 560043 Askania_N°_578182 Protones Geometrics N° 1578 DIM 100 Ruska N° 6497	1977-1978-1979-1980-1981-1986-1987-1988-1989-1990-1992-1993-1994-1995-1997
Total	22	-	15 años.

Tabla 8 .Instrumentos de Campo.



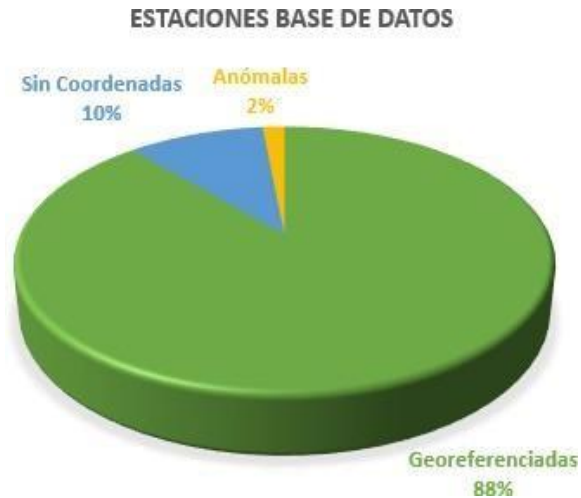
Gráfica 2. Instrumentos de Campo.



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

8.3 Estaciones de Repetición.

La Red Geomagnética Nacional estaba compuesta por 510 Estaciones de Repetición, de las cuales 253 se encuentran registradas dentro de la base de datos histórica (1977-1997). Sin embargo, solo 223 contenían coordenadas geográficas, las cuales se georreferenciaron para el diseño de la cartografía. Las estaciones restantes presentaban diferentes tipos de anomalías en su nomenclatura.



Gráfica 3. Porcentaje de Estaciones Base de Datos (1977-1997).

Dentro del diagnóstico de la información referente a las Estaciones de Repetición se encontró la descripción sobre las dimensiones y forma de los mojones que conformaban la antigua Red Nacional. Este tipo de información es de importancia para la etapa de campo, en la que se realiza la búsqueda y verificación de estas.

“La estación tipo mojón se encuentra construida en concreto con dimensiones de 30x30 cm, sobresaliendo 15 cm de la superficie cuenta con una placa oficial del Instituto que contiene la nomenclatura asignada”.



Ilustración 32. Placa Red Geomagnética Nacional.



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

8.4 Nomenclatura de las Estaciones.

Algunas de las estaciones archivadas digitalmente en la base de datos presentaban un tipo de nomenclatura que las diferenciaba de las otras. Haciendo referencia al sitio de toma, puesto que algunas mediciones geomagnéticas se realizan en puntos que ya estaban materializados destinados a nivelación o gravimetría.

Tipo de Estación	Cantidad
GPS	6
Geoceiver	6
Perfil Gravimétrico	24
Astronómica	1
NP	1
PT	1
Numérica	214
Total	253

Tabla 9. Clasificación de Estaciones de Repetición.



Gráfica 4. Porcentajes de Clasificación de Estaciones de Repetición.

8.5 Distribución de Estaciones por Departamento.

A partir de los filtros realizados en la Base de Datos se pudo deducir que todos los Departamentos presentaban estaciones, donde la mayor concentración de estaciones fue en Santander con un total de 30 puntos, seguido de Antioquia con 19 y Norte de Santander con 15. Por otro lado, los Departamentos de

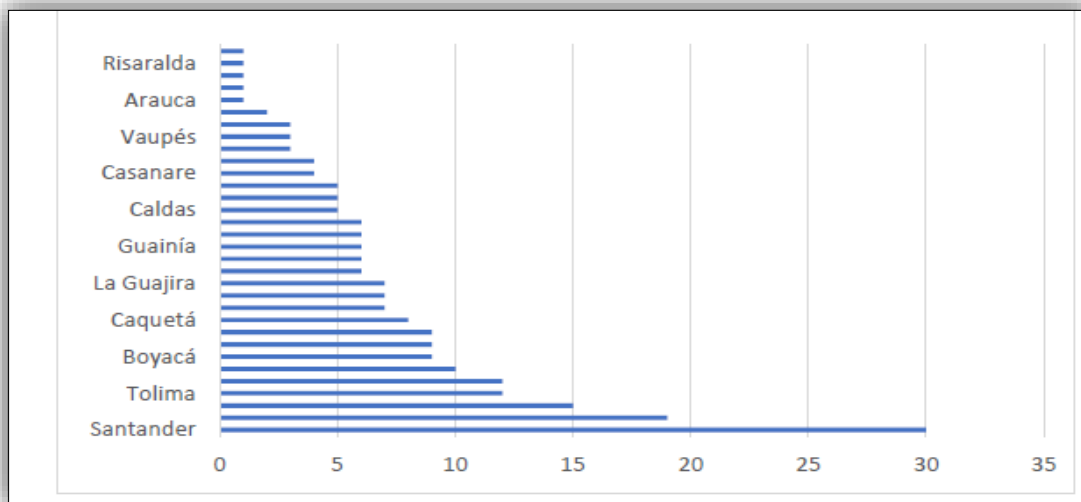


ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

Arauca, Atlántico, Quindío Risaralda y el Archipiélago de San Andrés presentaron solo una Estación. A continuación, se observa la tabla de distribución de Estaciones de Repetición a nivel departamental.

Departamento	Cantidad de Estaciones	Departamento	Cantidad de Estaciones
Amazonas	7	La Guajira	7
Antioquia	19	Magdalena	2
Arauca	1	Meta	5
Atlántico	1	Nariño	6
Bolívar	6	Norte de Santander	15
Boyacá	9	Putumayo	6
Caldas	5	Quindío	1
Caquetá	8	Risaralda	1
Casanare	4	San Andrés (Archipiélago)	1
Cauca	10	Santander	30
Cesar	5	Sucre	4
Chocó	9	Tolima	12
Cundinamarca	9	Valle del Cauca	12
Córdoba	6	Vaupés	3
Guainía	6	Vichada	3
Guaviare	3	-	-
Huila	7	-	-

Tabla 10. Distribución de Estaciones por Departamento.



Gráfica 5. Porcentajes de Concentración por Departamento.



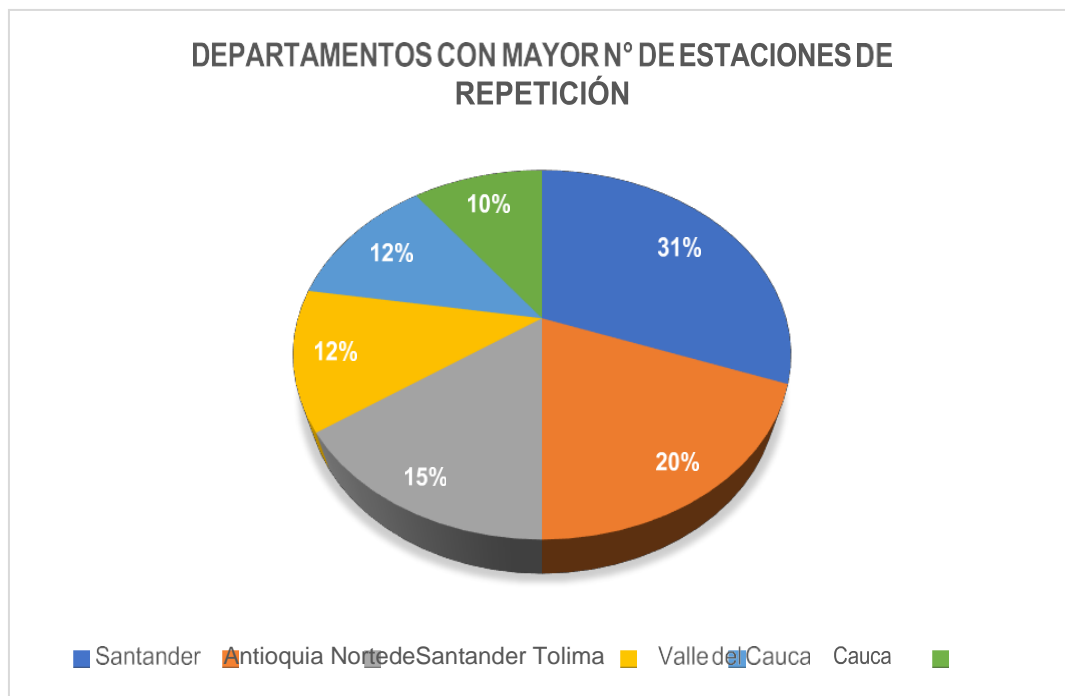
8.6 Distribución Espacial de Estaciones de Repetición.

El análisis de patrones espaciales permite observar el tipo de distribución que presentan las Estaciones de Repetición dentro del territorio Nacional, corroborando con el resultado anterior del filtro por Departamento de la Base de Datos.

En el Mapa I , se puede determinar que las zonas donde se encuentra mayor concentración de estaciones, representadas simbólicamente por triángulos rojos, es la parte noreste del país, donde se encuentran ubicados los Departamentos de Santander (30) en tono morado y Norte de Santander (15) de color rosado. No obstante, hacia el centro y oeste del territorio también existe una agrupación de estas, en comparación con las regiones de los Llanos Orientales y la Amazonia que presentan dispersión.

Las razones por las cuales se presentan pocos puntos materializados en diferentes departamentos, es por la accesibilidad del terreno y presupuesto, porque algunas zonas como la parte Sur del país presentan características de vegetación y clima especiales que pueden perjudicar la toma de datos. Además, durante la época existían pocas personas especializadas en el manejo de esta clase de equipos, agregando a esto los trayectos presentaban distancias largas por el terreno y por lo tanto el tiempo empleado para cada punto era de alrededor 8 días.

Por otro lado, se determinan que los departamentos que contienen solo una estación corresponden a Arauca, Quindío, Risaralda, Atlántico, junto con el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Además, se destacan dentro del mapa la posición de las estaciones con tendencia hacia los límites municipales y departamentales.



Gráfica 6. Departamentos-Estaciones de Repetición.



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

8.7 Densidad de Estaciones de Repetición a Nivel Nacional.

La densidad de Estaciones de Repetición representada por medio de diferentes círculos graduados muestra que los valores de tipo cuantitativo son de mayor tamaño en los departamentos de Santander y Antioquia con un rango entre 19-30 estaciones, corroborando la información expuesta

en el Mapa II de Distribución. Añadiendo a esto, el mapa muestra una clasificación de colores para medir el nivel en el que se encuentra cada departamento, por lo tanto, en un orden en el siguiente orden las tonalidades en café (Alto) representan las zonas con mayor concentración, seguido un tono más claro (medios), como la parte central del país junto con algunos departamentos de la Zona Norte y el Sur, los tonos anaranjados (Bajo), comprenden un intervalo entre 4-2, con zonas representas en los Llanos Orientales y finalmente el color amarillo simboliza el rango más pequeño 1-2 con la circunferencia de menor tamaño presente en los departamentos de Arauca, Quindío, Risaralda, Atlántico, junto con el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

8.8 Comportamiento y Promedio de Componentes (D, I, H).

8.8.1 Componente de Declinación Magnética (D).

A partir de los resultados de interpolación con el método Kriging Ordinario (KO) para los datos de Declinación Magnética con un total de 223 puntos, se analiza la autocorrelación espacial de estos por medio semivariograma arrojado por el programa con un Nugget de 0,89415 , donde se observa mediante un modelo esférico algunos valores de puntos dispersos y distantes de la medida normal, debido a que los datos de las estaciones presentaban anisotropía (2,16846), lo que quiere decir que depende de la dirección del punto y por lo tanto se ajustó el ángulo para cotar con la elipse en la parte superior a 344° . Además, la tabla 12 muestra los valores de error de los parámetros escogidos para la estimación de la confiabilidad con respecto a la asociación espacial.

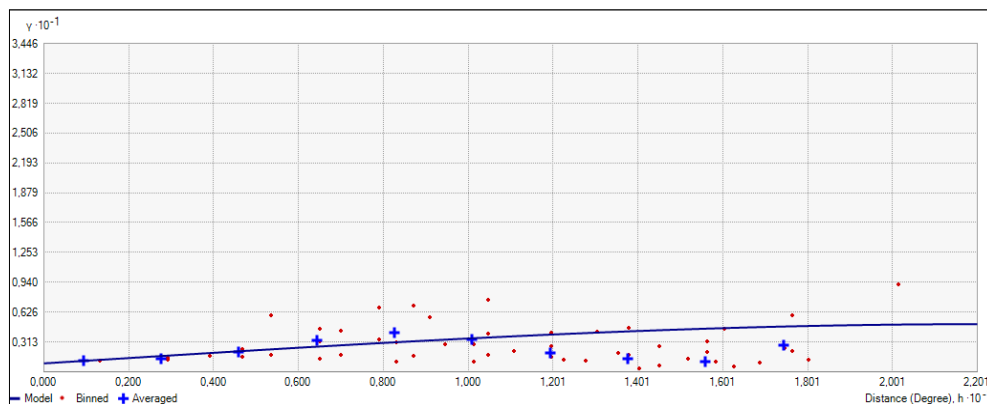


Ilustración 33. Semivariograma KO – Declinación Magnética



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
Root-Mean-Square	0,95548
Average Standard Error	1,09291
Root-Mean-Square Standardized	0,90266
Confiabilidad	97,715 %

Tabla 11. Parámetros KO-Declinación Magnética

En cuento al resultado del raster, este contiene las superficies de predicción con una clasificación de 10 intervalos, representada por diferentes tonos, observando así distintos valores que van desde 0,040666 hasta 8,551666, correspondientes a los grados decimales de las estaciones que se encuentran más al Oeste y Este respectivamente. Una de las ventajas que ofrece el KO es el mapa de errores, dando como máximo valor 2,28484 % el cual nos da una buena confiabilidad en el resultado de interpolación, los tonos más oscuros representan las zonas con mayor error ya que en estas existían menos puntos de estaciones con respecto a los tonos blancos como la zona centro del país.

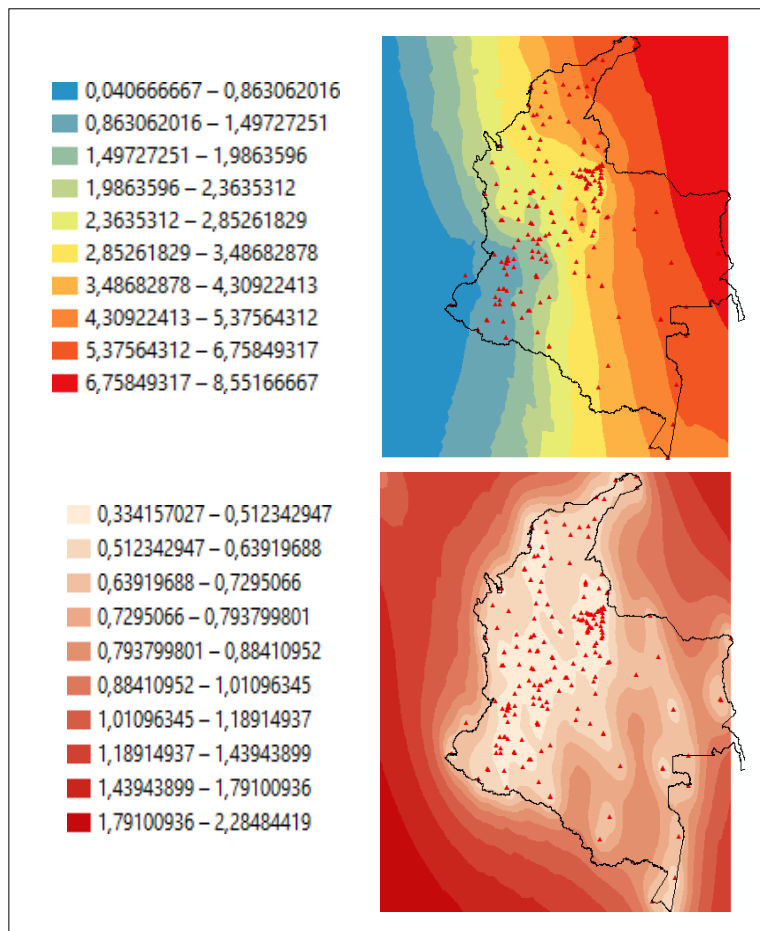


Ilustración 34 Resultando Interpolación y Mapa de Error D.



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

Bajo este contexto y teniendo en cuenta los parámetros de continuidad y distribución espacial se aplicó la técnica de isólinas, dando como resultado el mapa de declinación magnética representado por medio de curvas isogónicas con el mismo valor angular, en este caso el intervalo entre las líneas índices e intermedias fue de $0,5^\circ$ como se puede apreciar en el Mapa III, evidenciando también que el rango de esta variable en el país se encuentra entre 0° y $-7,5^\circ$ en una distribución de Oeste a Este respectivamente para la época de 1977 a 1997. Esta distribución es negativa por la ubicación geográfica de Colombia ya que se encuentra al oeste con respecto al norte magnético del verdadero.

De acuerdo con la distribución de las Estaciones de Repetición se puede evidenciar la concentración de estas sobre el departamento de Santander con una pequeña curvatura, donde este componente se encuentra entre los valores de -3° a -4° . Analizando de esta manera que entre las estaciones puede existir una mayor correlación, por la proximidad de los puntos, cumpliendo así con los parámetros de ubicación y distancia, de tal modo que tiende a ser más preciso por una mayor cobertura de la zona. En comparación con las regiones del sur de país (Orinoquia-Amazonia) en donde las estaciones no son equidistantes y además su precisión disminuye por el número de muestras.

Con respecto al resto del territorio se observa que los departamentos de la zona Oeste como Nariño y Valle del Cauca presentan una declinación más cercana a los 0° mientras que la zona Este se concentra en el rango entre $-3,5^\circ$ a -8° , siendo Puerto Carrero (Vichada) la estación más al Oeste y la isla de Gorgona (Cauca) hacia el Este.

El Mapa VI está basado en los promedios de declinación registrados dentro de la Base de Datos Histórica 1977-1997, en este se puede observar una clasificación de 6 intervalos de valores que van desde $-0,1$ hasta $-7,5$, estos están dentro de una clasificación hipsométrica de amarillos y rojos, donde estos últimos representan los promedios más altos, ubicados en las zonas Norte, Oriente y Sur del país, mientras que los amarillos están presentes en la Costa Pacífica y Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. La zona central del territorio está precedida por un intervalo de valores de $2,3$ - $3,2$ con los tonos anaranjados.

8.8.2 Componente de Inclinación Magnética (I).

Dentro de esta componente se analizaron un total de 129 Estaciones de Repetición, siendo la menor entre los registros de las tres componentes, en el resultado de semivariograma por interpolación con el método Kriging Ordinario se observa un Nugget de $0,00022$, junto con una distribución una distribución de puntos que comienza por debajo del modelo en forma dispersa, sin embargo en la distancia de $0,910^\circ$ se eleva y vuelve a caer a los $1,274^\circ$, el ángulo de ajuste por presentar anisotropía ($1,84285$) fue de $39,2^\circ$ cortando con la elipse.



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

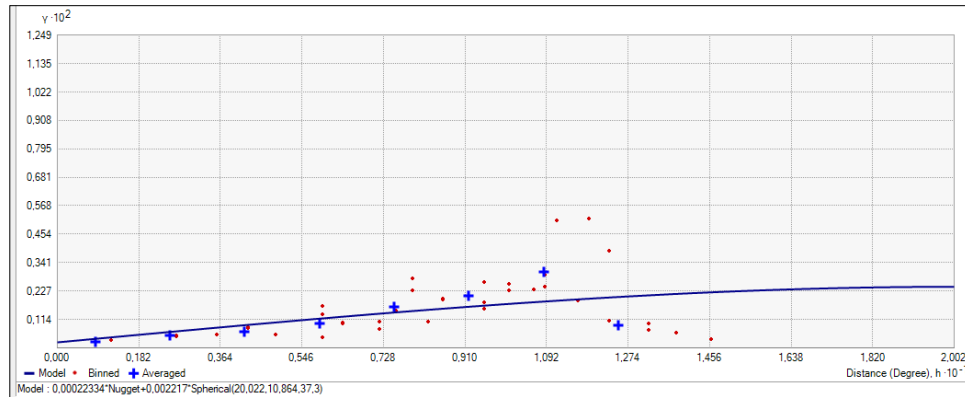


Ilustración 35 .Semivariograma KO –Inclinación Magnética.

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
Root-Mean-Square	0,546013
Average Standard Error	0,61783
Root-Mean-Square Standardized	0,93490
Confiabilidad	97,857%

Tabla 12. Parámetros KO-Inclinación Magnética

Dentro de la Tabla 13 se evalúan los parámetros para medir la confiabilidad del KO aplicado a los datos de inclinación, evidenciando de esta manera que los parámetros entre más se acerquen a 1 son más acertados en especial el Root-Mean-Square Standardized que para este caso fue de 0,93490. La confiabilidad de este proceso fue de 97,857% dada por el mapa de error de la interpolación.

En este contexto el resultado del raster está dado por una superficie de predicción con una clasificación de 10 intervalos y rango entre 16,21666 y 41,53388, a diferencia de la declinación, esta componente representa el ángulo vertical del magnetismo de forma horizontal, dada la forma de resultado de la interpolación. Los valores obtenidos por medio del mapa de error fueron de 0,16609 para el menor y 2,14221 para el mayor, ajustándose a los registros de las estaciones de manera proporcional; vale aclarar que estos valores son dados en grados decimales.

Por otra parte, en el mapa de errores las zonas blancas representan el error más bajo y los tonos oscuros los más altos, que para este caso el error en la mayor parte del país no pasa de 1, principalmente en la zona Norte, Centro y Occidente, en contraste de la región Sur se presentan zonas más oscuras ya que solo existían alrededor de 5 estaciones que registraron estos datos, deteriorando así su cobertura y por lo tanto la precisión, por ultimo en los tonos son zonas donde no existía información y no se encontró relación con otras estaciones por la distancia.



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

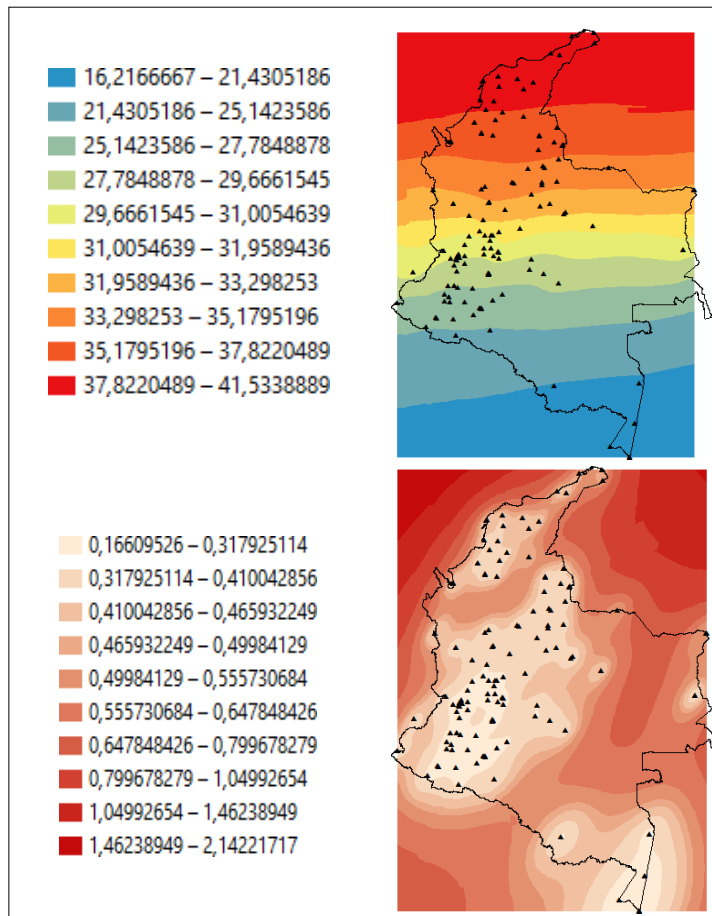


Ilustración 36. Resultando Interpolación y Mapa de Error I

La representación cartográfica de la Inclinación Magnética se da por medio de líneas de isóclinas del mismo valor que dependen del lugar donde se encuentren, para este caso el intervalo del Mapa IV entre las líneas índices e intermedias de 1° . Dado esto, el territorio Nacional entre los años de 1977-1997 conto con un rango de Inclinación de 16° a 42° , según los datos de las Estaciones de Repetición junto con el resultado de la interpolación. Observado este fenómeno, se aprecia que los mayores valores se concentran hacia la zona Norte sobre los departamentos de la Costa Caribe en especial de la Guajira y por lo tanto disminuyen hacia el Sur sobre las regiones de la Orinoquia y Amazonia al igual que en los departamentos de Antioquia y parte del Chocó y Cauca. Hacia el interior y occidente del país se distingue una tendencia de puntos más agrupados, sobre todo el Tolima, Valle del Cuca y parte del Eje Cafetero, donde existe una mayor cobertura por la asociación espacial.

En comparación a la componente anterior D, existe una menor concentración de puntos, pero las equidistancias siguen presentando irregularidades de tal modo que la precisión es muy variante, sin embargo, la confiabilidad fue de un porcentaje un poco mayor.



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

En el Mapa VII se observan los promedios de Inclinación a nivel departamental, clasificado por intervalos entre 0 y 40,8 que van dentro de una escala de 6 tonos que dependen del rango. Nuevamente los colores rojos simbolizan los promedios más altos concentrados en la Costa Atlántica, los tonos medios representan valores entre 36,922 y 29, 604, ubicándose sobre los departamentos del área Andina y parte de la Orinoquia a excepción de los departamentos de la Amazonia y Vaupés, donde este último junto con Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, no presentaron ningún registro de esta componente durante los años de 1977 y 1997.

8.8.1 Componente de Intensidad Horizontal (H).

El total de puntos de Estaciones de Repetición registrados para esta componente fue de 218 y por medio del resultado de interpolación y el semivariograma se observa que los datos presentan una mayor dispersión con respecto a las demás componentes, para este caso se aplicaron varios modelos como el exponencial y gaussiano, pero en estos también se podía apreciar que no existía una correlación de los datos. Añadiendo a esto no se cumplió con la tabla de parámetros de confiabilidad.

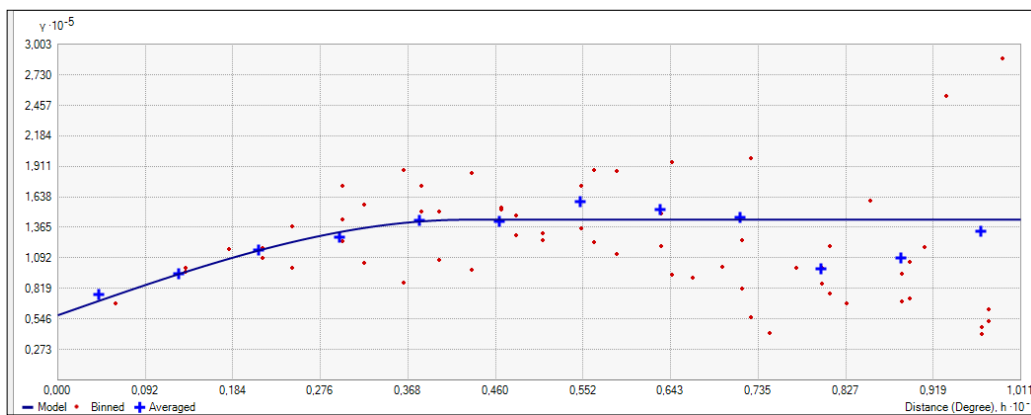


Ilustración 37 Semivariograma KO –Intensidad Horizontal.

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
Root-Mean-Square	260,8772
Average Standard Error	27,7303
Root-Mean-Square Standardized	0,9647622
Confiabilidad	Nula

Tabla 13. Parámetros KO-Intensidad Horizontal.

Siguiendo con esta tendencia el mapa de error resultado de la interpolación cuenta con valores muy altos que van desde 83,44449 -385,181769 lo que hace que la confiabilidad para este caso sea nula. Sin embargo, dentro del resultado raster se observa una distribución de los puntos de muestra similar a la del componente de Declinación, pero este tipo de variables son distintas tanto en su concepto como en la forma de representación.



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

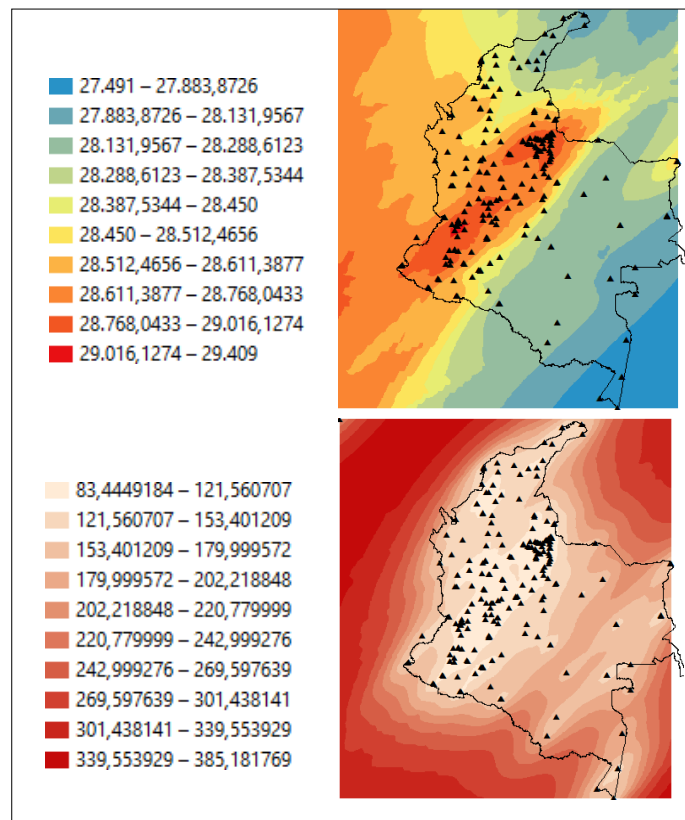


Ilustración 38 Resultando Interpolación y Mapa de Error H.

La intensidad horizontal es un componente importante dentro del Geomagnetismo y se representa por medio de líneas Isodinas o Isodinámicas y a pesar de que el resultado de interpolación no presenta una confiabilidad en un porcentaje aceptable, se desarrolló la configuración del Mapa V y VIII, representado el comportamiento y promedio de esta componente a nivel Nacional, en este se puede observar un concentración de curvas sobre el departamento de Santander con una intensidad de 28800 al igual que en los departamentos del Occidente del país como Nariño, Valle del Cuca y Parte del Tolima. Por otra parte, la zona Sur cuenta con una intensidad de 26700 a 28200 aproximadamente y además en esta zona como en las otras componentes existe un a poca presencia de estaciones, en este contraste la Costa Norte Colombiana presenta una intensidad mas alta con valores entre los 28500.

Dentro del Mapa VIII se representan los promedios de este, derivados del cálculo de promedios pertenecientes a los registros de la Base de Datos Histórica 1977-1997, donde se evidencian 5 clasificaciones en tonalidades de color tierra, lo más oscuros representan los valores más elevados y los claros los menores. En este mapa sobresalen los Departamentos de Santander y Norte de Santander, junto con algunos de la parte Suroccidente del país, que presentan una intensidad horizontal alta en comparación con la Amazonia, La Guajira, Atlántico y áreas de los Llanos Orientales, donde su valor es más bajo, en el resto del país se observa unatendencia media.



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

9. CONCLUSIONES.

El objetivo principal de analizar los registros históricos y estado de las Estaciones Geomagnéticas de Colombia (1977-1997), se llevó a cabo de manera satisfactoria, gracias a la generación de la Base de Datos Histórica que contiene los registros de campo de dichas estaciones. Es importante aclarar que, durante la realización de esta, algunas Estaciones de Repetición no contaban con coordenadas de localización, nombre completo o registros faltantes de las componentes. Añadiendo a esto, su estructuración no solo enmarca los registros de las estaciones, sino también el nombre de cada una de estas, su ubicación municipal y departamental junto con los instrumentos con que fueron tomados dichos datos.

Por otro lado, a partir de una serie de consultas y filtros, se realizó la cartografía correspondiente a su distribución espacial y densidad, efectuando así un análisis de las zonas y áreas a nivel nacional, donde se evidenció que todos los Departamentos que conforman el país presentan por lo menos un punto materializado, sobresaliendo Santander, Norte de Santander y Antioquia con una alta densidad de estaciones en comparación con los Departamentos pertenecientes a las regiones de la Orinoquia y Amazonia que contenían entre 1 y 4.

En cuanto a los mapas de comportamiento de las componentes se realizó la aplicación de modelos geoestadísticos permitiendo estudiar el comportamiento de las variables, evaluando su autocorrelación entre los datos y realizando así una serie de predicciones y cálculos de errores llegando de este modo a la consolidación de los mapas, donde se observaron distintas tendencias que dependían del número de muestras tomadas, siendo para este caso los registros de las Estaciones de Repetición; para cada componente fue diferente por diferentes razones operacionales del Instituto durante el periodo 1977-1997. También es importante mencionar los criterios que se tuvieron en cuenta para la elección de la interpolación, como el tipo de variable, la cantidad de estaciones, la distancia entre cada una, la continuidad y su distribución espacial irregular sobre el territorio Nacional.

Bajo estos criterios el método escogido fue el Kriging Ordinario por hacer parte de los modelos geoestadísticos que incluye la autocorrelación y realizar las predicciones teniendo en cuenta los criterios establecidos visualizados por medio de diferentes gráficas y del mapa de error. De acuerdo con esto, los resultados que han sido expuestos responden a los datos utilizados, para las componentes de Inclinación y Declinación Magnética fueron satisfactorios cumpliendo con la confiabilidad, pero en el caso de la componente de Intensidad Horizontal esta no se desempeñó con este criterio y por lo tanto su predicción no fue del todo exitosa.

En cuanto a los mapas de promedio los valores correspondientes a las componentes (D, I), presentan una tendencia similar, donde la Costa Norte del país sobresale con valores altos, sin embargo, en la Declinación se puede observar que la región de los Llanos Orientales y



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

parte de la Amazonia, también presentan registros de igual similitud. La clasificación de la Intensidad Horizontal (H) arroja una tendencia de promedios semejantes sobre la región central del país, mientras que La Guajira, Atlántico y áreas de los Llanos Orientales presentan valores bajos. En este contexto, se resalta que no todos los Departamentos contienen la misma cantidad de estaciones y además éstas, no contienen la misma cantidad de registros, por lo que se llevó a cabo un promedio de cada una de estas por entidad territorial, lo que lleva a que dichos mapas son una aproximación a los valores reales entre el periodo de estudio.

Teniendo en cuenta lo anterior, este tipo de proyectos en la actualidad son importantes y necesarios para la conservación de archivos históricos que son base para muchas investigaciones de distintas ciencias como el Geomagnetismo. Para Colombia la antigua Red Geomagnética Nacional hace parte del Patrimonio Nacional y con su reapertura los datos podrán contribuir al estudio de la actividad geomagnética del país y así mismo ser de gran ayuda para la Red Geomagnética Mundial INTERMAGNET.



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

10. REFERENCIAS.

1. Bohorquez. (s.f.). *Universidad Nacional de Colombia*. Obtenido de Predicción Espacial: <http://www.docentes.unal.edu.co/mpbohorquezc/docs/clase%20junio%2012%20kriging.pdf>
2. Cisneros, H., Bouvier, C., & Domínguez, R. (1998). *Horizon Pleins Textes*. Obtenido de Aplicación del Método Kriging en la Construcción de Campos de Tormenta en la Ciudad de Mexico.: http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/b_fdi_51-52/010019095.pdf
3. Díaz, M., & Casar, R. (2009). *Univeridad Nacional Autónoma*. Obtenido de Geoestadística Aplicada: http://mmc2.geofisica.unam.mx/cursos/geoest/Presentaciones/CG4_2009.pdf
4. Giraldo, R. (s.f.). *Introducción a la Geoestadística*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
5. Gomariz, F. (2013). *Universidad de Alicante*. Obtenido de Distribución Espacial: Interpolación Espacial: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/29116/1/presentaD2.pdf>
6. Pérez, E., García, L., Álvares, R., & Díaz, M. (2000). *Ciencias de la Tierra y el Espacio IGA*. Obtenido de Selección óptima del método de interpolación en el tratamiento de las bases datos: una aplicación en la construcción de cartas magnéticas: <http://www.iga.cu/publicaciones/revista/assets/ctye-1-art5.pdf>
7. Buchanan, A., Lawson, F., Maus, S., Okewunmi, S., Poedjono, B., J. Love, J., . . . Worthington, W. (s.f.). *SLB*. Obtenido de Referenciamiento geomagnético: La brújula en tiempo real para los perforadores direccionales: http://www.slb.com/resources/publications/industry_articles/oilfield_review/2013/or2013_sp_aut03_geomagnetic.aspx
8. Gianibelli, J., Quaglino, N., Gil, M., Nollas, F., Ruiz, F., Gimenez, M., & Ochoa, H. (2013). *UNAM*. Obtenido de LA RED DE OBSERVATORIOS MAGNETICOS PERMANENTES (OMP): <http://www.geofisica.unam.mx/LatinmagLetters/LL13-03-SP/A/OA02.pdf>
9. Caballero Miranda, C. (s.f.). *UNAM*. Obtenido de Campo Geomagnético: <http://usuarios.geofisica.unam.mx/cecilia/cursos/22-CampoGeomCCias.pdf>
10. Cardona, L. F. (14 de 12 de 2008). ¿Cómo es el campo geomagnético de Colombia? *UN Periódico*. Obtenido de <http://www.unperiodico.unal.edu.co/dper/article/como-es-el-campo-geomagnetico-de-colombia.html>



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.

11. Casas Santiuste, B., & Casas Delgado, B. (2004). *Cartesia*. Obtenido de La Nueva Red de Estaciones para el Control Geomagnetico de la Isla de Tenerife: <http://www.cartesia.es/geodoc/topcart2004/conferencias/31.pdf>
12. Castro, C. (s.f.). *Geofísica*. Obtenido de Campo Magnetico Terrestre: http://www.geofisica.cl/usach/Guia_n_4.pdf
13. Calzadilla, A., Gozalez, M., & Muñis, M. (Octubre de 2012). *Unión Geofísica Mexicana - Primer Taller Panamericano de Geomagnetismo*. Obtenido de Análisis de las Variaciones Geomagnéticas Locales en Cuba Durante el Período Comprendido de 1999 a 2008.: <http://www.ugm.org.mx/publicaciones/geos/pdf/geos12-1/sesionesespeciales/SE08-32-1.pdf>
14. Cárdenas, Á., & Caldas, U. D. (2014). *Fundamentos teóricos y su aplicación en los métodos de potencial Geomagnético*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
15. Castro, C. (2016). *Campo Magnético Terrestre*. Obtenido de Geofísica: http://www.geofisica.cl/usach/Guia_n_4.pdf
16. Estrada, L. (2013). *UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUCUMAN*. Obtenido de Apuntes de Geomagnetismo: <https://catedras.facet.unt.edu.ar/geofisica/wp-content/uploads/sites/4/2014/02/Geomagnetismo-para-a.Ingenieros.pdf>
17. Garavito Baraya, C. (s.f.). *Sociedad Geográfica de Colombia*. Obtenido de Variación del Campo Magnetico Terrestre en Bogotá desde 1801 hasta 1988: https://www.sogeocol.edu.co/documentos/var_cam_mag.pdf
18. Gianibelli, & Quaglino. (s.f.). *IAEA*. Obtenido de SOBRE LA EVOLUCION TEMPORAL DEL CAMPO GEOMAGNETICO EN LA REGIÓN RIOPLATENSE: SOBRE LA EVOLUCION TEMPORAL DEL CAMPO GEOMAGNETICO EN LA
19. Gianibelli, J. C. (s.f.). *RAPEAS*. Obtenido de OBSERVATORIOS MAGNETICOS : http://www.rapeas-conicet.gov.ar/Presentaciones/Reunion_2013/OBSERVATORIOS%20MAGNETICOS%20-%20Gianibelli.pdf
20. *IGAC*. (s.f.). Obtenido de Geomagnetismo: <http://www.igac.gov.co/wps/portal/igac/raiz/iniciohome/TramitesServicios/FueraDeServi>



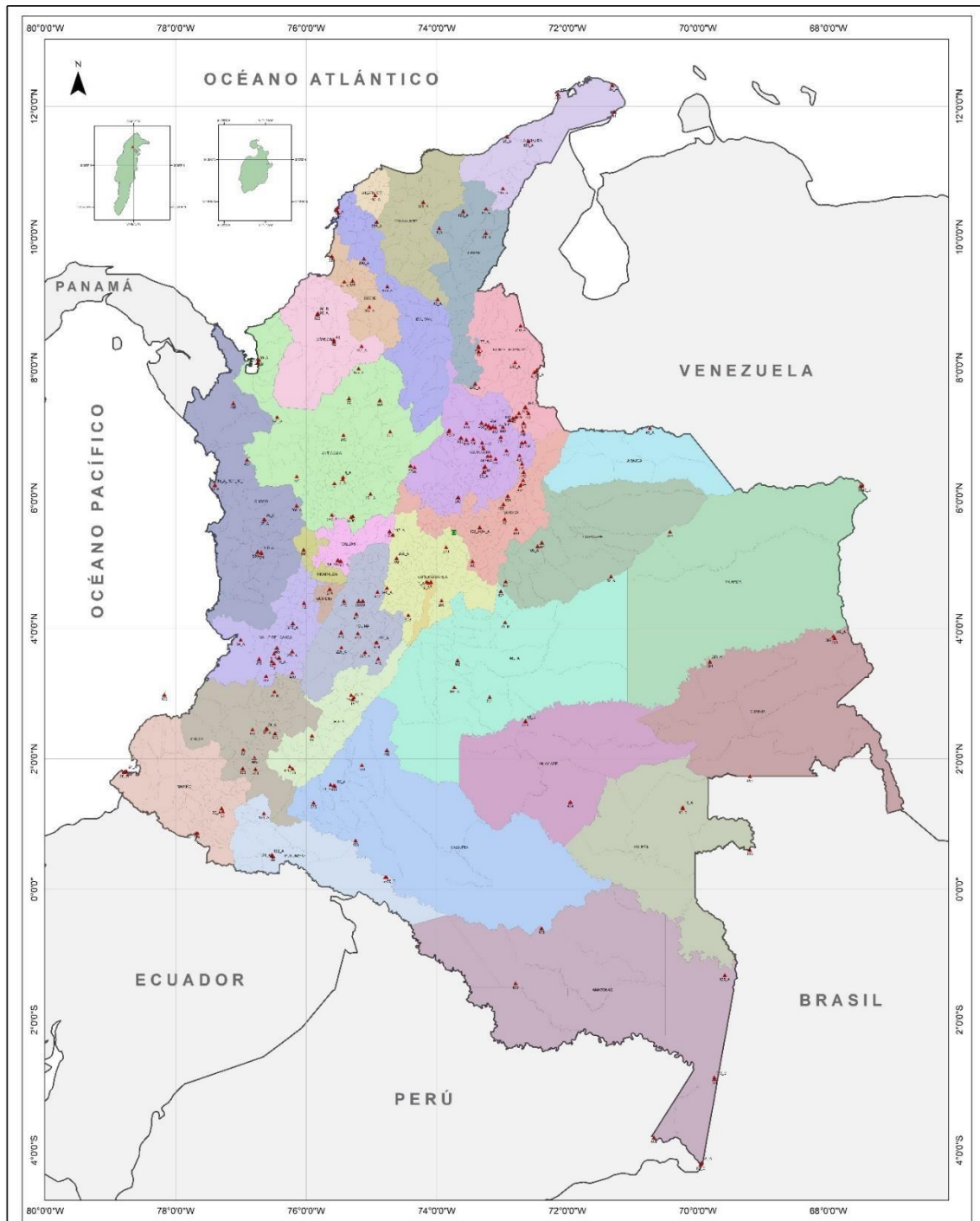
ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.










cio/!ut/p/c4/04_SB8K
8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hHT3d_JydDRwN3A083A08jJ1MDlxBXYwsnE_2CbE
dFAGrs9jg!/?WCM_PO
RTLET=PC_7_AIGOB1A0G0IF0I2B50DTE38R4_WCM&WCM_GLOBAL_CONT
EXT=/wps/wcm

21. IGAC. (2014). El Observatorio Geomagnético: un 'sesentón' bien conservado. *IGAC*.
22. *Instituto Geográfico Nacional de España*. (s.f.). Obtenido de Geomagnetismo: <http://www.ign.es/web/ign/portal/gmt-area-geomagnetismo>
23. Medina Aguirre, F. (2012). *Universidad Tecnológica de Pereira*. Obtenido de Antecedentes del Estudio del Campo Magnético Terrestre en Colombia: <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/1677>
24. Monteiro, M. (2008). *Telmorehm*. Obtenido de Geomagnetismo: <http://www.telmorehm.com/documentos/geomagnetismo.pdf>
25. Muniz Barreto, L. (1997). *El Geomagnetismo*. México DF: Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de <https://books.google.com.co/books?id=iOfaCtLjB4cC&pg=PA28&lpg=PA28&dq=cartas+geomagneticas&source=bl&ots=7tb7gffPE2&sig=dzgbdyhnuU00GrUb6vzaPFU0lCw&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwin9ZPcnMDWAhVpr1QKHby8BXkQ6AEIWTAK#v=onepage&q=cartas%20geomagneticas&f=false>
26. Rosales, D., Vidal, E., Orihuela, S., & Veliz, O. (Junio de 2011). Obtenido de Desplazamiento del Ecuador Geomagnetico: https://www.researchgate.net/publication/273121945_Desplazamiento_del_Ecuador_Geomagnetico
27. Ruiz, F. (s.f.). *Universidad Nacional de San Juan - Argentina*. Obtenido de Geomagnetismo: <ftp://ftp.unsj.edu.ar/agrimensura/Geofisica/Geomagnetismo%20.pdf>
28. Serway, R. (1999). *Electricidad y Magnetismo*. México : McGRAW-HILL.



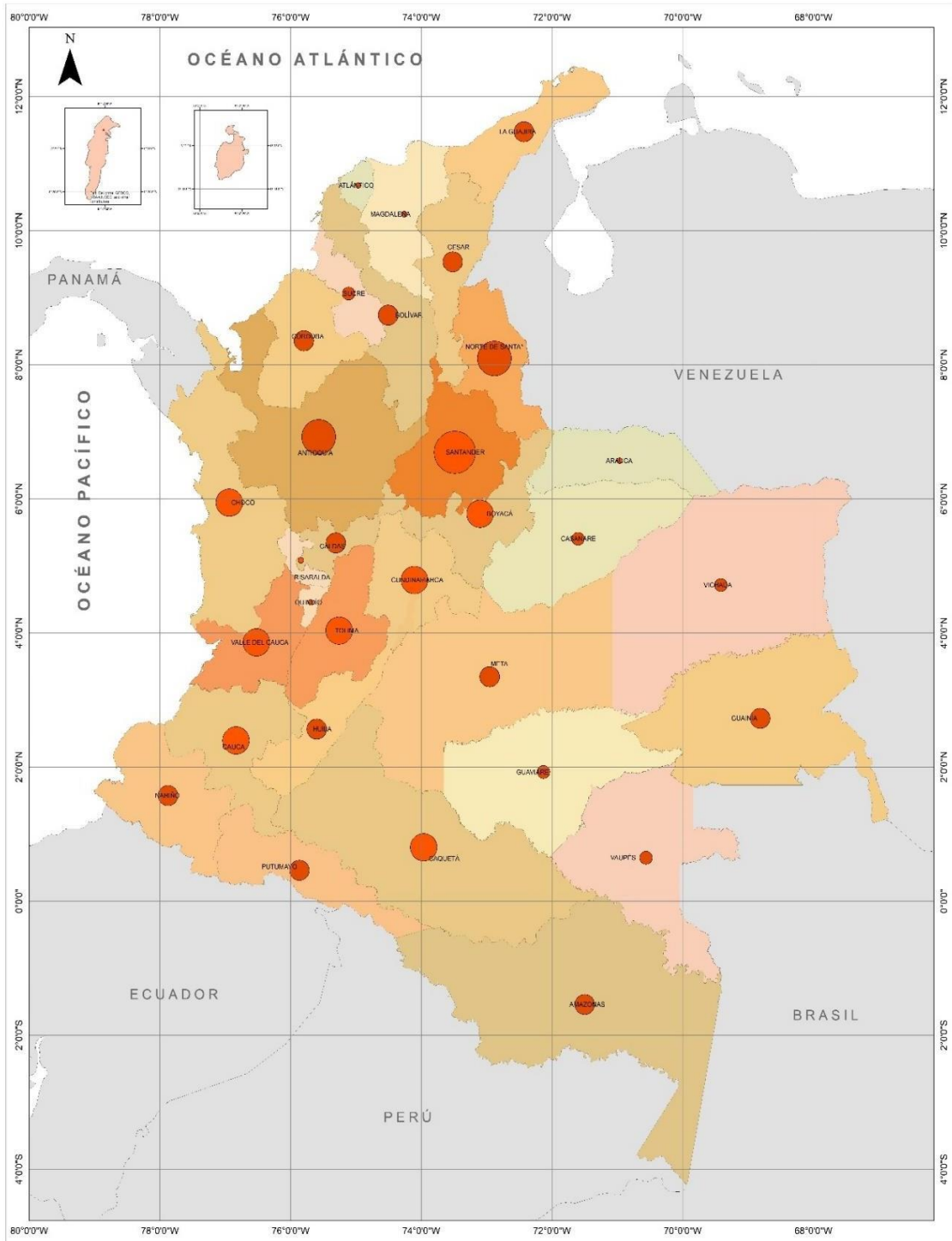
ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.



<p>REPUBLICA DE COLOMBIA</p>   <p>INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN COBOS</p> <p>REPUBLICA DE COLOMBIA</p>	<p>CONVENCIONES</p> <p>  Observatorio Geomagnético de Fomento (FGO)  Estaciones Magnéticas de Repetición  Distrito Capital  Isla Gorgona  Límite Nacional  Límite Fronterizo </p> <p>División Departamental</p> <table border="0"> <tr> <td>Amazónica</td> <td>Cesar</td> <td>Huila</td> </tr> <tr> <td>Antioquia</td> <td>Cesar</td> <td>La Guajira</td> </tr> <tr> <td>Arauca</td> <td>Cesar</td> <td>Magdalena</td> </tr> <tr> <td>Bolívar</td> <td>Chocó</td> <td>Meta</td> </tr> <tr> <td>Bolívar</td> <td>Cundinamarca</td> <td>Nariño</td> </tr> <tr> <td>Bolívar</td> <td>Cundinamarca</td> <td>Norte de Santander</td> </tr> <tr> <td>Bolívar</td> <td>Cundinamarca</td> <td>Putumayo</td> </tr> <tr> <td>Bolívar</td> <td>Cundinamarca</td> <td>Quindío</td> </tr> <tr> <td>Bolívar</td> <td>Cundinamarca</td> <td>Quindío</td> </tr> <tr> <td>Bolívar</td> <td>Cundinamarca</td> <td>Quindío</td> </tr> </table>	Amazónica	Cesar	Huila	Antioquia	Cesar	La Guajira	Arauca	Cesar	Magdalena	Bolívar	Chocó	Meta	Bolívar	Cundinamarca	Nariño	Bolívar	Cundinamarca	Norte de Santander	Bolívar	Cundinamarca	Putumayo	Bolívar	Cundinamarca	Quindío	Bolívar	Cundinamarca	Quindío	Bolívar	Cundinamarca	Quindío	<p>LOCALIZACIÓN ÁREA DE ESTUDIO</p> 
Amazónica	Cesar	Huila																														
Antioquia	Cesar	La Guajira																														
Arauca	Cesar	Magdalena																														
Bolívar	Chocó	Meta																														
Bolívar	Cundinamarca	Nariño																														
Bolívar	Cundinamarca	Norte de Santander																														
Bolívar	Cundinamarca	Putumayo																														
Bolívar	Cundinamarca	Quindío																														
Bolívar	Cundinamarca	Quindío																														
Bolívar	Cundinamarca	Quindío																														
<p>MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE ESTACIONES RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL</p> <p>INFORMACIÓN GENERAL</p> <p>IMPACTO</p> <p>DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ESTACIONES DE REPETICIÓN RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL</p> <p>ORIGENADO A PARTIR DE LOS ARCHIVOS HISTÓRICOS DEL INSTITUTO (1977-1997)</p>	<p>FUENTES:</p> <p>Cartografía base (IGAC)</p> <p>Banco de Datos: Instituto Geográfico Agustín Cobos (1977-1997)</p> <p>© Univ. Geomagnético</p> <p>Elaboración: Paola Daniela Sánchez Cárdenas</p> <p>Fecha: Diciembre 2017.</p> <p>Proyecto Académico: Tecnología en Cartografía por parte de Comité de Promoción Universidad de Cundinamarca</p>	<p>PARAMETROS CARTOGRAFICOS</p> <p>Elipsoide: SIRGAS</p> <p>Datum: GRS80</p> <p>Proyección: UTM</p> <p>Unidad: metros</p>																														



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.



REPUBLICA DE COLOMBIA

MAPA DENSIDAD DE ESTACIONES DE REPETICIÓN RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL

INFORMACIÓN GENERAL
MAPA 1
DENSIDAD DE ESTACIONES DE REPETICIÓN RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.
OBTENIDO A PARTIR DE LOS ARCHIVOS HISTÓRICOS DEL INSTITUTO (1977-1997).

ESCALA 1:2.200.000

CONVENCIONES

Nivel de Estaciones por Departamento.

- Muy Bajo
- Bajo
- Medio
- Alto

Puntos de Densidad

- 1.0 - 2.0
- 2.6 - 4.0
- 4.6 - 7.0
- 7.0 - 12.0
- 12.0 - 19.0
- 19.0 - 30.0

FUENTES:
Cartografía a base IGAC, escala 1:500.000
Base de Datos Histórica - Geográfica (1977-1997)
IGT Geodésico
Grupo Geomagnético

Elaboración:
Paola Deriva Sánchez Cáceres
Foto:
20/06/2017

Planillo Académico
Instituto de Geografía
Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad de Cundinamarca

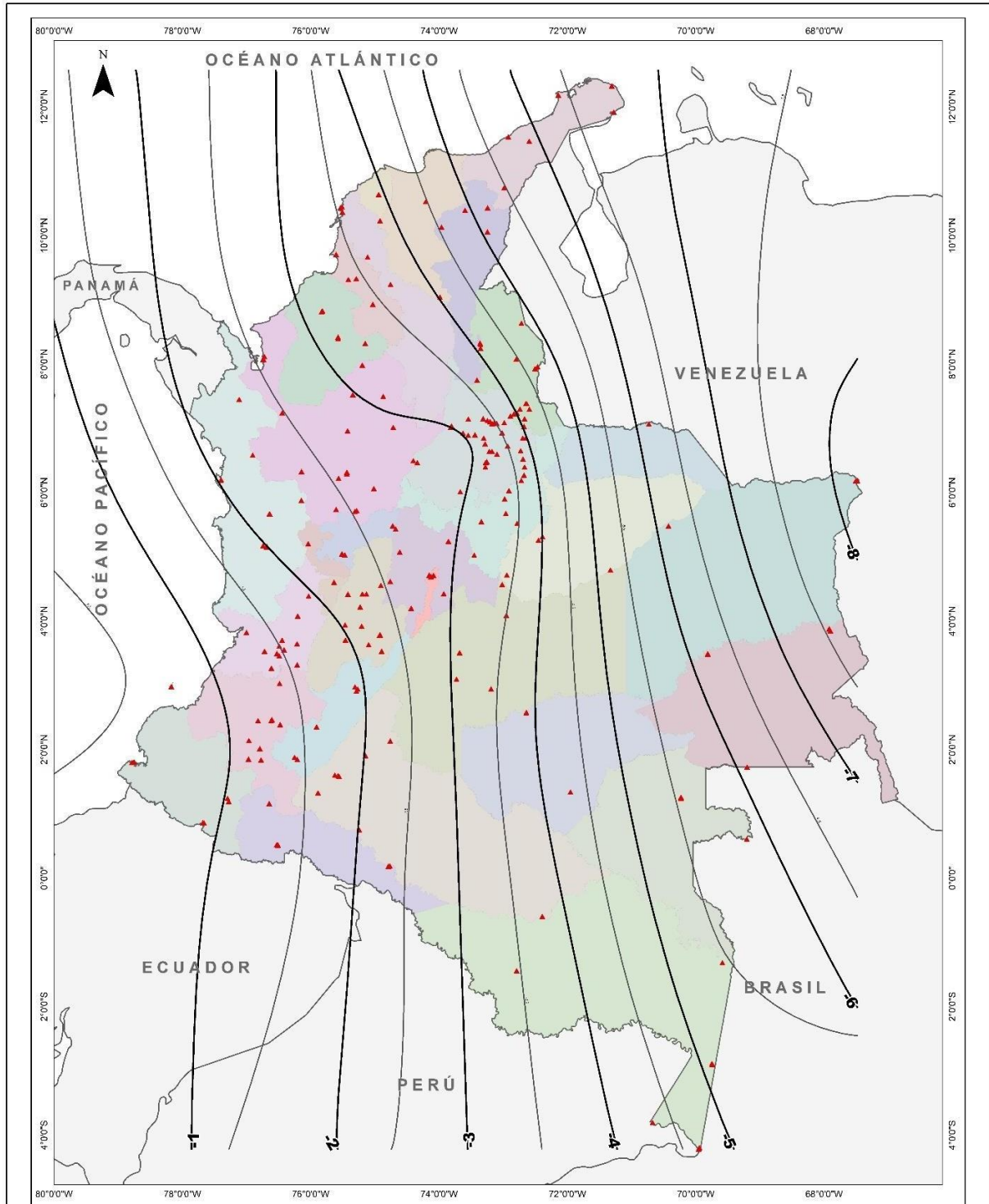
LOCALIZACIÓN ÁREA DE ESTUDIO

PARÁMETROS CARTOGRAFICOS

Escala: 1:2.200.000
Sistema de Proyección: UTM
Datum Geodésico: S2011



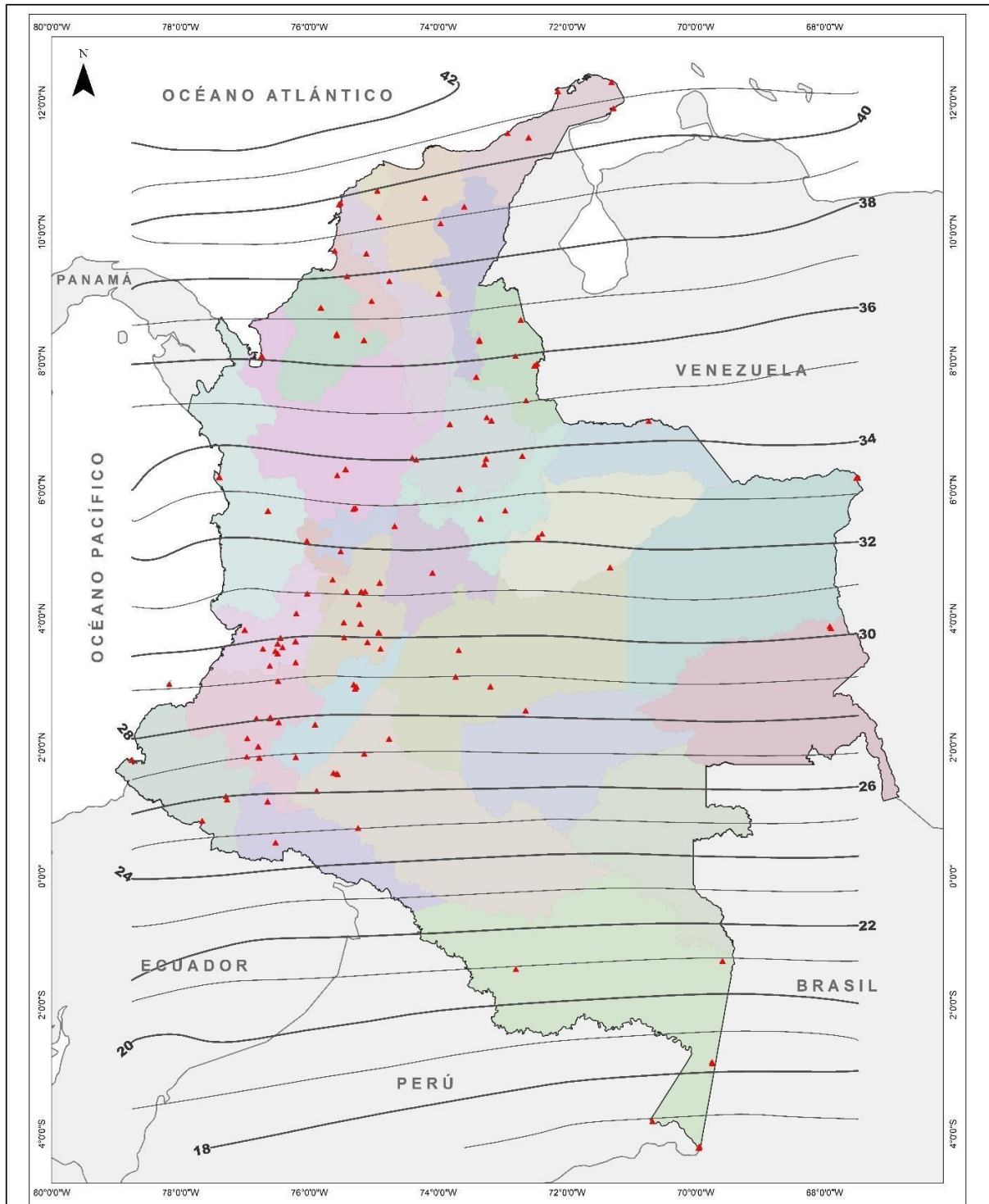
ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.



<p>REPUBLICA DE COLOMBIA</p> <p>INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CÓDACCINI</p> <p>REPUBLICA DE COLOMBIA</p> <p>CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE MAPA DE DECLINACIÓN</p>	<p>CONVENCIONES</p> <p>Líneas Isogónicas</p> <ul style="list-style-type: none"> — Intermedia — Isópica ▲ Estaciones de Repetición □ Isla Gorgona □ Límite Fronterizo □ Límite Nacional <p>División Departamental</p> <table style="width: 100%; font-size: small;"> <tr> <td style="width: 33%;"> <ul style="list-style-type: none"> ■ Arauca ■ Atlántico ■ Bolívar ■ Boyacá ■ Caldas ■ Casanare ■ Cauca ■ Cesar ■ Chocó ■ Córdoba ■ Guaviare ■ Huila ■ La Guajira ■ Magdalena ■ Meta ■ Nariño ■ Norte de Santander ■ Putumayo ■ Quindío ■ Risaralda ■ Santander ■ Sucre ■ Tolima ■ Valle del Cauca ■ Vaupés ■ Vichada </td> </tr> </table>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Arauca ■ Atlántico ■ Bolívar ■ Boyacá ■ Caldas ■ Casanare ■ Cauca ■ Cesar ■ Chocó ■ Córdoba ■ Guaviare ■ Huila ■ La Guajira ■ Magdalena ■ Meta ■ Nariño ■ Norte de Santander ■ Putumayo ■ Quindío ■ Risaralda ■ Santander ■ Sucre ■ Tolima ■ Valle del Cauca ■ Vaupés ■ Vichada 	<p>LOCALIZACIÓN ÁREA DE ESTUDIO</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ■ Arauca ■ Atlántico ■ Bolívar ■ Boyacá ■ Caldas ■ Casanare ■ Cauca ■ Cesar ■ Chocó ■ Córdoba ■ Guaviare ■ Huila ■ La Guajira ■ Magdalena ■ Meta ■ Nariño ■ Norte de Santander ■ Putumayo ■ Quindío ■ Risaralda ■ Santander ■ Sucre ■ Tolima ■ Valle del Cauca ■ Vaupés ■ Vichada 				
<p>INFORMACIÓN GENERAL</p> <p>MAPA: DECLINACIÓN MAGNÉTICA, RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL, OFICINA DE LOS ARCHIVOS, HISTORIAS DEL INSTITUTO (1977-1997).</p>	<p>ESCALA 1:200.000.000</p>	<p>FUENTES:</p> <ul style="list-style-type: none"> Cartografía base IGAC, escala 1:500.000 Base de Datos Histórica - Geomagnético (1977-1997) IGT Geodesia Grupo Geomagnetismo 	<p>Elaboración:</p> <p>Paula Daniela Sánchez Cifuentes Pasantía Académica Tecnología en Cartografía Facultad de Ciencias Agropecuarias Universidad de Cundinamarca</p> <p>FECHA: Marzo de 2018</p>	<p>PARÁMETROS CARTOGRÁFICOS</p> <p>Elipsoide: GRS80 Esterioide: GRS80 Datum Geodésico: GRS80</p>



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.



REPUBLICA DE COLOMBIA

IGAC
INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUICAN COLAZZI

REPUBLICA DE COLOMBIA

**CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE
MAPA DE INCLINACIÓN**

INFORMACIÓN GENERAL

ESCALA 1:200.000.000

CONVENCIONES

Isoclinas

- Índice
- Intermedia
- ▲ Estaciones de repetición
- Límite E intersección
- Límite Nacional
- Isla Corgona

División Departamental

Amazones	Cauca	Guaviare	Quindío
Antioquia	Cesar	Huila	Risaralda
Arauca	Cesar	La Guajira	Santander
Atlántico	Córdoba	Magdalena	Sucumb
Bolívar	Cundinamarca	Nariño	Tolima
Buquevarón	Guaviare	Norte de Santander	Valle de Cauca
Caldas	Guayas	Putumayo	Valle del Cauca
			Volcan

LOCALIZACIÓN ÁREA DE ESTUDIO

FUENTES:

- Cartografía base IGAC, escala 1:500.000
- Base de Datos P 1501 (1977-1997)
- IGIT Geodesia
- Grupo Geomagnetismo

Elaboración:
Paula Daniela Sánchez Cifuentes

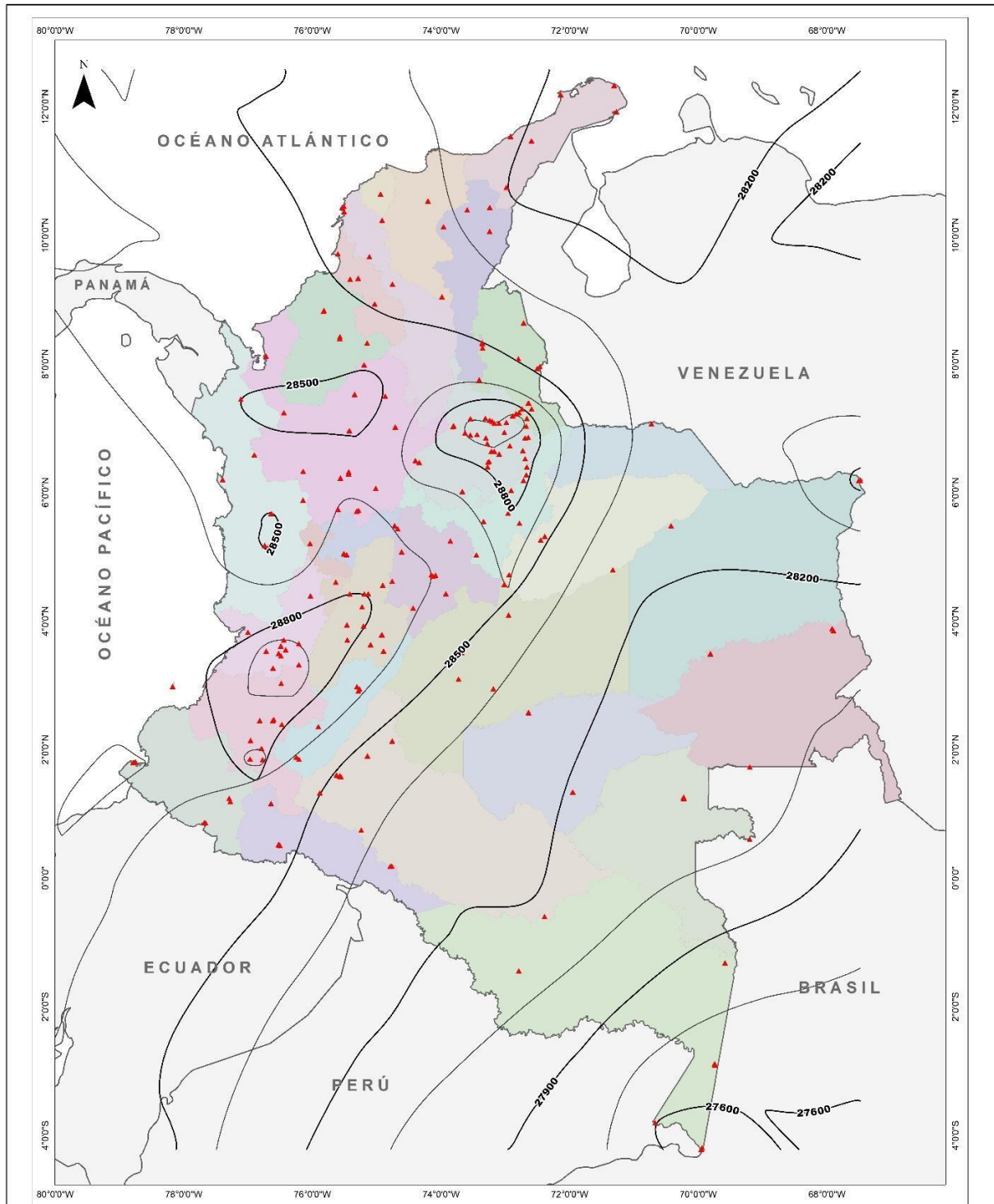
FECHA: Marzo de 2018

PARÁMETROS CARTOGRÁFICOS

Elipsoide: GRS80
Esterioide: GRS80
Datum Geodésico: GRS80



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.



REPUBLICA DE COLOMBIA




INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI

REPUBLICA DE COLOMBIA

CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE
MAPA DE INTENSIDAD HORIZONTAL

INFORMACIÓN GENERAL

MAPA N°

INTENSIDAD HORIZONTAL
RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL
ORDEN DE LOS ARCHIVOS
HISTÓRICOS DE: 1977-1997

ESCALA 1:200.000.000



CONVENCIONES

Intensidad Horizontal

- Indice
- Intermedia
- Estaciones de Medición
- Isla Gorgona
- Línea Nacional
- Límite Fronterizo

Division Departamental

Arauca	Cauca	Guaviare	Quindío
Atlántico	Cesar	Huila	Risaralda
Bolívar	Córdoba	La Guajira	Santander
Buena Vista	Cundinamarca	Magdalena	Sucre
Boyacá	Chocó	Nariño	Tolima
Caquetá	Córdoba	Norte de Santander	Valle del Cauca
Chiriquí	Cundinamarca	Putumayo	Valle del Cauca
Chiriquí	Cundinamarca	Putumayo	Valle del Cauca
Chiriquí	Cundinamarca	Putumayo	Valle del Cauca

FUENTES:

Cartografía base IGAC, escala 1:500.000
Base de Datos Históricas - Geomagnetismo (1977-1997)
GIT Geodesia
Grupo Geomagnetismo

Elaboración:
Paula Daniela Sánchez Cifuentes
Pasantía Académica
Tecnología en Cartografía
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Universidad de Cundinamarca

FECHA: Marzo de 2018

LOCALIZACIÓN ÁREA DE ESTUDIO

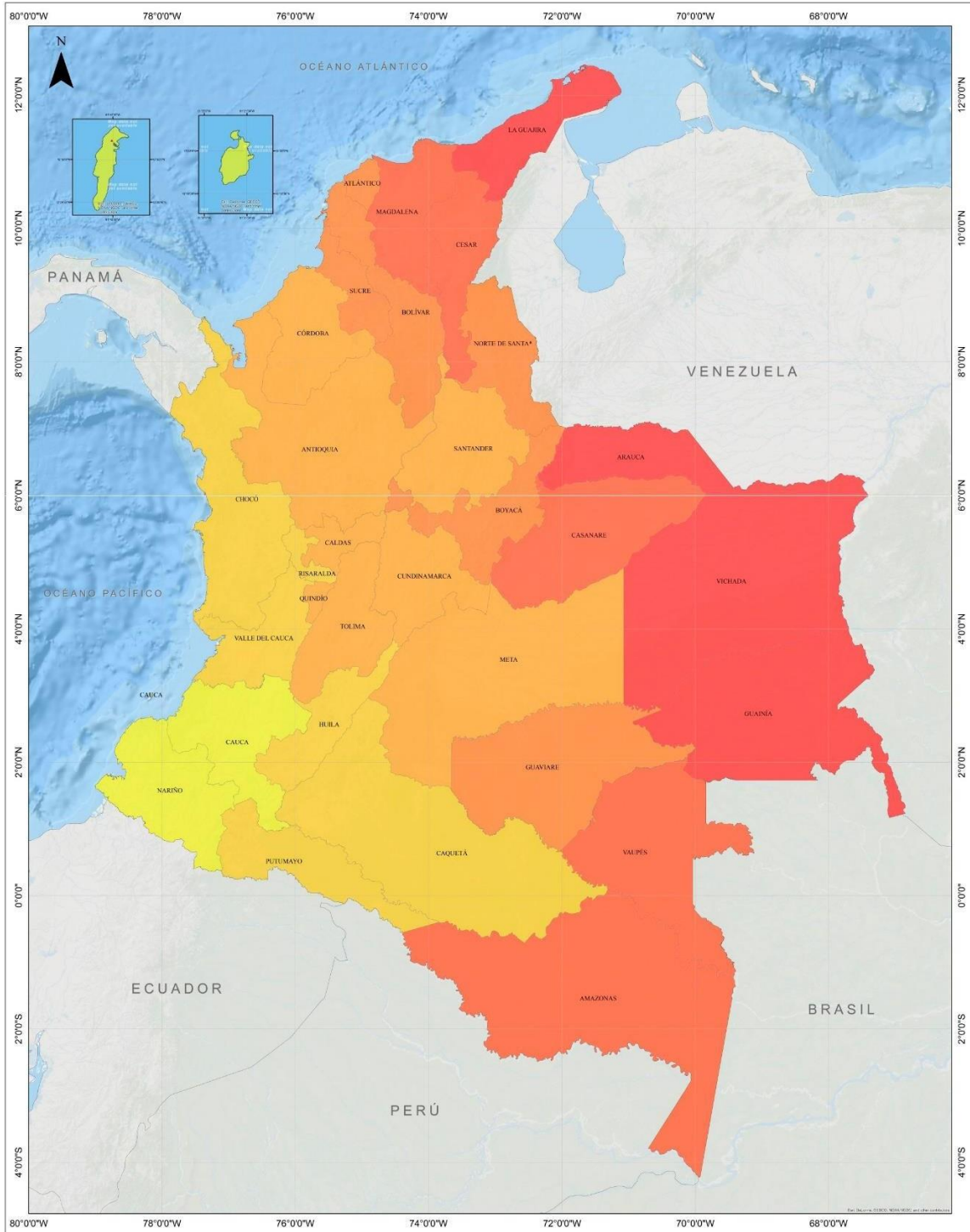





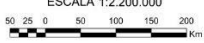

PARAMETROS CARTOGRAFICOS

Elipsoid: GRS80
Estere: GRS80
Datum Geodésico: GRS80



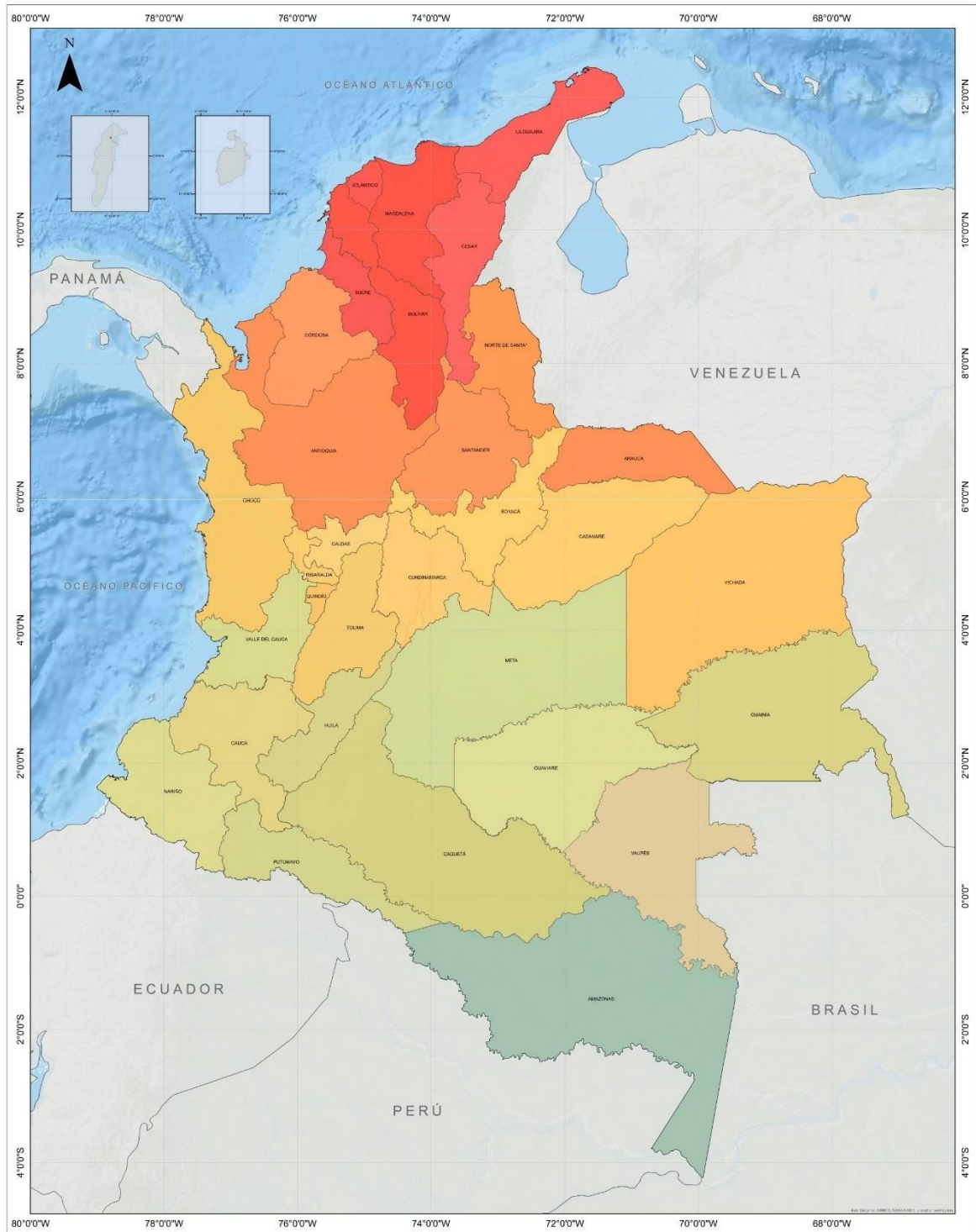
ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.




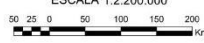



<p>REPUBLICA DE COLOMBIA</p>   <p>INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODRERO</p>		<p>CONVENCIONES</p> <p>Valores Promedios para Declinación Magnética</p> <table border="1"> <tr> <td>0,100000 - 1,200000</td> <td>3,200001 - 4,200000</td> </tr> <tr> <td>1,200001 - 2,300000</td> <td>4,200001 - 5,100000</td> </tr> <tr> <td>2,300001 - 3,200000</td> <td>5,100001 - 7,500000</td> </tr> </table> <p>▬ Límite Nacional</p>		0,100000 - 1,200000	3,200001 - 4,200000	1,200001 - 2,300000	4,200001 - 5,100000	2,300001 - 3,200000	5,100001 - 7,500000	
0,100000 - 1,200000	3,200001 - 4,200000									
1,200001 - 2,300000	4,200001 - 5,100000									
2,300001 - 3,200000	5,100001 - 7,500000									
<p>MAPA DE PROMEDIOS DE DECLINACIÓN MAGNÉTICA</p>										
<p>INFORMACIÓN GENERAL</p> <p>MAPA DE PROMEDIOS DE DECLINACIÓN MAGNÉTICA DEPARTAMENTAL - RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.</p> <p>OBTENIDO A PARTIR DE LOS ARCHIVOS HISTÓRICOS DEL INSTITUTO (1977-1997).</p>		<p>ESCALA 1:2.200.000</p> 								
<p>FUENTES:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cartografía base IGAC, escala 1:500.000 - Base Datos Histórica Geomagnetismo (1977 - 1997) - IGT Geodésica - Grupo Geomagnetismo. 		<p>Elaboración: Pablo Osorio Sánchez Clontor</p> <p>Paratitlo Académico: Tecnología En Cartografía</p> <p>Facultad de Ciencias Geográficas: Universidad De Cundinamarca</p> <p>Fecha: Diciembre 2017.</p> 								
		<p>PARÁMETROS CARTOGRAFICOS</p> <p>Elipsoide: GRS80</p> <p>Referencia: GRS80</p> <p>Datum Geocéntrico: GRS80</p>								



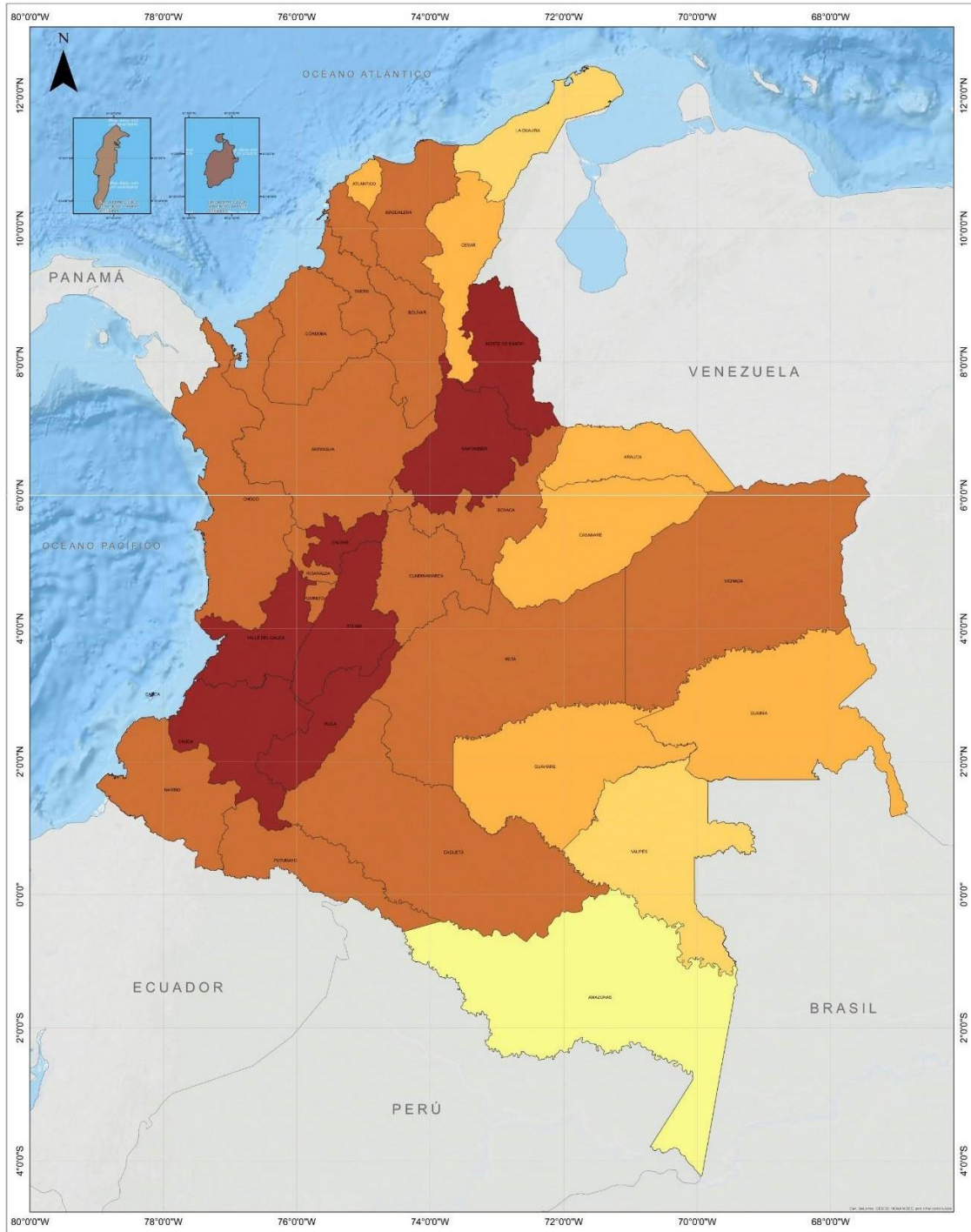
ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.



<p>REPUBLICA DE COLOMBIA</p>   <p>INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN COCANGUI</p> <p>REPUBLICA DE COLOMBIA</p>	<p>CONVENCIONES</p> <p>Valores de Inclinación Magnética</p> <ul style="list-style-type: none"> 0,000 0,000 - 18,652 18,652 - 29,604 29,604 - 32,813 32,813 - 36,922 36,922 - 40,874 <p>□ Distrito Capital □ Limite Nacional</p>	<p>LOCALIZACIÓN ÁREA DE ESTUDIO</p> 
<p>MAPA DE PROMEDIOS DE INCLINACIÓN MAGNÉTICA</p>	<p>INFORMACIÓN GENERAL</p> <p>MAPA V</p> <p>PROMEDIOS DE INCLINACIÓN MAGNÉTICA DEPARTAMENTAL. RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL. OBTENIDA A PARTIR DE LOS ARCHIVOS HISTÓRICOS DEL INSTITUTO (1977-1997).</p> <p>ESCALA 1:2.200.000</p> 	<p>PARAMETROS CARTOGRAFICOS</p> <p>Escala: CRS80 Estereografía: CRS80 Datum Geodésico: CRS80</p>
<p>FUENTES:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cartografía base IGAC, escala 1:500.000 - Base de Datos Histórica - Geomagnetismo (1977-1997) - IIG Geodesia - Grupo Geomagnetismo 	<p>Elaboración:</p> <p>Fabián Darío Sánchez Ojeda.</p> <p>Presentación Académica:</p> <p>Tecnología en Cartografía Facultad de Ciencias Agropecuarias Universidad de Cundinamarca</p> <p>Fecha:</p> <p>Diciembre 2017.</p>	



ANÁLISIS DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y ESTADO DE LAS ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE COLOMBIA (1977-1997) PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL.



<p>REPUBLICA DE COLOMBIA</p>   <p>INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI</p> <p>REPUBLICA DE COLOMBIA</p>	<p>CONVENCIONES</p> <p>Valores de Promedios para Intensidad Horizontal</p> <table border="0"> <tr> <td></td> <td>27649.223000 - 27887.987000</td> <td></td> <td>28365.515001 - 28604.279000</td> </tr> <tr> <td></td> <td>27887.987001 - 28126.751000</td> <td></td> <td>28604.279001 - 28843.043000</td> </tr> <tr> <td></td> <td>28126.751001 - 28365.515000</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p> Limite Nacional</p>		27649.223000 - 27887.987000		28365.515001 - 28604.279000		27887.987001 - 28126.751000		28604.279001 - 28843.043000		28126.751001 - 28365.515000			
	27649.223000 - 27887.987000		28365.515001 - 28604.279000											
	27887.987001 - 28126.751000		28604.279001 - 28843.043000											
	28126.751001 - 28365.515000													
<p>MAPA DE PROMEDIOS DE INTENSIDAD HORIZONTAL</p> <p>INFORMACIÓN GENERAL</p> <p>MAPA Y PROMEDIOS DE INTENSIDAD HORIZONTAL. RED GEOMAGNÉTICA NACIONAL. OBTENIDO A PARTIR DE LOS ARCHIVOS HISTÓRICOS DEL INSTITUTO.</p> <p>ESCALA 1:2.200.000</p> 	<p>FUENTES :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cartografía base IGAC, escala 1:500.000 - Base Datos Histórica Geomagnetismo (1977 - 1997) - GFT Geodesia - Grupo Geomagnetismo. 	<p>Editor: Paula Daniela Sánchez Ojuelos</p> <p>Fecha: Diciembre 2017</p> <p>Patrocinio Académico Facultad de Ciencias Agrarias Universidad De Cundinamarca</p> 	<p>PARÁMETROS CARTOGRÁFICOS</p> <p>Elipsoid: GRS80 Datum: GRS80 Datum Geocéntrico: GRS80</p>											