

MODALIDAD DE GRADO: TRABAJO DE GRADO

**DISEÑO DE MAPAS DE INFORMACIÓN DE RADIACIÓN SOLAR EN EL
DEPARTAMENTO DE CALDAS A TRAVÉS DE MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN Y
HERRAMIENTAS DE SIG.**

CO-AUTOR:

**DANIEL ARMANDO PEREZ ATEHORTUA
ASPIRANTE AL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

TUTORA:

ÁNGELA MARÍA ALZATE ÁLVAREZ

CO-TUTOR:

ÓSCAR LÓPEZ NARANJO

ASESORA EXTERNA:

JEANNETTE DEL CARMEN ZAMBRANO NÁJERA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA INGENIERÍA AMBIENTAL
MANIZALES**

2021

TABLA DE CONTENIDO

1	Generalidades.....	11
1.1.	Resumen	12
1.2	Abstract	13
1.3	Introducción	14
1.4	Planteamiento Del Problema	15
1.5	Justificación	16
1.6	Objetivos	17
1.6.1	Objetivo General	17
1.6.2	Objetivos Específicos	17
1.7	Marco Teórico	18
1.7.1	Antecedentes	18
1.7.2	Marco Conceptual	19
1.7.3	Marco Normativo	23
1.7.4	Marco Geográfico	26
2	Metodología	28
2.1.	Fase 1. Recopilación De Datos Respecto A La Variable De Estudio (Radiación Solar) Del Departamento De Caldas, Colombia.	29
2.2.	Fase 2. Identificación Del Método De Interpolación Más Eficiente Para La Variable De Estudio (Radiación Solar)	30
2.3.	Fase 3: Construcción De Mapas Históricos De La Variable De Estudio (Radiación)	30
3.	Resultados	32
3.1.	Fase I:Recopilación De Datos Respecto A La Variable De Estudio (Radiación Solar) Del Departamento De Caldas, Colombia.	32
3.2.	Fase Ii: Identificación Del Método De Interpolación Más Eficiente Para La Variable De Estudio (Radiación Solar)	32

3.3.	Fase Iii: Construcción De Mapas Históricos De La Variable De Estudio (Radiación)	32
4.	Conclusiones	34
5.	Recomendaciones	36
	Bibliografía	37

LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1. Mapa de irradiación global horizontal de Colombia. IDEAM (2014).	11
Ilustración 2. Mapa de la división política del departamento de Caldas. IGAC. s.f.	12
Ilustración 3. Resumen del procedimiento metodológico. Fuente: Autoría Propia	29
Ilustración 4. Información proporcionada de la variable de estudio. SIMAC	30
Ilustración 5. Información organizada. SIMAC. Autoría Propia	31
Ilustración 6. Conversión de archivo excel to table	32
Ilustración 7. Proyección en tipo punto. ArcGis. Autoría propia.....	33
Ilustración 8. Sistema de coordenadas MAGNA SIRGAS Datum Bogotá. Autoría Propia	33
Ilustración 9. Métodos de interpolación. Autoría Propia	34
Ilustración 10. Selección de interpolación. Autoría Propia.....	35
Ilustración 11. Herramienta Environments Settings. Autoría Propia.....	36
Ilustración 12. Raster Analysis. Autoría Propia.....	36
Ilustración 13. Interpolación. Autoría Propia.....	37
Ilustración 14. View. ArcMap. Autoría Propia.....	38
Ilustración 15. Data Frame. Autoría Propia	39
Ilustración 16. Measured Grid. Autoría Propia.....	39
Ilustración 17. Información sistematizada	42
Ilustración 18. Método de Interpolación Natural Neighbor. Autoría Propia	43
Ilustración 19. Método de Interpolación Kriging. Autoría Propia	44
Ilustración 20. Método de Interpolación Spline with Barrier. Autoría Propia.....	45
Ilustración 21. Método de interpolación IDW. Autoría Propia.....	46
Ilustración 22. Mapa de información meteorológica de la radiación solar IDW 2012. Autoría Propia.....	47
Ilustración 23. Mapa de información meteorológica de la radiación solar IDW 2013. Autoría Propia.....	48
Ilustración 24. Mapa de información meteorológica de la radiación solar IDW 2014. Autoría Propia.....	49
Ilustración 25. Mapa de información meteorológica de la radiación solar IDW 2015. Autoría Propia.....	50
Ilustración 26. Mapa de información meteorológica de la radiación solar IDW 2016. Autoría Propia.....	51
Ilustración 27. Mapa de información meteorológica de la radiación solar IDW 2017. Autoría Propia.....	52
Ilustración 28. Mapa de información meteorológica de la radiación solar IDW 2018. Autoría Propia.....	53

A detailed view of the International Space Station (ISS) in orbit above the Earth. The station's complex structure, including multiple modules and large solar panel arrays, is clearly visible against the dark background of space. The Earth's curved horizon and blue atmosphere are seen at the bottom of the frame, with some landmasses and clouds visible. The overall scene is illuminated by sunlight, highlighting the metallic surfaces of the station.

CAPITULO 1

Generalidades

1.1. RESUMEN

El presente trabajo de grado tuvo por finalidad diseñar mapas interpolados respecto a la Radiación Solar, en el departamento de Caldas, a partir de información de las diferentes estaciones meteorológicas del mencionado departamento, suministrada por el ente público SIMAC de la Universidad Nacional, Sede Manizales; lo que permitió estimar el comportamiento de la variable de estudio en el tiempo, identificar la metodología de interpolación más pertinente y finalmente, interpolar los datos suministrados para la creación de mapas que contribuyan a futuras investigaciones y propendan a la apropiación social del conocimiento geocientífico.

Palabras Clave: Radiación Solar, Mapas, Interpolación, Variables Meteorológicas.

1.2 ABSTRACT

The purpose of this undergraduate project was to design interpolated maps regarding Solar Radiation, in the department of Caldas, based on information from the different meteorological stations of the mentioned department, provided by the public entity SIMAC of the National University, Manizales Office; This allowed estimating the behavior of the study variable over time, identifying the most pertinent interpolation methodology, and finally, interpolating the data provided for the creation maps that contribute to future research and promote the social appropriation of geoscientific knowledge

Keywords: Solar Radiation, Maps, Interpolation, Meteorological Variables

1.3 INTRODUCCIÓN

A través del semillero de Gestión Integral del Patrimonio Hídrico y Teledetección de la Universidad Católica de Manizales y la alianza con la entidad pública del SIMAC de la Universidad Nacional, sede Manizales, se construyó el proyecto investigativo que tuvo por finalidad elaborar mapas de información meteorológica del departamento de Caldas, Colombia respecto a la Radiación Solar con el uso de herramientas SIG, para la obtención por parte de quien lo suscribe del título de Ingeniero Ambiental como modalidad de Trabajo de Grado.

Su pertinencia radica en que, si bien existen diversas representaciones de mapas para ilustrar los datos de algunas variables meteorológicas; otras que también son relevantes para el desarrollo económico, las energías renovables y la calidad de vida de las personas, no son continuamente representadas en los mapas del departamento de Caldas, sirva de ejemplo, la Radiación Solar, la cual es “es la energía emitida por el sol en forma de radiación electromagnética que llega a la atmósfera. Se mide en superficie horizontal, mediante el sensor de radiación o piranómetro” de (Navarra, G. 2011. pág. 11).

De allí la relevancia de los Sistemas de Información Geográfica-SIG, entendidos como una herramienta de modelamiento que permite el entendimiento y análisis de diferentes variables representadas cartográficamente para facilitar el estudio de un área específica, “tienen su origen en la cartografía tradicional y solo es hasta 1970 y principios de 1980, que comenzaron a ser adoptados por algunas de las agencias y organismos internacionales para así tener su desarrollo exponencial” (MundoGis, 2017. Pág. 01), concorde a ello, se destaca la “capacidad que tienen los SIG de generar análisis derivados, capacidad de la que carece un mapa tradicional” (MundoGis, 2017. Pág. 01).

No obstante, al ser este sistema aún muy nuevo, su uso se encuentra limitado principalmente por profesionales especializados o entes públicos, por lo que muchas disciplinas aún desconocen sus usos, practicidad y ventajas para representar, analizar, describir y categorizar datos de toda índole, haciendo de este sistema algo peculiar puesto que convoca a la interdisciplinariedad y a la integralidad del conocimiento y asimismo, significa un reto para los grupos de investigación, la academia y los expertos en el tema, en la medida en que requiere la renovación del conocimiento y la apuesta por el entendimiento y/o traducción del mismo con la sociedad.

Por su parte, para el uso de los SIG en esta investigación, fue importante en un primer momento, la utilización de métodos de interpolación, la cual es una herramienta que nos permite calcular y analizar datos desconocidos extraídos de diferentes bases de información, por lo que “predice valores desconocidos de cualquier dato de un punto geográfico, tales como: elevación, precipitaciones, concentraciones químicas, niveles de ruido, etc” (Esri, 2018. Pág. 08).

Finalmente, para la ejecución investigativa se diseñaron e implementaron las siguientes fases: fase 1. Determinación de la suficiencia de información de los datos espaciales proporcionados por el SIMAC respecto a la variable de interés; fase 2. . Identificación del método de interpolación más eficiente para la variable de estudio (Radiación Solar) y, fase 3: Diseño de mapas de información meteorológica respecto a la radiación; para su consecución se propuso, en un primer momento, determinar la suficiencia de información de los datos espaciales proporcionados por el SIMAC respecto a la variable de interés, luego, interpolar la información suministrada por el SIMAC respecto a la variable de interés con el método más pertinente y finalmente, diseñar los mapas de información meteorológica respecto a la variable de interés.

Por último, los resultados que se proyectaron obtener fueron, la creación de mapas meteorológicos que contribuyan a la generación del conocimiento científico y a la responsabilidad social de compartirlo y traducirlo para el entendimiento y utilidad de las comunidades que resulten beneficiadas con los hallazgos que surgen del presente estudio y en coherencia al quehacer misional de la profesión de Ingeniería Ambiental, buscando soluciones ingenieriles a los problemas ambientales que afectan la calidad de vida de la población, mediante la tecnología y la innovación, avanzando en el conocimiento de las variables meteorológicas para así apoyar las decisiones en el conocimiento del territorio.

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

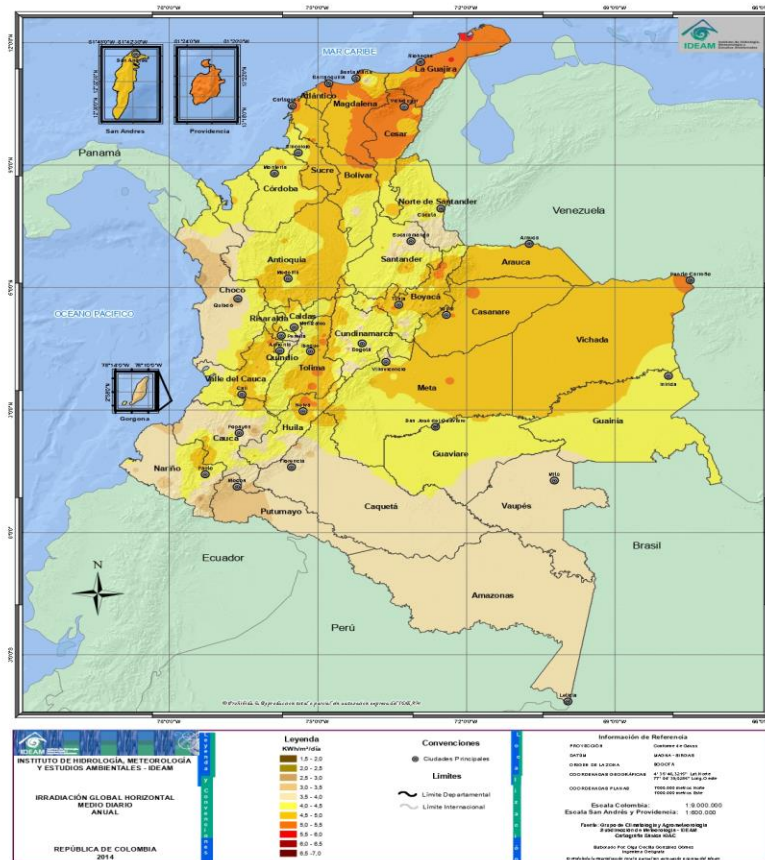


Ilustración 1. Mapa de irradiación global horizontal de Colombia. IDEAM (2014).

Colombia, un país megadiverso y de clima tropical del continente suramericano que, de acuerdo a “su posición geográfica en el planeta, dentro de la zona tórrida y en la región andina– existen condiciones climáticas variadas y especiales que afectan la disponibilidad del recurso solar, que representa una oportunidad de energía limpia para un desarrollo sostenible” (UPME, I. 2005. Pág. 15) desarrollo que en últimas, se convirtió en una apuesta de orden mundial, en la medida en que todos los discursos evocaron la necesidad de energía asequible y no contaminante, ciudades y comunidades sostenibles, producción y consumo responsable, salud y bienestar y acciones por el clima; siendo por su parte, la Radiación Solar “una importante referencia para quienes trabajan en el sector de la salud (comunidades médicas), el medio ambiente, el nivel técnico y científico, dadas

obstaculizando el aprovechamiento adecuado del recurso. Es por ello que, se determinó que, la manera más eficiente para representar esta variable fue la interpolación de los datos, misma que,

Es usada para estimar valores desconocidos a partir de una serie de datos conocidos y ponderados. Existe diferentes tipos de interpolación y cada una se ajusta adecuadamente al fenómeno bajo estudio y así disminuir la cantidad de información recolectada en campo. (Murillo, Ortega, Carrillo, Pardo, Rendón, 2012 p.30).

Lo que permitió diseñar mapas de información meteorológica del departamento de Caldas, Colombia respecto a la Radiación Solar, con el uso de herramientas SIG, siendo ello pertinente en la medida en que evidencia la necesidad de dar un aprovechamiento adecuado al recurso energético mediante el uso de sistemas y tecnologías limpias en el sector agrícola, de infraestructura, ambiental y económico permitiendo la potenciación y el desarrollo sostenible del territorio; por su parte, en cuanto a la salud pública, su conocimiento permite generar estrategias de prevención y cuidado de las personas de los efectos nocivos de la radiación en el departamento.

1.5 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación tuvo por objetivo principal diseñar mapas de información meteorológica del departamento de Caldas, Colombia, a través de métodos de interpolación de datos respecto a la Radiación Solar, con el uso de herramientas SIG; lo que fue pertinente en la medida en que, según el IDEAM,

Medir la radiación solar es importante para un amplio rango de aplicaciones, en las áreas de ingeniería, arquitectura, agricultura, ganadería, salud humana y meteorología, dentro de las cuales se destacan: su empleo como fuente alternativa de energía en la generación de electricidad y en el diseño y uso de sistemas de calentamiento de agua, el diseño de edificios e infraestructura, el monitoreo del crecimiento de plantas, la deshidratación de alimentos, implicaciones en la salud (ej. cáncer de piel o tratamientos curativos), el análisis de la evaporación e irrigación, su importante rol en los modelos de calidad del aire y de predicción del tiempo y el clima y muchas otras aplicaciones y usos que emplean la radiación solar como una de sus fuentes de energía. La radiación solar nos proporciona efectos fisiológicos positivos tales como: estimular la síntesis de vitamina D, que previene el raquitismo y la osteoporosis; favorecer la circulación sanguínea; actúa en el tratamiento de algunas dermatosis y en algunos casos estimula la síntesis de los neurotransmisores cerebrales responsables del estado anímico. (IDEAM, s.f. pág. 01)

Por lo que se espera contribuir a partir de la presente investigación a diferentes grupos sociales, en la medida en que el conocimiento que se construye a través de esta investigación le sería de utilidad por ejemplo, a las comunidades científicas en la medida en que se demuestra el modelo de interpolación óptimo para la radiación solar en el contexto particular; a los agricultores del departamento de Caldas, para optimizar el crecimiento de las plantas y así reconocer su territorio y sacar el máximo provecho de él, cultivando a partir de una ubicación estratégica, respecto a la Radiación Solar; desde el sector salud, en la medida en que contribuiría al reconocimiento de la magnitud de la Radiación Solar en Caldas, así como los lugares que tienen una mayor influencia, y a partir de ello, generar campañas de promoción y prevención de la salud, principalmente por afectaciones de la piel, como el cáncer. En síntesis, este proyecto investigativo busca contribuir a la generación del conocimiento y busca dar respuesta al quehacer misional de la profesión a la que se está adscrito, la cual es Ingeniería Ambiental, buscando soluciones ingenieriles a los problemas ambientales que afectan la calidad de vida de la población, mediante el desarrollo, la innovación y la intervención tecnológica.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar mapas de información meteorológica del departamento de Caldas, Colombia respecto a la Radiación Solar, a través de métodos de interpolación de datos, con el uso de herramientas SIG.

1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Determinar la suficiencia de información de los datos espaciales proporcionados por el SIMAC respecto a la variable de interés.

- ❖ Interpolar la información suministrada por el SIMAC respecto a la variable de interés con el método más pertinente.

- ❖ Diseñar los mapas de información meteorológica respecto a la variable de interés

1.7 MARCO TEÓRICO

1.7.1 ANTECEDENTES

Se percibe a los Sistemas de Información Geográfica-SIG- actualmente como una metodología innovadora y útil a todas las ciencias del conocimiento, según Aliaga, G. (2006),

Gracias a los SIG, complejos procesos de análisis de información espacial que requerían gran cantidad de tiempo, recursos y expertos se han reducido, situación que ha sido corroborada por otras ciencias, convirtiéndose en herramientas indispensables para el desarrollo de campos tan disímiles como la medicina, la arqueología, la sociología y todas las disciplinas que utilicen alguna variable con expresión en el espacio geográfico. (pág. 01).

En ese orden de ideas, los Sistemas de Información Geográfica son definidos como, “un conjunto de programas y aplicaciones informáticas que permite la gestión de datos organizados en bases de datos referenciadas espacialmente (Otero, 1999, pág. 20). No obstante, al ser este un método aún muy novedoso,

no se tienen nociones de sus limitaciones, de hecho la integración de nuevos elementos como el uso de herramientas que trabajan en campos tridimensionales o la integración de los resultados obtenidos en análisis de SIG en tiempo real a la World Wide Web han abierto nuevos nichos que sin duda seguirán ampliándose en el futuro constituyéndose en una herramienta que será transversal a las ciencias espaciales y que tiene en la Geografía su base y la mayor posibilidad de explorar todos sus potenciales. (Aliaga, 2006, pág. 01).

Asimismo, el análisis de datos arrojados por las estaciones meteorológicas de series de tiempo, es una alternativa apta para analizar la evolución de variables como las propuestas en este proyecto de investigación y las cuales son, precipitación, humedad y radiación solar. De las cuales se puede realizar cualquier tipo de interpolación que permita un programa SIG.

Concorde a ello, debido a las potencialidades de los SIG y la importancia de análisis más detallados de los datos arrojados por las estaciones meteorológicas, en los últimos años se han publicado cantidad de artículos, proyectos, investigaciones, entre otros relacionados que buscan ampliar el marco de conocimiento, así como proponer diversas metodologías de aplicación, algunos son:

- ❖ (Artículo) Sistemas de Información Geográfica aplicados a la gestión del territorio. *Revista de Geografía Norte Grande*, (36), 97-101.

- ❖ (Artículo) Aproximación a un modelo para la evaluación de la vulnerabilidad de las coberturas vegetales de Colombia ante un posible cambio climático utilizando Sistemas de Información Geográfica SIG con énfasis en la vulnerabilidad de las coberturas nival y de páramo de Colombia. (2002) Rey, H. G. Páramos y Ecosistemas Alto Andin. Colomb. en Condición HotSpot Glob. Clim. Tensor, 6, 335-377.
- ❖ (Artículo) Coeficientes para estimar la radiación solar global a partir del brillo solar en la zona cafetera colombiana (2015) Guzmán, O., Baldión, J. V., Simbaqueva, O., Zapata, H. J., & Chacón, C
- ❖ (Artículo) Los sistemas de información geográfica y los planes de ordenamiento territorial en Colombia. (2011) Ossa, J. A. G., & Estrada, G. A. U. *Perspectiva Geográfica*, 247-266.
- ❖ (Metodología) Metodología de la operación estadística de variables meteorológicas. Colombia (2018) IDEAM.

Asimismo, en cuanto a la variable de la Radiación Solar, algunos de los estudios oficializados más importantes que se han realizado en Colombia, ha sido el que contrajo como producto el Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia en Colombia para el cual fue utilizado el método de interpolación IDW, y que fue resultado de una sinergia entre el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, y la Unidad de Planeación Minero Energética, UPME. Estado de arte que permite evidenciar, los avances y búsquedas en la generación de conocimiento que permita obtener información climática de calidad y espacialmente distribuida focalizada.

1.7.2 MARCO CONCEPTUAL

Con respecto a la variable de interés:

La radiación solar es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas y se genera en las reacciones del hidrógeno en el núcleo del Sol por fusión nuclear y es emitida por la superficie solar. Esa energía es el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima. (IDEAM. s.f. pag.01)

Por su parte, se considera información geográfica, “al conjunto de datos que posee un componente geométrico y espacial, que describe la localización de los objetos en el espacio y las relaciones entre ellos.”(ICDE, 2016, pág. 06.) Asimismo, también se denomina información geográfica “al producto de la georreferenciación de bases de datos temáticas que posean atributos geográficos, como las imágenes de sensores remotos satelitales y aerotransportados, la cartografía marítima y aeronáutica, entre otros.”(ICDE, 2016, pág. 06.)

En ese orden de ideas, una interpolación es una herramienta que nos permite calcular y analizar datos desconocidos extraídos de diferentes bases de información, lo que de entrada exige que, este proyecto de investigación sea abordado mediante el uso de herramientas SIG, tales como el software de ArcGis, mismo que define la interpolación como la que

Predice valores para las celdas de un ráster a partir de una cantidad limitada de puntos de datos de muestra. Puede utilizarse para predecir valores desconocidos de cualquier dato de un punto geográfico, tales como: elevación, precipitaciones, concentraciones químicas, niveles de ruido, etc (Esri, 2018. Pag. 08).

A partir del software ArcMap, una extensión de paquete de ArcGis, se proponen diferentes métodos de interpolación, los cuales son:

❖ INTERPOLACIÓN IDW:

Determina valores de celdas utilizando una combinación de un conjunto de datos ponderados linealmente, esta ponderación está determinada por una función inversa a la distancia elevada a una potencia matemática de la superficie, esta potencia normalmente se maneja con un valor de 2. Cuando utilizamos en la interpolación un valor de potencia más alto, los datos más cercanos al punto de referencia tienen más influencia por lo que generará una superficie con más detalle, pero menos suave. Así mismo si utilizamos un valor bajo de la potencia, los puntos de interés a conocer, adquieren más influencia que lo que están más lejos, lo que generaría una superficie más suave. Cabe resaltar que una potencia alta (aprox. más de 30) se considera una cantidad extremadamente grande por lo que en el resultado final podría ocasionar valores incorrectos en la interpolación y esta se vería afectada para su posterior disposición de los datos. Para conocer qué valor de potencia es la óptima para el uso de la interpolación, la extensión de ArcGis Geostatistical Analyst proporciona recomendaciones de valor para su mayor eficiencia. La caracterización de la superficie puede ser controlada, haciendo una limitación de datos de entrada, lo que se pretende hacer con esta técnica es que, aunque haya menos

datos, estos tengan una correlación espacial más fuerte, optimizando así el método de interpolación y la velocidad de procesamiento. (ArcGIs, s.f, pág.01.)

❖ **INTERPOLACIÓN KRIGIN:**

Procedimiento geoestadístico que consiste en generar una superficie estimada a partir de unos puntos dispersados con valores de altura. Lo fundamental de este método es saber el comportamiento espacial del fenómeno con respecto a la altura y con esto se puede saber si es el más indicado para la variable estudiada. El método Kriging al usar métodos geoestadísticos, se basa en modelos estadísticos que usan la autocorrelación. Con esto el método es capaz de proporcionar alguna medida de precisión de las predicciones, además de la superficie de predicción. El método supone que la distancia o dirección entre los puntos reflejan una correlación espacial que puede utilizarse para explicar la variación en la superficie. Kriging es usado más que todo cuando hay influencia direccional o de la distancia correlacionada espacialmente en los datos. (ArcGIs, s.f, pág.01.)

❖ **INTERPOLACIÓN NATURAL NEIGHBOUR:**

En español vecino natural utiliza un algoritmo que “halla el subconjunto de muestras de entrada más cercano a un punto de consulta y aplica ponderaciones sobre ellas basándose en áreas proporcionales para interpolar un valor”. Es una interpolación local, solo usa un subconjunto de muestras que se encuentran alrededor del punto de consulta asegurando las alturas se encuentren dentro del rango de interpolación y de las muestras. Este método no genera picos, depresiones, crestas o valles que no hayan sido representados por las muestras proporcionadas. La superficie es suave en todas partes excepto en la ubicación de las muestras. El vecino natural funciona con los polígonos de Thiessen adyacentes, construyendo un polígono sobre puesto en la superficie con otros polígonos, la proporción de superposición se utiliza como ponderación. (ArcGIs, s.f, pág.01.)

❖ **INTERPOLACIÓN SPLINE:**

Es una herramienta de geoprocésamiento que utiliza un método de interpolación, que estima valores usando una función matemática que minimiza la curvatura general de la superficie, lo que resulta en una superficie suave que pasa exactamente por los puntos de entrada.” (ArcGIs, s.f, pág.01.)

Por otra parte, de acuerdo con Sistemas de Información Geográfica Ambiental, SIGMCALISPA (2013) Spline consiste en “el ajuste local de ecuaciones polinómicas, la forma final depende de un parámetro denominado tensión, que hace que la superficie interpolada se asemeje a una membrana más o menos floja.”. Pág 04., además, el autor da a conocer las ventajas y desventajas de la herramienta; respecto a las ventajas, afirma que “es utilizada para representar fenómenos de variación suavizada (temperatura,

por ejemplo), útiles cuando se desean estimar valores sobre los límites” Pag 10. A su vez, las desventajas es que: “Los accidentes geográficos y del relieve no se representan bien debido al efecto de suavizado y cuando se tienen puntos muy cercanos se producen valores extremos”. Pag 10.

❖ **INTERPOLACIÓN SPLINE WITH BARRIERS:**

Aplica un método de curvatura mínima, como el implementado a través de una técnica multicuadrícula unidireccional que va de una cuadrícula inicial gruesa, inicializada en este caso como el promedio de los datos de entrada, a través de una serie de cuadrículas más finas hasta que se produce una aproximación de una superficie de curvatura mínima en el espaciado de fila y columna deseadas. En cada nivel de refinamiento de la cuadrícula, el actual modelo de superficie basada en cuadrícula se trata como una membrana elástica, y se aplica un operador de deformación iterativa, lineal y convergente de forma repetida en cada nodo para alcanzar una aproximación a una superficie de curvatura mínima que se aplica tanto a los datos de puntos de entrada como a las discontinuidades codificadas en las barreras.” (ArcGIS, s.f., pág.01)

Las barreras a las que se hace mención, “se introducen como entidades poligonales o de polilínea, a partir de una serie de puntos utilizando una función matemática que minimiza la curvatura general de la superficie.”,(Universidad Politécnica de Valencia, 2015-2016, pág.15.); vale la pena resaltar que, la herramienta Spline con barreras, “utiliza un método similar a la técnica usada en la herramienta Spline, pero la principal diferencia es que esta herramienta distingue las discontinuidades codificadas tanto en las barreras de entrada y como en los datos del punto de entrada.” (ArcGis, s.f., pág. 01)

❖ **TOPO TO RASTER:**

Método diseñado para crear modelos digitales de elevación (DEM), basado en el programa ANUDEM desarrollado por Michael Hutchinson (1988, 1989, 1996, 2000, 2011). A partir de una serie de puntos se le pueden insertar restricciones a la interpolación de los valores de elevación, como son las curvas de nivel puesto que está diseñado específicamente para trabajar de forma inteligente con estos datos de entrada.” (Universidad Politécnica de Valencia, 2016, pág.16)

De esta manera, las herramientas de Topo a ráster, utilizan una técnica de interpolación diseñada específicamente para crear una superficie que representa con mayor precisión una superficie de drenaje natural y preserva mejor los cordones montañosos y las redes de transmisión de los datos de curvas de nivel de entrada. El algoritmo que se utiliza está basado en el de ANUDEM, desarrollado por Hutchinson y otros en la Universidad Nacional de Australia. (Agrimensura, s.f. pág. 02)

❖ LA INTERPOLACIÓN CON TENDECIA:

Registra puntos elevados de una superficie y los pone sobre una línea recta que después es definida en una ecuación matemática de grado polinomial. Una vez obtenida la función matemática se debe de ajustar a qué modelo (desde primer hasta décimo segundo orden), este ajuste se realiza mediante el ajuste de mínimos cuadrados. Como resultado de la interpolación produce una superficie suave gradual sobre el área de interés. (ArcGIS, s.f, pág.01.)

En ese orden de ideas, la interpolación como todo método matemático tiene, un límite de operación ya que si las funciones polinómicas son de grados muy altos o muy bajos, los valores que puede tomar la interpolación resultan atípicos. Existen dos tipos de tendencia en ArcGIS, una lineal y otra logística. La línea crea un ráster de punto flotante, utilizando regresión polinómica ajustandolo con mínimos cuadrados. Este método genera superficies lisas, lo que permite realizar un mejor ajuste cuando el orden polinómico es mayor a uno. La tendencia logística genera un superficie en la que se puede predecir ciertos fenómenos para una determinada coordenada (x,y) y z puede ser una variable aleatoria ya bien sea uno o cero creando así una cuadrícula de probabilidad continua con valores. (ArcGIS, s.f, pag.01.)

1.7.3 MARCO NORMATIVO

Según la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales- ICDE- (2016), “en la actualidad no existe un marco normativo específico que advierta la necesidad de implementar políticas o programas para el uso de la Información Geográfica (IG) en las diferentes entidades del Estado.” Pág. 07. Sin embargo, según la misma fuente, existen documentos de política, decretos, acuerdos, resoluciones, entre otros que hacen alusión a la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales (ICDE), la Comisión Colombiana del Espacio (CCE), los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el Banco Nacional de Imágenes (BNI), pero no profundizan sobre lineamientos y pautas sobre el uso de estos y de la información geográfica en general. (ICDE, 2016, pág. 07.)

En ese orden de ideas, el marco normativo aplicable está enmarcado en lineamientos básicos que según el ICDE (2016) “tangencialmente involucran la IG”. Pág. 07. Siendo ellos los siguientes:

- ❖ Programa Visión Colombia, II Centenario 2019, determinó que el país, para el año 2019, tendrá una economía basada en la producción, la difusión y el uso del conocimiento, incorporando los componentes básicos de: productividad y competitividad internacional, para lo cual se requiere una información geográfica confiable, oportuna, integra,

compatible, intercambiable, fundamentada en procesos eficientes y de calidad. (ICDE, 2016, pág. 09.)

- ❖ Programa Gobierno en Línea (Directiva Presidencial 02 de 2010) El Programa Gobierno en Línea, enmarcado en la Directiva Presidencial 02 del 2000, la Ley 962 de 2005 (Ley Antitrámites) y el Decreto 1151 de 2008 (Lineamientos generales de la estrategia Gobierno en Línea), tiene como propósito lograr mayor transparencia, eficiencia, racionalidad de los trámites del gobierno y, en general, acercar al ciudadano al Estado, a efecto que él ejerza una mayor veeduría en su gestión, impulsando para ello, el uso intensivo de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC's). (ICDE, 2016, pág. 09.)
- ❖ Normas establecidas por el Comité Técnico de Normalización CTN 028 y la International Organization for Standardization —ISO— en sus estándares de información geográfica 19100, asegurando la aplicación y el cumplimiento de los mismos, y haciendo énfasis en la necesidad de desarrollar información geográfica con una adecuada documentación. (ICDE, 2016, pág. 09.)
- ❖ Documento ICDE. 2016, Parámetros básicos sobre derecho de autor, uso de información geográfica oficial, así como lineamientos sobre su custodia y estándares para la fijación de precio de venta de licencias de uso. (ICDE, 2016, pág. 09.)
- ❖ Documento CONPES 3585 de 2009, Consolidación de la política nacional de información geográfica y la infraestructura colombiana de datos espaciales (ICDE), mismo que define lineamientos para desarrollar las actividades pertinentes que articulen la producción, disponibilidad, acceso y uso de la información geográfica a nivel de las entidades del Estado; asimismo promover la cultura del uso de la información geográfica”, mencionando de forma específica el fomento de ésta, en todos los sectores y niveles de la administración pública. (ICDE, 2016, pág. 09.)
- ❖ Decreto No. 3816 de 2003, por medio del cual se creó la Comisión Intersectorial de Políticas de Gestión de la Información para la Administración Pública —COINFO—,

presidida por el vicepresidente de la República, de acuerdo con lo señalado en el párrafo 1º del artículo 3º de la referida norma. (ICDE, 2016, pág. 10.)

- ❖ Decreto 3851 del 2 de noviembre de 2006 Crea la Infraestructura Colombiana de Datos, éste, en su artículo séptimo, define a la ICDE como uno de sus principales componentes, específicamente en el tema de información geográfica. De igual forma, define la información oficial básica como: “[...] la información de carácter estadístico, geográfico, de personas y territorial, de utilidad para la administración, resultante de procesar bases de datos conformadas a partir de registros, censos encuestas y observaciones”. (ICDE, 2016, pág. 10.)

- ❖ Decreto 2442 de 2006 Es el instrumento jurídico que creó la Comisión Colombiana del Espacio – CCE –, órgano intersectorial de consulta, coordinación, orientación y planificación, con el propósito de orientar la ejecución de la política nacional para el desarrollo y la aplicación de las tecnologías espaciales, y coordinar la elaboración de planes, programas y proyectos. La CCE, como mecanismo de promoción de la información geográfica y fortalecimiento de la política nacional de la misma, ha brindado la importancia necesaria a la ICDE para sus propósitos. (ICDE, 2016, pág. 10.)

- ❖ Plan de Desarrollo 2006-2010, “Estado comunitario: Desarrollo para todos” En su estrategia: Ciudades amables; enmarca a la ICDE en el fortalecimiento de la producción de información geoespacial en las diferentes entidades del Estado promoviendo su intercambio, acceso y uso. (ICDE, 2016, pág. 10.)

No obstante, no podemos olvidar que, en Colombia el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) es el responsable de la operación estadística de variables meteorológicas, que se define como el conjunto de procesos y actividades que, partiendo de la obtención, almacenamiento, análisis, estudio, y procesamiento de datos permite la producción y divulgación de resultados agregados de información básica sobre meteorología (DANE, 2013a) y que, dicha obligatoriedad se deriva del siguiente análisis normativo:

- ❖ Decreto Ley 2811 de 1974. Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

- ❖ Decreto 2858 de 1981 Por el cual se reglamenta parcialmente el Artículo 56 del Decreto Ley 2811 de 1974 y se modifica el Decreto 1541 de 1978. Ley 99 de 1993 Sistema Nacional Ambiental - Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA.

- ❖ Ley 164 de 1994 Por medio de la cual se aprueba la "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", hecha en Nueva York el 9 de mayo de 1992.

- ❖ Decreto 1277 de 1994 Organización IDEAM - Por el cual se organiza y establece el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM.

- ❖ Ley 1715 de 2014. Por la cual se establece una política pública para la integración de las energías provenientes de fuentes no convencionales, principalmente aquellas de carácter renovable, al sistema energético del país.

1.7.4 MARCO GEOGRÁFICO

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO, LOCALIZACIÓN:

El presente trabajo tuvo por zona de estudio el departamento de Caldas, ubicado en el centro de Colombia en la zona Andina, éste limita por el norte con el departamento de Antioquia, al este con Boyacá y Cundinamarca, al sur con Tolima y al oeste con Risaralda. Es una zona con gran variedad orográfica, desde grandes picos nevados como el caso de las montañas del volcán nevado del Ruiz, hasta asentamientos cercanos al río que se encuentran casi a nivel del mar.

-COMPONENTE ABIÓTICO:

HIDROLOGÍA:

El departamento de Caldas se encuentra en la zona hidrográfica del Magdalena-Cauca, siendo vertientes para Caldas el Magdalena Medio y el Río Cauca, estas vertientes se subdividen en cuencas que en conjunto en el territorio Caldense abarca parte de nueve de estas cuencas (3 de Magdalena Medio y 6 del Río Cauca). Los principales ríos de Caldas, con respecto a las cuencas serían: el río Guarinó, río Samaná, Río Campoalegre, Río Risaralda, río Chinchiná y río Arma, las demás cuencas hacen referencia a afluentes que desembocan en el río Cauca y río Magdalena (Corpocaldas, 2013).

CLIMATOLOGÍA:

Como se mencionaba en la sección de localización, la variabilidad del relieve en Caldas es muy alta, esto genera que en el departamento se presenten todos los pisos térmicos, desde el cálido hasta las nieves perpetuas. Además de esto el departamento presenta una considerable cantidad de lluvias a través del año lo que cambia su temperatura en ciertas épocas del año.

-COMPONENTE BIÓTICO

Caldas tiene una gran biodiversidad que se debe gracias a los diferentes climas que el relieve le permite tener, se pueden encontrar grandes cantidades de aves, anfibias, mamíferas y reptiles. Entre la fauna más característica, por la condición climática, se puede encontrar el oso de anteojos, el puma, el cóndor de los andes, el barranquero, oso perezoso entre otros. por parte de la flora se puede encontrar el anturio negro, las bromelias, los siete cueros, entre otros (Aguas de Manizales, s.f.).

-COMPONENTE SOCIOCULTURAL:

La población Caldense se ha destacado por ser descendiente de culturas indígenas de origen precolombina y también como resultado de la expansión antioqueño a mediados del siglo XIX, que hace de esta región relativamente reciente en comparación a otras en el país. También, se ha caracterizado por poseer un rico patrimonio cultural, tanto material como inmaterial, Bienes de Interés Cultural ubicados en el Departamento de Caldas: tres centros históricos declarados (Salamina, Aguadas, y Manizales), inmuebles de valor patrimonial s en los diferentes municipios; así como de patrimonio mueble (colecciones, arte religioso, pintura, escultura, etc.), Patrimonio Natural, Patrimonio Arqueológico, patrimonio intangible (fiestas, costumbres, tradiciones, como el Carnaval de Riosucio, incluido en la lista Nacional de manifestaciones culturales, el Festival del

Pasillo de Aguadas, el Festival Internacional de Teatro, la Feria de Manizales, entre otros, Patrimonio Gastronómico, tradición oral en todos los municipios y comunidades indígenas, once Bienes de Interés Cultural (BIC) de carácter nacional, tres BIC de Carácter Departamental y cerca de quinientos BIC de carácter municipal declarados, tres procesos de elaboración de Planes Especiales de Protección de Centros Históricos, inventarios de patrimonio arquitectónico, una primera fase de la ubicación de las colecciones de patrimonio arqueológico. (Gob. Caldas. 2017. Pag.01)

Finalmente, cabe desatacar que, según la gobernación de caldas, “el Departamento de Caldas es netamente rural. Esto se refleja en el porcentaje de extensión que representa este renglón del total del Departamento de Caldas, en donde el 98.57% del área total en extensión se destina a la zona rural; sin embargo, la mayoría de las personas que viven del campo, en particular en Caldas, solo tienen explotaciones en minifundios, lo que no permite que la agricultura sea competitiva; además con sus pequeñas parcelas no encuentran la forma de diversificar su producción ya que han concebido ésta como la forma de subsistencia lo que causa un estancamiento del sector rural porque no pueden generar valor agregado a sus productos. (Gob. Caldas. 2017. Pag.01)

Caldas cuenta con una cultura cafetera a partir de los años treinta, donde se destacó por ser uno de los más innovadores de todo el país, obteniendo grandes beneficios gracias a su producción y comercialización de café, llegó a desempeñarse, por sus condiciones de suelos, clima, altura, que definieron su vocación agrícola, como la principal zona cafetera del país, lo que dinamizó el proceso de acumulación de capital que requirió de vías de comunicación” (Jaramillo, 2009).



CAPITULO 2

Metodología

2 METODOLOGÍA

2.1 MATERIALES Y MÉTODOS

MATERIALES

Los materiales que se emplearon en esta investigación fueron: Bases de datos en documento Excel con respecto a comportamiento en el tiempo de la variable de interés, identificado a partir de las estaciones meteorológicas del Sistema Integrado de Monitoreo Ambiental de Caldas (SIMAC), así como el software ArcGIS (SIG), para determinar el método de interpolación más adecuado de los datos entregados por el SIMAC y finalmente los SIG para la construcción de los mapas de la variable de estudio por cada periodo. También, uso de fuentes secundarias para la construcción del marco referencial y normativo.

TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación es de índole exploratoria caracterizada por ser de tipo aplicada científica y tecnológica, dado que ésta: tiene fines descriptivos, encargándose de estimar comportamientos de las variables de interés (Radiación Solar) y generar conocimientos útiles y pertinentes con respecto a las mismas, con el fin de impulsar un impacto positivo en el sector ambiental, social, económico y de salud, a través de la divulgación y en últimas la apropiación del conocimiento generado; siendo ello un área de competencia y obligatoriedad del IDEAM.

En ese orden de ideas, el proyecto se desarrolló en tres fases: la primera, fase I: Determinación de la suficiencia de información de los datos espaciales proporcionados por el SIMAC respecto a la variable de interés; la segunda, fase II: Identificación del método de interpolación más eficiente para la variable de estudio (Radiación Solar); y, por último, la fase III: Diseño de mapas de información meteorológica respecto a la radiación solar.

MÉTODOS

Para llevar a cabo el presente trabajo de grado, fue necesario diseñar una metodología, la cual consiste en tres fases principales:

OBJETIVO GENERAL

Elaborar mapas de información meteorológica del departamento de Caldas, Colombia respecto a la variable de estudio, a través de métodos de interpolación de datos, con el uso de herramientas SIG

FASE 1.
Determinación de la suficiencia de información de los datos espaciales proporcionados por el SIMAC respecto a la variable de interés

FASE 2.
Identificación del método de interpolación más eficiente para la variable de estudio (Radiación Solar)

FASE 3. Diseño de mapas de información meteorológica respecto a la radiación solar.

Ilustración 3. Resumen del procedimiento metodológico. Fuente: Autoría Propia

2.1. Fase 1. Recopilación de datos respecto a la variable de estudio (Radiación Solar) del departamento de Caldas, Colombia.

Para el levantamiento de la información referencial, normativa y metodológica que permitió reconocer la viabilidad de los fines investigativos del presente, se realizó inicialmente indagación de fuentes secundarias: portales académicos, bases de datos, y sitios web, obteniendo así diversidad de documentos que principalmente comprenden tesis de grado, artículos y metodologías. Cabe resaltar que, se tuvieron en cuenta marcos de referencia publicados por institutos de investigación de gran relevancia tanto en el contexto nacional como internacional.

Por su parte, al esclarecer el contexto investigativo, se procedió a la búsqueda de información de la variable de interés; por lo que, en un primer momento se contemplaron diversas fuentes (instituciones públicas) que poseían información generada de diversas estaciones meteorológicas que abarcaban la variable de interés; no obstante, esta solo fue obtenida por parte de la entidad con función pública del SIMAC, ente facilitador, que permitió la captación de datos de la variable para estimar su comportamiento en el tiempo, por lo que se determinó que sería este el único ente

proveedor de información, puesto que dicha institución tiene acceso completo a la información meteorológica del departamento de Caldas.

Concorde a ello, la entidad SIMAC- facilitó la información de la radiación solar en documento Excel, contemplando los años desde el 2002 hasta el 2018. A continuación se evidencia como fue entregada la información por el SIMAC, donde se encontraba un promedio mensual de la variable de la radiación solar, además, información de las veintisiete estaciones meteorológicas.

Fecha	Estacion Alc	Estacion Altc	Estacion Ant	Estacion Arai	Estacion Bos	Estacion Cari	Estacion Che	Estacion El n	Estacion Em	Estacion Ene	Estacion Fin	Estacion hos	Estacion Inge
Jan-2002													
feb-02													
mar-02													
Apr-2002													
may-02									596,981553				
jun-02									597,522517				
jul-02									597,807859				
Aug-2002									597,239334				
sep-02									597,45038				
oct-02									596,976652				
nov-02									597,205386				
Dec-2002									597,269701				
Jan-2003									597,071372				
feb-03									596,723725				
mar-03									596,802085				
Apr-2003									597,260488				
may-03									597,132539				
jun-03									597,39554				
jul-03									597,14524				
Aug-2003									597,308329				
sep-03									597,191847				
oct-03									596,900382				
nov-03									596,563438				
Dec-2003									596,507559				
Jan-2004									597,122019	599,813304			590,618243
feb-04									596,885983	599,775745			590,580037
mar-04									596,172586	599,101638			590,004776
Apr-2004									597,079502	599,900281			590,67925
may-04									597,079953	600,028765			590,788183

Ilustración 4. Información proporcionada de la variable de estudio. SIMAC

En segundo lugar, la información se ordenó y clasificó por año y zona de la estación meteorológica, ello con la finalidad de que la información se pudiera proyectar en el software ArcGis; sin embargo, como se evidencia en la anterior imagen, existían casillas sin información, lo que se lee en que algunas estaciones se encontraban en mal estado. Por lo que, en caso de que se dejaran los espacios en blanco, la información generaba lapsos en las interpolaciones; por ende, se tomó la decisión de promediar los datos que tuvieran mayor información y con este promedio llenar los espacios faltantes, lo que significó que se tomaran años con mayor información, además, de descartar algunas de las informaciones de los años que no tuvieran información, ya que existían algunos con un significativo déficit de datos impidiendo que se lograra realizar promedios.

Concorde a ello, a continuación se mostrará la tabla de información organizada a partir del año 2012 hasta el 2018.

FID	Shape	F1	latitud	longitud	altitud	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	F12	F13	F14	F15	F16	F17	F18	
0	Point	Estacion Alcazares	5,066656	-75,5278	2057	146,425456	145,62687	146,515532	153,804105	154,073746	146,516612	145,816578								
1	Point	Estacion Aho de la Coca	5,081531	-75,418275	2930	193,960673	193,220338	176,370496	109,081665	166,124027	157,881966	147,863425								
2	Point	Estacion Arlenas Alto del Guamo	5,096667	-75,478725	2410	165,213235	133,919606	154,882229	149,279608	166,124027	157,881966	147,863425								
3	Point	Estacion Aranjuez	5,042833	-75,500444	1915	165,279396	176,18841	177,853544	176,742112	170,8828	163,091277	167,957463								
4	Point	Estacion Cisco-Bosques del Norte	5,087222	-75,491444	2117	137,045461	137,853298	166,902691	156,960446	135,105105	120,493307	124,190693								
5	Point	Estacion Carmen	5,0615	-75,519778	2112	132,256133	139,26508	160,880128	158,721859	155,449682	152,136662	154,670668								
6	Point	Estacion Chec	5,0568	-75,4912	2182	182,822281	172,966816	155,495655	164,556618	164,334059	161,039193	153,459964								
7	Point	Estacion El mirador	5,072514	-75,438431	2570	91,659701	89,361253	173,699228	99,061798	166,124027	157,881966	147,863425								
8	Point	Estacion Enas	5,0806	-75,5078	2060	148,850121	146,142811	149,374174	132,266578	135,959965	130,059645	140,034133								
9	Point	Estacion Enes	5,034425	-75,419242	2502	148,812647	158,476444	162,798165	164,144652	159,189518	144,73913	145,988087								
10	Point	Estacion Finca La Paz	5,0545	-75,4113	2900	102,660158	105,317903	117,973462	118,034727	166,124027	157,881966	147,863425								
11	Point	Estacion Hospital	5,065	-75,503	2123	122,000473	127,418757	150,613019	154,65873	154,341325	149,432766	155,824381								
12	Point	Estacion Ingeominas	5,071444	-75,524306	2226	132,539241	133,395526	154,682229	148,279608	166,124027	157,881966	137,159569								
13	Point	Estacion M Hac Manzanares	5,253592	-75,154792	1860	98,528825	91,507562	87,026394	114,603386	166,124027	157,881966	147,863425								
14	Point	Estacion M Liceo	5,0684	-75,5107	2156	91,893659	145,435527	37,138707	14,982637	166,124027	157,881966	147,863425								
15	Point	Estacion M Manzanares	5,253592	-75,154792	1860	167,481109	167,583149	168,430635	176,136472	165,571167	157,876997	146,203308								
16	Point	Estacion M Marquetalia Alcaldia	5,2972	-75,0523	1591	186,122549	185,727382	187,721172	185,641113	178,314517	169,117275	164,302571								
17	Point	Estacion M Marulanda	5,300917	-75,349528	3110	183,019412	174,196496	200,054411	190,975998	146,836549	141,023582	143,371091								
18	Point	Estacion M Negra HogaresJuveniles	5,158472	-75,517139	2053	158,116526	152,490942	163,162647	166,654627	161,442595	158,357832	138,061187								
19	Point	Estacion M Salamina	5,3882	-75,4832	2078	171,539767	190,842032	204,856227	227,47497	201,018983	275,236579	124,487231								
20	Point	Estacion M San jose	5,091056	-75,790042	1728	153,381012	161,223435	160,315308	138,797877	166,124027	157,881966	147,863425								
21	Point	Estacion M Villamaria hospital	5,0461	-75,5152	1790	169,587686	172,703014	167,934861	165,811564	271,176584	161,340681	169,449152								
22	Point	Estacion Planta Niza	5,077139	-75,518694	2100	148,824393	154,956132	158,893984	162,567084	158,518119	146,843544	154,049392								
23	Point	Estacion Palma	5,056972	-75,529417	1967	158,333989	155,374577	166,249596	160,168248	157,148666	153,742606	164,588054								
24	Point	Estacion peralonso CHEC	5,073933	-75,499394	2094	161,633127	122,06138	142,37289	123,31769	166,124027	157,881966	147,863425								
25	Point	Estacion Posgrados	5,0562	-75,4923	2179	137,972564	143,285236	162,096055	165,215178	168,351563	159,202966	160,486671								
26	Point	Estacion Yarumos	5,0631	-75,4812	2195	132,072142	133,212553	147,510008	155,071548	153,517549	149,925726	119,213784								

Ilustración 5. Información organizada. SIMAC. Autoría Propia

En tercer lugar, al tener la información de manera adecuada, se debió convertir la tabla de Excel a formato ArcMap, para que esta pueda ser leída por el software y determinar qué método de interpolación sería el más óptimo para la variable de la radiación solar; así entonces, para convertir esta información se utilizó la herramienta Excel to Table la cual sirve para convertir las hojas de en Excel a formato ArcMap, esta se encuentra en la caja de herramientas de ArcMap la cual se encuentra en el software como ArcToolbox. Los pasos para activar la herramienta anteriormente mencionada, se describen de la siguiente manera, primero ArcToolbox, segundo Conversion Tools, tercero Excel y por último Excel to Table.

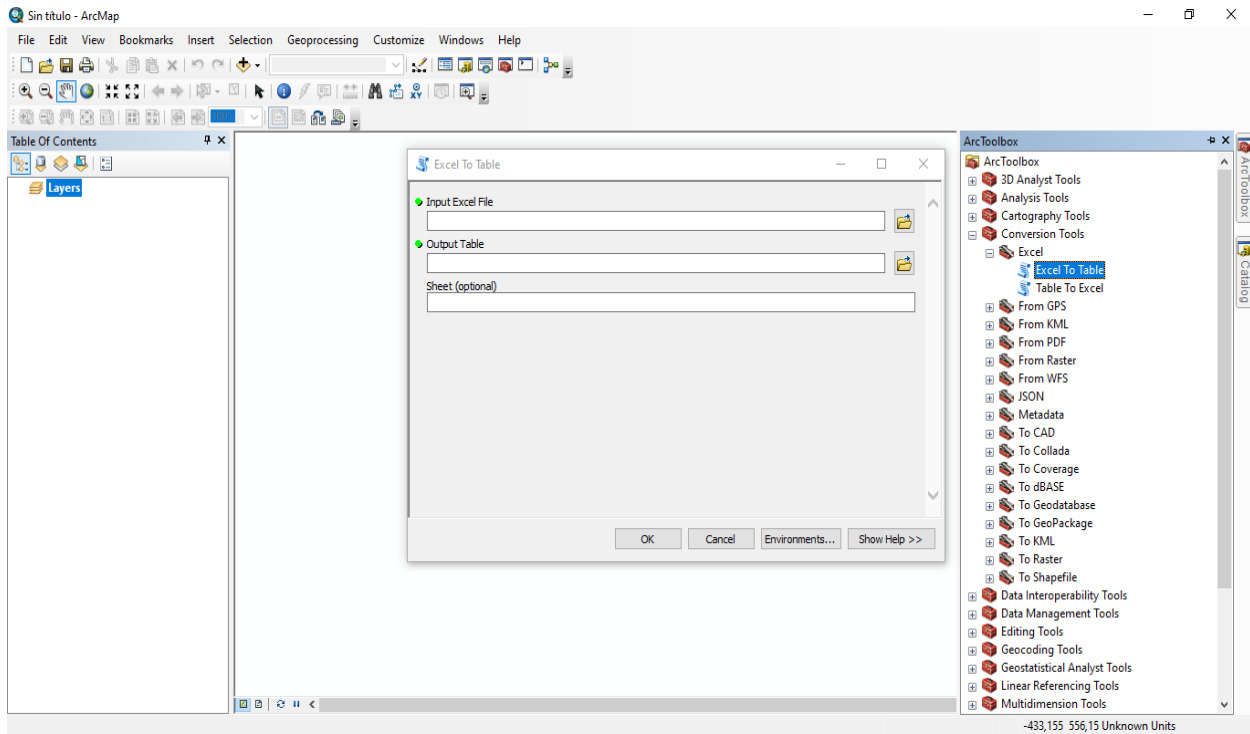


Ilustración 6. Conversión de archivo excel to table

Por último, al obtener la información como tipo Table, esta se debió proyectar en tipo punto, representando cada estación meteorológica, las cuales contienen la información de la variable de la radiación solar, además como se mencionó anteriormente, los años que se estudiaron. Estos puntos se debieron proyectar en las coordenadas MAGNA SIRGAS Datum Bogotá, debido a que, todos los datos deben estar referenciados solo con un tipo de coordenadas. A continuación, se evidencia la representación de los puntos con sus respectivas coordenadas.

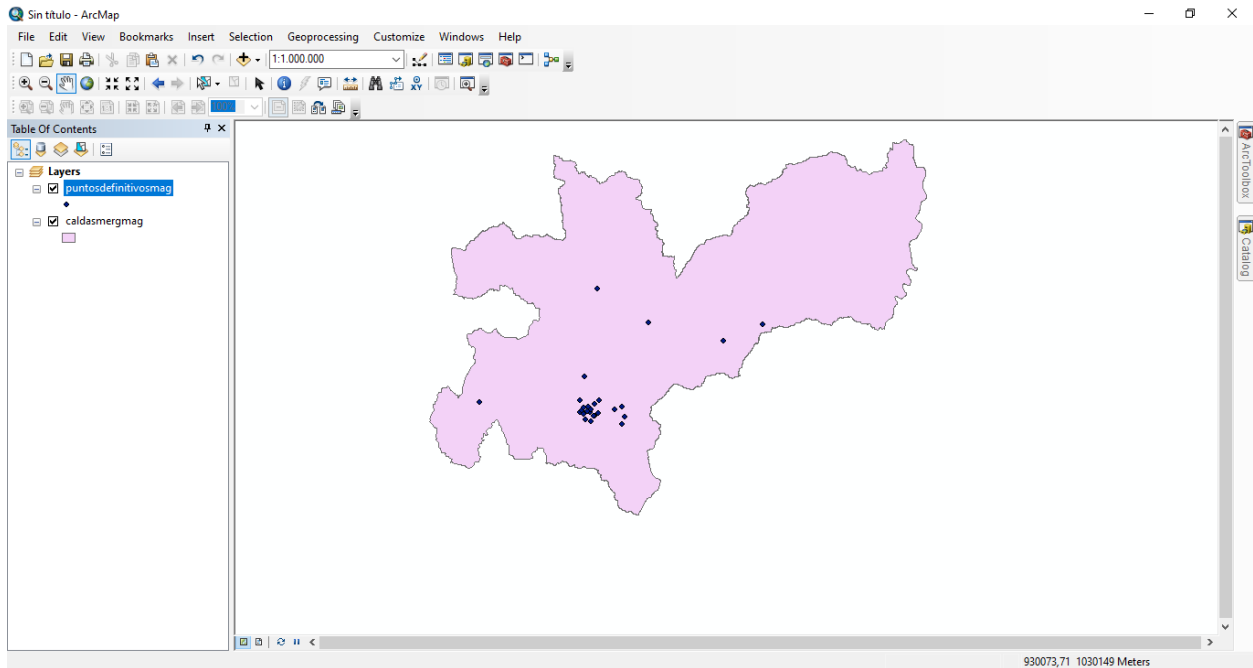


Ilustración 7. Proyección en tipo punto. ArcGis. Autoría propia

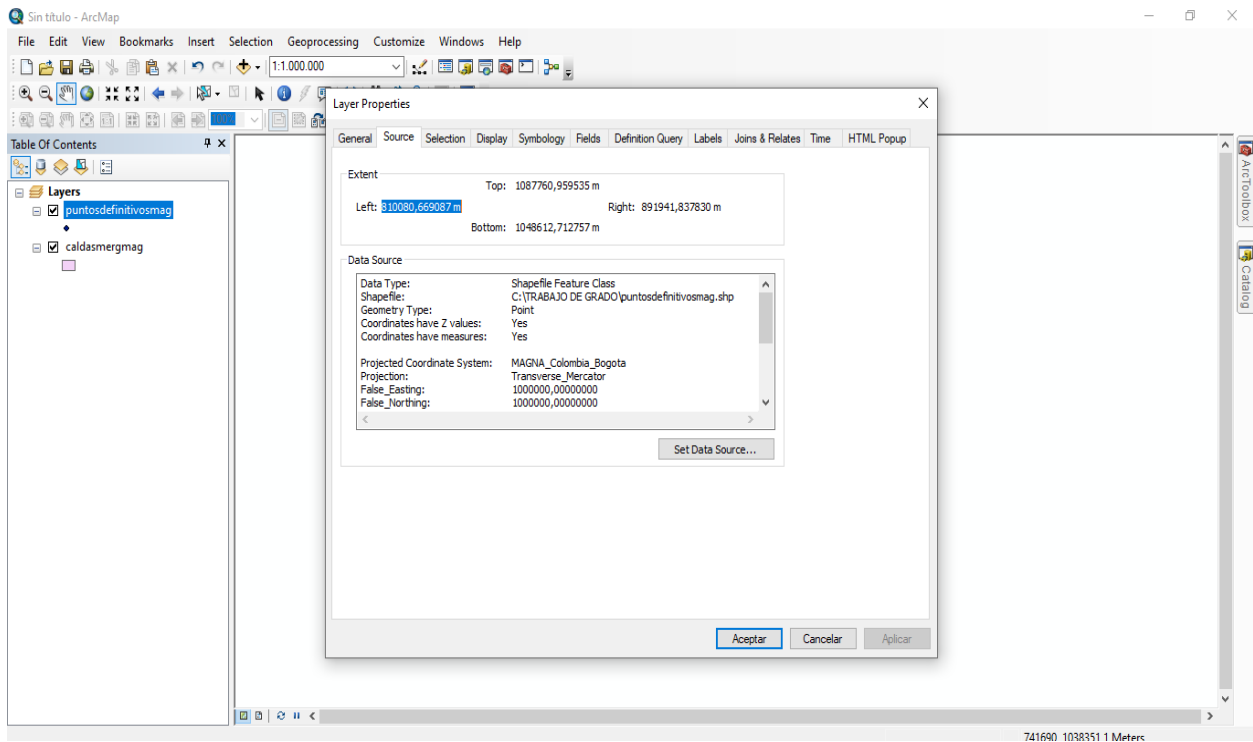


Ilustración 8. Sistema de coordenadas MAGNA SIRGAS Datum Bogotá. Autoría Propia

2.2. Fase 2. Identificación del método de interpolación más eficiente para la variable de estudio (Radiación Solar)

En esta fase se realizó la identificación del método de interpolación más eficiente para la variable de la radiación solar en ArcMap, ello con la finalidad de predecir los valores de la radiación solar en todo el departamento de Caldas. Para ello, los métodos de interpolación fueron utilizados con las herramientas que se encuentran en ArcToolbox, de allí se seleccionaron, Spatial Analyst Tools y por último Interpolation.

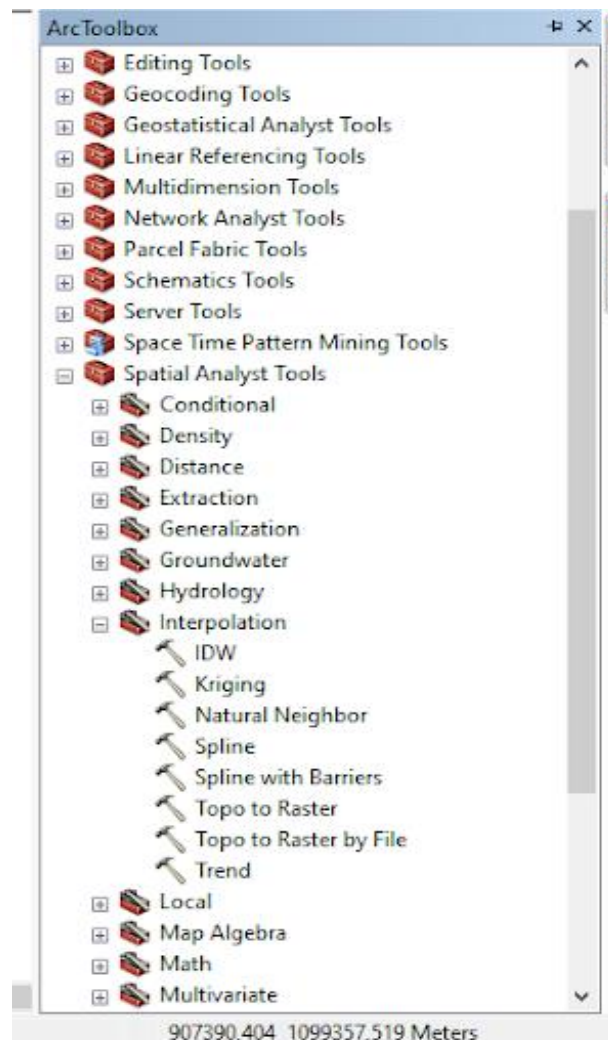


Ilustración 9. Métodos de interpolación. Autoría Propia

Se puede observar los tipos de interpolación que se pueden realizar con la ayuda de ArcMap esta son: IDW, Kriging, Natural Neighbor, Spline, Spline with Barriers y por último Trend. Posterior

a esto, se debió de proceder a escoger el tipo de interpolación, para esto se escoge la herramienta y aparece el siguiente diálogo.

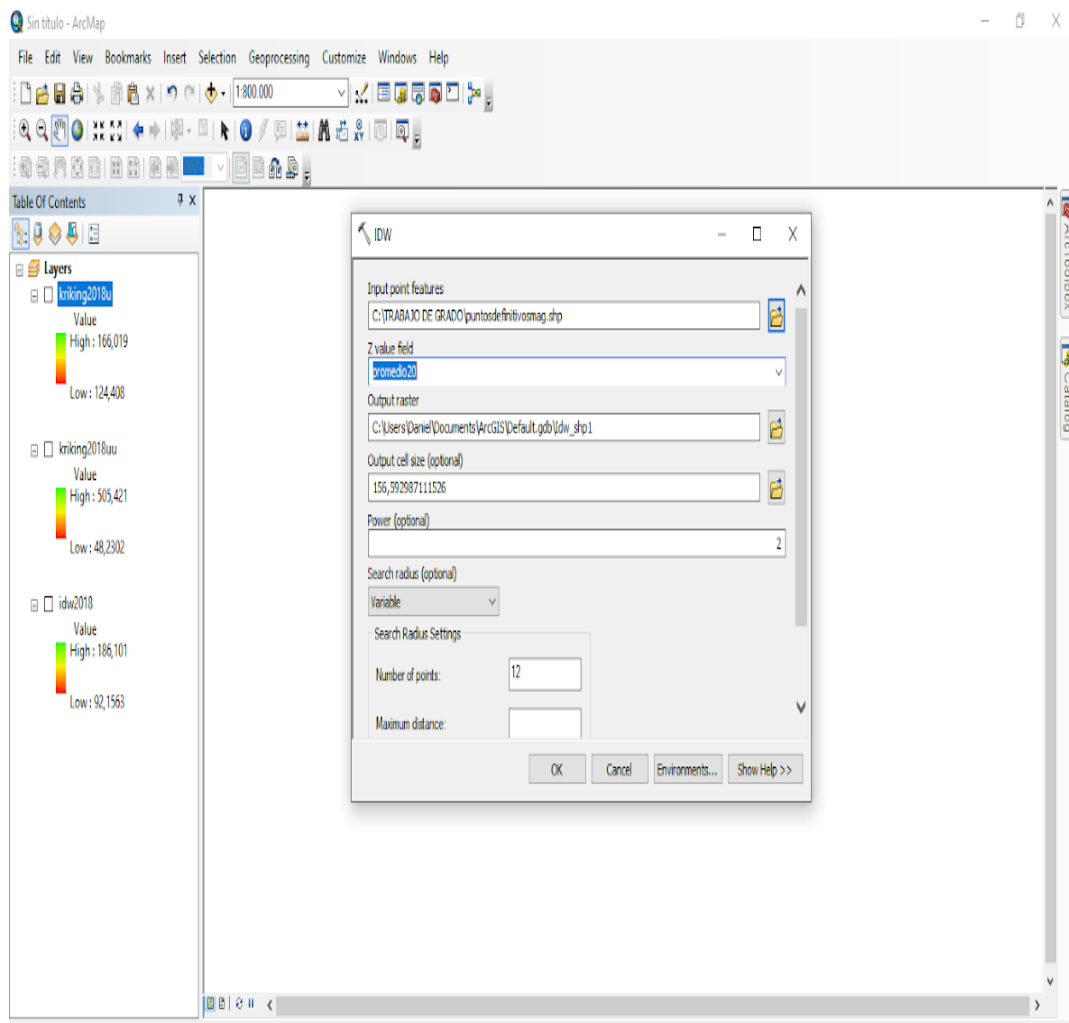


Ilustración 10. Selección de interpolación. Autoría Propia

La información o procedimiento a seguir que se debe diligenciar en cada celda son: Shapefile categoría punto, además de seleccionar la columna que contiene la interpolación, este procedimiento se debió realizar para cada promedio de año; las otras columnas se dejan en los valores predeterminados y, cuando se generan los datos como límites entre las estaciones, se genera una interpolación dentro del polígono de estudio.

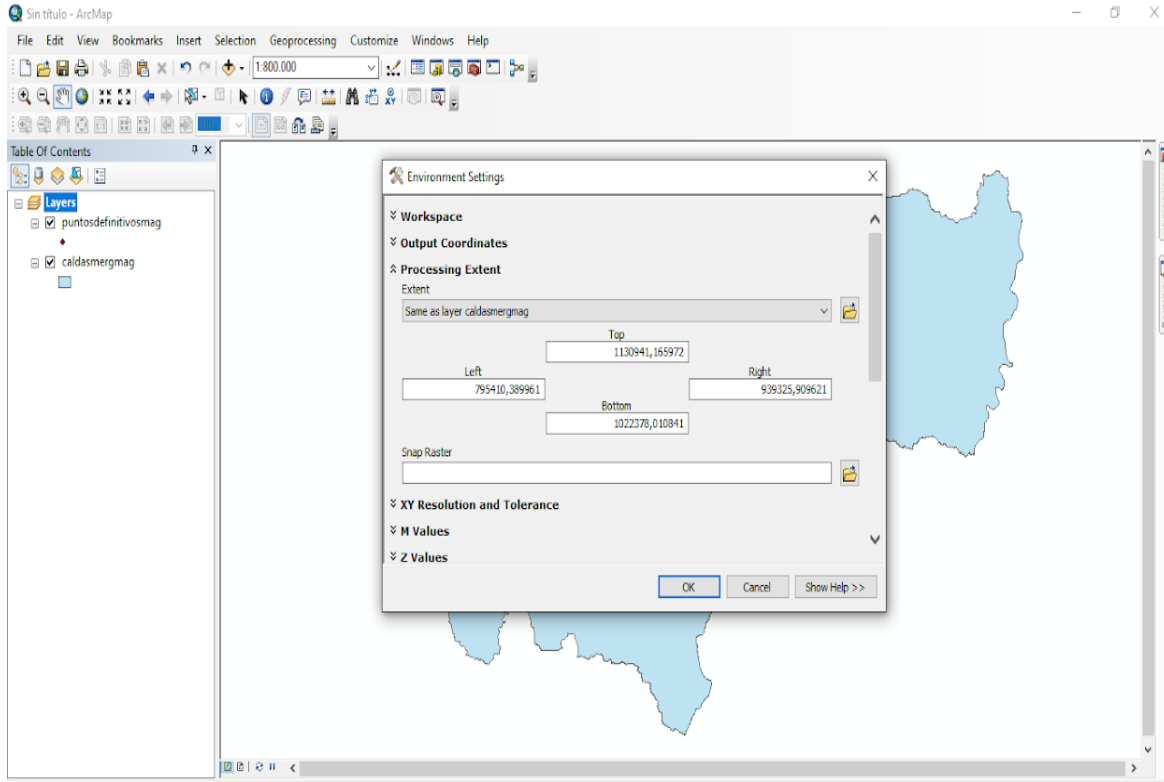


Ilustración 11. Herramienta Environments Settings. Autoría Propia

En Processing Extent se debió agregar el polígono del departamento de Caldas en dos puntos y en el En Raster Analysis.

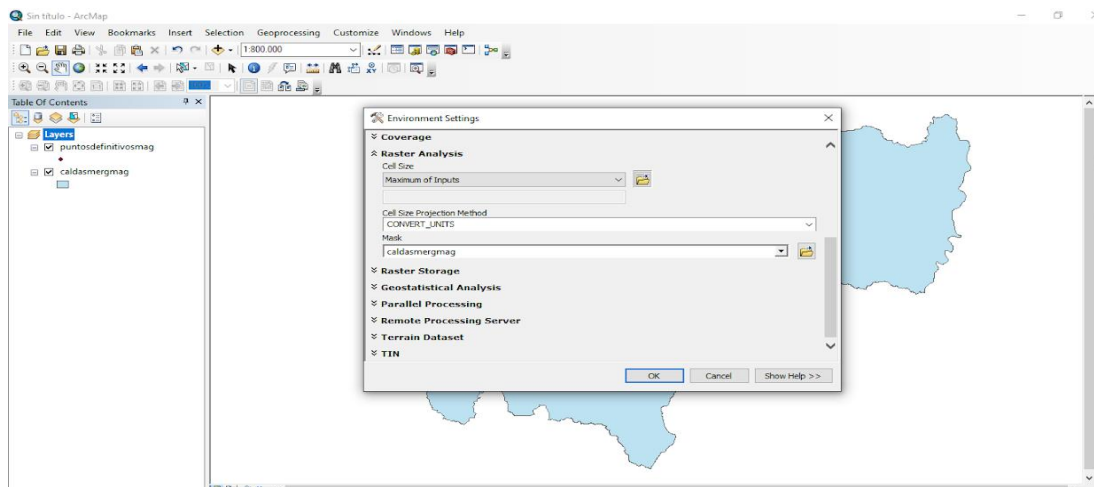


Ilustración 12. Raster Analysis. Autoría Propia

A partir del anterior método, se logró generar la interpolación, esto en un archivo tipo raster, es decir, una representación/imagen, la cual se puede clasificar con los siguientes colores: entre rojo y verde, donde el color rojo significa que hay mayor radiación solar, degradándose en la medida en que va disminuyendo esta hasta llegar a verde, lo que significa una menor cantidad de radiación solar, como se muestra a continuación.

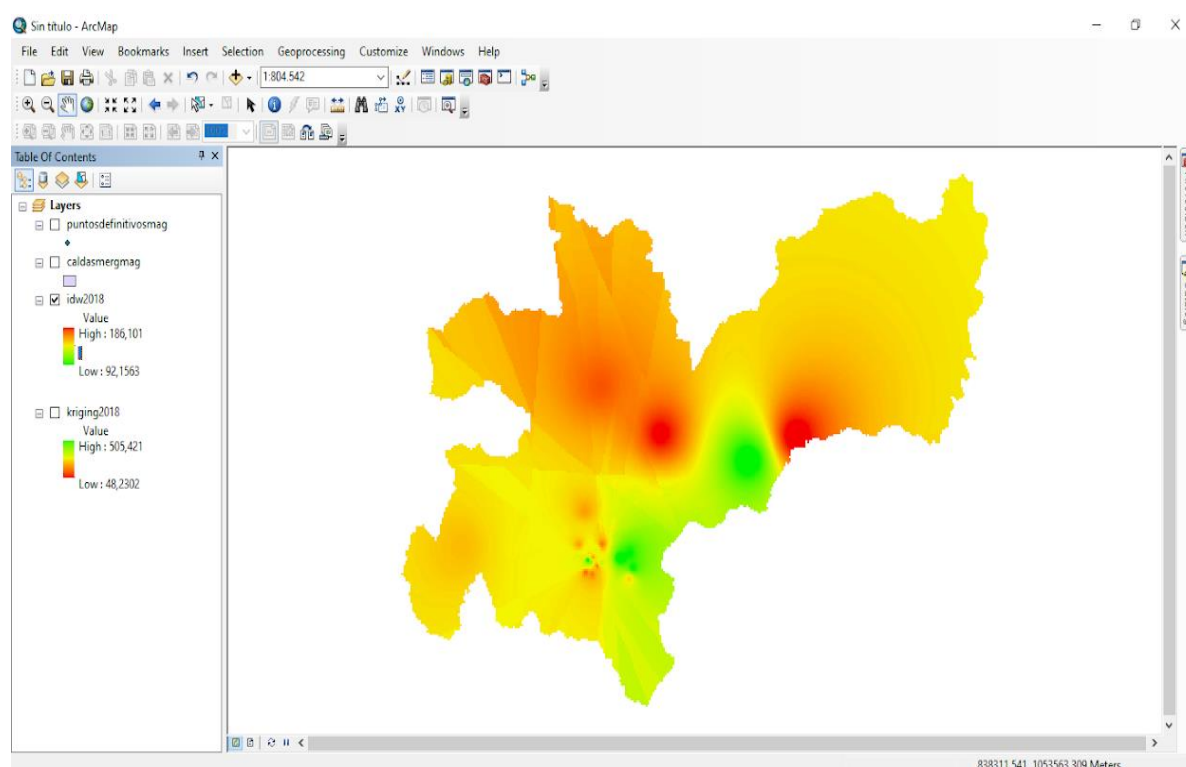


Ilustración 13. Interpolación. Autoría Propia

Concorde a lo anterior, a partir de los resultados analizados, se logró definir cuál fue el método de interpolación más pertinente para la variable de estudio- radiación solar; se destaca que, para ello se tomaron diferentes criterios como, la coherencia de los rangos y los cambios con respecto a la ubicación de cada punto, es decir, cada estación con el fin de que la información sea lo más verídica posible. No obstante, la explicación detallada de los resultados que arrojó cada método de interpolación y cual mostro ser el más pertinente se mostrara en el capítulo siguiente.

2.3. Fase 3: Construcción de mapas meteorológicos de la variable de estudio (Radiación solar)

Por último, esta fase de la investigación radicó en organizar las interpolaciones con el fin de que se pudiera visualizar una representación gráfica de la variable de interés con ayuda de los SIG,

para esto se debió agregar información a la representación a obtener como la leyenda, nombre del mapa, año de la interpolación, número del mapa , entre otros. Igualmente, los detalles que son necesarios para facilitar la comprensión del mapa, como la grilla y escala además de la dirección norte. Para proceder con la implementación de la construcción de mapas históricos de la variable de la radiación solar, se realizó el siguiente procedimiento.

En primera instancia, se procedió a cambiar el tipo de vista en ArcMap, para esto se selecciona Layout View, en la pestaña View.

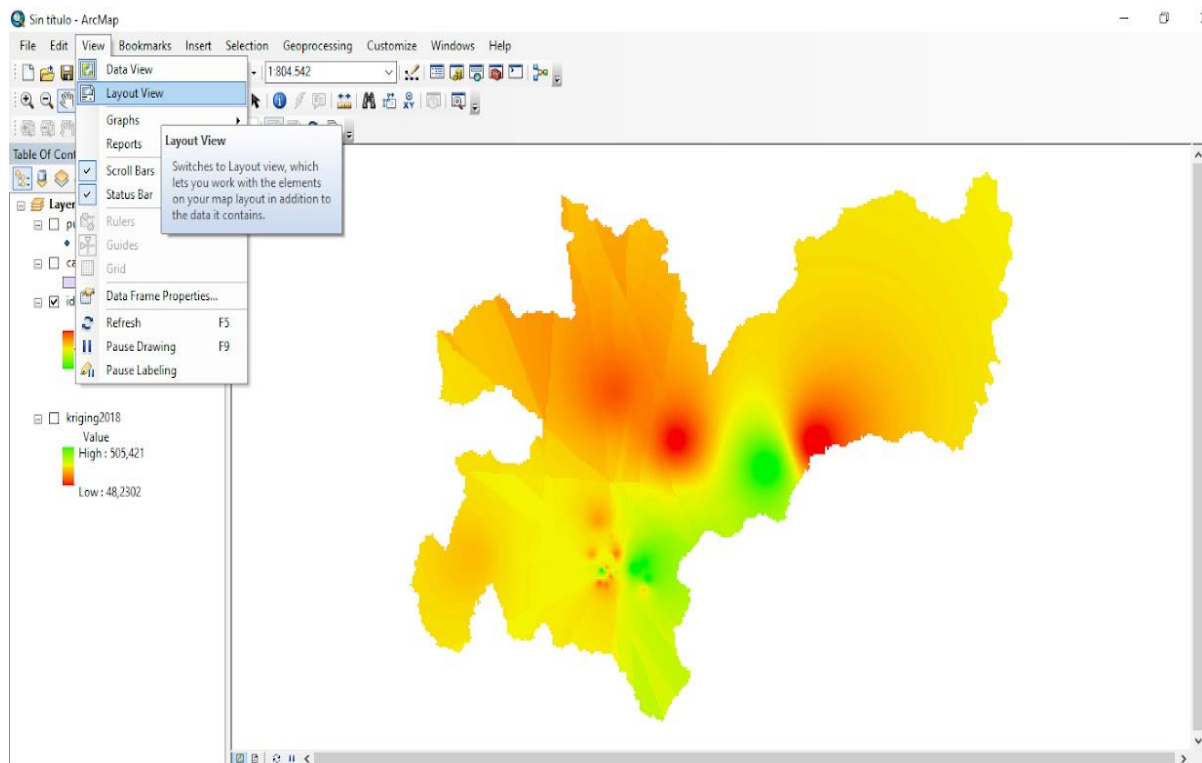


Ilustración 14. View. ArcMap. Autoría Propia

En la pestaña Layout View se pudo configurar las características de los componentes, las cuales fueron la grilla y la leyenda. De esta manera para configurar la grilla se debió acceder a las propiedades del Data Frame (Lugar donde se encuentra la información geográfica), dando clic derecho sobre el mismo y seleccionando properties, se encontró la ventana de la siguiente manera.

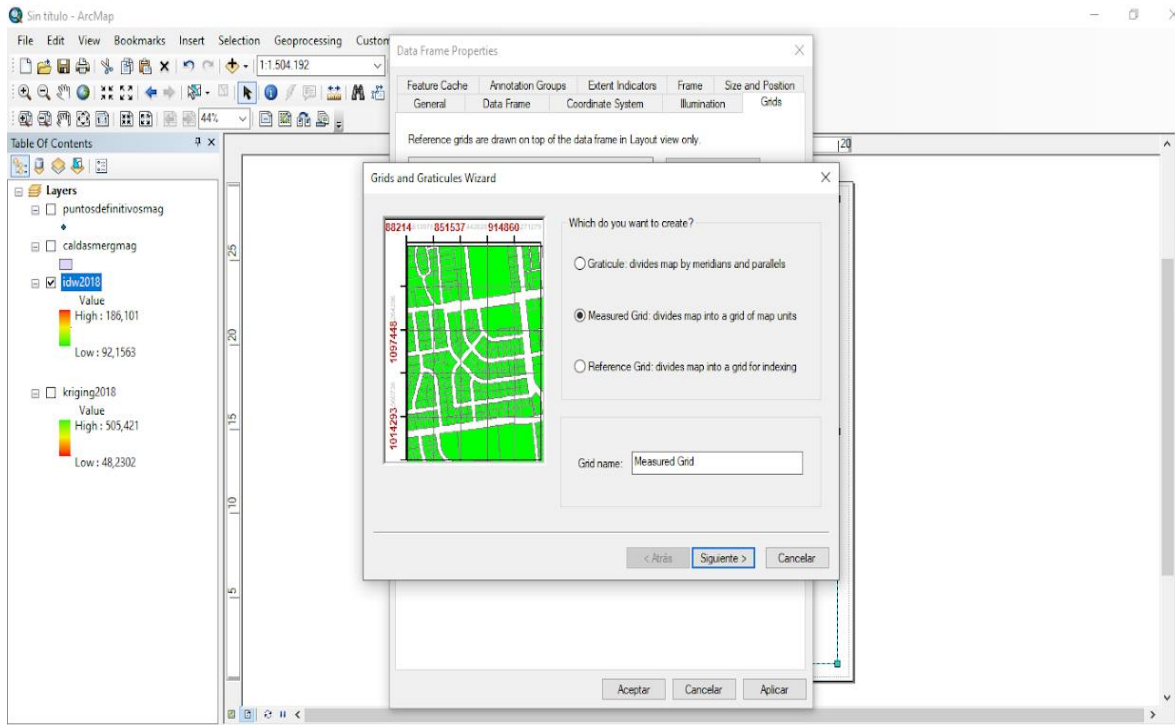


Ilustración 15. Data Frame. Autoría Propia

Después de haber seleccionado la ventana New Grid, se clasificó en Measured Grid, siguiente a esto se continuó insertando la escala, la leyenda, la norte y los cuadros con el texto correspondiente, para esto se seleccionaron la opción Insert.

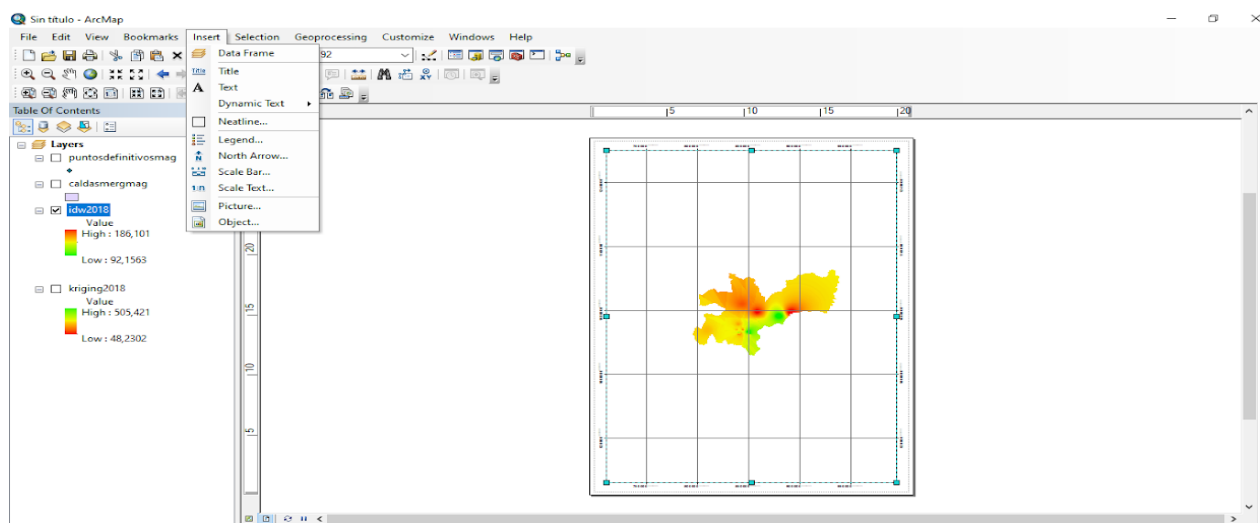


Ilustración 16. Measured Grid. Autoría Propia

Por otro lado para poder proyectar la leyenda se debió seleccionar el elemento geográfico que se requería para el despliegue de información en leyenda, este caso sería de tipo Raster de la interpolación con los rangos de porcentaje de la radiación solar, los otros requerimientos que exige el software son de manera estética. Como la escala gráfica y numérica, la norte. Por último, la información en texto que se debió agregar en el mapa fue: Institución, facultad, programa, tipo de documento, título del mapa, autor, sistema de coordenadas, unidades, fecha de elaboración, numero de mapa, fuente de información y lugar del mapa, cabe mencionar que, este estudio se realizó para el departamento de Caldas.

CAPITULO 3

Resultados



3. RESULTADOS

A partir del presente capítulo se pretende plasmar los resultados hallados a partir del proceso investigativo y de las fases planteadas.

3.1. Fase I: Determinación de la suficiencia de información de los datos espaciales proporcionados por el SIMAC respecto a la variable de interés

Para este momento investigativo, como hallazgo se plantea en un primer momento que, a causa de los vacíos en la información entregada por la entidad y que son producto de fallas técnicas que se pudieron presentar en las estaciones meteorológicas o la inexistencia de la mismas en los municipios del departamento de Caldas entre los años 2002 y 2011, se determinó reducir el rango de espacio de tiempo de los fines investigativos, siendo los tiempos contemplados para estos fines investigativos desde el año 2012 hasta el año 2018 por la completitud de los datos, aun cuando también presentaban pequeñas brechas de información, es por ello se optó por promediar los datos proporcionados por las demás estaciones, en el mismo año y se adjuntó el dato promedio en la celdas con espacios vacíos para que el software ArcGIS lograra procesar la información suministrada, como se puede observar en la siguiente imagen:

	latitud	longitud	altitud	promedio 2018	promedio 2017	promedio 2016	promedio 2015	promedio 2014	promedio 2013	promedio 2012
Estacion Alcazares	5,07	75,53	2057,00	146,4254562	145,6268696	146,5135325	153,8041049	154,0737439	146,5366121	145,8365781
Estacion Alto de la Coca	5,08	75,42	2930,00	103,9806733	112,2280381	176,3704058	109,0816646	166,1340273	157,8819656	147,8634251
Estacion Antenas Alto del Guamo	5,10	75,48	2410,00	165,2132349	133,9186061	154,6822285	148,2796077	166,1340273	157,8819656	147,8634251
Estacion Aranjuez	5,04	75,50	2915,00	165,2798963	176,1884097	177,6535437	178,7421125	170,8828002	163,0912773	167,9574626
Estacion Cisao Bosques del Noite	5,09	75,49	2117,00	137,0454605	137,8532979	166,9026912	156,9604465	135,1051054	120,493071	124,1906927
Estacion Carmen	5,06	75,52	2112,00	132,2561329	139,2630802	160,8801279	158,7218587	155,4496815	152,1366618	154,6708679
Estacion Chec	5,06	75,49	2182,00	182,8222806	172,9668159	155,4938555	164,356618	164,3340586	161,0391933	153,4399643
Estacion El mirador	5,07	75,44	2570,00	91,65970147	89,36125253	173,6892275	99,06179752	166,1340273	157,8819656	147,8634251
Estacion Emas	5,08	75,51	2060,00	148,8580214	146,1428112	149,3741735	132,2665777	135,9399655	130,0396449	140,0341333
Estacion Enea	5,03	75,42	2502,00	148,8128468	156,4764442	162,7961652	164,1446519	158,1895183	144,7381296	145,9880866
Estacion Finca La Paz	5,05	75,41	2900,00	102,6601584	105,3179025	117,9734617	118,0347265	166,1340273	157,8819656	147,8634251
Estacion Hospital	5,07	75,50	2123,00	122,0004727	127,4187566	150,6130188	154,6387297	154,3413254	149,4827866	155,8243812
Estacion Ingominas	5,07	75,52	2226,00	132,5392413	133,3955264	154,6822285	148,2796077	166,1340273	157,8819656	137,1595669
Estacion M Hac Manzanares	5,25	75,15	2860,00	98,52882499	91,50756199	87,02639375	114,6033856	166,1340273	157,8819656	147,8634251
Estacion M Liceo	5,07	75,51	2156,00	91,89366862	145,4355269	37,13870677	14,98263701	166,1340273	157,8819656	147,8634251
Estacion M Manzanares	5,25	75,15	2860,00	167,4811085	167,583149	168,4308355	176,1364724	165,5711674	157,5769968	146,2830082
Estacion M Marquetalia Alcaldia	5,30	75,05	1591,00	186,1225492	185,7273817	187,7211719	185,6411296	178,345173	169,1172753	164,3025707
Estacion M Manu lands	5,30	75,35	3110,00	183,0194117	174,1964957	200,0540413	190,9759984	146,8365489	141,0235817	143,3710914
Estacion M Neira Hogares Juveniles	5,16	75,52	2053,00	158,1166256	152,4909425	163,1628466	166,6546272	161,442595	158,3578321	138,0611873
Estacion M Salamina	5,39	75,48	2078,00	171,5397672	190,8420317	204,8562265	227,47497	201,018983	275,2365794	124,4872308
Estacion M San Jose	5,09	75,79	1728,00	153,3830119	161,2234354	160,3153082	138,7978769	166,1340273	157,8819656	147,8634251
Estacion M Villamaria hospital	5,05	75,52	1790,00	169,5876856	172,7030138	167,9348606	165,8115639	271,1765837	161,340681	169,4491515
Estacion M Planta Niza	5,08	75,52	2100,00	148,5243927	154,956132	156,8939844	162,567084	158,5181184	148,8435438	154,0485918
Estacion Palma	5,10	75,53	2967,00	158,3338889	155,3746767	166,2495959	160,1692484	157,1486656	153,7426064	164,5880544
Estacion peralonso CHEC	5,07	75,50	2094,00	161,6331274	122,0613799	142,376904	123,31769	166,1340273	157,8819656	147,8634251
Estacion Posgrados	5,06	75,49	2179,00	137,9725639	143,2832363	162,0960552	165,2151785	168,3515635	159,2029665	160,4986707
Estacion Yatumos	5,06	75,48	2195,00	132,0721424	133,2125527	147,5100078	155,0715477	153,5175487	149,9257265	119,2137837

Ilustración 17. Información sistematizada

Al obtener la información organizada se concluye la primera fase de la investigación, con respecto a la variable de la radiación solar a nivel del departamento de Caldas, como se puede observar en la anterior imagen.

3.2. Fase II: Identificación del método de interpolación más eficiente para la variable de estudio (Radiación Solar)

En esta fase se experimentó con diferentes tipos de interpolación encontrados en el software objeto de estudio, y a partir de ello, se procedió al descarte de los métodos; uno de ellos, el método Topo To Raster, reconocido por ser capaz de convertir variables en superficies hidrológicas o modelos digitales de elevación, razón por la cual no fue útil para la investigación, asimismo, se descartó el método de interpolación Natural Neighbor, dado que, no permitió adecuar la interpolación dentro del margen del polígono de Caldas como se puede observar en la siguiente imagen.

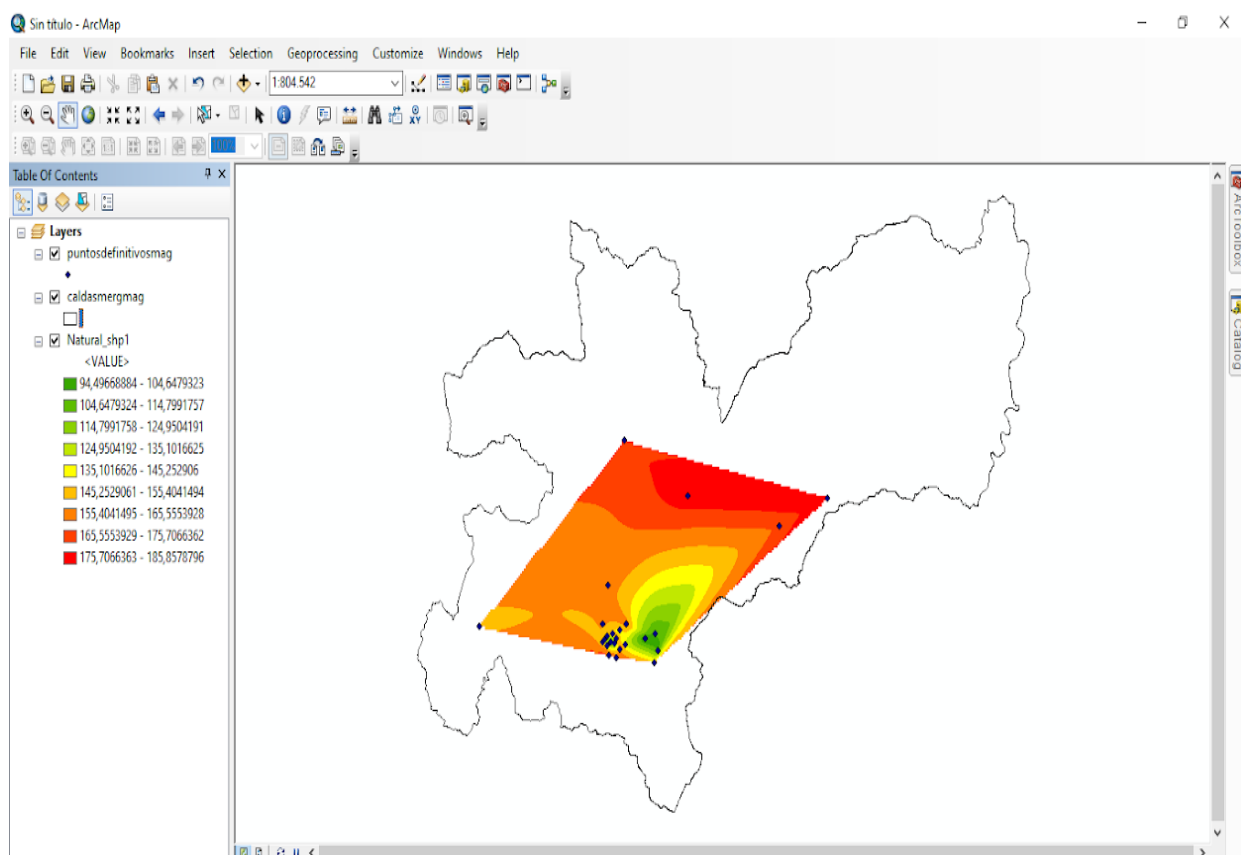


Ilustración 18. Método de Interpolación Natural Neighbor. Autoría Propia

Continuando con la verificación de pertinencia de los métodos de interpolación fue descartado el método de Kriging, reconocido por ser usado más que todo cuando hay influencia direccional o de la distancia correlacionada espacialmente en los datos; sin embargo, al existir distancias espaciales no se presentó una relación con los datos suministrados y la interpolación no se graficó de una manera coherente, como se muestra a continuación.

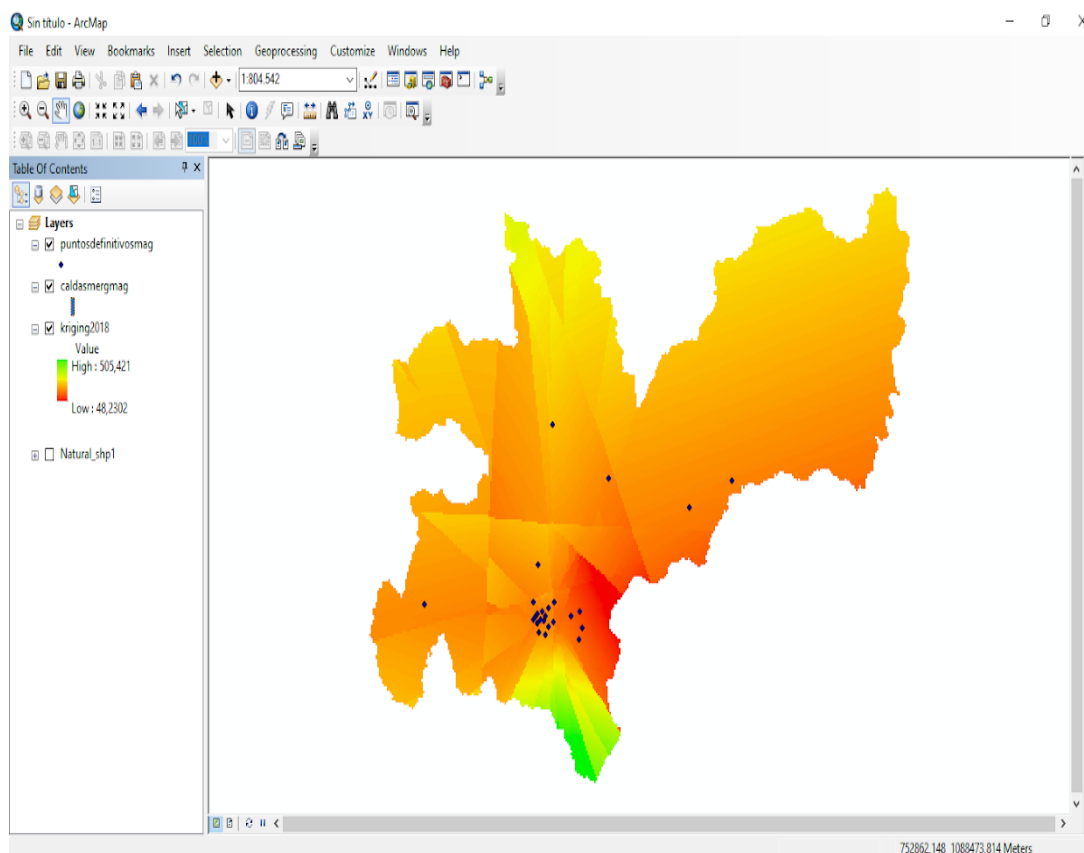


Ilustración 19. Método de Interpolación Kriging. Autoría Propia

Igualmente, la imagen interpolada no tiene un comportamiento coherente entre los datos de las estaciones meteorológicas, además, como se puede observar no presenta una distancia entre ellas. Seguidamente, se presenta el método de interpolación utilizado conocido como Spline, quien también muestra inconsistencia con los valores de la interpolación, asimismo con el raster, en el Spline With Barries, quienes cuando presentan valores atípicos se extrapolan, por lo que la interpolación no logra un equilibrio, lo que la hace descartable.

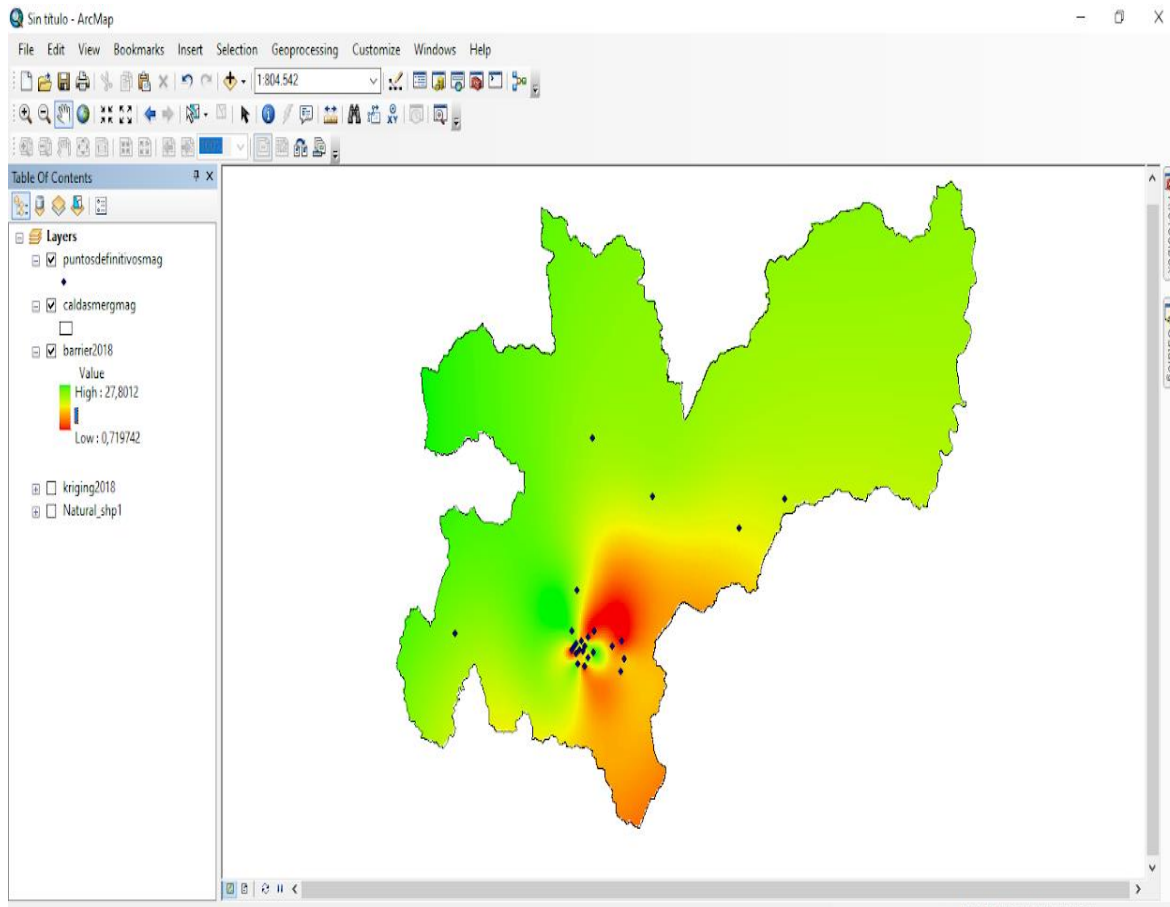


Ilustración 20. Método de Interpolación Spline with Barrier. Autoría Propia

En síntesis, como se pudo observar, los métodos fueron descartados, porque las interpolaciones no presentaron relación con los datos y en el momento de la formación del raster no se generó una correspondencia adecuada con la variable de interés, lo que los convierte en incompatibles con la variable de estudio en el contexto particular y, teniendo en cuenta las dificultades expresadas a lo largo del documento.

En concordancia con ello, se toma el modelo de interpolación IDW, el cual mostró ser óptimo para el fenómeno de estudio, puesto que, este toma todos los datos conocidos y los interpola de manera precisa, dado que la distancia espacial no afecta los resultados de la interpolación además que, la forma de la representación gráfica evidencia en comparación con otros mapas de la radiación solar de Colombia un comportamiento similar; por ende, se determina este es el método de interpolación apropiado para esta investigación.

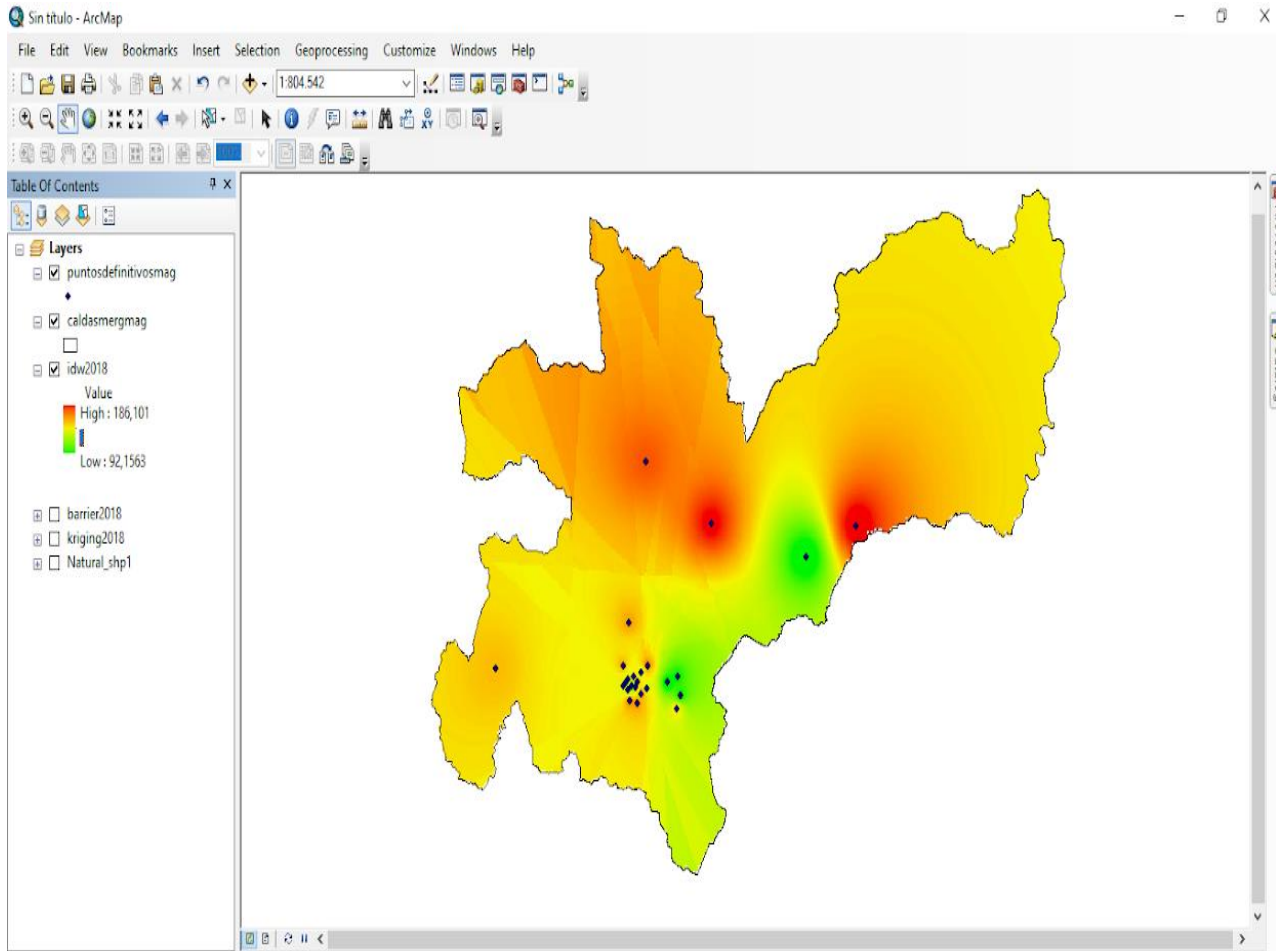


Ilustración 21. Método de interpolación IDW. Autoría Propia.

3.3 Fase III: Diseño de mapas de información meteorológica respecto a la radiación solar

En esta última fase de la investigación se lograron construir siete mapas de la variable de interés, los cuales son los raster interpolados correspondientes a los años comprendidos al periodo 2012-2018, estas representaciones se encuentran en escalas de rojo (alta radiación solar) a verde (menor radiación solar) para así comprender el comportamiento de la variable en el tiempo.

MAPAS DE INFORMACIÓN METEOROLÓGICA DE LA RADIACIÓN SOLAR

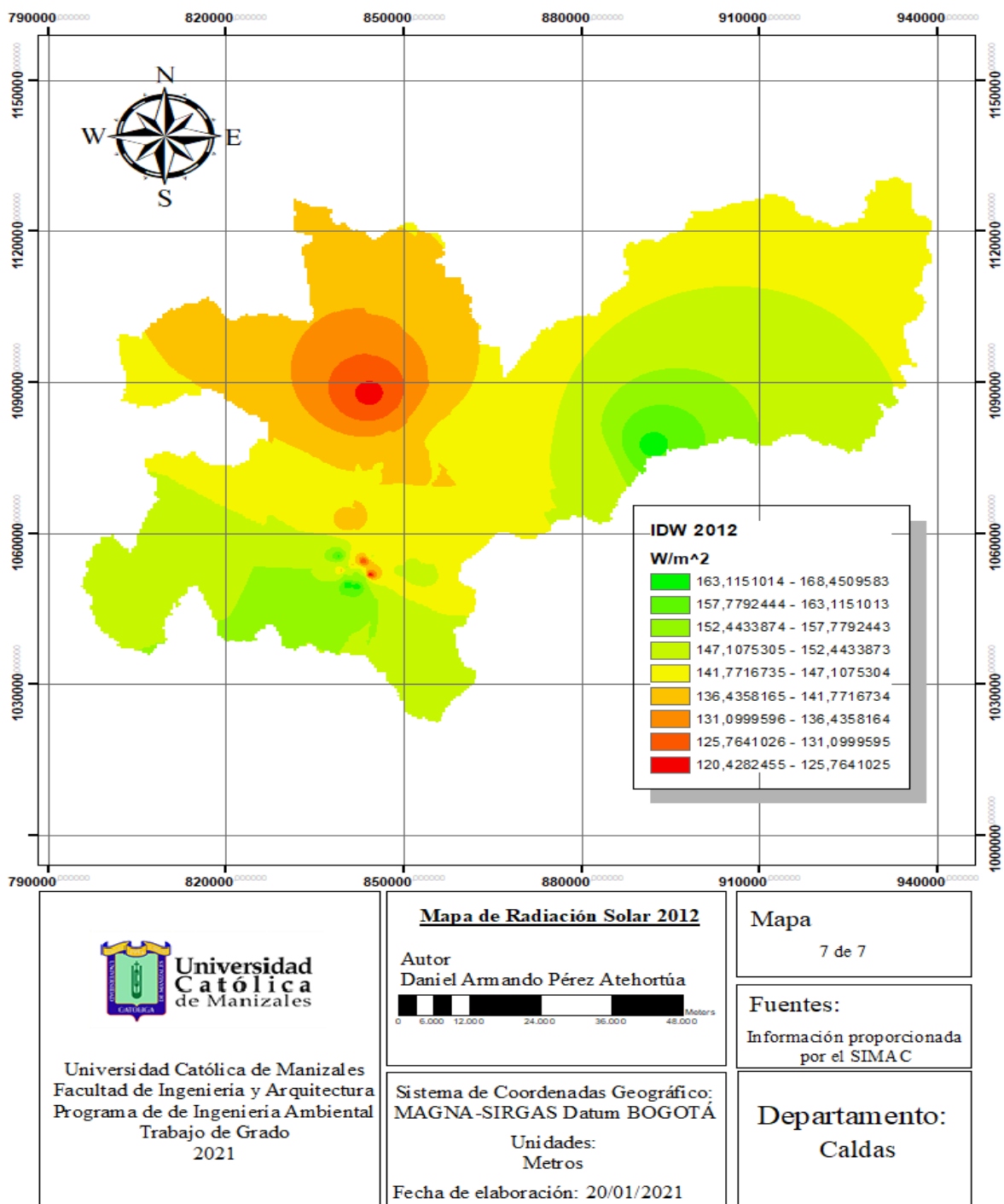
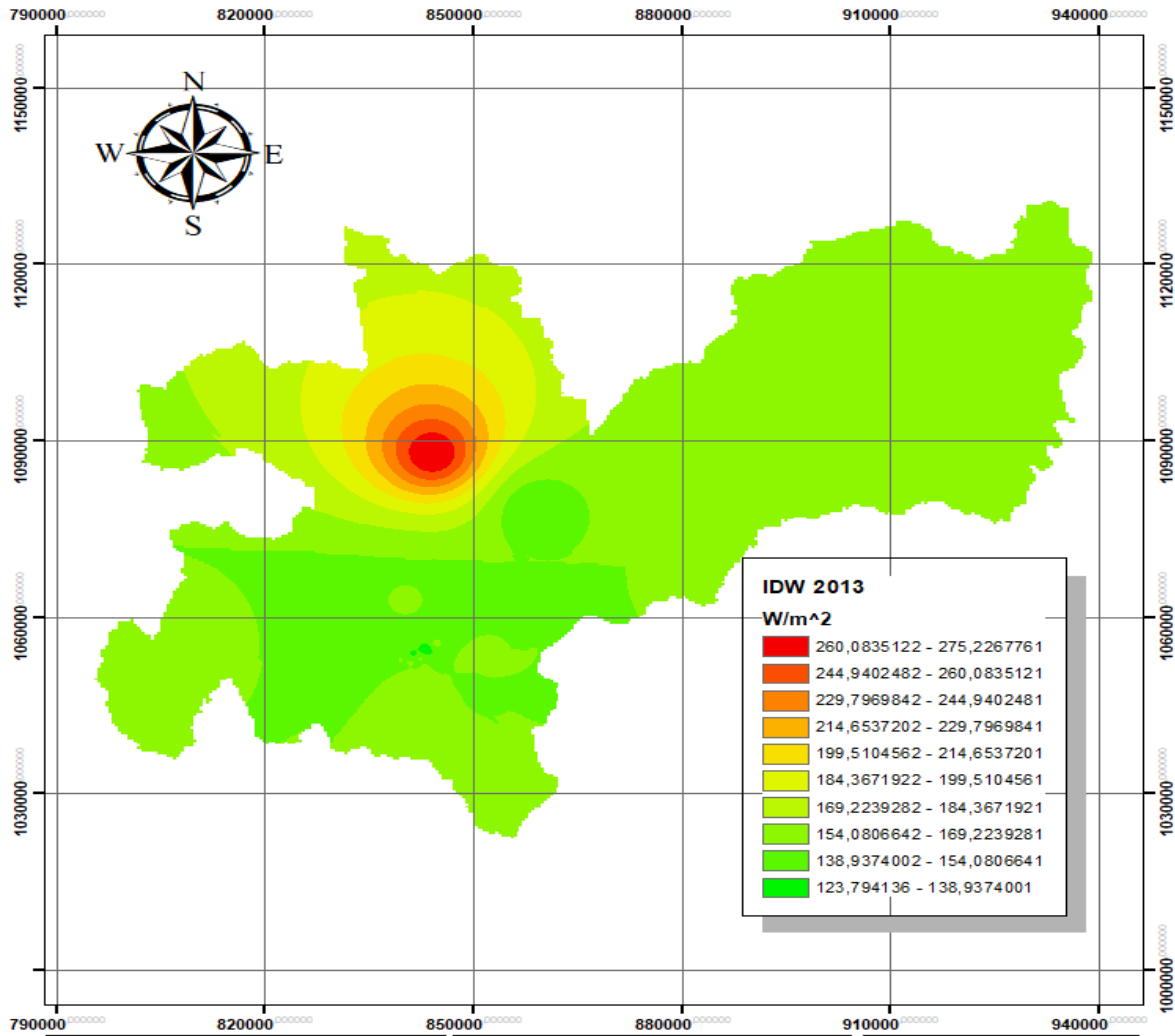


Ilustración 22. Mapa de información meteorológica de la radiación solar IDW 2012.

Autoría Propia




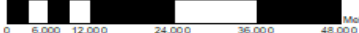
 <p>Universidad Católica de Manizales Facultad de Ingeniería y Arquitectura Programa de Ingeniería Ambiental Trabajo de Grado 2021</p>	<p>Mapa de Radiación Solar 2013</p> <p>Autor Daniel Armando Pérez Atehortúa</p>  <p>Sistema de Coordenadas Geográfico: MAGNA-SIRGAS Datum BOGOTÁ</p> <p>Unidades: Metros</p> <p>Fecha de elaboración: 20/01/2021</p>	<p>Mapa 6 de 7</p> <p>Fuentes: Información proporcionada por el SIMAC</p> <p>Departamento: Caldas</p>
---	---	---

Ilustración 23. Mapa de información meteorológica de la radiación solar IDW 2013.

Autoría Propia

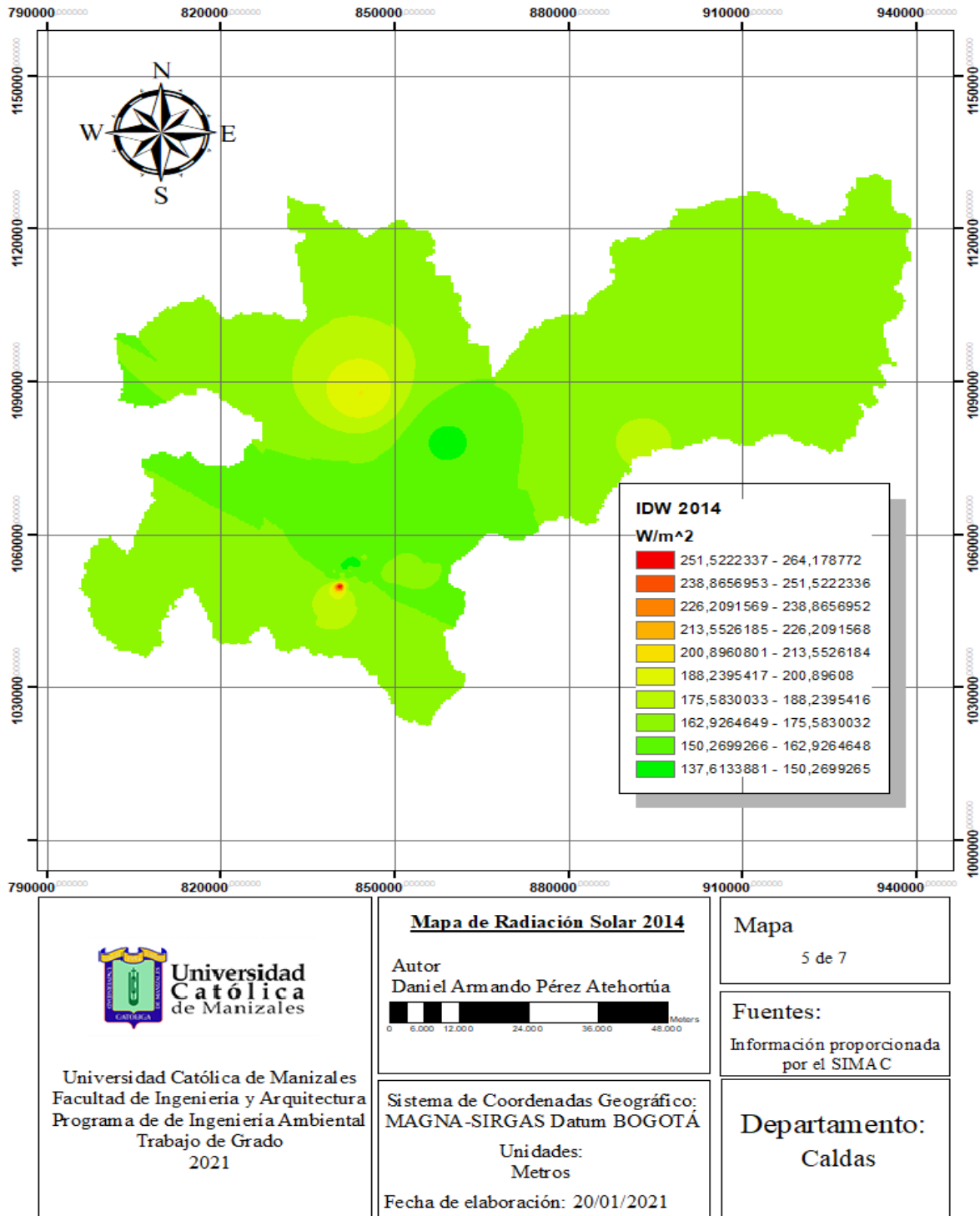


Ilustración 24. Mapa de información meteorológica de la radiación solar IDW 2014.

Autoría Propia

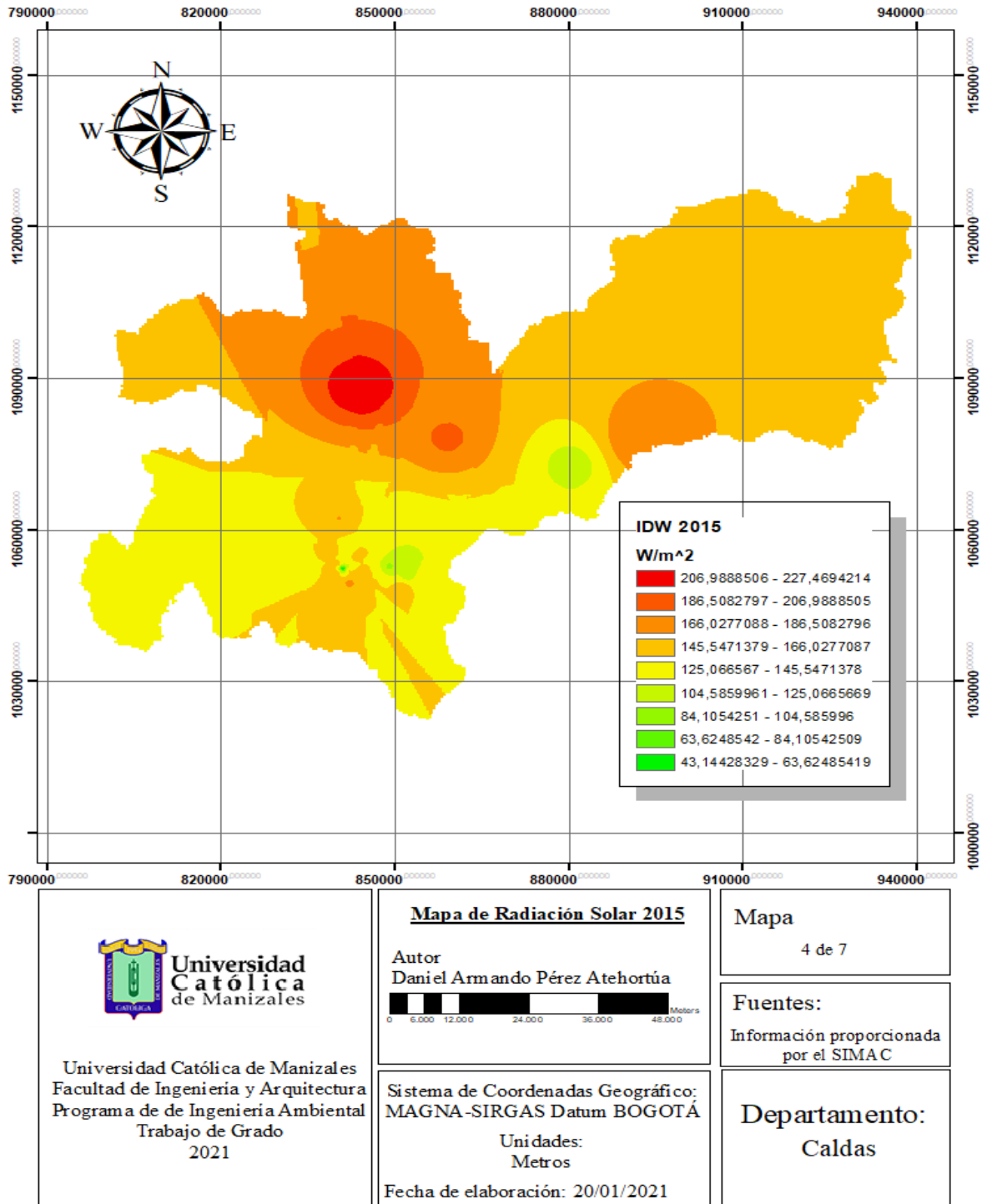


Ilustración 25. Mapa de información meteorológica de la radiación solar IDW 2015.

Autoría Propia

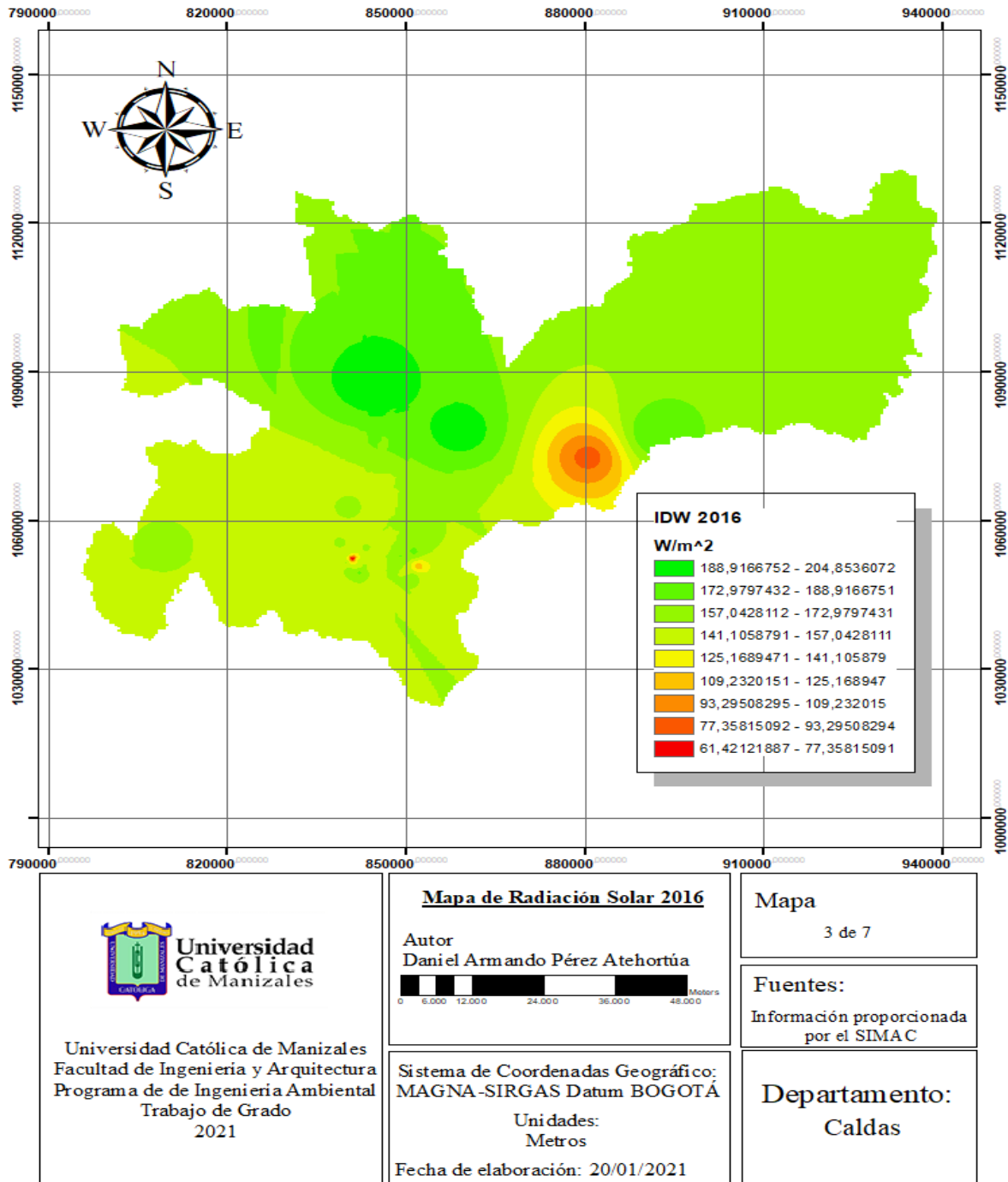


Ilustración 26. Mapa de información meteorológica de la radiación solar IDW 2016.

Autoría Propia

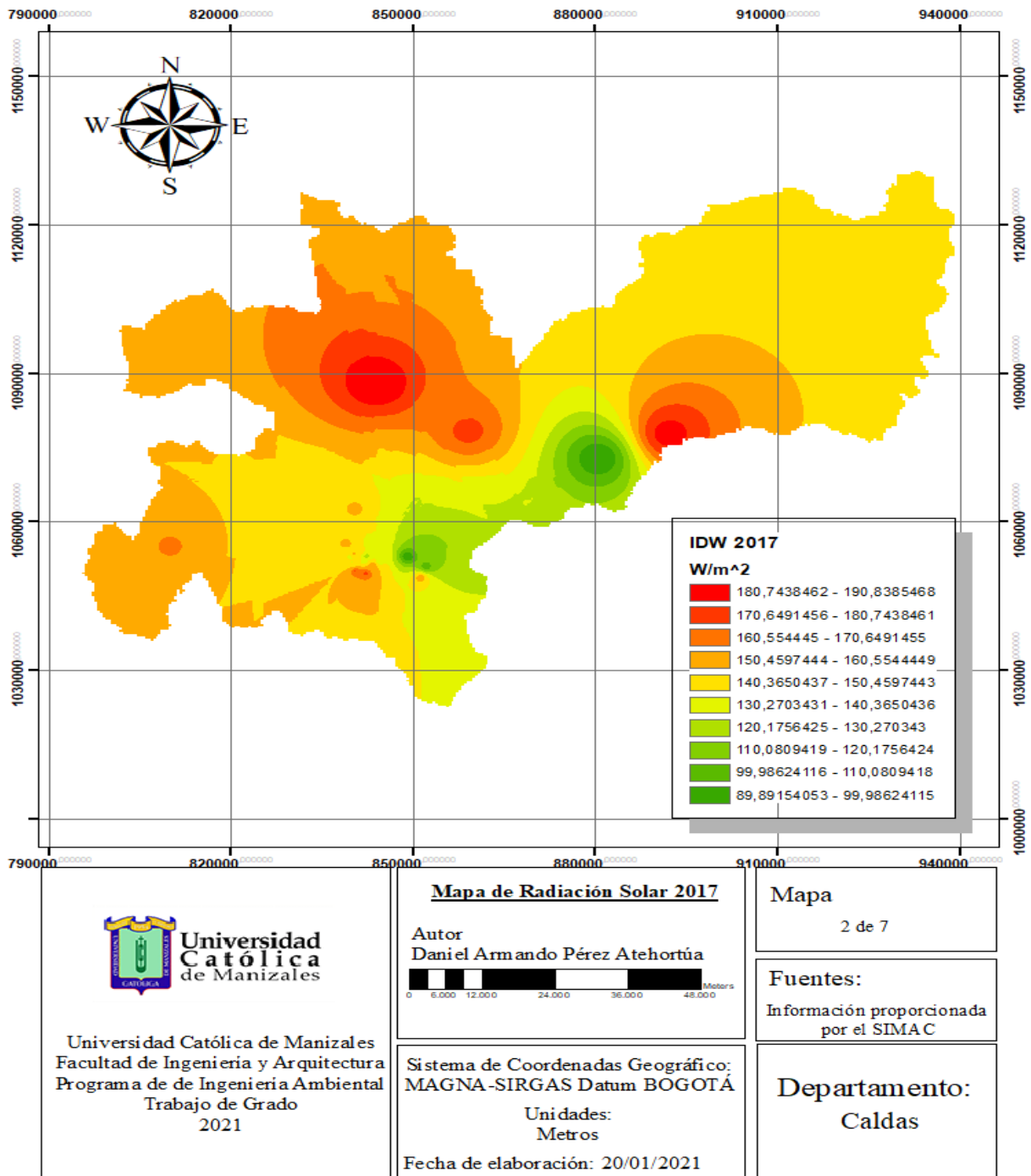


Ilustración 27. Mapa de información meteorológica de la radiación solar IDW 2017.

Autoría Propia

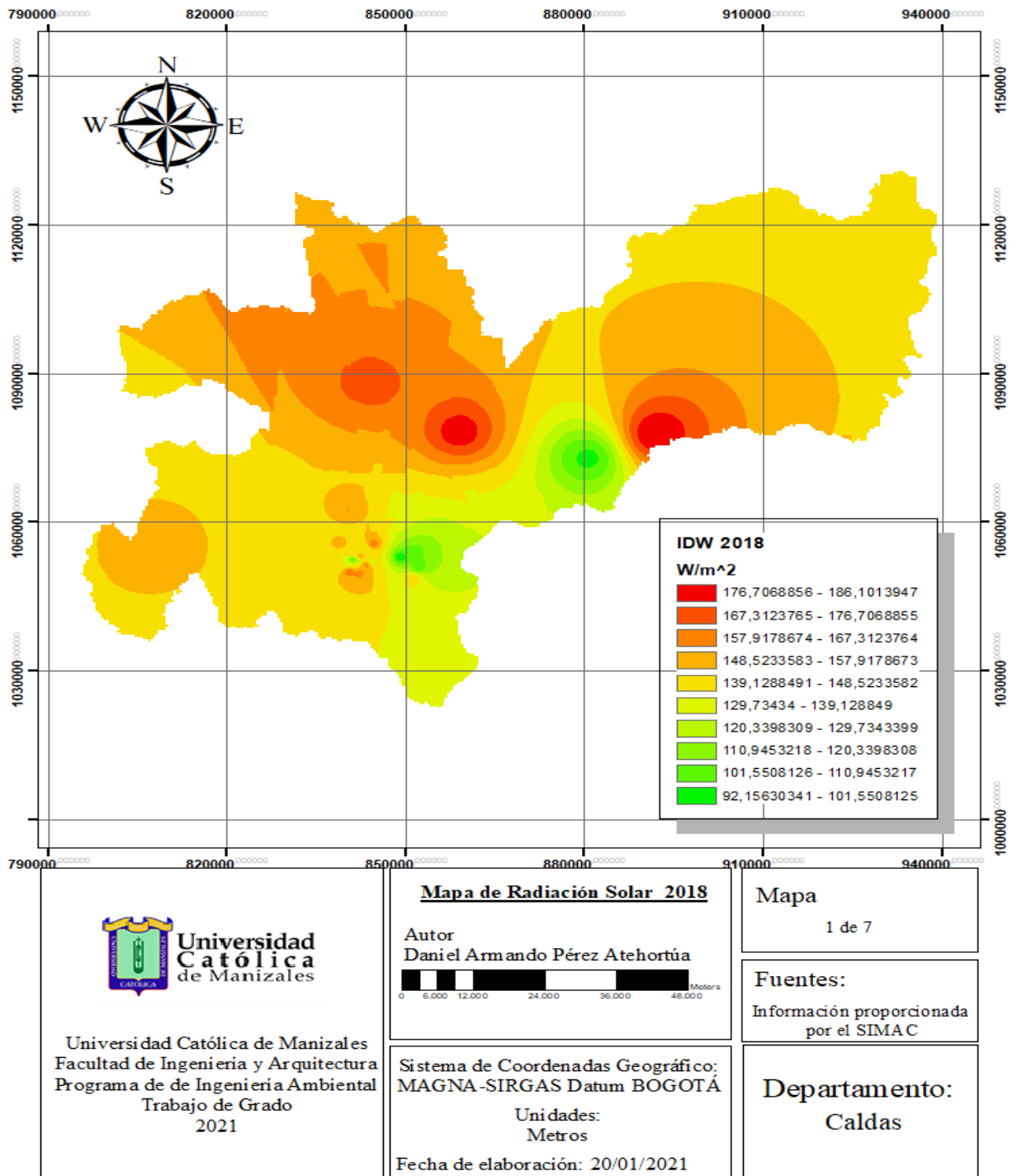


Ilustración 28. Mapa de información meteorológica de la radiación solar IDW 2018.

Autoría Propia



CAPITULO 4

Conclusiones

4. CONCLUSIONES

- ❖ En general, existen diferentes métodos de interpolación, los cuales se adaptan dependiendo del comportamiento del fenómeno estudiado; sin embargo, la suficiencia de información cumple un papel relevante en la medida en que, es de acuerdo a ello, que se determina la pertinencia del modelo interpolador y la veracidad de la representación gráfica que se genera a partir de ello, dado que en los análisis de datos y la modelación de resultados, los errores más comunes que pueden observarse son por ejemplo, que los datos se encuentren en una ubicación incorrecta o que no estén a la escala adecuada para el análisis que se desea realizar; así como también, dificultades en los datos espaciales como la antigüedad, el área de cobertura, la densidad de las observaciones, las fallas técnicas, entre otros. De allí la importancia de que entes reguladores con responsabilidad normativa se aseguren del correcto funcionamiento y cobertura total de las estaciones meteorológicas en el territorio para lograr construir a partir de la información veraz, en este caso, estrategias de aprovechamiento del recurso energético.
- ❖ Se podría afirmar que, no existió una suficiencia de información de los datos espaciales proporcionados por el SIMAC respecto a la variable de interés en la medida en que los datos arrojados por las estaciones meteorológicas presentaban brechas, en algunos casos, y no continuidad de información. Aun mas, cuando otros entes poseedores de este tipo de información no permitieron completitud al estudio, dado que, al solicitar la respectiva información generaron dificultades institucionales de carácter administrativo que impedían o retardaban el acceso a la información.
- ❖ IDW como modelo de interpolación demostró ser el método más pertinente para la Radiación solar presentando óptimas aproximaciones en las estimaciones de la mencionada variable aun cuando se presentaban grandes distancias espaciales entre los datos debido a la inexistencia de algunas estaciones meteorológicas y las fallas técnicas de otras.
- ❖ Los mapas meteorológicos de radiación solar lograron identificar zonas representativas con altos y bajos índices de radiación solar del departamento por año que podrían explicarse a partir del fenómeno del niño y de la niña en el país. Sin embargo, estos

mapas podrían generar una mayor confiabilidad existiendo completitud en los datos arrojados por las estaciones meteorológicas para de esta manera incidir en la planificación y ordenamiento ambiental del territorio.

A satellite-style image of Earth's surface, showing a mix of brown and tan landmasses and dark blue oceans. The perspective is from space, looking down at the planet's curvature. A dark blue vertical bar is on the left side. A semi-transparent dark blue shape in the upper right corner contains the chapter title.

CAPITULO 5

Recomendaciones

5. RECOMENDACIONES

- ❖ Se recomienda desde la labor académica brindar al estudiante de Ing. Ambiental y en general, a cualquier disciplina del conocimiento, el estudio y entendimientos exhaustivo de las herramientas SIG, debido al contexto de innovación, tecnología e interdisciplinariedad en el que estamos inmersos y del que está compuesto la herramienta.

- ❖ Con respecto a las labores técnicas-científicas se recomienda la construcción de conocimiento confiable para que este tenga como finalidad la apropiación científica para la potenciación de los territorios y, se invita a la integralidad del conocimiento, enriqueciendo las representaciones gráficas de los territorios a través de sus aspectos ambientales, biofísicos y sociales para así darle el máximo provecho a las herramientas SIG, aún muy novedosa para muchas disciplinas pero sin lugar a dudas, una herramienta en la que se deberá profundizar.

- ❖ Se recomienda a los entes públicos, principalmente al IDEAM, en virtud de las funciones asignadas en el artículo 13 del Decreto 1277 de 1994, donde se ordena a esta “producir información sobre la atmósfera, el tiempo y el clima, de tal forma que permitan conocer y hacer seguimiento al estado de la atmósfera, los fenómenos del tiempo, el clima, la variabilidad climática y al cambio climático con la resolución espacio-temporal suficiente para garantizar un adecuado grado de certidumbre en la toma de decisiones de política económica, social y ambiental en las escalas local, regional, nacional y global”, realizar seguimiento técnico a las estaciones meteorológicas así como a los datos arrojados por estas para así verificar la información arrojada y permitir que futuras investigaciones logren incidir con resultados veraces en la toma de decisiones territorial. Además, de la importancia de que las entidades del orden público cumplan su función de brindar el acceso a la información de manera oportuna.

BIBLIOGRAFÍA

- Aliaga, G. (2006). Juan Peña Llopis. Sistemas de Información Geográfica aplicados a la gestión del territorio. Revista de Geografía Norte Grande, (36), 97-101.
- Ferreiro, D. G., & Sendra, J. B. (2008). Generación de un mapa de viento en un SIG. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, (47).
- ArcGis Pro (s.f.) Cómo funciona Spline. pág. 01. Véase en <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/3d-analyst/how-spline-works.htm>
- Sistemas de Información Geográfica Ambiental, SIGMCALISPA (2013). Análisis espacial. Pag 4-10. Véase en https://sigmcalispa.files.wordpress.com/2013/01/10-5-anc3a1lisis-espacial_interpolacic3b3n_metodos_pt21.pdf
- ArcGIs (s.f.). Cómo funciona Spline con barreras pag.01. Véase en <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-spline-with-barriers-works.htm>
- ArcGIs (s.f.). Comparar metodos de interpolacion. pag.01. Véase en <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/comparing-interpolation-methods.htm>
- Universidad Politécnica de Valencia, (2015-2016). Modelización de dunas pág.15-16. Véase en <http://www.icv.gva.es/documents/163232390/163893198/Trabajo+de+Fin+de+Grado+premiado+en+2016+-+%27Modelizaci%C3%B3n+de+dunas%27/7c348ce3-bd51-4005-974b-91b611355ecd>
- Agrimensura (s.f.) Comparación de interpolaciones. pág. 02. Véase en <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Ht1Ea9Bh-DYJ:ftp://agrimensura.efn.uncor.edu/pub/trabajosfinales/Trabajo%2520Final%2520MARTINEZ%2520GARCIA/Disco%25201/09%2520-%2520Bibliografia/Interpolacion/Comparacion%2520de%2520Interpolaciones.docx+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=co>
- Enrico Quagliarini, A. G. (2019). Effect of temperature and relative humidity on algae biofouling on different fired brick surfaces. Construction and Building Materials, 396-405.

- MundoSig (2017) Breve #historia de los #SIG (Sistema de información Geográfica). Pág. 01. Véase en <http://mundogis.info/blog/2017/11/22/la-historia-de-los-sig-sistema-de-informacion-geografica/>
- Esri. (2018). ArcGis Deskopt. Recuperado el 6 de Diciembre de 2018, de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/3d-analyst/comparing-interpolation-methods.htm>
- Esri. (29 de Enero de 2019). Cómo funciona Kriging. Obtenido de ArcGIS Desktop: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/3d-analyst/how-kriging-works.htm>
- Esri. (29 de enero de 2019). Cómo funciona Vecino natural. Obtenido de ArcGIS Desktop.
- Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales – ICDE (2016) Plan estratégico para el ICS 2016-2020. Pág.8-35. Véase en http://www.icde.org.co/sites/default/files/PE_ICDE_2016-2020.pdf
- UPME, I. (2005). Atlas de Radiación solar de Colombia. *Santafé de Bogotá DC: Unidad de Planeación Minero Energética, Ministerio de Minas y Energía.*
- Corpocaldas (2013). DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE CALDAS PLAN DE ACCIÓN 2013 -2015. Recuperado de: http://www.corpocaldas.gov.co/publicaciones/1257/Diagnostico_del_Plan_de_Accion_2013-2015.pdf
- Aguas de Manizales (s.f). Fauna y Flora. Recuperado de: <https://www.aguasdemanizales.com.co/Ambiental/FloraFauna>
- Gómez, O. J. (2009). La formación socioeconómica de Caldas y sus características políticas. *VIRAJES*, 229. http://vip.ucaldas.edu.co/virajes/downloads/Virajes11_9.pdf
- de Navarra, G. (2011). Meteorología y climatología de Navarra. Recuperado de http://meteo.navarra.es/definiciones/radiacion_solar.cfm
- Gobernación de Caldas (2017) Diagnostico ambiental de Caldas. Territorio de oportunidades. Pag.01.