EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE COORDENADAS PROYECTADAS LOCALES DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.

JEISSON FERNANDO HERRERA GÓMEZ

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA
BOGOTÁ D.C.
2017

EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE COORDENADAS PROYECTADAS LOCALES DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.

JEISSON FERNANDO HERRERA GÓMEZ
CÓDIGO: 20141032300

TRABAJO DE GRADO
Presentado en modalidad de investigación para optar a título de Ingeniero Topográfico

DIRECTOR DEL PROYECTO:
Ing. Carlos Alfredo Rodríguez Rojas
Esp. Sistemas de Información Geográfica

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA
BOGOTÁ D.C.
2017

DEDICATORIA

Este proyecto agradece la colaboración al Ingeniero Carlos Rodríguez quien fue mi guía durante el proceso investigativo. Agradezco de igual manera a mi familia por su colaboración, compañía y apoyo durante el proceso de formación académica y por haber sido la motivación para culminar mis estudios y para la realización de este proyecto.

Por último se agradece a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas por el espacio y la oportunidad del acceso a la educación superior y de culminar mi carrera profesional.

NOTA DE ACEPTACIÓN

_____

_____

_____

_____

_____

FIRMA DEL DIRECTOR

_____

FIRMA DEL EVALUADOR

BOGOTÁ D.C. Día __ Mes ___Año 2017

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

"Las ideas emitidas por los autores son de exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente opiniones de la Universidad" (Artículo 117, Acuerdo 029 de 1998)

© Únicamente se puede usar el contenido de las publicaciones para propósitos de información. No se debe copiar, enviar, recortar, transmitir o redistribuir este material para propósitos comerciales sin la autorización de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Cuando se use el material de la Universidad se debe incluir la siguiente nota "Derechos reservados a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas" en cualquier copia en un lugar visible. Y el material no se debe notificar sin el permiso de la Universidad.

Publicado en el año 2017, en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Avenida Circunvalar - Venado de Oro Bogotá D, C
Colombia TEL: 3239300 Ext: 4023 - 4024, e-mail: ingtopografica@udistrital.edu.co

ABREVIATURAS

FAMARENA	Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales
IDECA	Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
MAGNA	Marco geocéntrico nacional de referencia
PTL	Plano Topográfico Local
SGC	Sistema Geológico Colombiano
SHP	Shapefile
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SIRGAS	Sistema de referencia geocéntrico para las américas
STL	Sistema Topográfico Local
TIN	Red Irregular de Triángulos -Triangulated Irregular
UD	Universidad Distrital

RESUMEN

La utilización de productos y servicios cartográficos como herramientas para ejecutar análisis métricos del terreno, está limitado debido a la deformación respecto al factor de escala aplicado y por otra parte a la deformación propia de la proyección utilizada para representar el terreno.

Dentro del contexto de la representación urbana a un nivel cartográfico, el desconocer el origen e influencia de estas distorsiones, puede desencadenar mediciones erróneas si los componentes como exactitud, precisión y ajuste no se tienen en cuenta a la hora de su realización.

La presente investigación busca definir qué tipo de deformaciones métricas en las coordenadas proyectadas locales correlacionadas a los parámetros propios del sistema de proyección utilizado, de igual manera se busca definir sí el presente sistema cumple con lo estipulado por el IGAC y de igual forma realizar la comparación respecto a la norma NBR 14166 que será de referencia para establecer la calidad de los resultados contemplando cada uno de los parámetros dispuestos por las normas correspondientes utilizando el método de modelaje 3D de rotación y traslación.

La investigación se desarrolló en 5 fases las cuales como primera parte se realizó la recopilación de información enseguida se ejecutó la organización jerárquica de datos luego entramos a desarrollar los análisis espaciales para luego realizar la verificación de resultados y finalmente generar planos temáticos cuyo objeto es mostrar los resultados obtenidos.

Lo realizado en el presente documento busca generar un propuesta de la utilización de herramientas que le permitan al investigador generar información con alta precisión y desarrollar metodologías que sean aplicadas a la ingeniería colombiana, así mismo el documento se presenta como conocimiento en los campos de la geomática y la geodesia en donde se busca evaluar el sistema de proyección actual de la ciudad de Bogotá D.C en búsqueda de la calidad de resultados obtenidos a través de la proyección actual, siendo la partida para evaluar lo creado a través de herramientas que permitan encontrar el fortalecimiento o las falencias de lo existente y crear el punto de partida para desarrollar la investigación.

PALABRAS CLAVES: Coordenadas proyectadas cartesianas locales, Rotación y traslación, NBR 14166, IGAC.

ABSTRACT

The use of cartographic products and services as tools to perform metric analysis of terrain is limited due to deformation concerning the applied scale factor as well as to the deformation corresponding to the projection used to represent the terrain.

Within the context of urban representation at a cartographic level, ignoring the origin and influence of these distortions can trigger erroneous measurements if components such as accuracy, precision and adjustment are not taken into account when making them.

The present investigation seeks to define which type of metric deformations correlated in the correlated local projected coordinates to the parameters of the projection system used, as well it seeks to define if the present system complies with what is stipulated by the IGAC furthermore it also aims to establish the comparison with norm NBR 14166 which will be the reference for establishing the quality of the results contemplating each one of the parameters arranged by the corresponding standards, using the 3D model of rotation and translation.

The research was carried out in 5 phases. As an initial task, the data collection was carried out. The hierarchical organization of data was then executed. We then began to develop the spatial analyzes and then carry out the verification of results and finally generate thematic plans whose purpose is to show the obtained results.

What is realized in this document seeks to generate a proposal of the use of tools that allow the researcher to generate information with high precision and develop methodologies that are applied to Colombian engineering, likewise the document is presented as knowledge in the fields of geomatics and the geodesy that seeks to evaluate the current projection system of the city of Bogotá DC in search of the quality of results obtained through the current projection, the goal being to evaluate that which has been created through tools that allow to find the strengths or the shortcomings of the existing material and create the starting point to develop this research.

KEY WORDS: Local Cartesian projected coordinates, Rotation and translation, NBR 14166, IGAC.

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

1. Introducción 15
2. Justificación 16
3. Objetivos 17

General 17

Específicos 17

4. Marco De Referencia 18

4.1. NBR 14166 (Red de Referencia Catastral Municipal – Procedimiento) 18
4.2. Sistema topográfico local 18
4.3. Gradícula o canevá 18
4.4. Datum 18
4.5. Factor de elevación 18
4.6. Sistemas de referencia 18
4.7. Sistema de proyección cartesiana 19
4.8. La proyección cartográfica oficial de Colombia 20
4.9. Conversión entre coordenadas elipsoidales [ϕ, λ, h] y planas cartesianas [N, E] 21

5. Metodología 22

5.1. Origen del sistema de proyección de la ciudad de Bogotá D.C 22
5.2. Parámetros de proyección de la ciudad de Bogotá D.C 23
5.3. Errores y cuantificación en el proyecto 24
5.4. Determinación del área de estudio y vértices geodésicos muéstrales 24
5.5. Extracción de información 25
5.6. Red de vértices geodésicos muéstrales 26
5.6.1. Extracción de vértices geodésicos muéstrales 26
5.6.2. Creación del TIN para Bogotá D.C 27
5.6.3. Obtención de elevación para los vértices geodésicos muéstrales 28
5.6.4. Vértices de control geodésicos del IGAC 29
5.6.4.1. Vértices de control SGC 31
5.7. Cuantificación de los vértices geodésicos de control y por localidad 32
5.8. Coberturas espaciales a partir del origen 33
5.9. Coberturas del rango de elevación para el PTL de Bogotá D.C 35
5.10. Orígenes cercanos a Bogotá D.C 37
5.11. Área de cobertura de Bogotá D.C. respecto a orígenes cercanos 38
5.12. Cobertura de planchas Escala 1:2000 de Bogotá D.C. 39

5.13. Disponibilidad de cartografía fuera del alcance de la Escala 1:2000 40
5.14. Transformación de coordenadas geodésicas a planas cartesianas 40
5.15. Parámetros de reglamentación de la Norma NBR 14166 41
5.16. Parámetros de órdenes de control y tolerancias de cierre lineal 42
5.17. Transformación del sistema geodésico al sistema PLT 42
5.17.1. Parámetros de entrada al software TRASGEOLOCAL V 2.0 43
5.17.2. Parámetros de salida al software TRASGEOLOCAL V 2.0 44
5.18. Revisión de Parámetros IGAC para la conversión de coordenadas 47
5.19. Determinación del factor de deformación de escala para cada PTL 48
6. Análisis De Resultados 49
6.1. Análisis de alturas geométricas (Elevación) 49
6.2. Análisis red de vértices geodésicos muéstrales 50
6.3. Análisis de área de cobertura con radio de 20 km 50
6.4. Análisis del área de cobertura con radio de 50 km 53
6.5. Análisis espacial cuantitativo 55
6.6. Análisis de coberturas a partir de la elevación 57
6.7. Análisis de orígenes cercanos a Bogotá D.C 58
6.7.1. Análisis estadístico de cobertura desde cada origen de Bogotá D.C. 63
6.7.2. Análisis de orígenes cercanos a Bogotá D.C. 67
6.7.2.1. Análisis estadístico. 69
6.8. Análisis de cobertura de planchas escala 1:2000 71
6.9. Análisis de posible origen proyectado para Bogotá D.C. 74
6.9.1. Análisis del área de cobertura espacial 74
6.10. Análisis de vértices geodésicos muéstrales 76
6.10.1. Análisis estadístico para la verificación del rango de elevación por franjas 81
6.11. Análisis de transformación de coordenadas geodésicas a planas cartesianas 83
6.12. Análisis de transformación del sistema geodésico al sistema cartesiano del PTL 85
6.13. Análisis de deformación lineal y en elevación 88
6.14. Análisis de parámetros IGAC para la conversión de coordenadas 91
6.15. Análisis del factor de deformación de escala para cada PTL 93
7. Comparación de Resultados 98
8. Conclusiones 100
9. Recomendaciones 101
10. Bibliografía 102
11. Anexos Digitales 103

INDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura I. Proyección cartesiana. 19
Figura II. Sistema de proyección cartográfica Gauss-Krüger 20
Figura III. Metodología del proyecto. 22
Figura IV. Coordenadas Gauss Krüger con Datum Bogotá D.C. 23
Figura V. Origen Magna Sirgas, ciudad Bogotá D.C. 23
Figura VI. Descarga de servicios y productos IDECA. 25
Figura VII. Curvas de nivel de la ciudad de Bogotá D.C. 25
Figura VIII. Perimetro y Areas de Expansión urbana, Area urbana y Area rural. 26
Figura IX. Vértices en coordenadas geodesicas. 27
Figura X. TIN de Bogotá D.C. 28
Figura XI. Generación de Z (Elevación) 29
Figura XII. Vértices geodésicos IGAC 30
Figura XIII. Vértices geodésicos SGC 32
Figura XIV. Localidades de Bogotá D.C. 33
Figura XV. Buffer Radio de cobertura de 20 km 34
Figura XVI. Cobertura Espacial con Radio de 20 Km 34
Figura XVII. Cobertura Espacial con Radio de 50 Km 35
Figura XVIII. Selección por atributos para el rango de elevación entre 2425-2675 msnm 36
Figura XIX. Elevaciones entre 2425 y 2675 msnm 36
Figura XX. Área de cobertura por rango de elevación entre 2425 y 2675 msnm 37
Figura XXI. Orígenes cercanos a Bogotá D.C. 38
Figura XXII. Área de cubrimiento de los orígenes cercanos a Bogotá D.C. 38
Figura XXIII. Geoportal IGAC-Consulta de planchas Bogotá Escala 1:2000 39
Figura XXIV. Cobertura de planchas Bogotá Escala 1:2000 39
Figura XXV. Planchas existentes fuera del área cubierta por las planchas Escala 1:2000 40
Figura XXVI. Calculo archivo de vértices de coordenadas geodésicas a cartesianas 41
Figura XXVII. Plataforma TRASGEOLOCAL V 2.0 43
Figura XXVIII. Parámetros de entrada y salida en el software TRASGEOLOCAL V 2.0 45
Figura XXIX. Transformación de coordenadas geodésicas a PTL 45
Figura XXX. Lista de coordenadas de entrada TRASGEOLOCAL V 2.0 46
Figura XXXI. Lista de vértices transformados software TRASGEOLOCAL V 2.0 47
Figura XXXII. Parámetros del sistema de proyección Datum Magna Bogotá 48
Figura XXXIII. Histograma de Elevación 49
Figura XXXIV. Histograma de vértices por influencia de altura 50
Figura XXXV. Intercepción Suelo VS Radio de cobertura de 20 km 51
Figura XXXVI. Grafica de Áreas de cubrimiento espacial de de radio de 20 km 51
Figura XXXVII. Área de cobertura de radio de 20 km 52
Figura XXXVIII. Intercepción Suelo VS Radio de cobertura de 50 km 53
Figura XXXIX. Grafica de áreas de cubrimiento espacial de 50 km 54
Figura XL. Cobertura 50 km a partir del origen 54
Figura XLI. Análisis Espacial por zonificación de localidades 55
Figura XLII. Grafica de vértices geodesicos muéstrales por cada localidad 56
Figura XLIII. Área de cobertura entre rango de elevación clasificada según el tipo de suelo 57

Figura XLIV. Área de cobertura entre rango de elevación y radio de cobertura de 20 km 57
Figura XLV. Orígenes cercanos y área de cobertura sobre la ciudad de Bogotá D.C. 59
Figura XLVI. Coberturas por porcentajes y clasificación desde los orígenes cercanos 61
Figura XLVII. Grafica estadistica de los orígenes cercanos criterio de radio de 20 km 65
Figura XLVIII. Grafica estadística de los orígenes cercanos (radio de 20 km y elevacion) 66
Figura XLIX. Desviación estándar de los vértices geodésicos muéstrales de Bogotá D.C**.** 68
Figura L. Grafica estadística de vértices muéstrales de cada origen (Radio de 20 km) 70
Figura LI. Grafica estadística de vertices muestrales (Radio de 20 km y elevación) 71
Figura LII. Área de cobertura a partir del origen para planchas escala 1:2000 71
Figura LIII. Área de cobertura plancha escala 1:2000 (Radio de 20 km y elevación) 72
Figura LIV. Área de cobertura de las manzanas dentro del perímetro de influencia 73
Figura LV. Centroide del área urbana y de expansión urbana 74
Figura LVI. Área de cobertura de las planchas escala 1:2000 75
Figura LVII. Comparación entre áreas de cobertura 76
Figura LVIII. Rangos de planos de proyección posibles para la ciudad de Bogotá D.C 76
Figura LIX. Grafica estadística de las franjas de elevaciones, Criterio de radio de 20 km 82
Figura LX. Plano coordenadas en sistema de proyección Magna Sirgas 83
Figura LXI. Plano 3D en coordenadas proyectadas Magna Sirgas 84
Figura LXII. Desviación estándar de los vértices geodésicos muéstrales de Bogotá D.C. 85
Figura LXIII. Plano de coordenadas en sistema PTL (TRANSGEOLOCAL V2.0) 86
Figura LXIV. Plano 3D de las coordenadas en PTL (TRANSGEOLOCAL V 2.0) 87
Figura LXV. Desviación estándar de los vértices geodésicos muéstrales de Bogotá D.C. 87
Figura LXVI. Plano de deformaciones lineales vs distancias horizontales del PTL 88
Figura LXVII. Plano de deformaciones a través de vectores**.** 89
Figura LXVIII. Plano de deformacion en elevación 90
Figura LXIX. Parámetros Sistema de referencia IDU 91
Figura LXX. Plano de clasificación por deformación espacial 93

INDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Constantes del Elipsoide GRS80 (Geodetic Reference System, 1980) 23
Tabla 2. Coordenadas del sistema 24
Tabla 3. Parámetros del shapefile Elevación del catálogo de objetos 28
Tabla 4. Puntos de control geodésico-IGAC 30
Tabla 5. Parámetros del shapefile punto _ control del catálogo de objetos 31
Tabla 6. Parámetros del shapefile punto _ control del catálogo de objetos 32
Tabla 7. Precisión cartográfica con relación a su escala 42
Tabla 8. Formato ejemplo de entrada al software Trasgeolocal latitud, longitud y altura 44
Tabla 9. Sistema de Coordenadas Geográficas MAGNA-SIRGAS 47
Tabla 10. Propiedades TIN 49
Tabla 11. Área de cobertura especial de radio de 20 km VS Suelo área total 51
Tabla 12. Relaciones de áreas de ocupación con un radio de 20km 52
Tabla 13. Área de cobertura especial 50 km VS Suelo área total 53
Tabla 14. Relaciones de ocupación con radio de 50 km 55
Tabla 15. Análisis espacial por localidad 56
Tabla 16. Áreas de cobertura de 20 km con rango de elevación entre 2425 y 2675 msnm 58
Tabla 17. Orígenes cercanos para Bogotá D.C. 58
Tabla 18. Porcentajes parciales de ocupación sobre los orígenes cercanos 60
Tabla 19. Relaciones de cobertura (Radio de 20 km y elevación) 63
Tabla 20. Relación de porcentajes de ocupación 64
Tabla 21. Datos estadísticos respecto a los orígenes cercanos para la ciudad 64
Tabla 22. Relación de orígenes cercanos a Bogotá D.C. (Cantidad de vértices geodésicos) 67
Tabla 23. Relación de los vértices por cada origen cercano a la ciudad de Bogotá D.C. 69
Tabla 24. Datos estadísticos de la cantidad de vértices geodésicos muéstrales 69
Tabla 25. Áreas de relación cobertura de planchas escala 1:2000 para Bogotá D.C. 72
Tabla 26. Relaciones áreas de manzanas dentro del perímetro de influencia 73
Tabla 27. Coordenadas geodésicas del vértice geodésico como centroide. 74
Tabla 28. Áreas de cobertura (Radio de 20 km y elevación a partir del origen proyectado) 74
Tabla 29. Áreas de cobertura de las planchas escala 1:2000 respecto nuestro origen adoptado 75
Tabla 30. Áreas de cobertura por franjas por cada origen cercano a Bogotá D.C. 77
Tabla 31. Relación de la cobertura por cada una de las franjas 81
Tabla 32. Datos estadísticos del porcentaje de cobertura a partir de las franjas de elevación. 81
Tabla 33. Valores estadísticos de los vértices geodésicos muéstrales 84
Tabla 34. Datos de precisión de las coordenadas transformadas (TRANSGEOLOCAL V2.0) 85
Tabla 35. Valores estadísticos de los vértices geodésicos muéstrales 86
Tabla 36. Análisis estadístico de deformación lineal 89
Tabla 37. Conversión de coordenadas con datum modificado 91
Tabla 38. Diferenciales con datum magna Bogotá modificado 92
Tabla 39. Datos estadísticos de diferenciales en X y Y 92
Tabla 40. Disposición altimétrica de los Planos Topográficos Locales según tolerancia Kh 94
Tabla 41. Factor de deformación de escala según PTL Kp 95
Tabla 42. Factor de deformación de escala efectivo Ke 96
Tabla 43. Resultados de comparación de resultados 98

INDICE DE ECUACIONES

Pág.

Ecuación 1. Cálculos de Coordenadas elipsoidales a planas cartesianas 21
Ecuación 2. Relaciones arco con respecto a su longitud 26
Ecuación 3. Modelo de matriz de trasformación de coordenadas cartesiano tridimensional 43
Ecuación 4. Error absoluto 44
Ecuación 5. Radio medio 44
Ecuación 6. Factor de escala de representación 44
Ecuación 7. Factor de precisión planimetría 44
Ecuación 8. Factor de escala 48
Ecuación 9. (Kh) 94
Ecuación 10. ΔH (Kh) 94
Ecuación 11. Ke Efectivo 96

1. Introducción

La Topografía es la ciencia que se encarga de la descripción de la tierra a través del desarrollo de proyectos de ingeniería, es por esto, que con el trascurrir del tiempo, se ha hecho necesario la utilización de nuevas tecnologías, las cuales contribuyen a mejorar la calidad de los resultados.

Pero, con estas tecnologías se presentan nuevas precisiones requeridas, donde cabe hacer alusión a las variaciones presentes en los resultados, dado por el uso de tecnologías en el Sistema Global de Navegación por Satélite (sus siglas en inglés GNSS) y los diferentes procesos de información geográfica, que al ser combinados con Topografía clásica se presentan errores generados por los sistemas de proyección empleados.

Es por ello, que el presente proyecto, evalúa el sistema de coordenadas proyectadas de la ciudad de Bogotá D.C., a través de la implementación de la metodología dispuesta por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, determinando así las distorsiones presentes en el sistema proyectado, donde se evalúa si lo provisto mediante esta metodología es consecuente con los proyectos de ingeniería al momento de proyectar un sistema topográfico local; a su vez, se desarrolla una de las metodologías existentes para la trasformación de coordenadas geodésicas a coordenadas planas topográficas locales.

Para este caso, se lleva a cabo la reglamentación de los estándares de precisión bajo la norma NBR 14166:1998 (Norma Brasilera) y se utiliza la metodología de Modelaje 3D (Rotación y Traslación), propuesta por profesores de la Universidad Federal de Santa María, dirigidos por el profesor Gelson Lauro D'alforno y las formulas contenidas dentro de la misma norma Brasileña.

De este modo, el objeto de esta investigación es discutir, comparar y verificar la precisión que posee el sistema de coordenadas proyectadas locales de la ciudad de Bogotá D.C. bajo parámetros dispuestos para la transformación de coordenadas geodésicas y planas cartesianas locales, cuando se emplea la metodología del IGAC.

Para ello, se realiza un análisis comparativo entre dos metodologías, las cuales buscan contemplar los parámetros de precisión, exactitud y confianza de la información obtenida por el usuario, al igual que, mostrar el uso de los orígenes y la extensión de cobertura que contienen las propiedades claves al momento de realizar una proyección o un sistema de proyección, motivo por el cual, se da a conocer el grado real de lo existente y así mismo incitar a la utilización de herramientas que permitan día a día mejorar la calidad de la información entregada por el profesional.

2. Justificación

Este proyecto está dispuesto con la finalidad de evaluar el sistema de coordenadas proyectadas locales de la ciudad de Bogotá D.C y su respectivo origen, en el cual, se determina una correspondencia entre las mediciones proyectadas en un sistema de referencia y su relación con respecto a su origen.

De este modo, como problema de la ingeniería, surge la idea de comparar mediante la metodología IGAC, la metodología de rotación y traslación (Modelaje 3D), para poder identificar los posibles errores al momento de realizar una proyección cartográfica local, satisfaciendo las inconsistencias en los proyectos de carácter civil en la Ingeniería colombiana que requieren altas precisiones en su ejecución.

Es así, como se discute la metodología implementada por el IGAC, presentando las ventajas o limitaciones y con ello, dar a conocer los resultados y determina si es o no acorde con las especificaciones establecidas para la cartografía existente de la ciudad de Bogotá D.C.

3. Objetivos

General

Evaluar el sistema de coordenadas proyectadas locales de la ciudad de Bogotá D.C., para verificar el grado de cumplimiento respecto a los parámetros requeridos por el sistema adoptado.

Específicos

- ✓ Comparar el sistema de proyección para la ciudad de Bogotá D.C., aplicando la reglamentación de la norma brasilera NBR 14166:1998 utilizada en la metodología Modelaje 3D (Rotación y Traslación) propuesta en el presente proyecto con respecto al adoptado por el IGAC.
- ✓ Definir los parámetros y restricciones inherentes al sistema proyectado.
- ✓ Identificar las precisiones requeridas dentro del sistema modelado.
- ✓ Generar los modelos de deformación para la proyección cartográfica implementada.

4. Marco De Referencia

4.1. NBR 14166 (Red de Referencia Catastral Municipal – Procedimiento)

Establece los requisitos para la implementación de una Red de Referencia catastral establecido por esta norma que hace compatibles los procedimientos, con el fin de establecer la infraestructura de apoyo geodésico y topográfico que proporcione la normalización y sistematización de todos los levantamientos topográficos, ya sea por el método Aerofotogramétrico u otro que se puede crear, ejecutar en cualquier escala y para cualquier propósito en el nivel municipal, por actores públicos o privados, su alcance de inclusión en el mismo sistema, actualizándolo y complementando. (NBR 14166, 1998, p.01).

4.2. Sistema topográfico local

Sistema representación en planta, que otorga posiciones relativas de puntos de un levantamiento topográfico con origen en un punto de coordenadas geodésicas conocidas, donde todos los ángulos y las distancias están representados en verdadera magnitud en el plano tangente a la superficie de referencia (elipsoide de referencia) del Sistema Geodésico adoptado, el origen del sistema, supone que se encuentre en el área de cobertura del sistema y coincide en la superficie de referencia con el plano tangente sin errores resultantes de la abstracción de la curvatura de la Tierra, más allá de la extracción de los errores inherentes a operaciones topográficas para determinar los puntos del levantamiento. (NBR 14166, 1998, p.05).

4.3. Gradícula o canevá

Reticulado representado por líneas geográficas a base de paralelos y meridianos en la proyección de un mapa. *(INEGI, 2006 p.06)*

4.4. Datum

Un datum es un conjunto de valores que define la posición del esferoide con relación al centro de la tierra. El datum proporciona un marco de referencia para medir ubicaciones y define el origen y la orientación de las líneas de latitud y longitud. Algunos sistemas son globales y pretenden proporcionar una buena precisión media en todo el mundo. Un datum local alinea su esferoide para que se ajuste con precisión a la superficie de la tierra en una zona determinada. Por lo tanto, las mediciones del sistema de coordenadas no serán precisas si se utilizan con un área distinta del área para la que está diseñado. (IBM, 2016)

4.5. Factor de elevación

Factor aplicado a las coordenadas planas rectangulares de los puntos de apoyo geodésicos del sistema, que define la proyección en planta topográfica, libre de sus términos constantes, plantea este plan al nivel medio del terreno del área de cobertura del sistema caracterizando el sistema topográfico local, que será representado todos los puntos levantados topográficamente. (NBR 14166, 1998, p.07).

4.6. Sistemas de referencia

Un sistema de referencia es el conjunto de convenciones y conceptos teóricos adecuadamente modelados que permiten definir, en cualquier momento, la orientación, ubicación y escala de tres ejes coordenados [X, Y, Z]. Dado que un sistema de referencia es un modelo (una concepción, una

idea) éste es realizado (materializado) mediante puntos reales cuyas coordenadas son determinadas sobre el sistema de referencia dado, dicho conjunto de puntos se denomina marco de referencia (Reference Frame). Si el origen de coordenadas del sistema [X=0, Y=0, Z=0] coincide con el centro de masas terrestre, éste se define como Sistema Geocéntrico de Referencia o Sistema Coordenado Geocéntrico mientras que, si dicho origen está desplazado del geocentro, se conoce como Sistema Geodésico Local.

Convencionalmente, las posiciones [X, Y, Z] se expresan en términos de coordenadas curvilíneas latitud (ϕ) y longitud (λ), las cuales requieren de la introducción de un elipsoide de referencia. Para el efecto, el origen de coordenadas [X=0, Y=0, Z=0] con el centro geométrico del elipsoide, el eje Z coincide con el eje menor del elipsoide, el eje X con la intersección del plano ecuatorial y del meridiano de referencia del elipsoide y el eje Y forma un sistema coordenado de mano derecha. La orientación y ubicación del elipsoide asociado a un sistema coordenado [X, Y, Z] se conoce como Datum Geodésico; si aquel es geocéntrico se tendrá un Datum Geodésico Geocéntrico o Global, si es local se tendrá un Datum Geodésico Local.

Estos últimos se conocen también como Datum Horizontales ya que sus coordenadas (ϕ, λ) se definen independientemente de la altura (H). Mientras que la latitud (ϕ) y la longitud (λ) se refieren al elipsoide, la altura (H) se define sobre una superficie de referencia (el nivel medio del mar) que no tiene relación alguna con el elipsoide. Los datum geocéntricos, por el contrario, son tridimensionales, éstos permiten definir las tres coordenadas de un punto con respecto a la misma superficie de referencia (el elipsoide), en este caso la tercera coordenada se conoce como altura geodésica o elipsoidal (h). (IGAC, 2004, p.01).

4.7. Sistema de proyección cartesiana

Es una representación conforme del elipsoide sobre un plano paralelo, ubicado a una altura Ho, a uno tangente al elipsoide en un punto origen [ϕo, λo] (Ver Figura I).La proyección del meridiano que pasa por este punto representa el eje de la coordenada Norte. No obstante, los puntos sobre el elipsoide y los equivalentes proyectados sobre el plano no tienen una relación geométrica, ésta es puramente matemática.

La proyección cartesiana es utilizada para la elaboración de planos de ciudades (cartografía a escalas mayores que 1:5000), de allí, existen tantos orígenes de coordenadas cartesianas como ciudades o municipios. El plano de proyección se define sobre la altitud media de la comarca a representar. (IGAC, 2004, p.14-15).

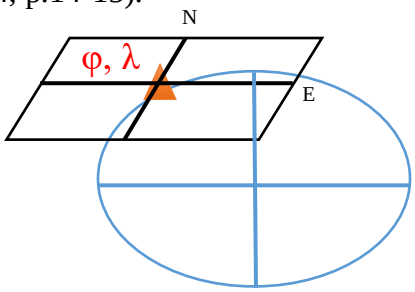


Figura I. Proyección cartesiana.
Fuente: IGAC-Tipos de coordenadas manejados en Colombia-Adaptación propia.

4.8. La proyección cartográfica oficial de Colombia

La proyección utilizada se encuentra en el sistema Gauss-Krüger. Éste, es una representación conforme del elipsoide sobre un plano, es decir, que el ángulo formado entre dos líneas sobre la superficie terrestre se mantiene al ser éstas proyectadas sobre el plano. Los meridianos y paralelos se intersectan perpendicularmente, pero no son líneas rectas, sino curvas complejas, excepto el meridiano central (de tangencia) y el paralelo de referencia (Ver Figura II). La escala de la representación permanece constante sobre el meridiano central, pero ésta varía al alejarse de aquel, introduciendo deformaciones en función de la longitud (λ). Por tal razón, el desarrollo de la proyección se controla mediante husos, que en el caso de Colombia se extienden 1,5° al lado y lado del meridiano central.

El sistema de proyección UTM (Universal Transverse Mercator) corresponde con el de Gauss-Krüger, sólo que utiliza un factor de escala equivalente a m = 0,9996 para el meridiano central y husos de 6°.

En Colombia, el origen principal de las coordenadas Gauss-Krüger se definió **en la pilastra sur del Observatorio Astronómico de Bogotá**, asignándose los valores N = 1 000 000 m y E = 1 000 000 m. Los orígenes complementarios se han establecido a 3° y 6° de longitud al este y oeste de dicho punto. Este sistema se utiliza para la elaboración de cartografía a escalas menores que 1:1 500 000, donde se proyecta la totalidad del territorio nacional. También se utiliza para cartografía a escalas entre 1:10 000 y 1:500 000 de las comarcas comprendidas en la zona de 3° correspondiente. (IGAC, 2004, p.10-11).

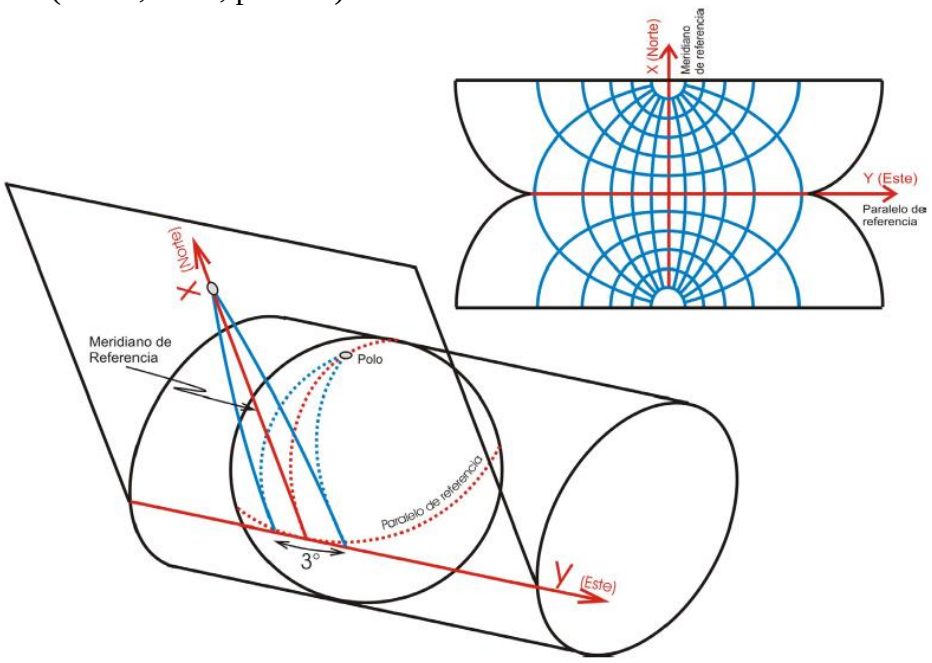


Figura II. Sistema de proyección cartográfica Gauss-Krüger
Fuente: IGAC-Tipos de coordenadas manejados en Colombia.

4.9. Conversión entre coordenadas elipsoidales [ϕ, λ, h] y planas cartesianas [N, E]

La conversión de coordenadas planas cartesianas [N, E] a geodésicas [ϕ, λ]. (Ver Ecuación 3) (IGAC, 2004, p.16).

Ecuación 1. Cálculos de Coordenadas elipsoidales a planas cartesianas

$$\varphi = \varphi_o + \Delta\varphi \qquad \lambda = \lambda_o + \Delta\lambda$$

$$\Delta\varphi_{rad} = \frac{\Delta N}{\left[1 + \frac{Pp}{a(1-e^2)}\right] M_{\varphi_o}} - \left[\frac{\tan\varphi_o}{2\, M_{\varphi_o}\, N_{\varphi_o}} \times \left(\frac{\Delta E}{1 + \frac{Pp}{a}}\right)^2\right]$$

$$\Delta\lambda_{rad} = \frac{\Delta Este}{N_\varphi \cos\varphi \left(1 + \frac{Pp}{a}\right)}$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2\varphi}} \quad ; \qquad M = \frac{a\,(1-e^2)}{(1 - e^2 \sin^2\varphi)^{3/2}}$$

Siendo:
N, E: coordenadas cartesianas planas del punto de cálculo
No, Eo: origen del sistema de coordenadas cartesianas
ΔN = N – No
ΔE = E – Eo
ϕ, λ: coordenadas geográficas del punto de cálculo
ϕo, λo: coordenadas geográficas del origen del sistema de coordenadas cartesianas
Δϕ = ϕ – ϕo
Δλ = λ – λo
ϕm = (ϕo + ϕ) / 2
Pp: Altura del plano de proyección
a: semieje mayor del elipsoide de referencia
e2: primera excentricidad del elipsoide de referencia

5. Metodología

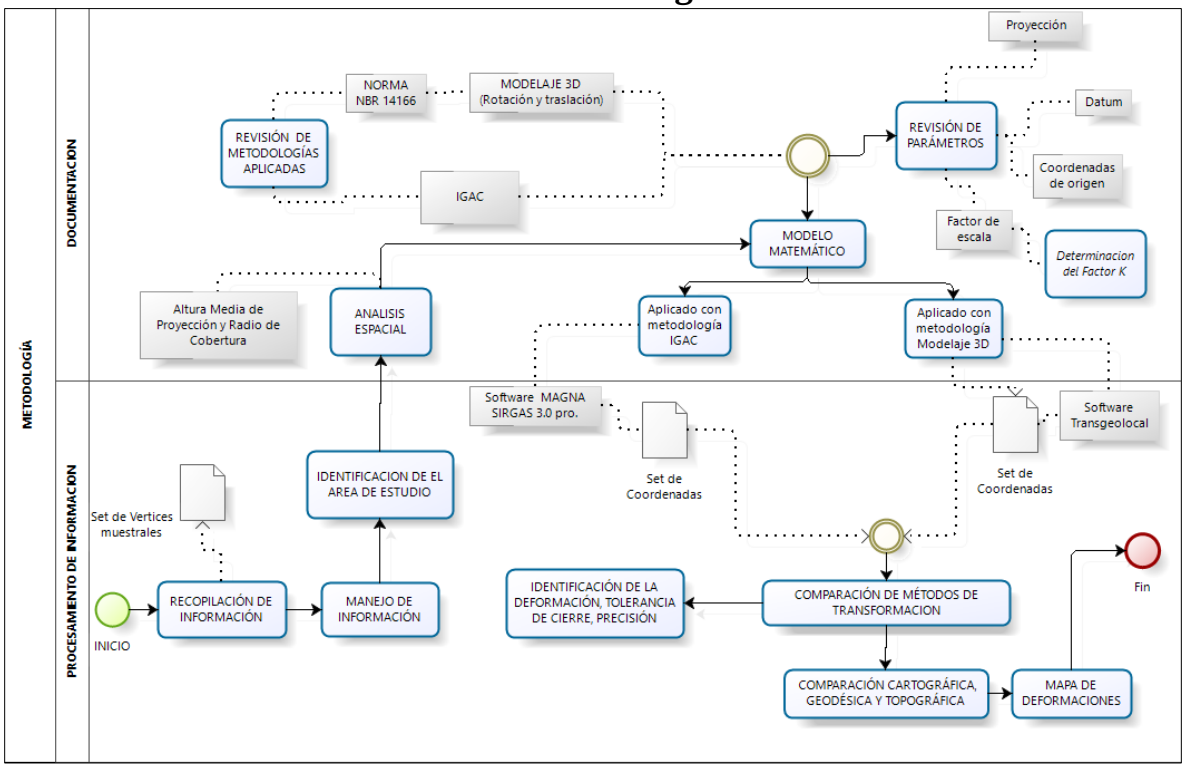


Figura III. Metodología del proyecto.
Fuente: Propia. (2017). Bogotá D.C.

5.1. Origen del sistema de proyección de la ciudad de Bogotá D.C

Teniendo en cuenta el objetivo de este proyecto, se abrió la discusión del porqué del origen del sistema de proyección para la ciudad de Bogotá D.C., se encuentra localizado actualmente en esta ubicación espacial y de los parámetros a tener en cuenta al momento de realizar proyecciones dentro del sistema ya dispuesto; de tal forma, se contextualizó mediante una investigación demostrativa, por lo cual, como primera instancia se estableció un origen, donde posiblemente fue determinado a través de una gradícula y su origen en su momento como centroide de una cobertura espacial, en el cual se presentó la intersección del paralelo de referencia 4º41' Norte con el meridiano 74°09' al Oeste de Greenwich.

En los años 70` (aproximadamente), dicho sistema, encontraba la posibilidad de ser factible porque funcionaba con estas características; dichas características ayudaron a obtener las coordenadas Gauss Krüger (Ver Figura IV), pero, el IGAC decide quitar o restar 900.000 metros en cada una de sus correspondientes falsas coordenadas, obteniendo así coordenadas planas que serían manejadas dentro del rango de 100.000,000 cien mil, las cuales, son coordenadas planas con un falso Norte/Este que se estipulo para este sistema, pero las coordenadas no tienen un vértice materializado, ya que este es un vértice de referencia que espacialmente se encuentra ubicado.

Cabe resaltar que Bogotá D.C. de su época tenía una elevación promedio de 2550 msnm entre su cota máxima y mínima, lo cual era funcional al año en el que fue proyectado el sistema.

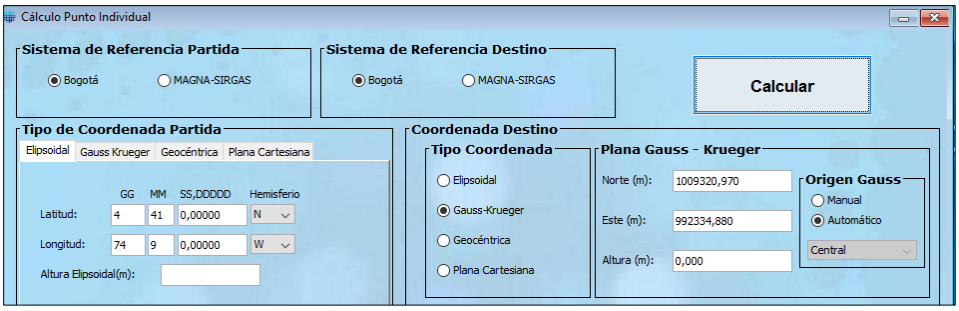


Figura IV. Coordenadas Gauss Krüger con Datum Bogotá D.C.
Fuente: Propia (2017) - Software Magna Pro 3.0 (Free) - IGAC

5.2. Parámetros de proyección de la ciudad de Bogotá D.C

Considerando que se realizó la evaluación del sistema de coordenadas proyectadas para la ciudad de Bogotá D.C., se estableció los parámetros de proyección del sistema, por lo cual, se tomaron los siguientes parámetros en el Datum. (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Constantes del Elipsoide GRS80 (Geodetic Reference System, 1980)

Constante	Relación matemática	Valor
Semieje mayor (a)	Constante definida	a = 6 378 137,000 00 m
Constante gravitacional geocéntrica (GM)	Constante definida	$GM = 3\ 896\ 005 \cdot 10^8\ m^3\ s^{-2}$
Factor de aplanamiento dinámico (J_2)	Constante definida	$J_2 = 108\ 263 \cdot 10^{-8}$
Velocidad angular de rotación (ω)	Constante definida	$\omega = 7\ 292\ 115 \cdot 10^{11}\ rad\ s^{-1}$
Primera excentricidad (e^2)	Cálculo iterativo a partir de a, GM, J_2, ω	$e^2 = 6{,}694\ 380\ 022\ 90 \cdot 10^{-3}$
Segunda excentricidad (e'^2)	$e'^2 = \frac{e^2}{1-e^2}$	$e'^2 = 6{,}739\ 496\ 775\ 48 \cdot 10^{-3}$
Semieje menor (b)	$b = a\sqrt{1-e^2}$	b = 6 356 752,314 14 m
Aplanamiento reciproco ($1/f$)	$f = \frac{a-b}{a}$	$1/f$ = 298, 257 222 101

Fuente: IGAC-Tipos de coordenadas manejados en Colombia.

Igualmente, dentro de los parámetros se tuvo en cuenta el sistema de coordenadas geodésicas de la ciudad de Bogotá en MAGNA-SIRGAS (Ver Figura V).

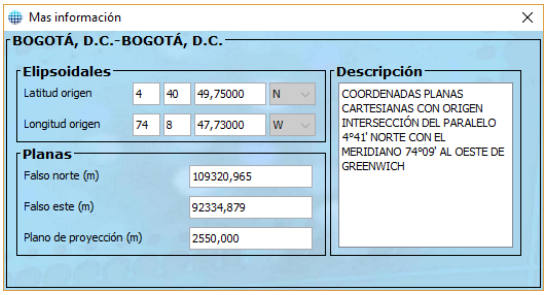


Figura V. Origen Magna Sirgas, ciudad Bogotá D.C.
Fuente: Propia (2017) - Software Magna Pro 3.0 (Free) – IGAC

Evaluando los parámetros anteriormente dichos, se estableció el sistema de coordenadas geodésicas en el Software ArcMap-ArcGis 10.3. (Ver Tabla 2)

Tabla 2. Coordenadas del sistema

GCS_WGS_1984 **WKID: 4326 Authority: EPSG**
Geographic Coordinate System: **GCS_MAGNA** **Angular Unit:** Degree (0.0174532925199433) **Prime Meridian:** Greenwich (0.0) **Datum:** D_MAGNA Spheroid: GRS_1980 Semimajor Axis: 6378137.0 Semiminor Axis: 6356752.314140356 Inverse Flattening: 298.257222101

Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. - Software ArcMap-ArcGis 10.3 – IDECA

5.3. Errores y cuantificación en el proyecto

La presente investigación busca evaluar y cuantificar los errores presentes en la proyección cartográfica actual y registrar mediante el uso de análisis espaciales las posibles errores sobre lo que propone la metodología del IGAC y así mismo a través del uso de la metodología NBR14166 identificar las tolerancias permitidas. Es por ello, que la implementación cartográfica permite la representación de los elementos facilitando con esto su medición y análisis. Sin embargo, todo proceso de medición involucra una serie de errores relativos al método, de igual manera también se presentan limitaciones propias del ser humano que deben ser cuantificadas y minimizadas para obtener así magnitudes probables o que se acerquen a la realidad.

En este ámbito, la topografía permite evaluar, identificar y cuantificar los errores que se presentan, es por ello, que se ha de estudiar los productos cartográficos y datos espaciales en general y así evaluar la exactitud que entrega un dato. Si bien es cierto, en la teoría de errores no se producirá un resultado final donde una medición sea presente igual a la realidad, pero si permitirá conocer la magnitud del error probable asociado a un fenómeno o valor y con ello mejorar finalmente la calidad de las representaciones cartográficas.

5.4. Determinación del área de estudio y vértices geodésicos muéstrales

Para empezar, como criterio, se seleccionó el área de estudio a trabajar y la disponibilidad de datos geoespaciales existentes, con el fin de mostrar de manera gráfica los diferentes aspectos del estudio investigativo, a su vez se definió una red de vértices geodésicos muéstrales con el objeto de determinar para cada uno de ellos los posibles errores métricos, que fueron analizados por medio de la metodología del IGAC y Modelaje 3D demostrando su correlación al datum de referencia y la superficie topográfica analizada.

Por otra parte, en los vértices muéstrales se usaron coordenadas geodésicas mediante una grilla dispuesta, de manera que se obtiene de forma sencilla patrones de comparación; dicha red de puntos muéstrales, corresponden a vértices geodésicos teóricos que no se encuentran sometidos a la influencia de los errores en su determinación como la ubicación.

Para lo cual, dicha distancia que los separa se definió de tal manera que cubriera la ciudad de Bogotá D.C. en su totalidad, con una densidad tal que no constituya un impedimento técnico para el cálculo de magnitudes entre ellos.

5.5. Extracción de información

La información contenida en el proyecto, busco fuentes de información externas, para ello, se utilizó como base de datos el IDECA, fuente de datos geoespaciales de la ciudad de Bogotá D.C. con fecha de actualización del 2014 en el presente, que se encuentra sometida bajo la circular de aprobación Nº 012, aprobada el 6 de octubre del 2015, por lo cual, se descargaron los datos de la propia página en formato .Shp, disponible para los usuarios que deseen descargar dicha información, (Ver Figura VI).



Figura VI. Descarga de servicios y productos IDECA.
Fuente: IDECA – Recuperado de Página web: https://www.ideca.gov.co/es/servicios/mapa-de-referencia/tabla-mapa-referencia?tid_1=All&title=&submit-b=Filtrar

De esta forma, definiendo ya la información geoespacial, se procedió a disponer de formatos extensión .shp para la visualización de la misma; cabe aclarar que las áreas y perímetros mostrados en el presente proyecto están en kilómetros cuadrados. (Ver Figuras VII-VIII)

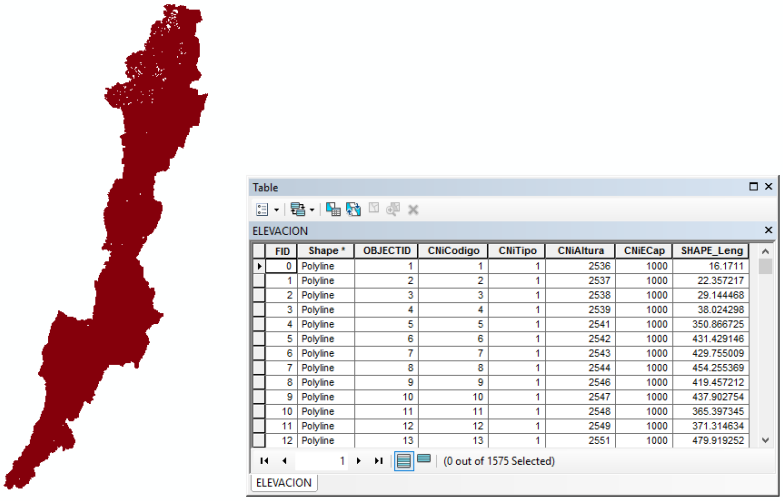


Figura VII. Curvas de nivel de la ciudad de Bogotá D.C.
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. - Software ArcMap-ArcGis 10.3 - IDECA

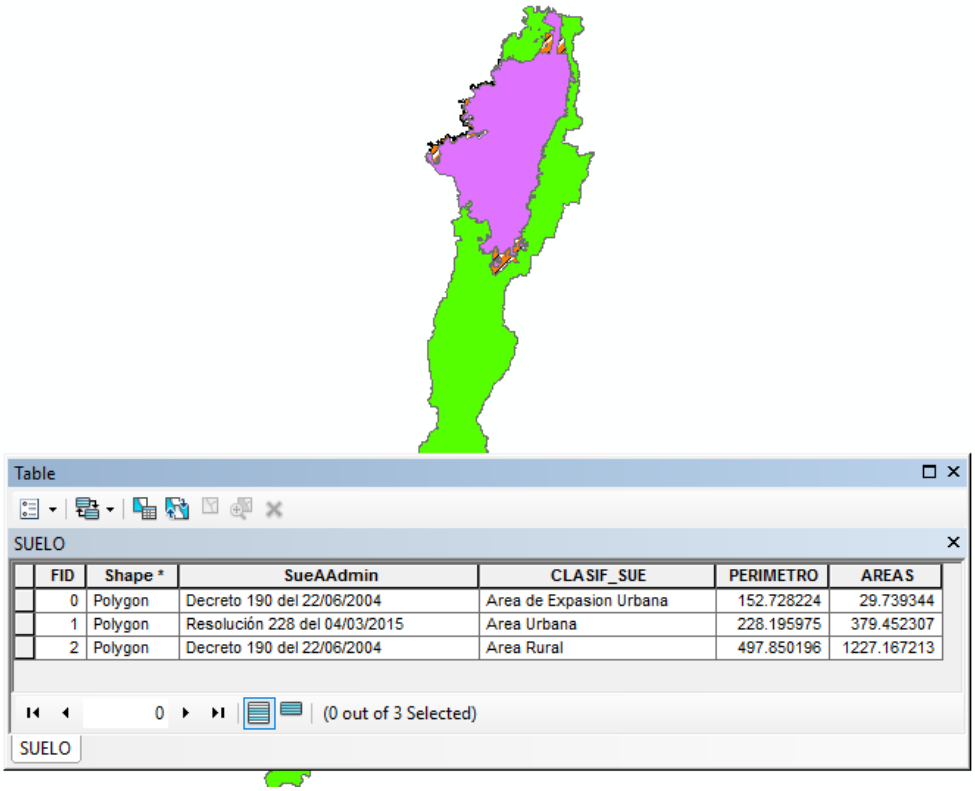


Figura VIII. Perimetro y Areas de Expansión urbana, Area urbana y Area rural.
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. - Software ArcMap-ArcGis 10.3 - IDECA

5.6. Red de vértices geodésicos muéstrales

Una forma de estudiar los posibles errores en el área de estudio es crear una red de vértices geodésicos muéstrales en formato .shp, con el objeto de medir en cada vértices los errores métricos, para ello, se realizó un distanciamiento en cuadricula que permitiera determinar un espaciamiento puntual.

Para la determinación del espaciamiento entre ellos, se tomó como referencia un espaciamiento entre vértices de 1 Minuto de arco a partir del origen manejada en grados minutos y segundos, donde su equivalencia en kilómetros esta derivada de las siguientes formulas. (Ver Ecuación 2)

Ecuación 2. Relaciones arco con respecto a su longitud

$$\textbf{Longitud del Ecuador} = 6378.137\text{Km} * (2 * \pi) = 40075.01669\ km$$
$$\textbf{1 Grado de Arco} = 40075.01669\text{km}/360 = 111.3194908\ \text{km}$$
$$\textbf{1 Minuto de Arco} = 111.3194908\text{km}/60 = 1.855324847\ \text{km}$$

5.6.1. Extracción de vértices geodésicos muéstrales

En el desarrollo de esta actividad se procedió a la extracción de los vértices en coordenadas geodésicas (Latitud, Longitud), donde se realizó como delimitación el límite de Bogotá D.C. en el software ArcMap-ArcGis 10.3 en un .Shp con geometría de tipo puntos nombrado "*Vértices Geodésicos Muéstrales"*. (Ver Figura IX); cubierto por 477 vértices en el área total de la ciudad de Bogotá D.C.

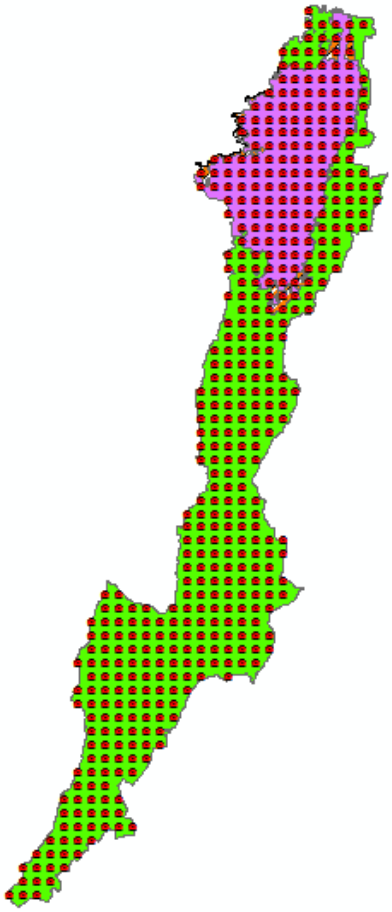


Figura IX. Vértices en coordenadas geodesicas.
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

5.6.2. Creación del TIN para Bogotá D.C

El TIN del proyecto fue generado a partir del shapefile de Elevación del IDECA y que para nuestro ejercicio investigativo lo nombraremos TIN_Bogota DC (Ver Figura X). Se utilizó como herramienta el software ArcMap-ArcGis 10.3→ ArcToolbox → Data Management →TIN. Como se mostrara en "Planos Temáticos y Modelos Digitales De Elevación" (Ver Anexo 1)

Anotación.

- ✓ Los TIN utilizados para el modelado superficial deben construirse utilizando sistemas de coordenadas proyectados. No se recomiendan los sistemas de coordenadas geográficas porque la *triangulación de Delaunay*[1] no puede garantizarse cuando las coordenadas XY se expresan en unidades angulares y los cálculos basados en la distancia, como la pendiente, el volumen y la línea de visión, pueden producir resultados engañosos o incorrectos . (ArcGis 10.1 Help-Create TIN (3D Analyst))

[1] Modelo matemático utilizado en el área de la geometría computacional, tal que un punto P está dentro de la circunferencia circunscrita de cualquier triángulo, buscando maximizar el ángulo mínimo de todos los ángulos de los triángulos en la triangulación; tendiendo a evitar los triángulos de la astilla. (Peterson, 1994)

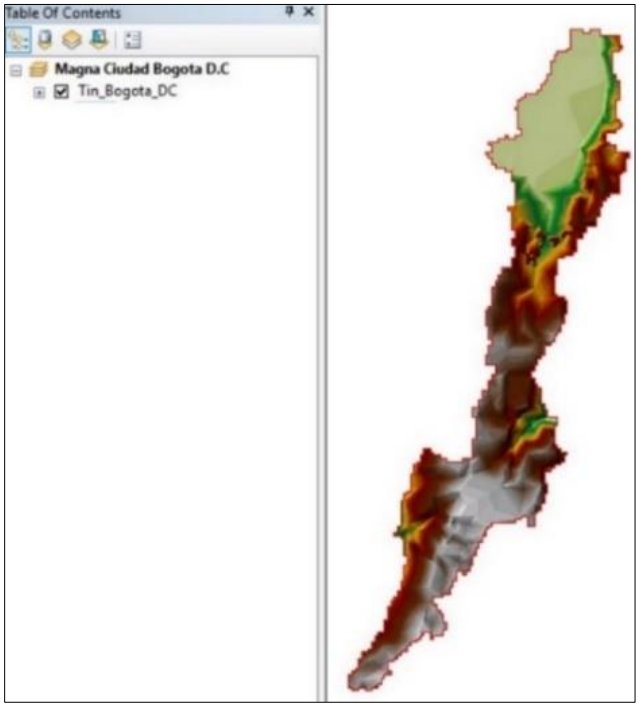


Figura X. TIN de Bogotá D.C.
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

5.6.3. Obtención de elevación para los vértices geodésicos muéstrales

El estudio tuvo en cuenta, la elevación y para esto se dispuso a realizar la extracción de las Z→ (Elevaciones geométricas) del archivo contenido por la información geoespacial del IDECA; donde el shapefile Elevaciones contiene características como se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Parámetros del shapefile Elevación del catálogo de objetos

Nombre	CNiv	**Código**	050101	
Definición	Línea imaginaria que une puntos de igual altitud con respecto al nivel de referencia oficial definido por el IGAC. Cubre el Distrito Capital.[39]			
Alias	Curva de Nivel			
Subtipo				
Responsable	**Nombre de la entidad**	Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital	**Ciudad**	Bogotá D.C.
	Cargo	Gerente de Información Catastral	**Departamento**	Bogotá D.C.
	Tipo de Responsable	Creador	**País**	Colombia
	Dirección	Avenida Carrera 30 No. 25-90 Torre A Piso 12	**Teléfono**	+ 57 (1) 2347600

Nombre	CNiv		**Código**	050101			
CNiCodigo	Identificador único de la curva	Código único utilizado para la identificación de la curva de nivel.	05010101	Entero	N/A	
CNiTipo	Tipo de curva	Clasificación de las curvas de nivel de acuerdo a sus características.	05010102	Entero	N/A	CNiTipo
CNiAltura	Altura de la curva	Valor de la curva sobre la altura del nivel del mar. La cual para el Distrito Capital se encuentra entre 2500 y 3500 mts. SNMM	05010103	Entero	Metros	
CNiECaptur	Escala de Captura	Relación de proporcionalidad para la cual se realizó la captura de la información del objeto.	05010104	Entero	N/A	

Dominios

Atributo	Etiqueta	Código	Definición
CNiTipo	Intermedia	1	
	Intermedia Aproximada	2	
	Índice	3	
	Índice Aproximada	4	

Fuente: IDECA. (2006). Bogotá D.C. – Catálogo de Objetos Geográficos del Mapa de Referencia del Distrito Capital.

Dichas elevaciones se obtuvieron del modelo de elevación (TIN) que previamente fue obtenido, de donde se generaron las alturas geométricas de los vértices geodésicos dispuestos para el estudio, para lo cual se implementó la herramienta ArcToolbox → Functional Surface →Add Surface information, con lo cual se obtuvieron las Elevaciones respectivas de cada vértice geodésico muestral respecto al TIN previamente generado. (Ver Figura XI)

Anotaciones:

- ✓ El método utilizado como geometría fue polilinea que utiliza la distancia 3D de la línea a lo largo de la superficie. Manejando el mínimo, máximo y media de la elevación y pendiente obtenidos de la trayectoria de la línea en la superficie.
- ✓ Los valores de pendiente se miden en unidades de porcentaje (grado) y, para las características de línea, se calculan en cada segmento a lo largo de la línea.
- ✓ La pendiente mínima se obtuvo del segmento cuyo valor es más cercano a 0, o grado horizontal.
- ✓ La pendiente máxima se obtuvo del segmento con el mayor valor calculado.
- ✓ La pendiente media se obtuvo pesando cada pendiente por su longitud 3D, luego determinando el promedio. Esto resulta en segmentos más largos que tienen mayor influencia en el valor resultante sobre segmentos más cortos. (ArcGis 10.1 Help/Add Surface Information (3D Analyst))

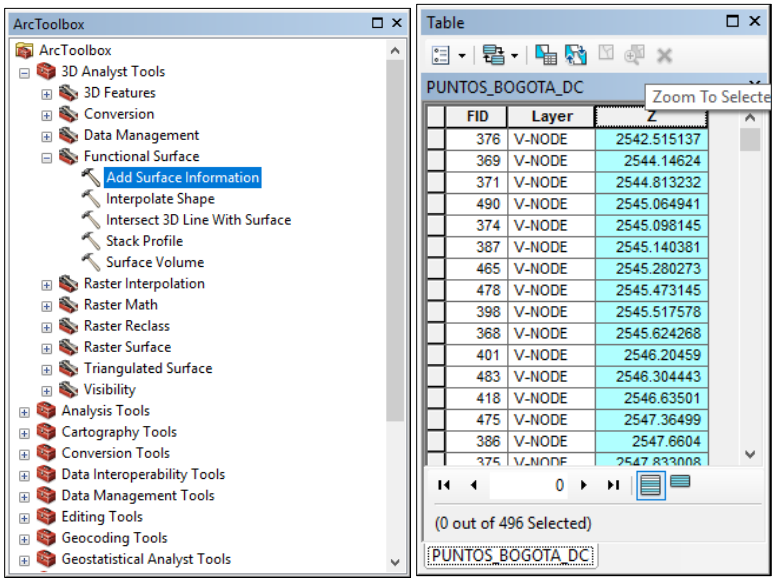


Figura XI. Generación de Z (Elevación)
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

5.6.4. Vértices de control geodésicos del IGAC

Los vértices de control son de carácter geodésicos, los cuales fueron tomados como referencia espacial, otorgados por el IGAC mediante un Pdf, que contienen las alturas elipsoidales y geométricas entre otros tipos de información. (Ver Tabla 4)

Tabla 4. Puntos de control geodésico-IGAC

SUBDIRECION DE GEOGRAFIA Y CARTOGRAFIA
GIT GEODESIA

IGAC

INFORMACIÓN COORDENADA DE PUNTOS
GEODÉSICOS CIUDAD DE BOGOTÁ

ID	LLAVE_PRIMARIA	PUNTO	CODIGO_DANE	MUNICIPIO	DEPARTAMENTO	TIPO_PUNTO	SUBTIPO_PUNTO	AÑOM	LATITUD	LONGITUD	ALTURA_ELIPSOIDAL	ORDEN_EL	ALTURA_NIV	TIPO_ALTURA	METODO_DE_DETERMINACION	CIMOLACION	X	Y	Z	VE	VY	VE
1	7341	(EA)-MACARENA-CD-551-1	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	N/A	2001	4,014970	-74,063879	2726,574000	SI	2702,940000	Geometrica	Geodesia Geometrica	26,650000	1745429,467670	-4115846,360453	509979,838800	0,000700	0,001300	0,013100
2	7361	11-BGT	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	N/A	2007	4,581037	-74,157259	2538,016450	SI	2562,491900	Geometrica	Geodesia Geometrica	25,990000	1736398,589570	-4118869,714964	506221,541729	0,000700	0,001300	0,013100
3	7362	10-BGT-1	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	N/A	2007	4,583003	-74,164517	2434,318590	SI	2459,340400	Geometrica	Geodesia Geometrica	25,930000	1735624,429667	-4119114,137958	505828,383407	0,000700	0,001300	0,013100
4	7363	10-BGT-2	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	N/A	2007	4,578971	-74,169882	2498,909690	SI	2675,428300	Geometrica	Geodesia Geometrica	25,970000	1735084,219013	-4119377,810495	506005,879013	0,000700	0,001300	0,013100
5	7364	10-BGT-3	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	N/A	2007	4,576063	-74,169703	2775,439290	SI	2752,208200	Geometrica	Geodesia Geometrica	26,010000	1735124,512399	-4119472,632614	505680,324301	0,000700	0,001300	0,013100
6	10057	10-CI-1	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	NIVELACION	1985	0,000000	0,000000	0,000000	NA	2563,351300	Nivelada GPS	Geodesia Geometrica	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
7	10069	10-CM-15	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	NIVELACION	1995	0,000000	0,000000	0,000000	NA	2689,255470	Nivelada GPS	Geodesia Geometrica	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
8	10070	10-CM-16	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	NIVELACION	1986	0,000000	0,000000	0,000000	NA	3078,164400	Nivelada GPS	Geodesia Geometrica	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
9	10071	10-CM-17	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	NIVELACION	1986	0,000000	0,000000	0,000000	NA	3012,252200	Nivelada GPS	Geodesia Geometrica	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
10	10091	10-E-1	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	NIVELACION	1986	0,000000	0,000000	0,000000	NA	2828,748100	Nivelada GPS	Geodesia Geometrica	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
11	7367	11001005	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	N/A	2000	4,650437	-74,116193	2560,365640	SI	2546,119900	Geometrica	Geodesia Geometrica	25,820000	1740604,153429	-4117512,297718	510871,857016	0,000700	0,001300	0,013100
12	42150	11001009	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	N/A	2013	4,537388	-74,075826	2635,548000	SI	2607,364000	Geocol	A Partir de Datos GPS	26,590000	1745064,152800	-4116306,011700	508025,377000	0,000700	0,001300	0,013100
13	7365	11-BGT	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	N/A	2007	4,539305	-74,162410	2560,766300	SI	2557,373250	Geometrica	Geodesia Geometrica	25,790000	1735800,967510	-4116865,050162	508236,194433	0,000700	0,001300	0,013100
14	10226	11-CM-15	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	NIVELACION	1986	0,000000	0,000000	0,000000	NA	2726,707500	Nivelada GPS	Geodesia Geometrica	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
15	10227	11-CM-16	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	NIVELACION	1986	0,000000	0,000000	0,000000	NA	3122,949900	Nivelada GPS	Geodesia Geometrica	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
16	7366	12-BGT	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	N/A	2007	4,609733	-74,161366	2534,155970	SI	2551,210000	Geometrica	Geodesia Geometrica	25,730000	1735685,476888	-4110736,551099	509384,053326	0,000700	0,001300	0,013100
17	10283	12-CM-15	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	NIVELACION	1999	0,000000	0,000000	0,000000	NA	2673,805400	Nivelada GPS	Geodesia Geometrica	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
18	10284	11-CM-16	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	NIVELACION	1986	0,000000	0,000000	0,000000	NA	3154,341200	Nivelada GPS	Geodesia Geometrica	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
19	3	1345	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	N/A	1997	4,775579	-74,030988	2579,364000	SI	2557,354300	Geometrica	Geodesia Geometrica	26,030000	1740392, 562035	-4115354,532272	527671,085228	0,003000	0,005400	0,012900
20	7367	13-BGT	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	N/A	2007	4,620033	-74,185238	2579,309520	SI	2552,019400	Geometrica	Geodesia Geometrica	25,580000	1739447,594582	-4118768,169429	510520,813140	0,000800	0,001300	0,013200
21	10478	13-CM-15	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	NIVELACION	1999	0,000000	0,000000	0,000000	NA	2670,886030	Nivelada GPS	Geodesia Geometrica	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
22	10479	13-CM-16	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	NIVELACION	1986	0,000000	0,000000	0,000000	NA	3112,768900	Nivelada GPS	Geodesia Geometrica	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
23	7368	14-BGT	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	N/A	2007	4,650096	-74,145873	2507,238680	SI	2543,849800	Geometrica	Geodesia Geometrica	25,550000	1737499,388377	-4117914,285897	513886,080285	0,000800	0,001300	0,013200
24	10534	14-CM-15	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	NIVELACION	1986	0,000000	0,000000	0,000000	NA	2773,898800	Nivelada GPS	Geodesia Geometrica	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
25	10535	14-CM-16	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	NIVELACION	1986	0,000000	0,000000	0,000000	NA	3172,132200	Nivelada GPS	Geodesia Geometrica	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
26	7369	15-BGT	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	N/A	2007	4,658662	-74,136712	2570,901110	SI	2546,853200	Geometrica	Geodesia Geometrica	25,580000	1738397,412657	-4117565,891390	514780,887102	0,000800	0,003400	0,013200
27	10705	15-CM-15	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	NIVELACION	1999	0,000000	0,000000	0,000000	NA	2730,109070	Nivelada GPS	Geodesia Geometrica	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
28	10706	15-CM-16	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	NIVELACION	1986	0,000000	0,000000	0,000000	NA	3234,138700	Nivelada GPS	Geodesia Geometrica	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
29	10792	1-E-AW	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	NIVELACION	1962	0,000000	0,000000	0,000000	NA	2555,485800	Nivelada GPS	Geodesia Geometrica	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
30	7350	16-BGT	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	N/A	2007	4,668863	-74,128760	2567,037480	SI	2544,462200	Geometrica	Geodesia Geometrica	25,600000	1739064,413055	-4117722,052663	515898,858004	0,000800	0,003400	0,013100
31	7351	16-BGT-1	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	N/A	2007	4,676877	-74,129657	2568,127780	SI	2545,137500	Geometrica	Geodesia Geometrica	25,540000	1739318,047303	-4117710,685318	516789,132921	0,000900	0,003400	0,013100
32	10766	16-CI-1	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	NIVELACION	1986	0,000000	0,000000	0,000000	NA	2568,674700	Nivelada GPS	Geodesia Geometrica	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
33	10777	16-CM-15	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	NIVELACION	1999	0,000000	0,000000	0,000000	NA	2641,565590	Nivelada GPS	Geodesia Geometrica	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
34	10778	16-CM-16	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	NIVELACION	1986	0,000000	0,000000	0,000000	NA	3304,395000	Nivelada GPS	Geodesia Geometrica	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
35	10796	1-E-1	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	NIVELACION	1997	0,000000	0,000000	0,000000	NA	2676,174500	Nivelada GPS	Geodesia Geometrica	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
36	10830	1-T-AW	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	NIVELACION	1962	0,000000	0,000000	0,000000	NA	2653,670000	Nivelada GPS	Geodesia Geometrica	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
37	7352	17-BGT	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	N/A	2007	4,689373	-74,109703	2534,095760	SI	2592,936800	Geometrica	Geodesia Geometrica	25,620000	1741107,959929	-4116469,722808	518167,303975	0,000900	0,003400	0,013100
38	10834	17-CE-1	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	NIVELACION	1985	0,000000	0,000000	0,000000	NA	2579,838900	Nivelada GPS	Geodesia Geometrica	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
39	10847	17-CM-15	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	NIVELACION	1986	0,000000	0,000000	0,000000	NA	2912,828800	Nivelada GPS	Geodesia Geometrica	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
40	10848	17-CM-16	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	NIVELACION	1986	0,000000	0,000000	0,000000	NA	3398,417200	Nivelada GPS	Geodesia Geometrica	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
41	10869	17-E-1	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	NIVELACION	1986	0,000000	0,000000	0,000000	NA	2357,526200	Nivelada GPS	Geodesia Geometrica	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
42	7353	18-BGT	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	N/A	2007	4,703117	-74,103305	2575,714580	SI	2552,551800	Geometrica	Geodesia Geometrica	25,600000	1741994,867283	-4116131,049894	519662,738775	0,000900	0,003400	0,013100
43	7354	19-BGT-1	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	N/A	2007	4,719202	-74,084975	2610,470330	SI	2610,332300	Geometrica	Geodesia Geometrica	25,670000	1742756,340383	-4115964,639737	520868,836553	0,000900	0,003400	0,013100
44	10915	18-CM-15	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	NIVELACION	1999	0,000000	0,000000	0,000000	NA	2965,581990	Nivelada GPS	Geodesia Geometrica	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
45	166	18-CM-16	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	N/A	2002	4,339663	-74,103330	3477,156000	SI	3451,825000	Geometrica	Geodesia Geometrica	28,420000	1732283,194000	-4122117,067595	479868,717668	0,000200	0,001100	0,013200
46	7355	19-BGT	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	N/A	2007	4,703691	-74,111778	2573,682650	SI	2592,785300	Geometrica	Geodesia Geometrica	25,480000	1740893,783323	-4116367,340180	520429,489105	0,000900	0,003400	0,013100
47	179	19-CM-15	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	N/A	2001	4,441301	-74,134556	3053,765000	SI	2989,027300	Geometrica	Geodesia Geometrica	27,450000	1739270,002318	-4110760,845849	490845,317905	0,000300	0,001200	0,013200
48	10977	19-CM-16	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	NIVELACION	1986	0,000000	0,000000	0,000000	NA	3544,904100	Nivelada GPS	Geodesia Geometrica	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
49	10996	19-E-1	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	NIVELACION	1986	0,000000	0,000000	0,000000	NA	3005,364300	Nivelada GPS	Geodesia Geometrica	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
50	11307	14-E-1	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	NIVELACION	1997	0,000000	0,000000	0,000000	NA	2568,392840	Nivelada GPS	Geodesia Geometrica	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
51	7356	1-BGT	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	N/A	2007	4,623941	-74,081217	2565,336000	SI	2567,734100	Geometrica	Geodesia Geometrica	26,290000	1744416,036338	-4116161,397805	511174,940000	0,000700	0,001300	0,013100
52	11039	1-CM-15	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	NIVELACION	1999	0,000000	0,000000	0,000000	NA	2556,071600	Nivelada GPS	Geodesia Geometrica	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
53	11040	1-CM-16	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	NIVELACION	1986	0,000000	0,000000	0,000000	NA	2996,659900	Nivelada GPS	Geodesia Geometrica	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
54	7360	1-CM-17	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	N/A	2002	4,280303	-74,267950	3735,353000	SI	3698,840000	Geometrica	Geodesia Geometrica	29,110000	1726615,445169	-4127522,230502	451067,555383	0,000300	0,000900	0,013100
55	11043	1-CM-5	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	NIVELACION	1985	0,000000	0,000000	0,000000	NA	2655,309090	Nivelada GPS	Geodesia Geometrica	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
56	7358	20-BGT	11001	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	GEODESICO	N/A	2007	4,719608	-74,119233	2571,294090	SI	2548,255200	Geometrica	Geodesia Geometrica	25,370000	1740113,109394	-4116926,324132	521900,670989	0,000900	0,003400	0,013100

Fuente: IGAC. (2017). Bogotá D.C. – Información coordenada de puntos geodésicos ciudad de Bogotá D.C.

En disposición los 857 vértices geodésicos contienen las características necesarias, para ello se procedió a filtrar la información y realizar un compendio mediante una tabla de Excel "Tabla De Vértices De Control-IGAC" (Ver Anexo 2). La cual fue apoyo para cargar al software ArcMap-ArcGis 10.3, para su respectiva visualización. (Ver Figura XII)

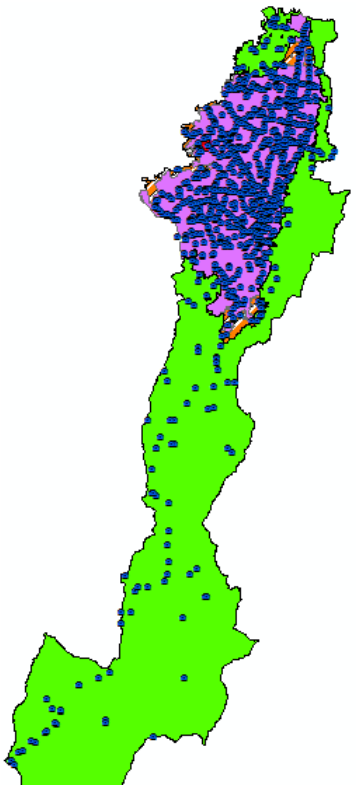


Figura XII. Vértices geodésicos IGAC
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

5.6.4.1. Vértices de control SGC

Los vértices de control del SGC, son vértices geodésicos, los cuales fueron tomados como referencia espacial, otorgados por el IDECA contenido en un archivo; donde su formato se encuentra en extensión shp con nombre asignado punto_control, posee características específicas. (Ver Tabla 5)

Tabla 5. Parámetros del shapefile punto _ control del catálogo de objetos

Nombre	Punto de Control	**Código**	0502
Definición	Punto materializado (mediante un monumento o un equipo de operación continua) cuya posición ha sido medida con precisión. Se utiliza como base para determinar la posición de otros puntos.[40]		
Objetos	- Punto Geodésico		

Nombre	PGeo	**Código**	050201	
Definición	Punto materializado cuyas coordenadas fueron obtenidas por métodos geodésicos y están ligados al sistema de referencia MAGNA-SIRGAS.[41]			
Alias	Punto Geodésico			
Subtipo				
Responsable	**Nombre de la entidad**	Servicio Geológico Colombiano[42]	**Ciudad**	Bogotá D.C.
	Cargo	Coordinador Proyecto GEORED	**Departamento**	Bogotá D.C.
	Tipo de Responsable	Creador	**País**	Colombia
	Dirección	Diagonal 53 No. 34 - 53	**Teléfono**	+ 57 (1) 220 0200 + 57 (1) 220 0100
	Nombre de la entidad	Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital	**Ciudad**	Bogotá D.C.
	Cargo	Gerente IDECA	**Departamento**	Bogotá D.C.
	Tipo de Responsable	Administrador	**País**	Colombia
	Dirección	Avenida Carrera 30 No. 25-90 Torre B Piso 2	**Teléfono**	+ 57 (1) 2347600

Atributos

Nombre	Alias	Definición	Código	Tipo de Dato	Unidad de medida	Dominio
PGeCodigo	Identificador único del punto geodésico	Código utilizado para identificar el punto geodésico.	05020101	Cadena de caracteres	N/A	
PGeNombre	Nombre del punto geodésico	Nombre o palabras que son utilizadas para identificar el punto geodésico.	05020102	Cadena de caracteres	N/A	
PGeLatitud	Latitud	Distancia angular recalculada a partir de la migración del dátum internacional al Magna Sirgas. Su valor varía entre 0 y 90 grados en dirección norte y entre 0 y -90 grados en dirección sur. Para el territorio Distrital el rango de latitud va desde 3,73 a 4,838 en dirección norte.	05020103	Decimal	Grados decimales	
PGeLongitu	Longitud	Distancia angular recalculada a partir de la migración del dátum internacional al magna Sirgas. Su valor varía entre 0 y 180 grados en dirección este y 0 y -180 grados en dirección oeste. Para el territorio del Distrital el rango de longitud va desde -73,986 a -74,45 en dirección oeste.	05020104	Decimal	Grados decimales	
PGeAElipso	Altura elipsoidal	Distancia vertical medida en metros, desde el Elipsoide WGS84 hasta el punto geodésico. Para el territorio del Distrital el rango de altura elipsoidal va desde 2500 a 3500 metros.	05020105	Decimal	Metros	
PGeCNorte	Coordenada norte	Distancia en metros medida en dirección norte-sur a partir de un origen de coordenadas cartesianas Bogotá, que define la posición de un punto sobre un plano de referencia que ha sido empleado para proyectar la superficie de la tierra.	05020106	Decimal	Metros	
PGeCEste	Coordenada este	Distancia en metros medida en dirección este-oeste a partir de un origen de coordenadas cartesianas Bogotá, que define la posición de un punto sobre un plano de referencia que ha sido empleado para proyectar la superficie de la tierra.	05020107	Decimal	Metros	
PGeLocaliz	Localización del punto	Esquema gráfico de localización del punto y descripción del acceso y la ubicación del mismo.	05020108	Imagen	N/A	
PGeFActual	Fecha de actualización	Fecha en la cual se realizó la última actualización del objeto geográfico.	05020109	Fecha	AAAA/MM/DD	

Fuente: IDECA. (2006). Bogotá D.C. – Catálogo de Objetos Geográficos del Mapa de Referencia del Distrito Capital.

Dicha información sirvió de apoyo, la cual se procedió a cargar los 47 vértices geodésicos del SGC los cuales se encuentran en "Tabla De Vértices De Control-SCG" (Ver Anexo 3) y que fueron cargados al software ArcMap-ArcGis 10.3, para su respectiva visualización. (Ver Figura XIII)

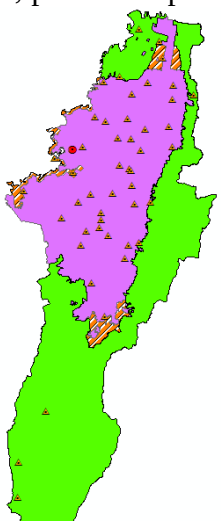


Figura XIII. Vértices geodésicos SGC
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

5.7. Cuantificación de los vértices geodésicos de control y por localidad

A partir de la información de las localidades brindada por el IDECA, archivo que contiene información geoespacial, se evaluó la influencia cuantitativa de los vértices geodésicos muéstrales por cada una de las localidades; donde el shapefile Localidades contiene características tales como (Ver Tabla 6).

Tabla 6. Parámetros del shapefile punto _ control del catálogo de objetos

Nombre	Loca	**Código**	040102	
Definición	División del territorio Distrital, teniendo en cuenta las características sociales de sus habitantes y de acuerdo al reparto de competencias y funciones administrativas asignadas por el Concejo Distrital.[32]			
Alias	Localidad			
Subtipo				
Responsable	**Nombre de la entidad**	Secretaría Distrital de Planeación	**Ciudad**	Bogotá D.C.
	Cargo	Director de Información, Cartografía y Estadística	**Departamento**	Bogotá D.C.
	Tipo de Responsable	Creador	**País**	Colombia
	Dirección	Carrera 30 No. 25 - 90	**Teléfono**	+ 57 (1) 3358000 Ext. 8151

Atributos

Nombre	Alias	Definición	Código	Tipo de Dato	Unidad de medida	Dominio
LocCodigo	Identificador único de la localidad	Código único, compuesto por dos dígitos, utilizado para la identificación de la localidad.	04010201	Cadena de caracteres	N/A	
LocNombre	Nombre de la localidad	Palabra o palabras que son utilizadas para designar o identificar la localidad. (50 caracteres)	04010202	Cadena de caracteres	N/A	
LocAAdmini	Acto administrativo de la localidad	Tipo, número y fecha del acto administrativo por medio del cual se creó o modifico el límite de la localidad. (50 caracteres)	04010203	Cadena de caracteres	N/A	
LocArea	Área de la localidad	Extensión superficial de la localidad calculada por el sistema.	04010204	Decimal	Metros cuadrados	

Relaciones entre Objetos

Nombre	Definición	Código	Nombre de rol	Tipo	Ordenado	Relación	Cardinalidad
Pertenencia localidad – municipio	Una o más localidades deben pertenecer a un municipio	R04020201	Pertenece a - Contiene	Agregación	False	Pertenencia	1..N:1

Fuente: IDECA. (2006). Bogotá D.C. – Catálogo de Objetos Geográficos del Mapa de Referencia del Distrito Capital.

Dicha información fue de apoyo para el presente estudio para ser procesada en el software ArcMap-ArcGis 10.3, para su respectiva visualización y la cual fue dispuesta para el análisis cuantitativo por localidades. (Ver Figura XIV)

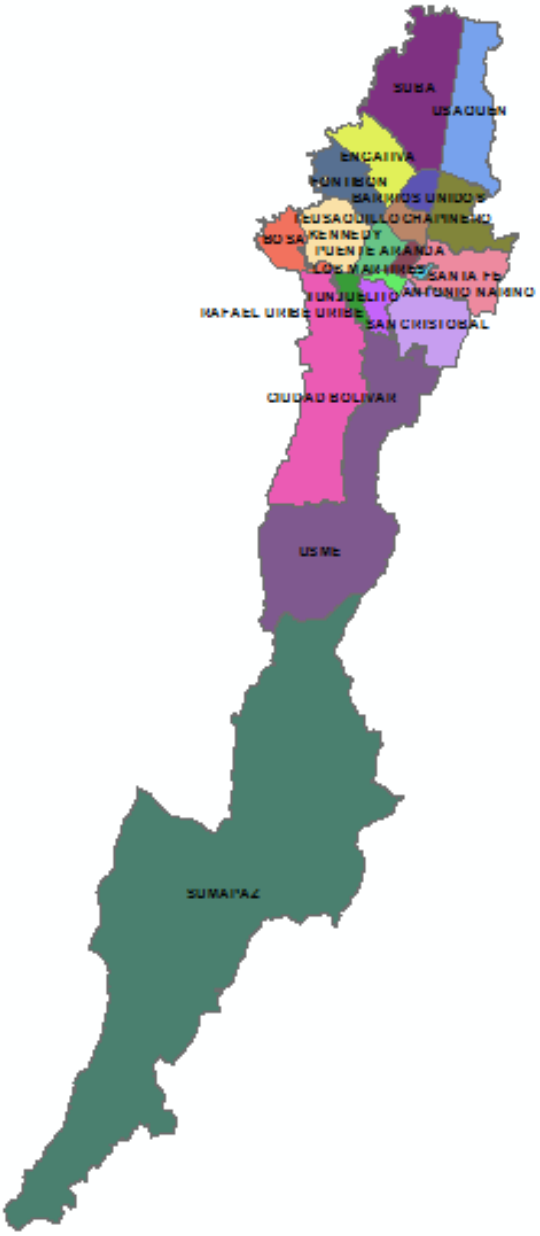


Figura XIV. Localidades de Bogotá D.C.
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

5.8. Coberturas espaciales a partir del origen

A partir de la información ya establecida como base para el proyecto, se procedió a ejecutar las áreas de influencia a nivel espacial. Como primera parte y según la normatividad del IGAC, se debe tener en cuenta un área de cobertura de 20 km como máximo a partir del origen para así crear un PTL, para ello se utilizó como herramienta el software ArcMap-ArcGis 10.3→ArcToolbox→ Analysis Tools →Proximity→Buffer (Ver Figura XV)

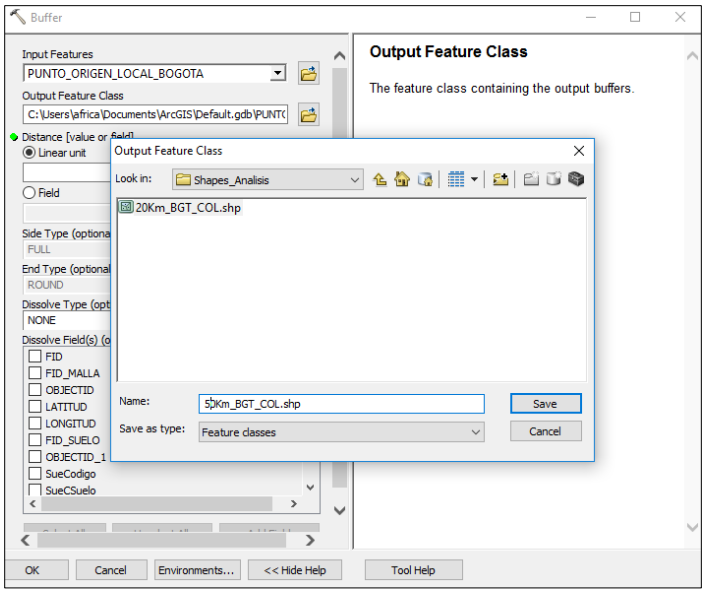


Figura XV. Buffer Radio de cobertura de 20 km
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.

Dicho análisis permito obtener el área de cobertura que se posee sobre el suelo de Bogotá D.C., teniendo en cuenta el suelo urbano, expansión urbana y rural. (Ver Figura XVI)

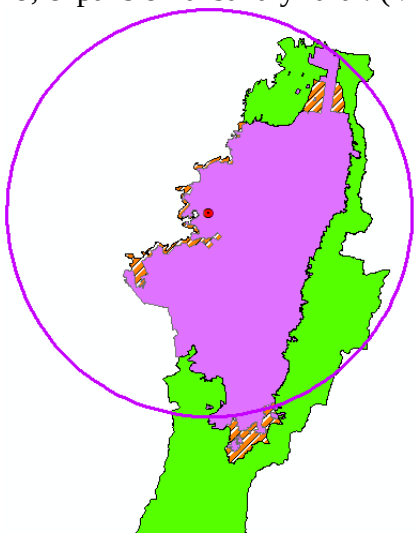


Figura XVI. Cobertura Espacial con Radio de 20 Km
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

Como segunda parte, según la normatividad NBR 14166 que reglamenta los estándares de precisión y transformación de coordenadas para los trabajos cartográficos, topográficos y geodésicos en Brasil, se debe tener en cuenta un área de cobertura de 50 km a partir del origen para crear un PTL. Para lo cual se repite el mismo procedimiento anteriormente dicho para este caso, el cual permitió obtener el área de cobertura que se posee sobre el suelo de Bogotá D.C., dentro del perímetro urbano, de expansión y rural. (Ver Figura XVII)

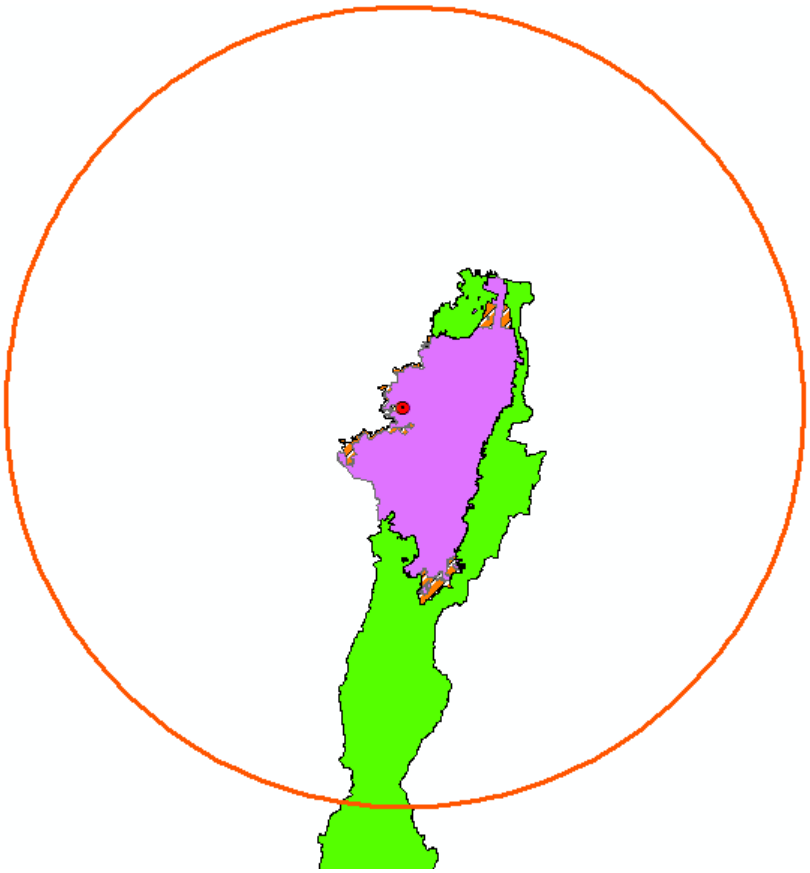


Figura XVII. Cobertura Espacial con Radio de 50 Km
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

5.9. Coberturas del rango de elevación para el PTL de Bogotá D.C

Se valoró la diferencia de elevación correspondiente a la elevación promedió del PTL para la ciudad de Bogotá D.C., éste se encuentra en los 2550 msnm, según la normatividad IGAC, establece que, para un origen el plano cartesiano local no debe superar una diferencia en elevación de 250m, ya que la elevación de proyección pierde la propiedad de conformidad como se puede observar en la siguiente cita.

"De acuerdo a las especificaciones del IGAC, cabe resaltar que tiene dos limitantes importantes en la utilización de este método, las cuales definen que para un origen plano cartesiano no debe superar una diferencia en elevación de 250 m, después de esta elevación la proyección pierde la propiedad de conformidad requerida para escalas grandes e igualmente también poseemos una restricción en el área de influencia a partir del origen que no supere los 20 Km, teniendo en cuenta el control metodológico dispuesto por esta entidad para la obtención de distancias horizontales, ya que sufre deformaciones que afectan la propiedad de conformidad." (W Martínez, 2010)

Sabiendo esto se realizó la filtración de curvas de nivel teniendo en cuenta el rango de elevación máximo y mínimo a partir del shapefile elevación y utilizando como media la elevación promedio, utilizando como herramienta el software ArcMap-ArcGis 10.3→Selection→ Select By Attributes (Ver Figura XVIII)

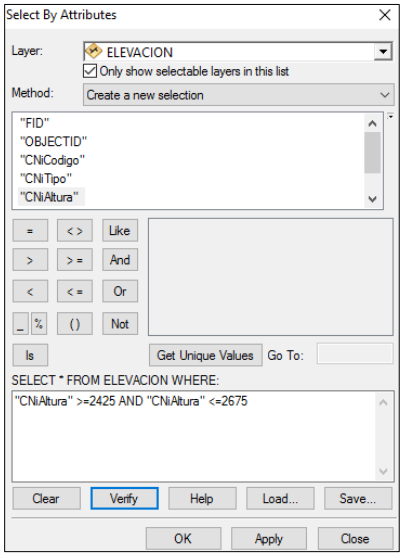


Figura XVIII. Selección por atributos para el rango de elevación entre 2425-2675 msnm
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

De lo anteriormente dispuesto, se obtienen las elevaciones que se encuentran dentro del rango de +- 125m, se realizó una equidistancia entre planos de proyección a partir de la cota promedio de 2550 msnm siendo así de carácter superior 2675 msnm e inferior 2425 msnm (Ver Figura XIX)

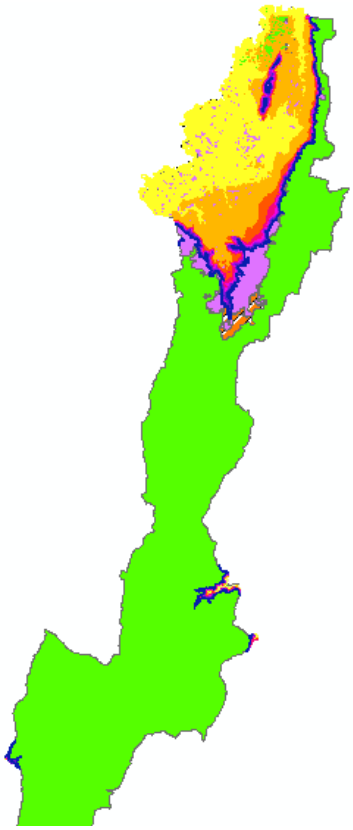


Figura XIX. Elevaciones entre 2425 y 2675 msnm
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

También se realizó el polígono de cobertura límite para las elevaciones que se encuentran en el rango anteriormente mostrado, el cual determinó las áreas de coberturas dentro de esta área. (Ver Figura XX)

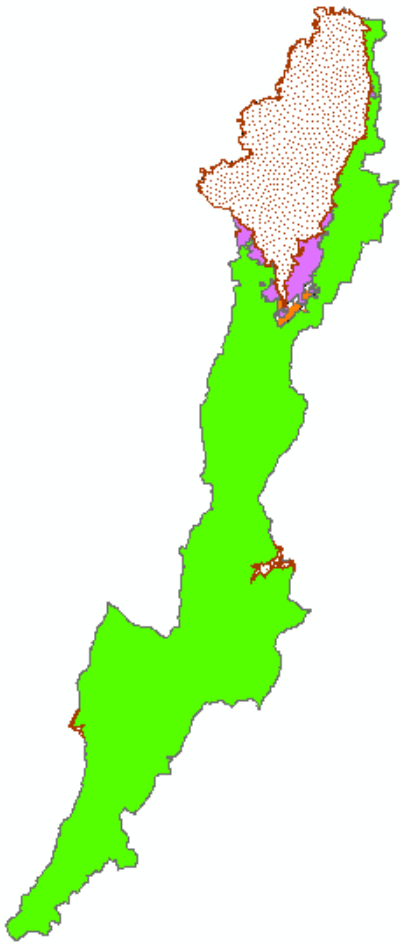


Figura XX. Área de cobertura por rango de elevación entre 2425 y 2675 msnm
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

5.10. Orígenes cercanos a Bogotá D.C

Dado que se puede analizar las áreas de coberturas para la ciudad de Bogotá D.C. desde diferentes orígenes, se procedió a analizar las áreas de cubrimiento en las zonas donde no es cubierta dichas áreas por el origen actual, para ello, se ubica espacialmente los diferentes orígenes cercanos para la ciudad de Bogotá D.C., (Ver Figura XXI); los cuales fueron obtenidos desde el módulo de la página web del IGAC que a su vez fueron dispuestos en una Tabla "Orígenes Cercanos a Bogotá D.C.", (Ver Anexo 4) para su correspondiente visualización e igualmente se extrajeron los "Certificados del IGAC-Orígenes", utilizados en el presente estudio, dispuestos en formato Pdf. (Ver Anexo 5)

Cabe resaltar que los orígenes dispuestos tendrán parámetros de elevación que estén cercanos a la elevación del plano de proyección de Bogotá D.C. con un rango de +- 125 m de forma equidistante a partir del plano de proyección de cada origen.

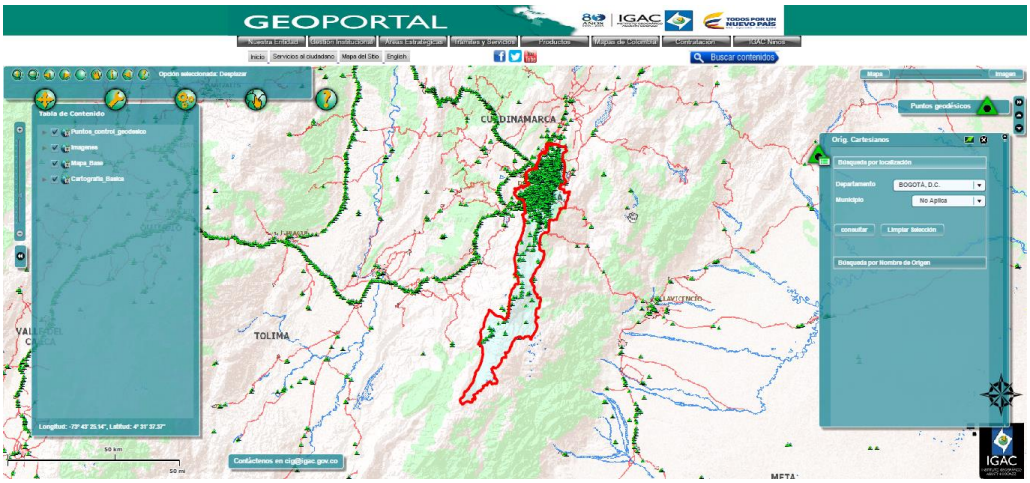


Figura XXI. Orígenes cercanos a Bogotá D.C.
Fuente: IGAC – http://geoportal.igac.gov.co/ssigl2.0/visor/galeria.req?mapaId=36

5.11. Área de cobertura de Bogotá D.C. respecto a orígenes cercanos

En vista de que las áreas de cobertura para las zonas periféricas de Bogotá D.C., desde el origen adoptado para la ciudad no cubren el total del área del suelo; el presente estudio tiene en cuenta los orígenes cercanos, donde se analizó el área de cobertura. (Ver Figura XXII)

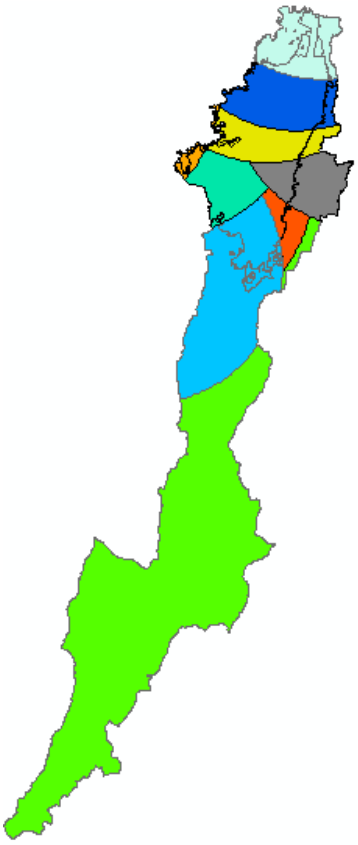


Figura XXII. Área de cubrimiento de los orígenes cercanos a Bogotá D.C.
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

5.12. Cobertura de planchas Escala 1:2000 de Bogotá D.C.

En el desarrollo de este proyecto, tambien cabe resaltar la cobertura de las planchas existes para la ciudad de Bogotá D.C., donde pueden ser consultadas a traves de la pagina oficial del IGAC mediante la ruta de consulta: Mapas de colombia→Consula de planchas a escala 1:2000 para Bogotá. (Ver Figura XXIII)

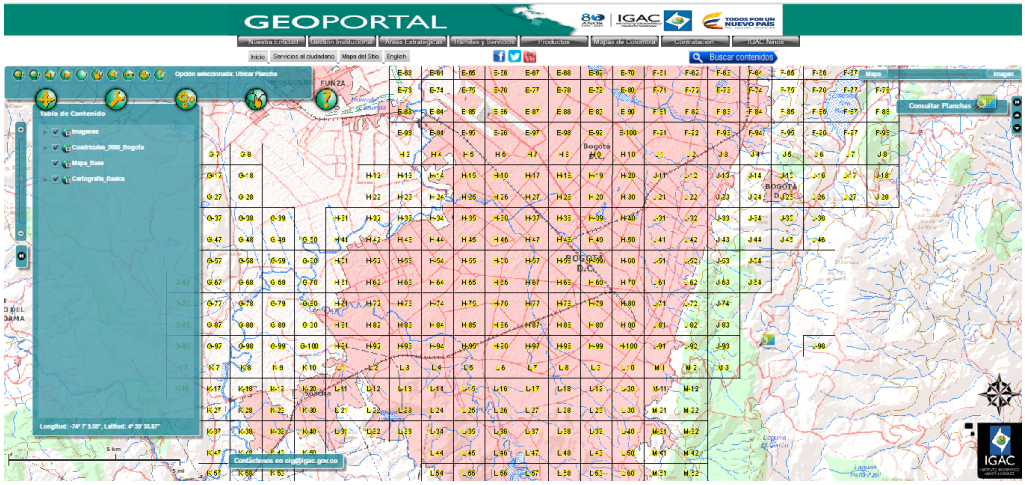


Figura XXIII. Geoportal IGAC-Consulta de planchas Bogotá Escala 1:2000
Fuente: IGAC – Recuperado de Página web: http://geoportal.igac.gov.co/ssigl2.0/visor/galeria.req?mapaId=57

De donde se procede a la ubicación espacial de las planchas en formato Shp, para el análisis de cobertura que poseen estas planchas con respecto al origen adoptado para Bogotá D.C., en el Software ArcMap-ArcGis 10.3 (Ver Figura XXIV)

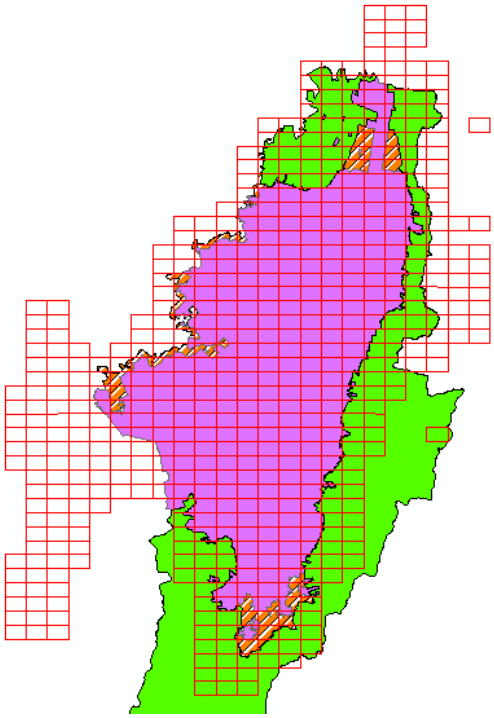


Figura XXIV. Cobertura de planchas Bogotá Escala 1:2000
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

5.13. Disponibilidad de cartografía fuera del alcance de la Escala 1:2000

Considerando que las áreas de cobertura de las planchas para Bogotá D.C., solamente satisface el área de la ciudad o zona urbanística, se procedió a la búsqueda de la disponibilidad de planchas para estas zonas, donde se encontraron escalas tales como 1:10 000,1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1: 500 000; donde su plano de proyección para esta cartografía está sujeto a Gauss Krüger(Ver Figura XXV).

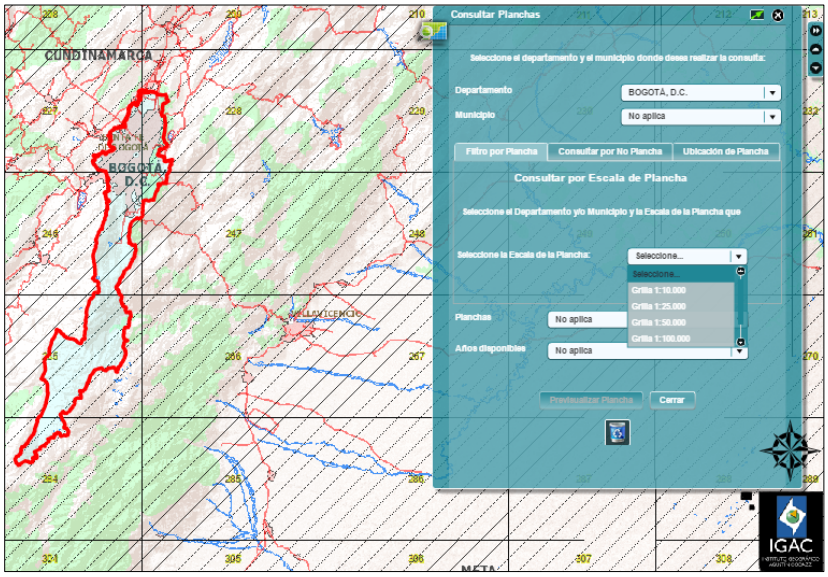


Figura XXV. Planchas existentes fuera del área cubierta por las planchas Escala 1:2000
Fuente: IGAC – http://geoportal.igac.gov.co/ssigl2.0/visor/galeria.req?mapaId=19

5.14. Transformación de coordenadas geodésicas a planas cartesianas

Mediante la metodología del IGAC:

El IGAC, mediante el documento titulado "Tipos de Coordenadas Manejadas en Colombia" el cual fue elaborado por la División de Geodesia de la Subdirección de Geografía y Cartografía en el año 2004, establece un procedimiento de cálculo para la conversión de coordenadas Geodésicas a coordenadas planas Cartesianas que fue utilizado en el presente proyecto.

Para la realización del procesamiento de la información se utilizó el software MAGNA-SIRGAS 3.0 Pro., con el cual se convirtieron las coordenadas geodésicas a planas cartesianas dispuestas en "Lista De Coordenadas Cartesianas Locales De Los Vértices Geodésicos muéstrales Totales Transformados Por La Metodología del IGAC" (Ver Anexo 6) cubierto por cada uno de los diferentes grupos de vértices geodésicos muéstrales que cumplirán según especificaciones dadas en el mismo proyecto con origen propio del sistema para Bogotá D.C. (Ver Figura XXVI);
Nota:
Se aclara que las coordenadas se cargaron al sistema en tipo archivo.

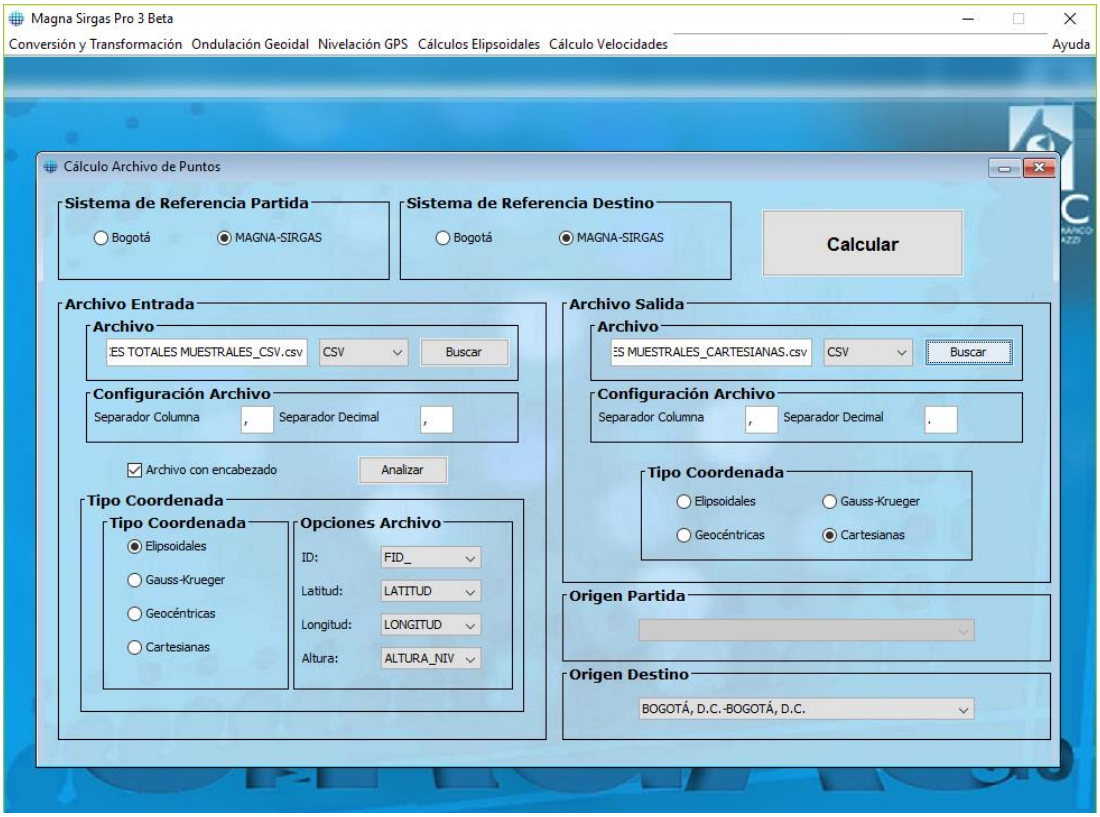


Figura XXVI. Calculo archivo de vértices de coordenadas geodésicas a cartesianas
Fuente: Propia (2017) - Software Magna Pro 3.0 (Free) – IGAC

RESUMEN CUANTITATIVO DEL ARCHIVO
Nombre del archivo: VERTICES_GEODESICOS_MUESTRALES_GR#
Cantidad de vértices: Según grupo de vértices muéstrales.
Extensión: CSV
Tipo de coordenada de entrada: Elipsoidales
Tipo de coordenada de salida: Cartesianas

5.15. Parámetros de reglamentación de la Norma NBR 14166

- El sistema de coordenadas plano rectangulares tiene el mismo origen que el Sistema de topográfico local.
- Se debe establecer una altitud media que se adoptará para el sistema topográfica local en su área.
- El área de cobertura del sistema topográfico local debe reducirse si la diferencia de nivel es superior a los +-150 m, en relación al plano topográfico adoptado, lo cual también determinara la subdivisión de los sistemas parciales que se adecuen al mismo.
- Se debe aplicar el factor C = factor de elevación a las coordenadas cartesianas de los puntos de apoyo geodésico del sistema definiendo así el plano cartesiano de proyección topográfico.

5.16. Parámetros de órdenes de control y tolerancias de cierre lineal

- ✓ La precisión en términos numéricos 1:40.000 que equivale a 25mm por kilómetro, correspondiente a un orden de control primario, para ello se definió un plano de referencia altimétrica donde como máximo contenga un diferencias de elevaciones de +-150m.
- ✓ Si se exigen una precisión de orden segundario 1:20.000 que equivale a 50mm por kilómetro las cotas no debe superar una diferencia de +-300m.
- ✓ Si se exige una precisión de orden terciario 1:15.000 que equivale a 67mm por kilómetro las cotas no deben superar una diferencia de +-400m.
- ✓ La precisión grafica de un plano se debe poder discriminar hasta 1/3 de mm a la escala del plano. (Ver Tabla 7)

Tabla 7. Precisión cartográfica con relación a su escala

ESCALA DEL PLANO	Verificación del plano en terreno (90% de los datos verificados presentas un error menor o igual que)
	ALTIMET Y PLANIMET(m)
1:500	0.17
1:1.000	0.33
1:2.000	0.67
1:5.000	1.67
1:10.000	3.33
1:20.000	6.67

Fuente: Propia (2017) – Manual De Carreteras. Dirección de viabilidad-Chile

- ✓ La utilización de más de un PTL es posible para cumplir con lo estipulado y siendo necesario definir tantos planos como sean necesarios a como el desnivel del área lo requiera, de tal forma que las distancias proyectadas no difieran con la tolerancia permitida.

5.17. Transformación del sistema geodésico al sistema PLT

Mediante la metodología de rotaciones y traslaciones:

Para la transformación de coordenadas geodésicas a coordenadas topográficas locales, se utilizó el método de rotaciones y traslaciones, cabe tener en cuenta, que debe estar bajo los mismos factores de escala.

Las siguiente formula es referenciada por el autor Andrade (1998), que se adoptara la formulación matemática utilizada dentro del software TRANSGEOLOCAL V2.0 (Disponible en página web: http://sevenengenharia.eng.br/downloads/) como se puede observar en la siguiente figura (Ver Figura XXVII), que utilizó un método de rotación y traslación. (Ver Ecuación 4)

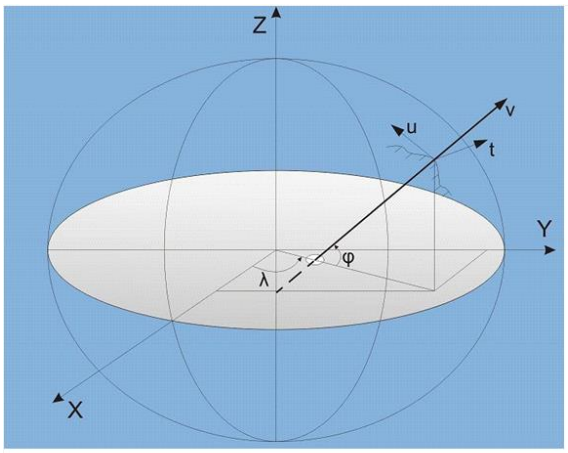


Figura XXVII. Plataforma TRASGEOLOCAL V 2.0
Fuente: Propia (2017) - TRASGEOLOCAL V 2.0 (Free).Universidad Federal De Santa María

Ecuación 3. Modelo de matriz de trasformación de coordenadas cartesiano tridimensional

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -sen\lambda_0 & -\cos\lambda_0 & 0 \\ \cos\lambda_0 & -sen\lambda_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & sen\varphi_0 & -\cos\varphi_0 \\ 0 & \cos\varphi_0 & sen\varphi_0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} t \\ u \\ v \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} t \\ u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & sen\varphi_0 & \cos\varphi_0 \\ 0 & -\cos\varphi_0 & sen\varphi_0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -sen\lambda_0 & \cos\lambda_0 & 0 \\ -\cos\lambda_0 & -sen\lambda_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix}$$

Dónde:
t, u, v: Son los diferenciales transformados mediante el método de rotación y traslación.
φo y λo: Son la latitud y longitud del punto geodésico elegido como la origen del sistema;
X, Y, Z: Son las coordenadas geodésicas cartesianas tridimensionales del punto a transformar.
Xo, Yo, Zo: Son las coordenadas geodésicas cartesianas tridimensionales del punto geodésico elegido para el origen del sistema.

5.17.1. Parámetros de entrada al software TRASGEOLOCAL V 2.0

Al implementar un software, debemos resaltar algunas características de entrada a tener para un análisis posterior a los resultados obtenidos, para ello cabe anotar los siguientes parámetros internos del software.

- ✓ Las coordenadas a ingresar deben ser X, Y, Z (latitud, longitud y altura elipsoidal).
- ✓ a = el semieje mayor del elipsoide empleado.
- ✓ 1 / f = correspondiente al aplanamiento reciproco: 298,257222101, en el ejemplo, corresponde a GRS80→Aplicado para nuestro caso de estudio.
- ✓ Al importar el archivo, con los valores de latitud, longitud y altura elipsoidal aparecerá en la pantalla los valores de los puntos importados en las coordenadas geodésicas y sus correspondientes coordenadas locales y la diferencia de nivel entre ellos.
- ✓ Los valores obtenidos corresponden a la selección del primer punto como origen del sistema; Si elige otro punto de la fuente, basta con hacer clic sobre este punto y las coordenadas locales se vuelven a calcular automáticamente.
- ✓ El modelo permite el uso de 99999 puntos y el separador decimal que se utilizó es el punto.
- ✓ Si los archivos de entrada son: latitud, longitud y altura, el archivo debe tener el siguiente formato (Ver Tabla 8). Tener en cuenta que las latitudes y longitudes deben estar en grados decimales. (Nombre de Punto, latitud, longitud y altura separadas por ";").

Tabla 8. Formato ejemplo de entrada al software Trasgeolocal latitud, longitud y altura

1;-29.723160905556;-53.701702191667;95.131
2;-29.726712211111;-53.702782458333;99.549
3;-29.725922775000;-53.703722086111;102.542
4;-29.725582877778;-53.705438958333;102.416
5;-29.724781561111;-53.706642125000;101.400
6;-29.724707527778;-53.706407386111;101.251
7;-29.724635355556;-53.706160866667;100.729
8;-29.724557894444;-53.705945486111;100.202
9;-29.724514400000;-53.705728333333;99.618
10;-29.724489269444;-53.705487325000;98.942
11;-29.724453541667;-53.705264019444;98.306
12;-29.724432163889;-53.705063347222;97.842
13;-29.724497405556;-53.704877891667;97.593
14;-29.724612269444;-53.704689872222;97.238
15;-29.724677350000;-53.704485394444;97.458
16;-29.724655350000;-53.704271180556;97.369
17;-29.724582916667;-53.704082080556;97.069
18;-29.724537563889;-53.703872022222;96.996
19;-29.724461075000;-53.703691750000;96.821

Fuente: Propia (2017) - TRASGEOLOCAL V 2.0 (Free).Universidad Federal De Santa María

5.17.2. Parámetros de salida al software TRASGEOLOCAL V 2.0

Igualmente se tuvo en cuenta parámetros de salida que permitió tener un control de calidad de la información. (Ver Figura XXVIII)

- ✓ Los valores máximos y mínimos de las coordenadas t y u, permiten el control de los límites del plano topográfico.
- ✓ El error absoluto se adopta mediante la tangente del arco, usando:

Ecuación 4. Error absoluto

$$EA = \frac{Dh^3}{3*R^2}$$

Dónde:

Dh: Coordenada Mayor (valor absoluto)

R: Radio medio

Ecuación 5. Radio medio

$$R = (M * N)^{0.5}$$

Ecuación 6. Factor de escala de representación

$$M = \frac{Dh^3}{3*R^2*10^{-4}}$$

- *Este factor de escala indica una escala mayor que puede utilizarse para que el error de representación corresponde a 0.1mm. Así que no habrá ningún error en la representación gráfica cuando se adopte el arco tangente.*

Ecuación 7. Factor de precisión planimetría

$$FP = R/CM$$

- *Establece el factor de error relativo debido a la reducción de la distancia al ser proyectada en un plano topográfico local.*

Dónde:

CM: El mayor desnivel que existente entre el punto de origen y cualquier punto.

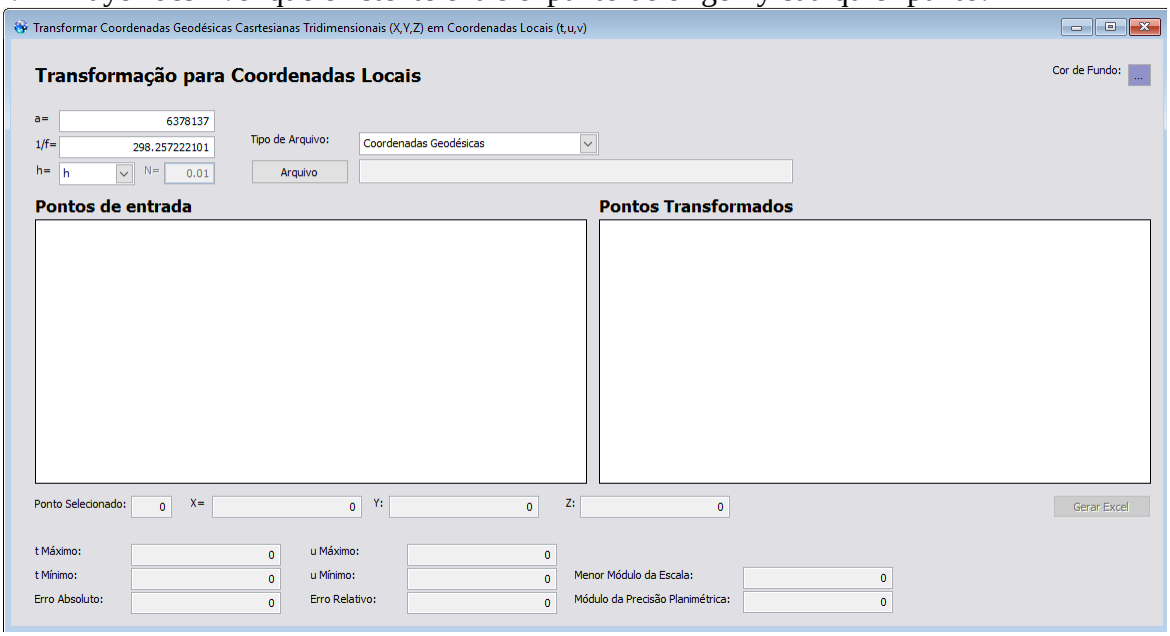


Figura XXVIII. Parámetros de entrada y salida en el software TRASGEOLOCAL V 2.0
Fuente: Propia (2017) - TRASGEOLOCAL V 2.0 (Free).Universidad Federal De Santa María

En vista de lo anterior, se dispuso a efectuar la conversión de las coordenadas geodésicas con el software TRANSGEOLOCAL V2.0 a coordenadas topográficas locales (Ver Figura XXIX).

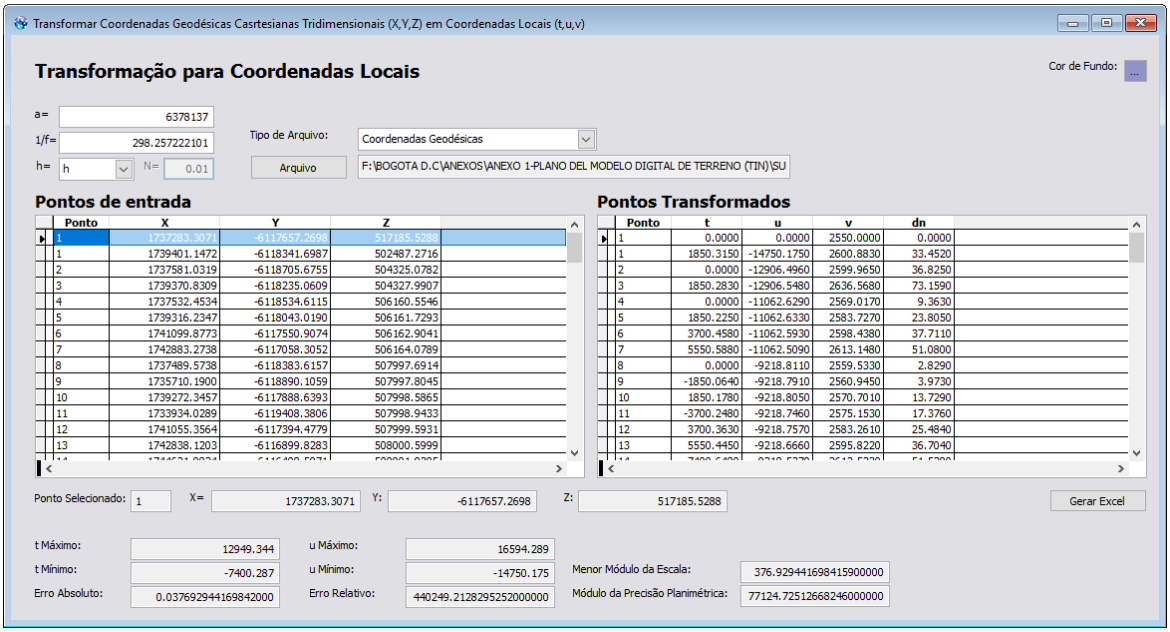


Figura XXIX. Transformación de coordenadas geodésicas a PTL
Fuente: Propia (2017) - TRASGEOLOCAL V 2.0 (Free).Universidad Federal De Santa

Resumen Cuantitativo Del Archivo
Nombre del archivo: LATLONG
Cantidad de puntos: 101
Extensión: TXT
Tipo de coordenada de entrada: Geodésica.
Tipo de coordenada de salida: plana cartesiana.

- Considerando que el formato del listado de coordenadas cargado al software debe contener las siguientes características (Nombre del punto, Latitud, Longitud y Altura) →separados por ";".(Ver Figura XXX)

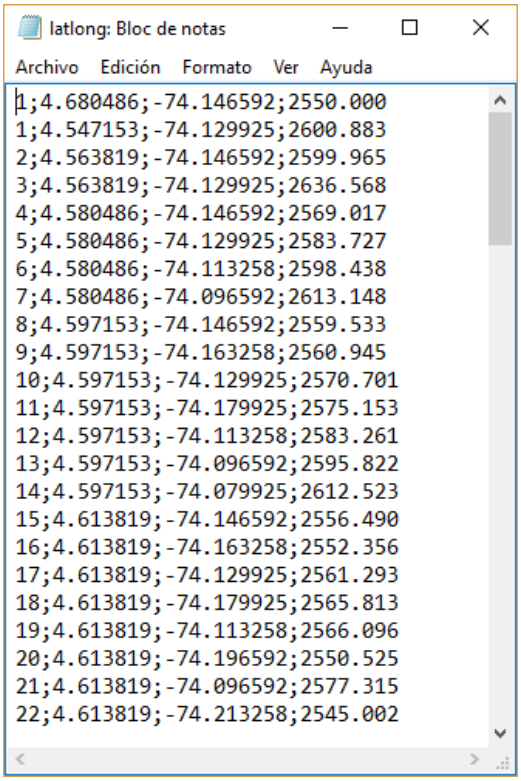


Figura XXX. Lista de coordenadas de entrada TRASGEOLOCAL V 2.0
Fuente: Propia (2017) - TRASGEOLOCAL V 2.0 (Free).Universidad Federal De Santa

Del software TRANSGEOLOCAL V 2.0, se obtienen los siguientes valores de (t, u, v y dn) los cuales corresponden a (x, y, z, Dif. de nivel) respectivamente. (Ver Figura XXXI), La cual mostrara el cálculo efectuado por software TRANSGEOLOCAL V2.0, el profesor *Gelson Lauro Dal'Forno.*

1	Ponto	t	u	v	dn
2	1	0	0	2550	0
3	1	1850.315	-14750.18	2600.883	33.452
4	2	0	-12906.5	2599.965	36.825
5	3	1850.283	-12906.55	2636.568	73.159
6	4	0	-11062.63	2569.017	9.363
7	5	1850.225	-11062.63	2583.727	23.805
8	6	3700.458	-11062.59	2598.438	37.711
9	7	5550.588	-11062.51	2613.148	51.08
10	8	0	-9218.811	2559.533	2.829
11	9	-1850.064	-9218.791	2560.945	3.973
12	10	1850.178	-9218.805	2570.701	13.729
13	11	-3700.248	-9218.746	2575.153	17.376
14	12	3700.363	-9218.757	2583.261	25.484
15	13	5550.445	-9218.666	2595.822	36.704
16	14	7400.648	-9218.537	2612.523	51.528
17	15	0	-7375.114	2556.49	2.199
18	16	-1850.019	-7375.087	2552.356	-2.203
19	17	1850.132	-7375.098	2561.293	6.734
20	18	-3700.156	-7375.037	2565.813	10.45
21	19	3700.267	-7375.037	2566.096	10.733
22	20	-5550.276	-7374.91	2550.525	-6.179
23	21	5550.299	-7374.941	2577.315	20.611

Figura XXXI. Lista de vértices transformados software TRASGEOLOCAL V 2.0
Fuente: Propia (2017) - TRASGEOLOCAL V 2.0 (Free).Universidad Federal De Santa

- Cabe anotar que las coordenadas cartesianas topográficas locales ejecutado mediante el método de Modelaje 3D, se dispone como "Lista De Coordenadas Cartesianas Locales De Los Vértices Geodésicos Muéstrales Totales Transformadas Por TRASGEOLOCAL V 2.0" (Ver Anexo 7)

5.18. Revisión de Parámetros IGAC para la conversión de coordenadas

A continuación se da a conocer los parámetros de referencia utilizados por el IGAC para la conversión de coordenadas proyectadas, ya sea para transformar coordenadas de planas cartesianas a coordenadas planas proyectadas de Gauss o alguna de estas dos a coordenadas geográficas dentro del sistema MAGNA-SIRGAS. (Ver Tabla 9)

Tabla 9. Sistema de Coordenadas Geográficas MAGNA-SIRGAS

Nombre Datum	GCS_CartMAGBOG
Nombre Elipsoide:	GRS80
Semieje Mayor *	6378137 + 2550 = 6380687
Aplanamiento (1/f)	298,257 222 101
Nombre Unidades angulares	Grados
Radianes por unidad	0,01745329
Nombre Meridiano de Referencia	Greenwich
Longitud	0º 0′ 0"

Fuente: IDECA. (2013). Bogotá D.C. – Instructivo para la migración de información geográfica al sistema de referencia MAGNA-SIRGAS

Seguidamente se procedió a evaluar en primera parte la conversión de coordenadas transformadas mediante la creación de un metadato de proyección .prj file. (Ver Figura XXXII)

El cual contiene cada uno de los parámetros dispuestos en el anterior sistema mostrado donde mediante el software ArcMap-ArcGis 10.3 fue cargado para realizar la reproyección de las coordenadas geográficas de los vértices muéstrales con el cumplimiento de la norma IGAC, de donde se obtuvieron las coordenadas proyectadas bajo este sistema y las cuales se encuentran en el "Tabla De Deformaciones Con Datum Modificado" (Ver Anexo 10), aquellas coordenadas se dispusieron para la comparación obteniendo así los diferenciales ΔN, ΔE al momento de ser proyectadas dichas coordenadas geográficas.

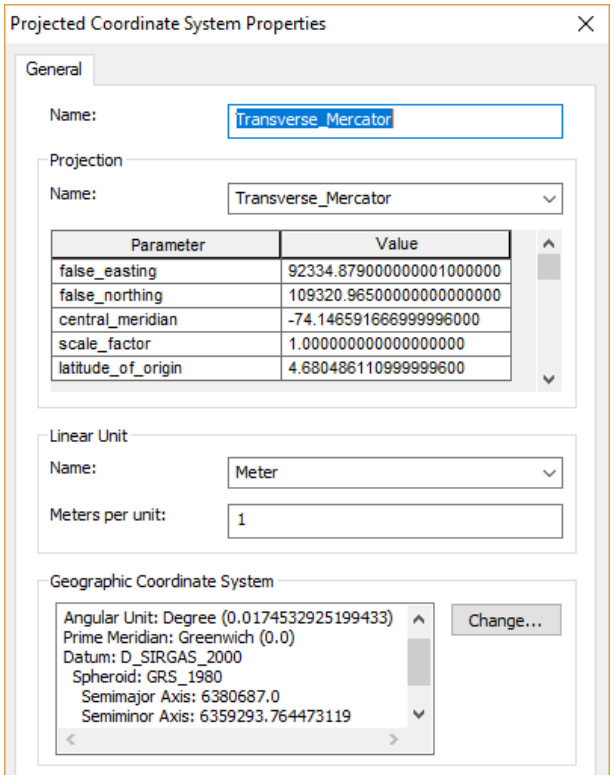


Figura XXXII. Parámetros del sistema de proyección Datum Magna Bogotá
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

5.19. Determinación del factor de deformación de escala para cada PTL

La determinación del factor de escala en función de representar una magnitud (Ver Ecuación 3), posee una diferencia en cada uno de los productos cartográficos, para lo cual, se definió las diferencias de altura para la ciudad de Bogotá D.C buscando a través del factor de escala encontrar la deformación definida para cada escala de representación donde dichas ecuaciones y método será aplicado en base al autor. (Fuentes, S, 2006)

Ecuación 8. Factor de escala

$$\Delta h = (K * R) - R$$

6. Análisis De Resultados

6.1. Análisis de alturas geométricas (Elevación)

Con base en que se obtuvo el TIN a partir del .Shp de elevación, se obtuvieron las siguientes propiedades expuestas en la Tabla 10.

Tabla 10. Propiedades TIN

TIN Dataset: tin
Version: current
Triangulation Method: delaunay conforming
Number of Data Nodes: 764
Number of Data Triangles: 1110
Z Range: (2280.000000, 4160.000000)

Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. - Software ArcMap-ArcGis 10.3 – IDECA

Como se puede observar, el TIN presenta correlación con él .Shp de Elevación, donde sus valores contenidos fueron extraídos de dicho metadato, dentro del cual se puedo observar el siguiente comportamiento. (Ver Figura XXXIII)

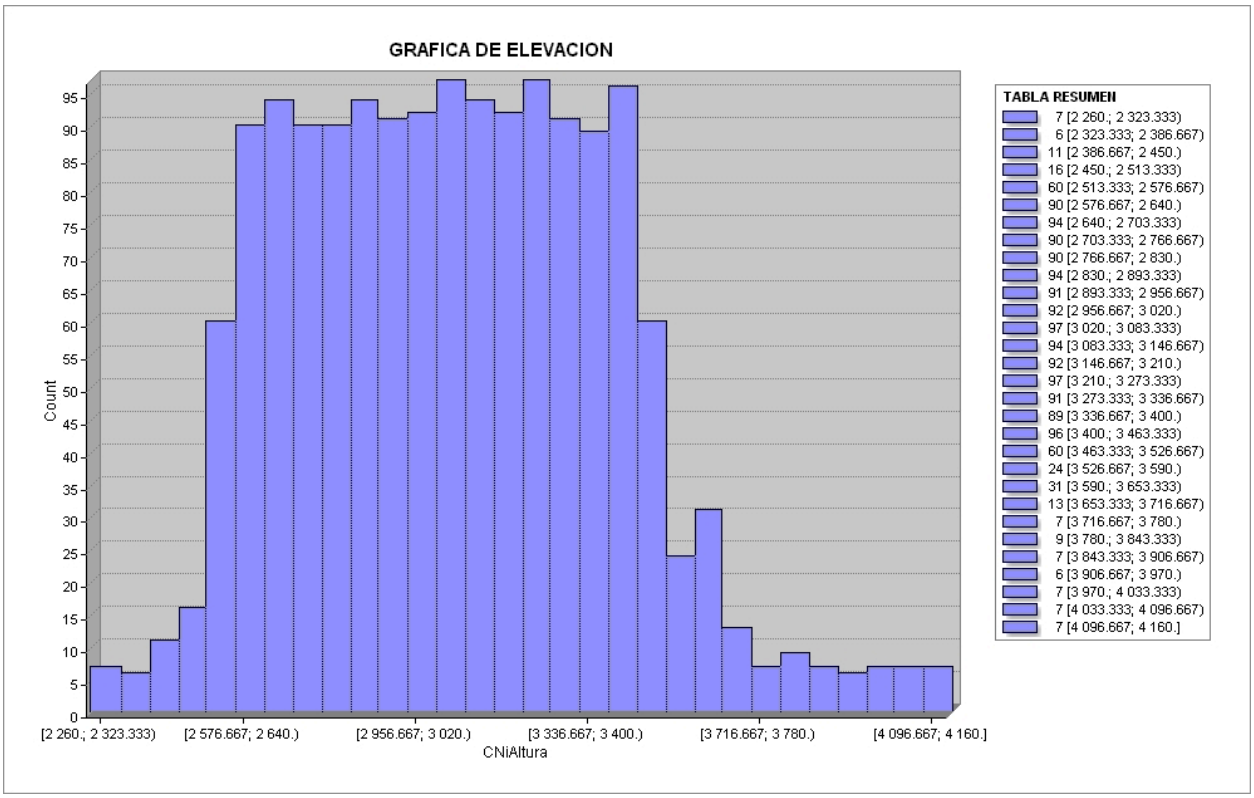


Figura XXXIII. Histograma de Elevación
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

6.2. Análisis red de vértices geodésicos muéstrales

Se desarrolló el análisis de la cantidad de vértices geodésicos muéstrales respecto a su elevación geométrica, en la cual se halló que dichas elevaciones se encuentran en un rango de valores con una elevación mínima de 2542.543 msnm y elevación máxima de 4125.008 msnm con una diferencia de nivel de 1582.465 m, donde la siguiente grafica ilustra de manera segmentada la cantidad de datos por rango de elevación respectivamente. (Ver Figura XXXIV)

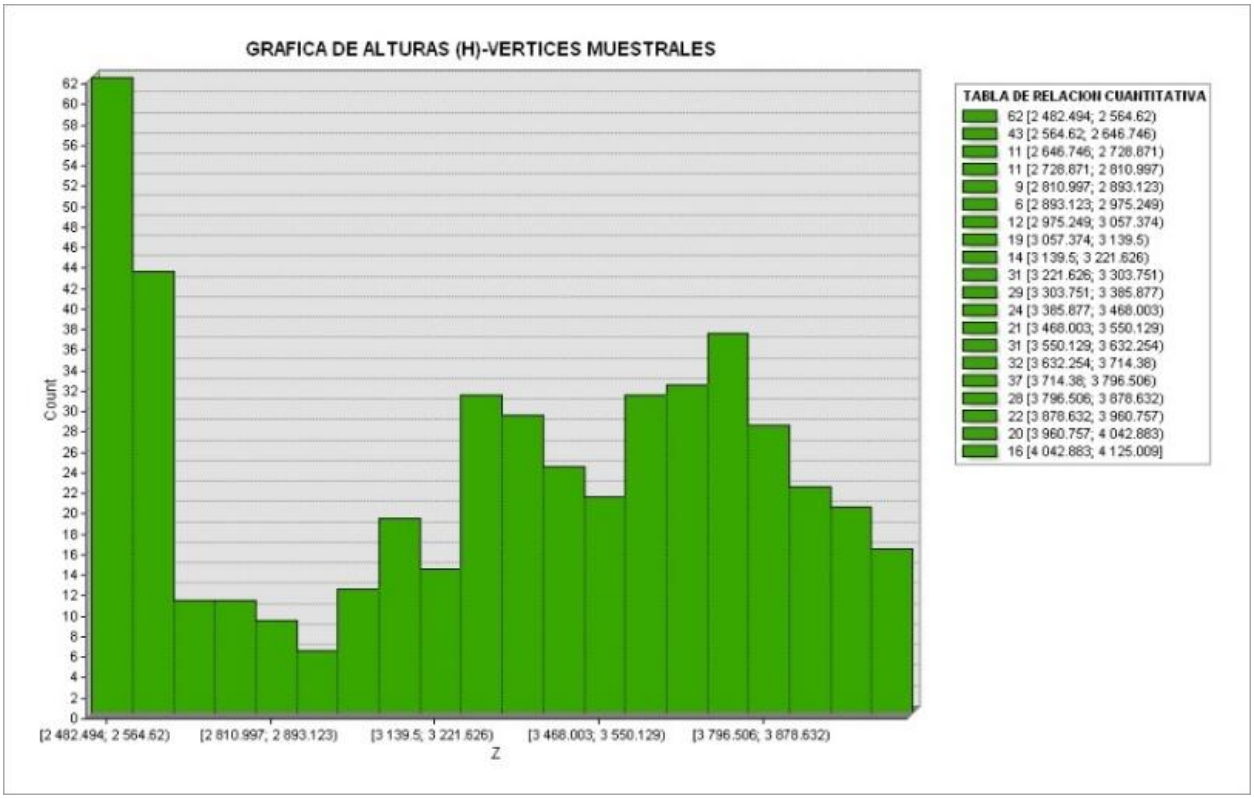


Figura XXXIV. Histograma de vértices por influencia de altura
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

6.3. Análisis de área de cobertura con radio de 20 km

Mediante la Normatividad IGAC, parámetros de cobertura en área:

En la primera parte del análisis espacial de coberturas se observó como el área de cobertura dispuesta en un radio de 20 km a partir del origen y de acuerdo a la normatividad del IGAC acoge las áreas del suelo dispuesto para nuestro estudio. Para realizar dicho análisis, se utilizó como herramienta el software ArcMap-ArcGis 10.3→ArcToolbox→ Analysis Tools →Overlay→Intersect. (Ver Figura XXXV)

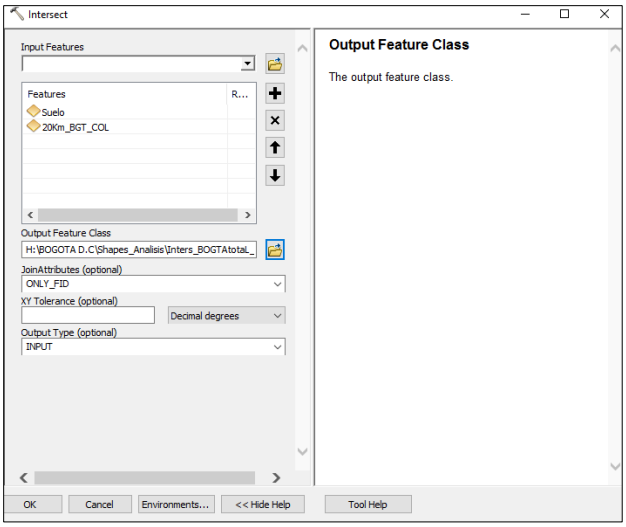


Figura XXXV. Intercepción Suelo VS Radio de cobertura de 20 km
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

Dichas áreas se relacionan en la Tabla 11 e igualmente se muestra gráficamente la relación que poseen. (Ver Figura XXXVI)

Tabla 11. Área de cobertura especial de radio de 20 km VS Suelo área total

Inters_BOGTAtotaL_20Km

FID	CLASIF_SUE	AREAS
0	Area de Expansion Urbana	19.493116
2	Area Rural	179.754417
1	Area Urbana	370.466963

Suelo

FID	CLASIF_SUE	AREAS
0	Area de Expasion Urbana	29.739344
2	Area Rural	1227.167213
1	Area Urbana	379.452307

Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

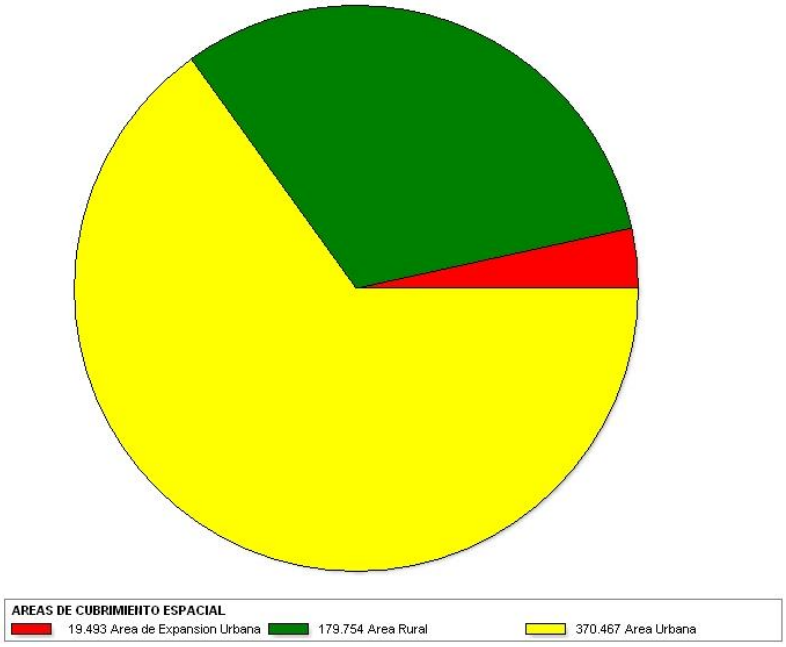


Figura XXXVI. Grafica de Áreas de cubrimiento espacial de de radio de 20 km
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

Espacialmente se pudo observar como el área de cobertura de los 20 km a partir del origen cubre la región del suelo de la siguiente manera. (Ver Figura XXXVII)

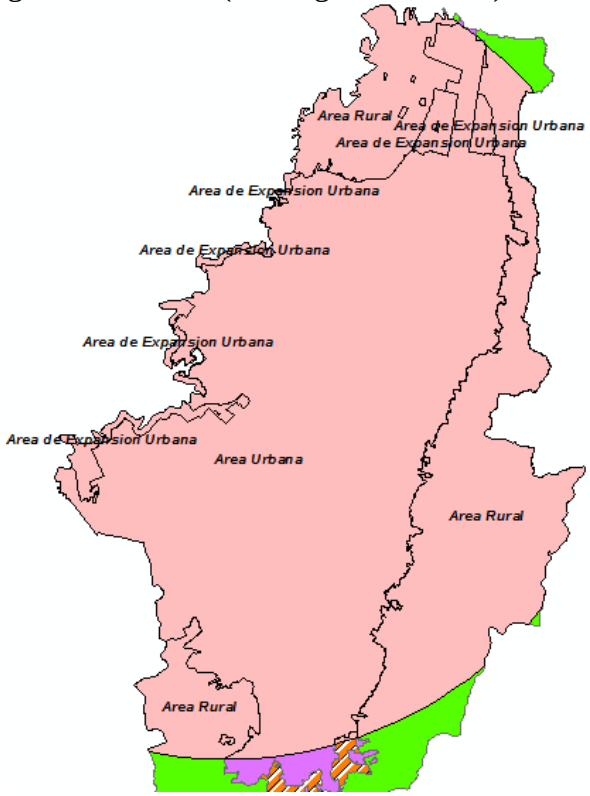


Figura XXXVII. Área de cobertura de radio de 20 km
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

Siguiendo con el análisis, se logró encontrar la relación de ocupación en porcentaje (Ver Tabla 12), partiendo de lo antes demostrado, se muestra la relación del área rural presenta una menor ocupación siendo esta del 14.6% y el área urbana con una mayor ocupación, siendo esta del 97.6%, para lo cual se estableció que con este radio de cubrimiento se pudo garantizar un porcentaje por encima del 90% de acuerdo a norma IGAC.

Tabla 12. Relaciones de áreas de ocupación con un radio de 20km

FID	CLASIFICACION DEL SUELO	(AREA CUEBIERTA 20 Km) km^2	(AREA TOTAL SUELO BOGOTA D.C) km^2	PORCENTAJE DE OCUPACION (%)
2	Área Rural	179.754	1227.167	*14.6%*
0	Área de Expansión Urbana	19.493	29.739	*65.5%*
1	Área Urbana	370.467	379.452	*97.6%*
3	**Área (Urbana+Expansion Urbana)**	**389.960**	**409.192**	*95.3%*

Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Microsoft Excel 2010

Teniendo en cuenta que el perímetro del distrito capital debe contener el área urbana más el área de expansión urbana, ya que esta se dispuso para proyectos urbanísticos, el estudio desarrollado mostró un porcentaje de cubrimiento del 95.3% del área total urbanística de Bogotá D.C.

De esta forma se analizó, que las áreas de cobertura que abarca el radio de 20 km, garantiza una gran cobertura en el suelo urbano y de expansión urbana, conteniendo así, el distrito capital, garantizando los parámetros cartográficos en la cartográfica presente de la ciudad de Bogotá D.C.

6.4. Análisis del área de cobertura con radio de 50 km

Mediante la Normatividad NBR 14166:

En la segunda parte del análisis espacial de coberturas, se observó como el área de cobertura dispuesta en un radio de 50 km a partir del origen y de acuerdo a la normatividad de NBR 14166 acoge las áreas ocupadas bajo este requerimiento. Para realizar dicho análisis, se utilizó como herramienta el software ArcMap-ArcGis 10.3→ArcToolbox→ Analysis Tools →Overlay→Intersect. (Ver Figura XXXVII)

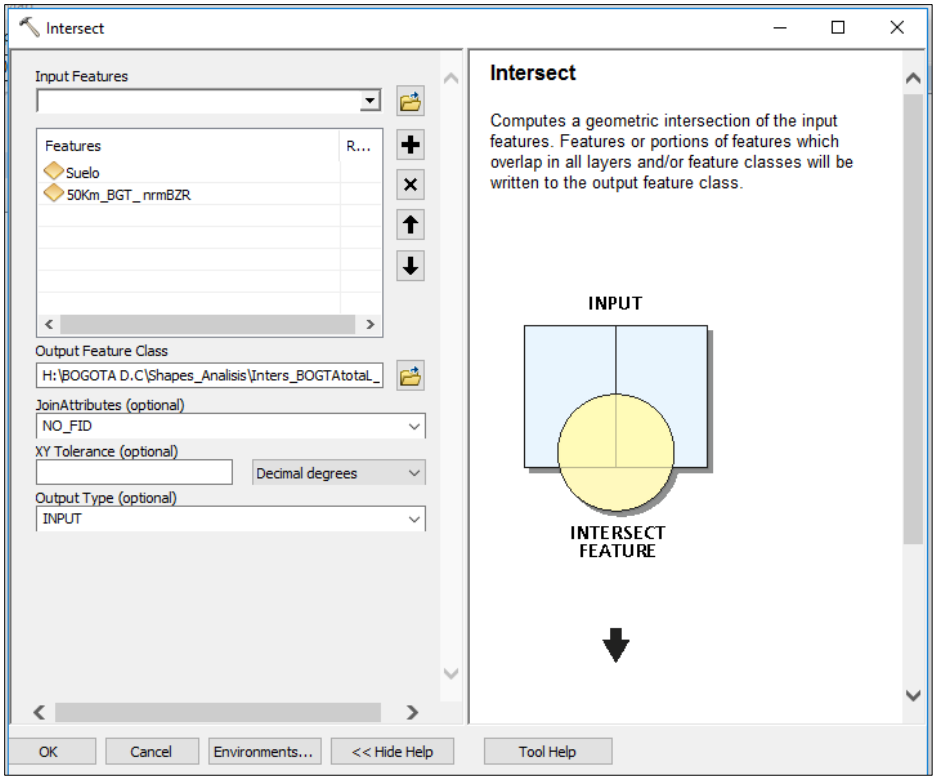


Figura XXXVIII. Intercepción Suelo VS Radio de cobertura de 50 km
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

Dichas áreas se relacionan en la Tabla 13 e igualmente se muestra gráficamente (Ver Figura XXXIX).

Tabla 13. Área de cobertura especial 50 km VS Suelo área total

Inters_BOGTAtotaL_50Km

FID	CLASIF_SUE	AREAS
0	Area de Expansion Urbana	29.739344
1	Area Urbana	379.452307
2	Area Rural	492.131494

Suelo

FID	CLASIF_SUE	AREAS
0	Area de Expasion Urbana	29.739344
1	Area Urbana	379.452307
2	Area Rural	1227.167213

Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

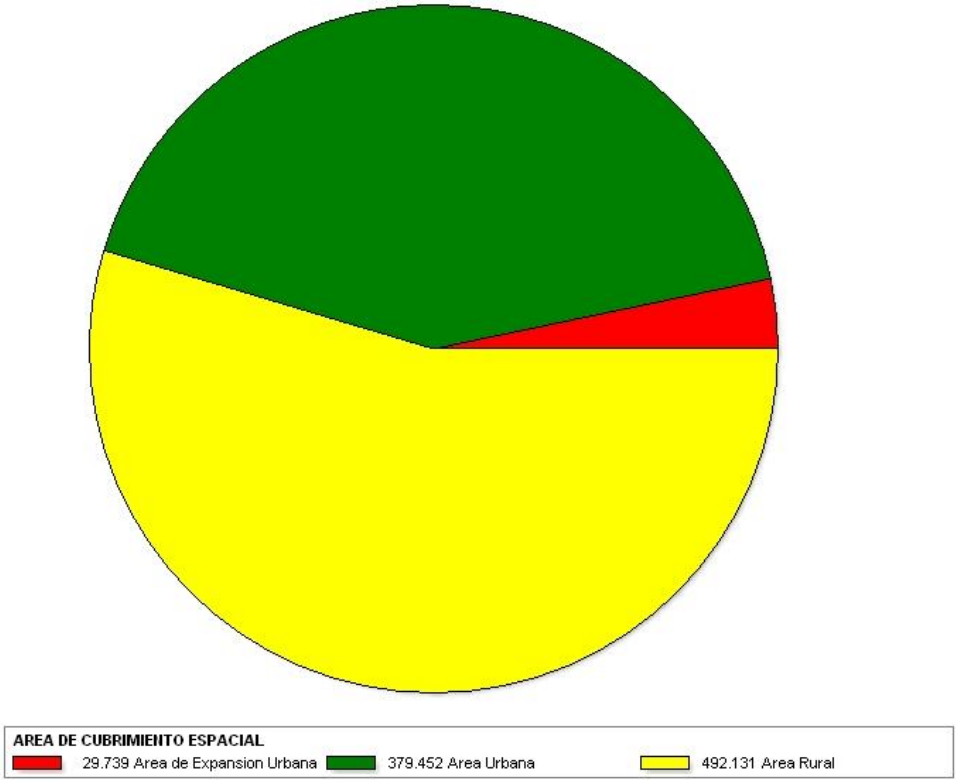


Figura XXXIX. Grafica de áreas de cubrimiento espacial de 50 km
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

Gráficamente se puede observar como el área cubre la región del suelo de la siguiente manera, (Ver Figura XL).

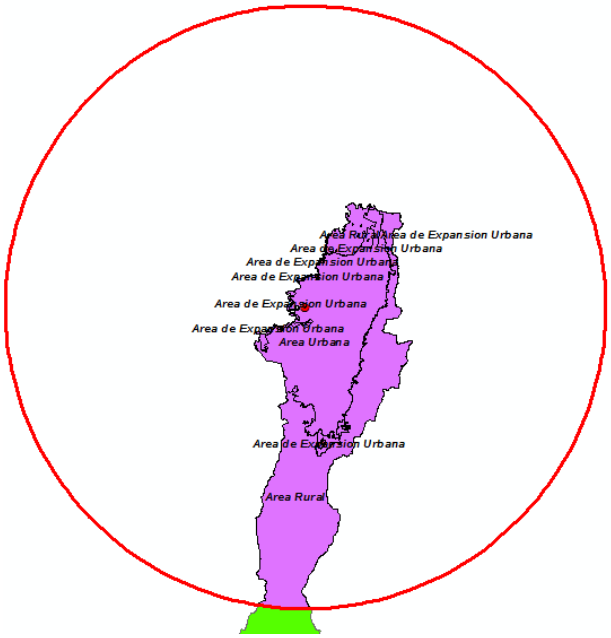


Figura XL. Cobertura 50 km a partir del origen
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

Como se observó anteriormente, se encontró la relación de ocupación en porcentaje, como se muestra en la Tabla 14, que demuestra la relación que el área rural se presenta con una menor ocupación, siendo esta del 40.1% y el área urbana más el área de expansión urbana con un total de ocupación, siendo esta del 100%, para lo cual, se logró establecer que con este radio de cubrimiento en el área urbana se garantizan los parámetros cartográficos en la ciudad de Bogotá D.C, Pero considerando que dicha cobertura debe cambiar respecto a la elevación considerando que la elevación máxima es de +-150 m entre planos de proyección de acuerdo a la NBR 14166.

Tabla 14. Relaciones de ocupación con radio de 50 km

FID	CLASIFICACION DEL SUELO	(AREA CUEBIERTA 50 Km) km^2	(AREA TOTAL SUELO BOGOTA D.C) km^2	PORCENTAJE DE OCUPACION (%)
2	Área Rural	492.131	1227.167	*40.1%*
0	Área de Expansión Urbana	29.739	29.739	*100%*
1	Área Urbana	379.452	379.452	*100%*
3	**Área (Urbana+Expansion Urbana)**	**409.192**	**409.192**	*100%*

Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Microsoft Excel 2010

6.5. Análisis espacial cuantitativo

De vértices geodésicos de control y vértices geodésicos muéstrales por localidad:

El presente análisis cuantitativo, mostró los vértices geodésicos de control y vértices geodésicos muéstrales relacionados por la influencia de cada una de las localidades de la ciudad de Bogotá D.C., observando los vértices geodésicos por zonificación. (Ver Figura XLI).

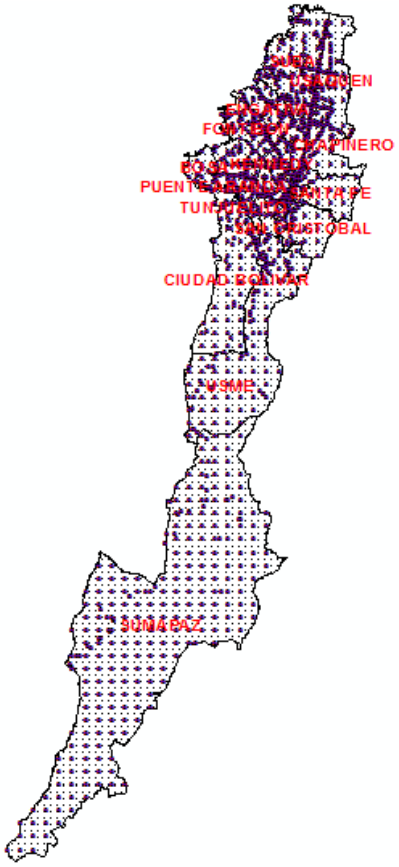


Figura XLI. Análisis Espacial por zonificación de localidades
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

También se muestran las relaciones cuantitativas e igualmente se observó características tales como áreas, perímetros, acuerdos por los cuales fueron establecidos estos polígonos y su respectivo código asignado a cada localidad. (Ver Tabla 15)

Tabla 15. Análisis espacial por localidad

FID	Shape *	LocCodigo	LocNombre	LocAAdmini	AREA	PERIMETRO	CONTADOR
3	Polygon ZM	17	CANDELARIA	Acuerdo 117 de 2003	2.06	7.444	6
0	Polygon ZM	15	ANTONIO NARIÑO	Acuerdo 117 de 2003	4.88	12.086	19
1	Polygon ZM	06	TUNJUELITO	Acuerdo 117 de 2003	9.911	23.33	19
7	Polygon ZM	14	LOS MARTIRES	Acuerdo 8 de 1977	6.514	11.013	19
2	Polygon ZM	18	RAFAEL URIBE URIBE	Acuerdo 117 de 2003	13.834	19.334	20
4	Polygon ZM	12	BARRIOS UNIDOS	Acuerdo 8 de 1977	11.903	13.427	32
15	Polygon ZM	07	BOSA	Acuerdo 14 de 1983	23.933	34.129	36
5	Polygon ZM	13	TEUSAQUILLO	Acuerdo 8 de 1977	14.193	16.433	41
11	Polygon ZM	03	SANTA FE	Acuerdo 117 de 2003	45.171	43.78	42
10	Polygon ZM	02	CHAPINERO	Acuerdo 8 de 1977	38.009	37.014	43
6	Polygon ZM	16	PUENTE ARANDA	Acuerdo 8 de 1977	17.311	17.855	48
12	Polygon ZM	04	SAN CRISTOBAL	Acuerdo 117 de 2003	49.099	40.294	54
17	Polygon ZM	09	FONTIBON	Acuerdo 8 de 1977	33.281	35.674	63
14	Polygon ZM	19	CIUDAD BOLIVAR	Acuerdo 14 de 1983	130.003	77.787	83
16	Polygon ZM	08	KENNEDY	Acuerdo 8 de 1977	38.59	31.422	86
18	Polygon ZM	10	ENGATIVA	Acuerdo 8 de 1977	35.881	32.351	87
9	Polygon ZM	01	USAQUEN	Acuerdo 8 de 1977	65.201	48.383	101
13	Polygon ZM	05	USME	Acuerdo 15 de 1993	215.067	108.901	128
19	Polygon ZM	11	SUBA	Acuerdo 8 de 1977	100.56	65.666	185
8	Polygon ZM	20	SUMAPAZ	Acuerdo 9 de 1986	780.969	212.192	269

Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

Y con ello también la gráfica, la cual sirve para visualizar los datos presentados anteriormente (Ver Figura XLII).

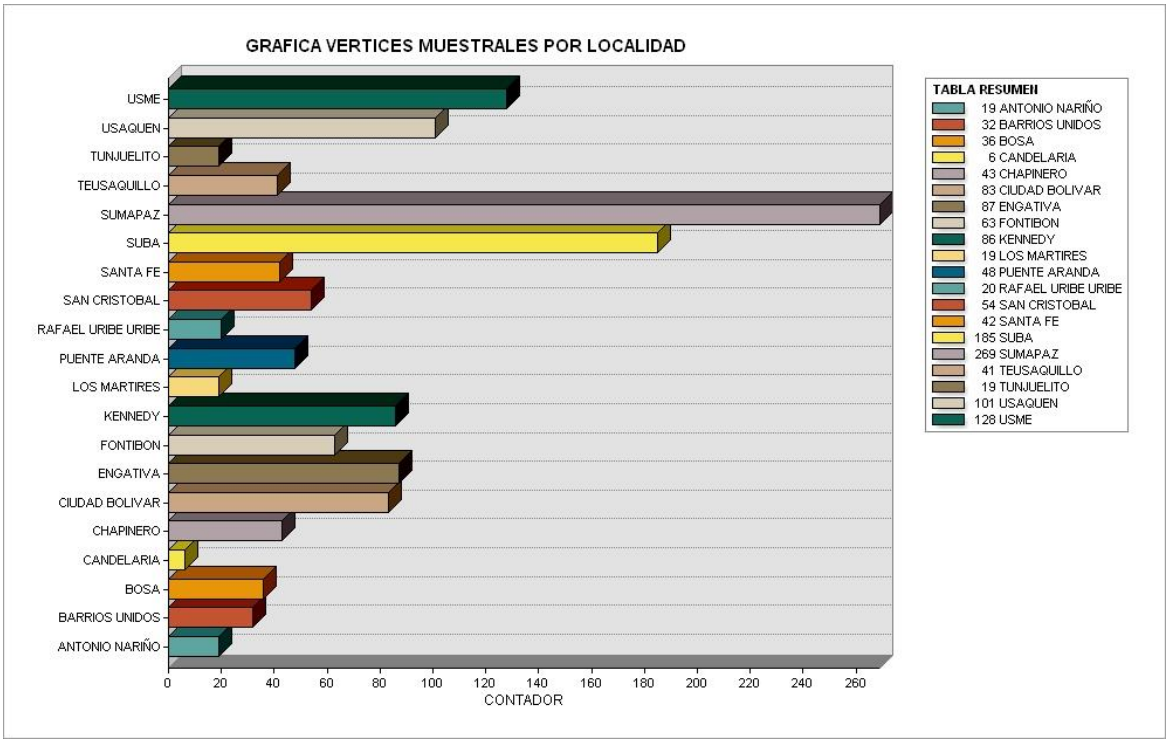


Figura XLII. Grafica de vértices geodesicos muéstrales por cada localidad
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

6.6. Análisis de coberturas a partir de la elevación

Para la proyección del PTL de Bogotá D.C.:

Este análisis comprendió la cobertura espacial dentro del área que ocupa dichas elevaciones dentro del territorio o suelo de la ciudad de Bogotá D.C., (Ver Figura XLIII)

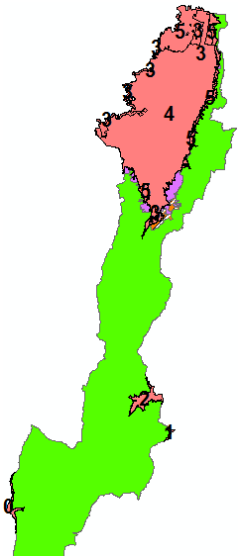


Figura XLIII. Área de cobertura entre rango de elevación clasificada según el tipo de suelo
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

Para ello se tuvo en cuenta la elevación, donde se evaluara la verdadera magnitud de cobertura teniendo en cuenta el área y la elevación ya dispuestas en el estudio. (Ver Figura XLIV)

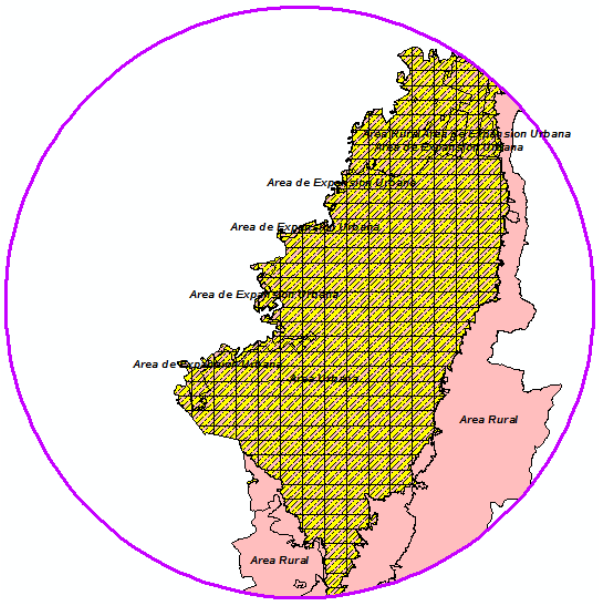


Figura XLIV. Área de cobertura entre rango de elevación y radio de cobertura de 20 km
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

En estos datos se pudo observar que cubre el 91.3% el área (Urbana+Expansión urbana), dado que contiene el radio de 20 km y el rango de elevación para los cuales se consideraron los parámetros como el suelo, el cual contiene las áreas tales como suelo de expansión urbano, urbano, rural. (Ver Tabla 16)

Tabla 16. Áreas de cobertura de 20 km con rango de elevación entre 2425 y 2675 msnm

TABLA DE RELACION DE AREA CON ORIGEN BOGOTA D.C-RADIO DE 20Km ELEVACION ENTRE 2425-2675 msnm				
CLASIFICACION DEL SUELO	(AREA CUEBIERTA 20 Km) km^2	(AREA TOTAL SUELO BOGOTA D.C) km^2	PORCENTAJE DE OCUPACION (%)	DISMINUCION/MEJORA(%)
Área Rural	47.562	179.754	*26.5%*	*11.8%*
Área de Expansión Urbana	19.228	19.493	*98.6%*	*33.1%*
Área Urbana	336.716	370.467	*90.9%*	*-6.7%*
Área (Urbana+Expansion Urbana)	**355.943**	**389.960**	*91.3%*	*-4.0%*

Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Microsoft Excel 2010

Estos datos presentan una aumento y disminución del área con respecto a lo mostrado anteriormente, lo que demuestra que el factor radio de cobertura que delimita a la elevación donde como se puede observar la ocupación del área urbanística disminuye en un 4.0%.

6.7. Análisis de orígenes cercanos a Bogotá D.C

Se analizó la influencia de los orígenes cercanos a Bogotá D.C. y el grado que poseen estos en lo que se refiere al área ocupada, para ello se adelantó un proceso de filtración en el cual, se consideró que la elevación del plano de proyección local no superara el proyectado para la ciudad, para lo cual se dispuso la equidistancia +- 125 m entre planos de proyección, donde de los 19 orígenes posibles cercanos a Bogotá D.C., se descartaron 9 de ellos, teniendo como vértices finales 10 orígenes y anexos a ellos se procedió a incluir 3 vértices que aunque no cumplían con el plano de proyección pero se consideran tener en cuenta dichos datos por el área ocupada en Bogotá D.C. para así un total de 13 orígenes totales en el estudio. (Ver Tabla 17)

Tabla 17. Orígenes cercanos para Bogotá D.C.

ID	ORIGEN LOCAL	G	M	S	LATITUD	G	M	S	LONGITUD	FALSO NORTE (m)	FALSO ESTE (m)	ALTURA PLANO DE PROYECCION msnm
0	CAJICA 2010	4	55	12	4.920	74	1	33	-74.026	1035806.601	1005731.335	2555.00
1	CHIA 2009	4	51	7	4.852	74	3	43	-74.062	1028269.277	1001727.344	2560.00
2	COTA 2010	4	48	34	4.809	74	6	4	-74.101	1023579.013	997367.840	2560.00
3	LA CALERA 2008	4	43	18	4.722	73	58	7	-73.969	1013869.966	1012077.374	2685.00
4	MADRID 2012-MOSQUERA 2006-FUNZA	4	42	46	4.713	75	14	9	-75.236	1012882.506	982433.732	2550.00
5	SIBATE 2012	4	29	24	4.490	74	15	37	-74.260	988263.674	979711.173	2573.00
6	SOACHA 2004	4	35	54	4.598	74	13	12	-74.220	998386.756	984195.994	2600.00
7	SOPO 2012	4	54	24	4.907	73	56	28	-73.941	1034342.728	1015125.334	2570.00
8	TABIO 2012	4	54	59	4.916	74	5	49	-74.097	1035393.886	997857.220	2590.00
9	TENJO 2012	4	52	17	4.871	74	8	43	-74.145	1030426.342	992491.956	2580.00
10	GUTIERREZ 2012	4	15	18	4.255	74	0	8	-74.002	962285.391	1008367.220	2287.00
11	PASCA 2012	4	18	34	4.309	74	18	4	-74.301	968279.805	975163.458	2165.00
12	SAN BERNARDO 2012	4	10	43	4.179	74	25	17	-74.421	953828.907	961808.104	1780.00

Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Microsoft Excel 2010

Asimismo, se consideró el primer parámetro bajo la normatividad dada por el IGAC con un radio de influencia de radio de 20 km para cada uno de los vértices geodésicos dispuestos como orígenes en el estudio. (Ver Figura XLV)

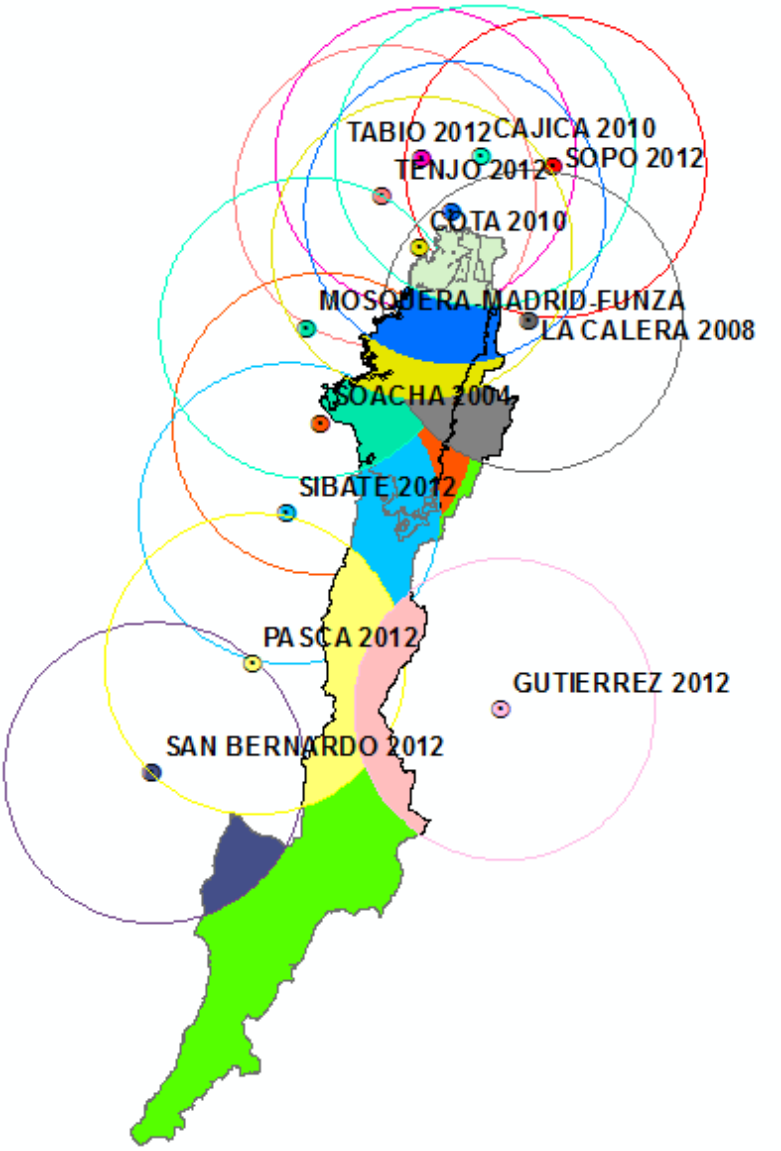


Figura XLV. Orígenes cercanos y área de cobertura sobre la ciudad de Bogotá D.C.
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

Donde, igualmente se encontró la relación de cada uno de los contenidos (Ver Tabla 18), teniendo en cuenta los 3 tipos de cobertura de suelo que contenemos como lo son: suelo de expansión urbano, urbano y rural para el presente análisis donde se mostró las relaciones estadísticas.

Tabla 18. Porcentajes parciales de ocupación sobre los orígenes cercanos

ORIGEN	ORIGEN LOCAL - CLASIFICACION	AREA DE COBERTURA-RADIO 20 Km km^2	AREA TOTAL SUELO BOGOTA D.C km^2	PORCENTAJE DE OCUPACION (%)	AREA TOTAL BOOGOTA	AREA TOTAL OCUPADA	PORCENTAJE DE OCUPACION TOTAL
CAJICA	CAJICA 2010-Área de Expansión Urbana	7.233	29.739	24.32%	1636.359	93.082	6%
	CAJICA 2010-Área Urbana	32.069	379.452	8.45%			
	CAJICA 2010-Área Rural	53.780	1227.167	4.38%			
CHIA	CHIA 2006-Área de Expansión Urbana	9.404	29.739	31.62%	1636.359	211.948	13%
	CHIA 2006-Área Urbana	137.733	379.452	36.30%			
	CHIA 2006-Área Rural	64.811	1227.167	5.28%			
COTA	COTA 2010-Área de Expansión Urbana	14.666	29.739	49.32%	1636.359	297.892	18%
	COTA 2010-Área Urbana	206.091	379.452	54.31%			
	COTA 2010-Área Rural	77.135	1227.167	6.29%			
GUTIERREZ	GUITIERREZ 2012-Área de Expansión Urbana	0.000	29.739	0.00%	1636.359	80.780	5%
	GUITIERREZ 2012Área Urbana	0.000	379.452	0.00%			
	GUITIERREZ 2012COTA 2010-Área Rural	80.780	1227.167	6.58%			
LA CALERA	LA CALERA 2008-Área de Expansión Urbana	8.863	29.739	29.80%	1636.359	357.889	22%
	LA CALERA 2008-Área Urbana	209.594	379.452	55.24%			
	LA CALERA 2008-Área Rural	139.432	1227.167	11.36%			
MOSQUERA-MADRID-FUNZA	MOSQUERA-MADRID-FUNZA-Área de Expansión Urbana	11.967	29.739	40.24%	1636.359	270.665	17%
	MOSQUERA-MADRID-FUNZA-Área Urbana	236.660	379.452	62.37%			
	MOSQUERA-MADRID-FUNZA-Área Rural	22.038	1227.167	1.80%			
PASCA	PASCA-Área de Expansión Urbana	0.000	29.739	0.00%	1636.359	85.855	5%
	PASCA-Área Urbana	0.000	379.452	0.00%			
	PASCA-Área Rural	85.855	1227.167	7.00%			
SAN BERNARDO	SAN BERNARDO 2012-Área de Expansión Urbana	0.0000	29.7393	0.00%	1636.35886	45.612	3%
	SAN BERNARDO 2012-Área Urbana	0.0000	379.4523	0.00%			
	SAN BERNARDO 2012-Área Rural	45.612	1227.1672	3.72%			
SIBATE	SIBATE-Área de Expansión Urbana	15.434	29.739	51.90%	1636.359	339.748	21%
	SIBATE-Área Urbana	127.181	379.452	33.52%			
	SIBATE-Área Rural	197.133	1227.167	16.06%			
SOACHA	SOACHA 2004-Área de Expansión Urbana	22.067	29.739	74.20%	1636.359	442.908	27%
	SOACHA 2004-Área Urbana	293.870	379.452	77.45%			
	SOACHA 2004-Área Rural	126.970	1227.167	10.35%			
SOPO	SOPO 2012-Área de Expansión Urbana	7.179	29.739	24.14%	1636.359	58.856	4%
	SOPO 2012-Área Urbana	16.474	379.452	4.34%			
	SOPO 2012-Área Rural	35.204	1227.167	2.87%			
TABIO	TABIO 2012-Área de Expansión Urbana	7.818	29.739	26.29%	1636.359	101.530	6%
	TABIO 2012-Área Urbana	41.819	379.452	11.02%			
	TABIO 2012-Área Rural	51.893	1227.167	4.23%			
TENJO	TENJO 2012-Área de Expansión Urbana	10.334	29.739	34.75%	1636.359	159.287	10%
	TENJO 2012-Área Urbana	96.060	379.452	25.32%			
	TENJO 2012-Área Rural	52.893	1227.167	4.31%			

Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Microsoft Excel 2010

Y con ello también la gráfica (Ver Figura XLVI), la cual visualiza los datos presentados anteriormente que se encuentran en “Tabla De Relación De Áreas Con Respecto A Su Cobertura De 20 Km A Partir Del Origen Y Rango De Elevación” (Ver Anexo 8).

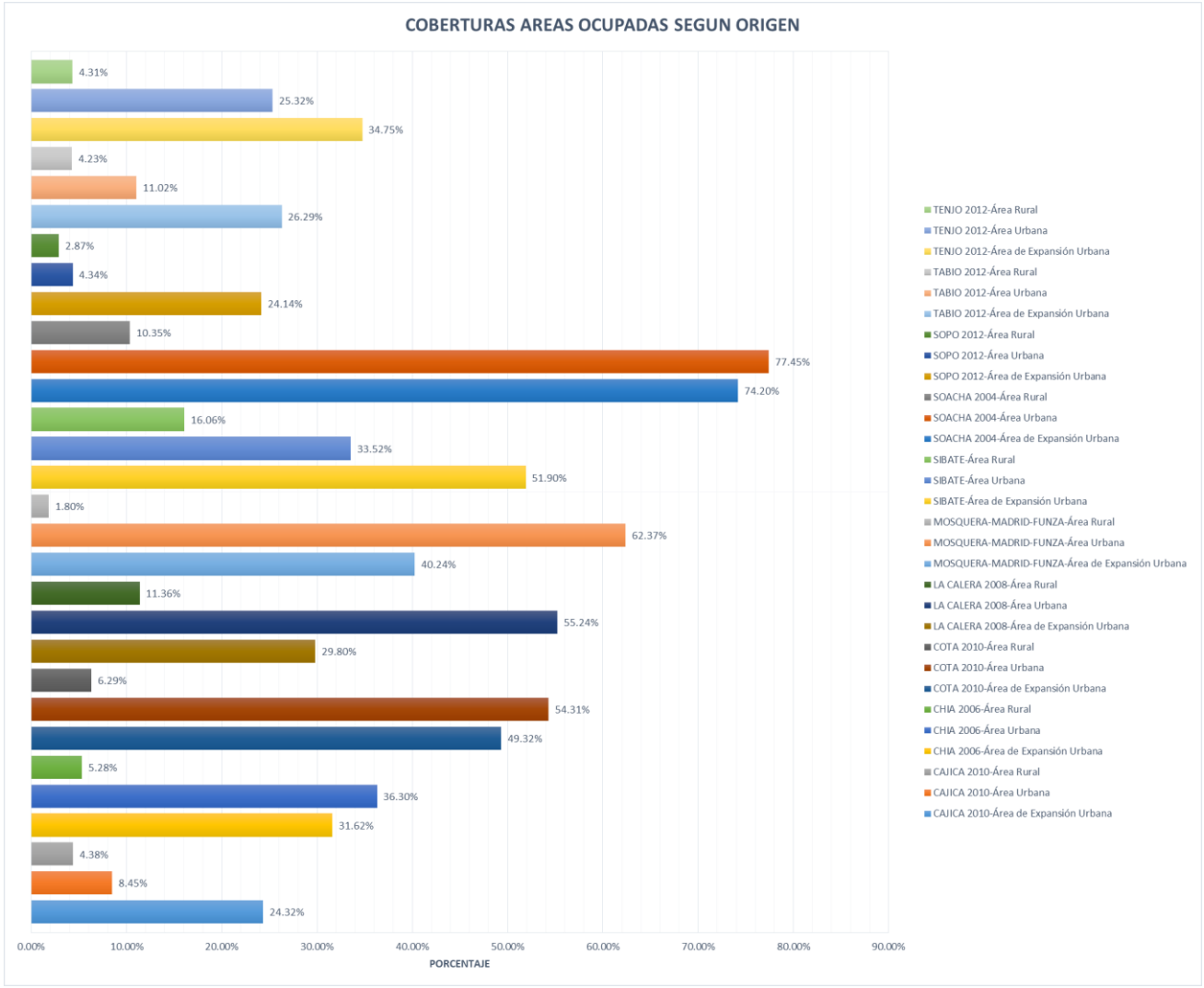


Figura XLVI. Coberturas por porcentajes y clasificación desde los orígenes cercanos
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

Con ello, también se encontró los porcentajes de ocupación de mayor a menor en lo que corresponde las áreas de cobertura según los orígenes cercanos para Bogotá D.C., respecto a la ocupación total de territorio de estudio:

1. Soacha → 27%
2. Sibaté→ 21%
3. La Calera → 22%
4. Cota → 18%
5. Mosquera-Madrid-Funza → 17%
6. Chía → 13%
7. Tenjo → 10%
8. Cajicá → 6%
9. Tabio → 6%
10. Sopo → 4%

Como ya se mostró el porcentaje de mayor ocupación es el origen Soacha con un 27%, solamente contemplando la cobertura espacial de 20 km a partir de cada origen y en un menor porcentaje el origen de Sopo es de un 3% de ocupación con respecto al total del suelo de la ciudad de Bogotá D.C**.**

Ahora bien, como ya se ha contemplado el área ocupada con respecto al suelo total de la ciudad de Bogotá D.C. se realizó el análisis con respecto a la verdadera magnitud teniendo en cuenta que la cobertura espacial es el 100% del área ocupada restringiendo nuestro estudio al radio de origen de estudio. Es por ello que se procede a ejecutar de igual manera la elevación que cubre el área de Bogotá D.C.

A continuación, en la Tabla 19 se puede observar la intercepción de los dos ítems antes mencionados, considerando que contiene parámetros tales como suelo de expansión urbano, urbano y rural y el área de elevación entre los rangos de 2425 y 2675 msnm. Por consiguiente, se analizó que dichos resultados son dependientes del área de elevación y el área ocupada, por lo cual, presenta en cada uno de sus orígenes una disminución porcentual, como se muestra en la siguiente lista e igualmente se puede encontrar este análisis. (Anexo 8).

1. Sibaté→ 71%
2. Soacha → 40%
3. La Calera → 28%
4. Sopo → 22%
5. Cajicá → 15%
6. Cota → 13%
7. Chía → 12%
8. Tabio → 11%
9. Tenjo → 8%
10. Mosquera-Madrid-Funza →3%

De tal forma, se observó o una disminución en el origen de Sibaté con un mayor porcentaje de reducción con respecto al área de ocupación total del 100% siendo esta del 71% e igualmente el área de ocupación con la menor reducción es el origen de Mosquera-Madrid-Funza con una reducción del 3%. (Ver Tabla 19), Pero, igualmente se analizó los porcentajes de mayor a menor ocupación teniendo en cuenta el área de cobertura y el rango de elevación como se muestra la siguiente lista:

1. Mosquera-Madrid-Funza →97%
2. Tenjo → 92%
3. Tabio → 89%
4. Chía → 88%
5. Cota → 87%
6. Cajicá → 85%
7. Sopo → 78%
8. La Calera → 72%
9. Soacha → 60%
10. Sibaté→ 29%

Tabla 19. Relaciones de cobertura (Radio de 20 km y elevación)

ORIGEN	CLASIFICACION DEL SUELO	AREA CUEBIERTA POR ELEVACION 2425-2675 msnm km^2	AREA TOTAL SOBRE SUELO BOGOTA D.C-RADIO 20 Km km^2	PORCENTAJE DE OCUPACION (%)	AREA (Urbana+Expansion Urbana)	RELACION	AREA TOTAL OCUPADA	PORCENTAJE DE OCUPACION TOTAL
CAJICA	Área de Expansión Urbana	7.233	29.739	24.3%	409.192	Area total	79.509	85%
	Área Urbana	31.884	379.452	8.40%	15.06%	Porcentaje Final		
	Área Rural	40.393	1227.167	3.3%	61.623	Area cubierta		
CHIA	Área de Expansión Urbana	9.230	29.739	31.0%	409.192	Area total	186.826	88%
	Área Urbana	136.952	379.452	36.09%	35.72%	Porcentaje Final		
	Área Rural	40.645	1227.167	3.3%	146.182	Area cubierta		
COTA	Área de Expansión Urbana	14.297	29.739	48.1%	409.192	Area total	260.230	87%
	Área Urbana	205.217	379.452	54.1%	53.6%	Porcentaje Final		
	Área Rural	40.716	1227.167	3.3%	219.514	Area cubierta		
GUTIERREZ	Área de Expansión Urbana	0.000	29.739	0.0%	409.192	Area total	4.986	6%
	Área Urbana	0.000	379.452	0.000	0.000	Porcentaje Final		
	Área Rural	4.986	1227.167	0.4%	0.000	Area cubierta		
LA CALERA	Área de Expansión Urbana	8.723	29.739	29.3%	409.192	Area total	255.907	72%
	Área Urbana	206.389	379.452	54.4%	52.570%	Porcentaje Final		
	Área Rural	40.794	1227.167	3.3%	215.112	Area cubierta		
MOSQUERA-MADRID-FUNZA	Área de Expansión Urbana	11.562	29.739	38.9%	409.192	Area total	262.169	97%
	Área Urbana	230.511	379.452	60.7%	59.2%	Porcentaje Final		
	Área Rural	20.097	1227.167	1.6%	242.072	Area cubierta		
PASCA	Área de Expansión Urbana	0.000	29.739	0.0%	409.192	Area total	0.000	0%
	Área Urbana	0.000	379.452	0.000	0.000	Porcentaje Final		
	Área Rural	0.000	1227.167	0.0%	0.000	Area cubierta		
SAN BERNARDO	Área de Expansión Urbana	0.000	29.739	0.0%	409.192	Area total	0.000	0%
	Área Urbana	0.0000	379.4523	0.0000	0.0000	Porcentaje Final		
	Área Rural	0.000	1227.167	0.0%	0.000	Area cubierta		
SIBATE	Área de Expansión Urbana	5.271	29.739	17.7%	409.192	Area total	98.721	29%
	Área Urbana	93.176	379.452	24.6%	24.1%	Porcentaje Final		
	Área Rural	0.274	1227.167	0.0%	98.448	Area cubierta		
SOACHA	Área de Expansión Urbana	11.575	29.739	38.9%	409.192	Area total	263.889	60%
	Área Urbana	251.909	379.452	66.4%	64.4%	Porcentaje Final		
	Área Rural	0.404	1227.167	0.0%	263.485	Area cubierta		
SOPO	Área de Expansión Urbana	7.179	29.739	24.1%	409.192	Area total	45.673	78%
	Área Urbana	16.334	379.452	4.3%	5.7%	Porcentaje Final		
	Área Rural	22.160	1227.167	1.8%	23.512	Area cubierta		
TABIO	Área de Expansión Urbana	7.743	29.739	26.0%	409.192	Area total	89.882	89%
	Área Urbana	41.701	379.452	11.0%	12.1%	Porcentaje Final		
	Área Rural	40.438	1227.167	3.3%	49.444	Area cubierta		
TENJO	Área de Expansión Urbana	10.115	29.739	34.0%	409.192	Area total	146.471	92%
	Área Urbana	95.890	379.452	25.3%	25.9%	Porcentaje Final		
	Área Rural	40.467	1227.167	3.3%	106.005	Area cubierta		

Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Microsoft Excel 2010

6.7.1. Análisis estadístico de cobertura desde cada origen de Bogotá D.C.

Con el presente análisis estadístico se analizó los datos anteriormente mostrados, como primera parte se observó los porcentajes de ocupación junto con los criterios de radio de cobertura y rango de elevación respectivamente, que servirá para verificar la cobertura de cada uno de los orígenes, considerando que han sido descartados tres de los orígenes por motivos de que los porcentajes de ocupación no presentan relevancia sobre el presente estudio. (Ver Tabla 20)

Tabla 20. Relación de porcentajes de ocupación

ORIGEN	PORCENTAJE DE OCUPACION TOTAL RADIO DE 20 KM RESPECTO AL TOTAL DE AREA DE LA CIUDAD DE BOGOTA D.C.	PORCENTAJE DE OCUPACION TOTAL RADIO DE 20 KM-RANGO DE ELEVACION RESPECTO AL ORIGEN
CAJICA	6%	85%
CHIA	13%	88%
COTA	18%	87%
LA CALERA	22%	72%
MOSQUERA-MADRID-FUNZA	17%	97%
SIBATE	21%	29%
SOACHA	27%	60%
SOPO	4%	78%
TABIO	6%	89%
TENJO	10%	92%

Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Microsoft Excel 2010

Enseguida, se procedió a realizar los análisis estadísticos, los cuales muestran resultados que ratifican que mediante la interacción del radio de cobertura y el rango de elevación dichas proporciones de ocupación cambian de tal forma que delimita el estudio y que para el uso de cada uno de los orígenes se debe tener en cuenta dicho cumplimiento. (Ver Tabla 21)

Tabla 21. Datos estadísticos respecto a los orígenes cercanos para la ciudad

PORCENTAJE DE OCUPACION TOTAL RADIO DE 20 KM	VALORES	PORCENTAJE DE OCUPACION TOTAL RADIO DE 20 KM-RANGO DE ELEVACION	VALORES
Media	**14%**	**Media**	**78%**
Error típico	**2%**	**Error típico**	**6%**
Mediana	**15%**	**Mediana**	**86%**
Desviación estándar	**8%**	**Desviación estándar**	**20%**
Varianza de la muestra	**1%**	**Varianza de la muestra**	**4.1%**
Rango	**23%**	**Rango**	**68%**
Mínimo	**4%**	**Mínimo**	**29%**
Máximo	**27%**	**Máximo**	**97%**
Cuenta	**10**	**Cuenta**	**10**
Nivel de confianza (95.0%)	**6%**	**Nivel de confianza (95.0%)**	**14%**

Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Microsoft Excel 2010

Así mismo, con los datos anteriormente dispuestos, se analizó el comportamiento de manera gráfica del porcentaje de ocupación de 20 km con respecto al total del territorio de la ciudad de Bogotá D.C, observando como los valores poseen características donde muestra que el valor de ocupación se encuentra en la media del 14% de ocupación y al mismo tiempo teniendo sus porcentajes de 27% y 4% como valor máximo y mínimos respectivamente.

De igual manera su desviación estándar del 8% a partir de la media presenta la respectiva dispersión que tienen dichos datos, de igual manera se dispone del nivel de confianza que es del 6% que asegura que estos valores poseen un 95% de confiabilidad para poder ser tomados los cuales son los orígenes de: Chía, Cota, La Calera, MMF y Sibaté. (Ver Figura XLVII)

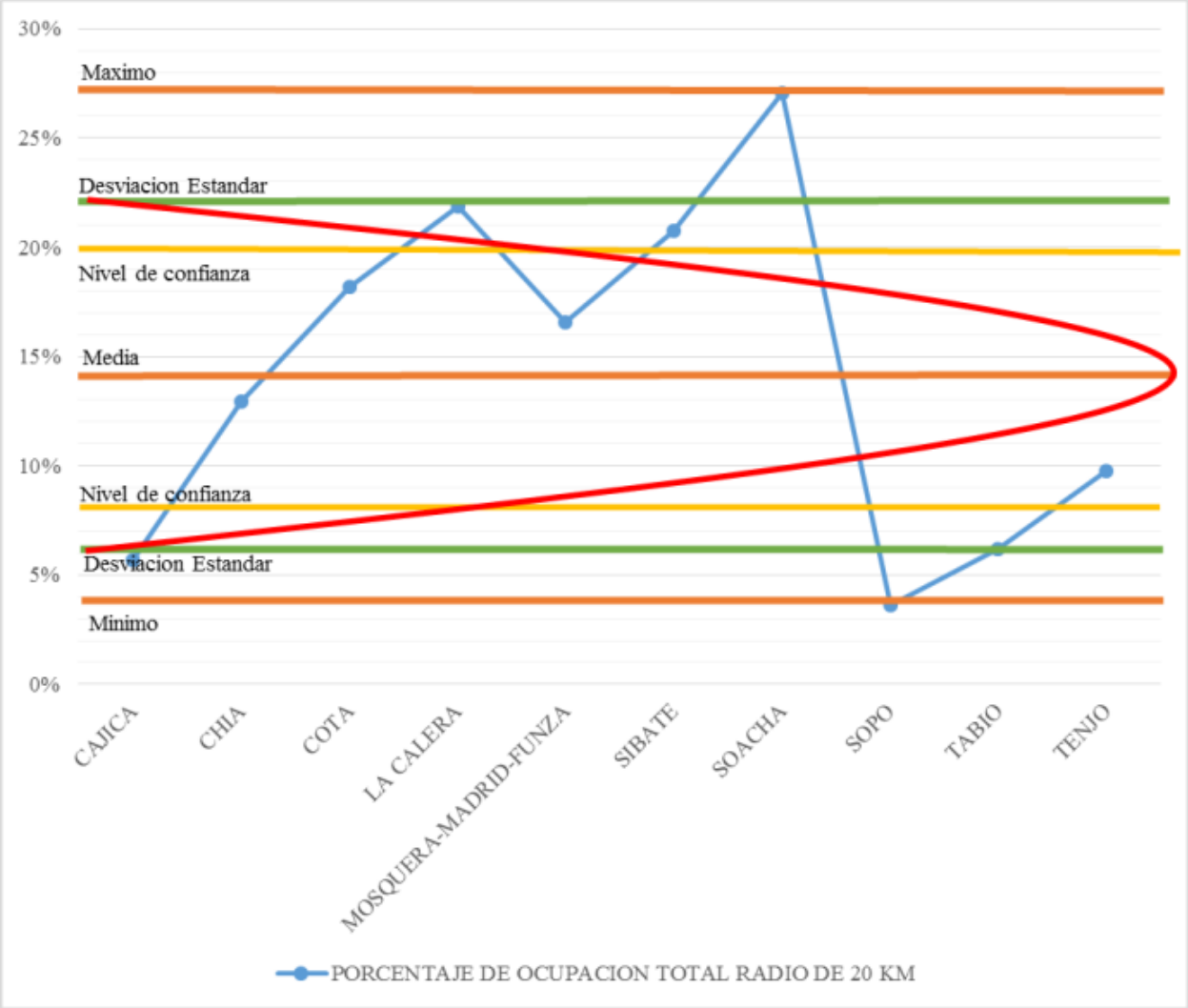


Figura XLVII. Grafica estadistica de los orígenes cercanos criterio de radio de 20 km
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Microsoft Excel 2010

El análisis consideró de igual forma el rango de elevación dispuesto en el presente caso, mediante el uso grafico se resaltaran los valores que se tomaron para el presente análisis, observando como los valores poseen características donde muestra que el valor de ocupación que se encuentra en la mitad de la distribución o en su caso la mediana es del 86% de ocupación respecto al promedio de los orígenes dispuestos para el estudio, al mismo tiempo se presentan los porcentajes de máximos y mínimos del 97% y 29% respectivamente.

De igual manera, presenta la desviación estándar del 20% a partir de la media lo que determina la dispersión de los datos entre las muestras, generando un nivel de confianza del 14% de los datos, el cual son los valores que se encuentran dentro de un 95% de confiabilidad para poder ser tomados en el presente análisis, siendo estos los orígenes de: Cajicá, Chía, Cota, La Calera, MMF, Sopo, Tabio y Tenjo. (Ver Figura XLVIII)

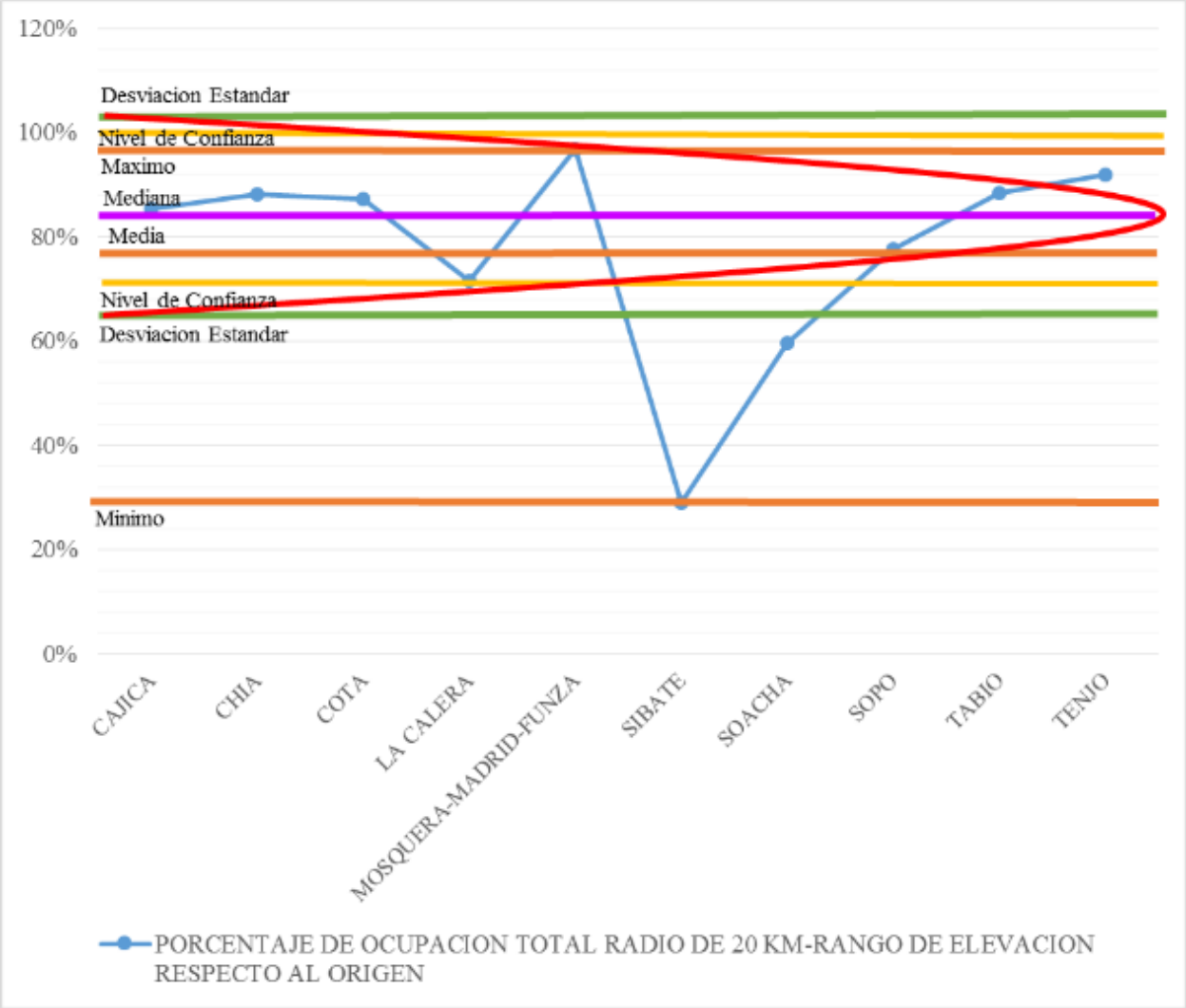


Figura XLVIII. Grafica estadística de los orígenes cercanos (radio de 20 km y elevacion)
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Microsoft Excel 2010

6.7.2. Análisis de orígenes cercanos a Bogotá D.C.

Respecto a la cantidad de vértices geodésicos muéstrales que cumplen con el rango de elevación:

Para el presente caso se estudió el radio de influencia de 20 km y rango de elevación con respecto a la cantidad de vértices geodésicos muéstrales que es ocupado por dichos parámetros en el total del territorio de la ciudad de Bogotá D.C. (Ver Tabla 22)

Tabla 22. Relación de orígenes cercanos a Bogotá D.C. (Cantidad de vértices geodésicos)

ORIGEN	CLASIFICACION DEL SUELO	VERTICES GEODESICOS PARCIALES	TOTAL DE VERTICES GEODESICOS MUESTRALES DESDE EL ORIGEN	TOTAL DE VERTICES GEODESICOS MUESTRALES	PORCENTAJE DE VERTICES GEODESICOS POR CADA USO DEL SUELO (%)	ORIGEN	ELEVACION PLANO DE PROYECCION msnm	CRITERIO (+- 125 m)	TOTAL DE VERTICES GEODESICOS MUESTRALES DESDE EL ORIGEN CON CUMPLIMIENTO DE ELEVACION	PORCENTAJE DE VERTICES GEODESICOS CON CUMPLIMIENTO EN ELEVACION (%)
CAJICA	Área de Expansión Urbana	3	26	8	37.5%	CAJICA	2555.000	"Z" >=2430 AND "Z" <=2660	22	84.6%
	Área Urbana	16		110	14.5%					
	Área Rural	7		359	1.9%					
CHIA	Área de Expansión Urbana	4	61	8	50.0%	CHIA	2560.000	"Z" >=2434 AND "Z" <=2685	53	86.9%
	Área Urbana	19		110	17.3%					
	Área Rural	38		359	10.6%					
COTA	Área de Expansión Urbana	4	86	8	50.0%	COTA	2560.000	"Z" >=2434 AND "Z" <=2685	74	86.0%
	Área Urbana	60		110	54.5%					
	Área Rural	22		359	6.1%					
GUTIERREZ	Área de Expansión Urbana	0	42	8	0.0%	GUTIERREZ	2287.000	"Z" >=2162AND "Z" <=2412	0	0.0%
	Área Urbana	0		110	0.0%					
	Área Rural	42		359	11.7%					
LA CALERA	Área de Expansión Urbana	4	106	8	50.0%	LA CALERA	2685.000	"Z" >=2560 AND "Z" <=2810	44	41.5%
	Área Urbana	60		110	54.5%					
	Área Rural	42		359	11.7%					
MOSQUERA-MADRID-FUNZA	Área de Expansión Urbana	2	81	8	25.0%	MOSQUERA-MADRID-FUNZA	2550.000	"Z" >=2425 AND "Z" <=2675	78	96.3%
	Área Urbana	71		110	64.5%					
	Área Rural	8		359	2.2%					
PASCA	Área de Expansión Urbana	0	75	8	0.0%	PASCA	2165.000	"Z" >=2040 AND "Z" <=2290	0	0.0%
	Área Urbana	0		110	0.0%					
	Área Rural	75		359	20.9%					
SAN BERNARDO	Área de Expansión Urbana	0	21	8	0.0%	SAN BERNARDO	1780.000	"Z" >=1655 AND "Z" <=1905	0	0.0%
	Área Urbana	0		110	0.0%					
	Área Rural	21		359	5.8%					
SIBATE	Área de Expansión Urbana	4	96	8	50.0%	SIBATE	2573.000	"Z" >=2448 AND "Z" <=2698	25	26.0%
	Área Urbana	38		110	34.5%					
	Área Rural	54		359	15.0%					
SOACHA	Área de Expansión Urbana	5	128	8	62.5%	SOACHA	2600.000	"Z" >=2475 AND "Z" <=2725	73	57.0%
	Área Urbana	85		110	77.3%					
	Área Rural	38		359	10.6%					
SOPO	Área de Expansión Urbana	3	16	8	37.5%	SOPO	2570.000	"Z" >=2445 AND "Z" <=2695	13	81.3%
	Área Urbana	3		110	2.7%					
	Área Rural	10		359	2.8%					
TABIO	Área de Expansión Urbana	3	27	8	37.5%	TABIO	2590.000	"Z" >=2465 AND "Z" <=2715	25	92.6%
	Área Urbana	9		110	8.2%					
	Área Rural	15		359	4.2%					
TENJO	Área de Expansión Urbana	4	44	8	50.0%	TENJO	2580.000	"Z" >=2455 AND "Z" <=2705	42	95.5%
	Área Urbana	25		110	22.7%					
	Área Rural	15		359	4.2%					

Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Microsoft Excel 2010

Donde se consiguió observar que del total de los 477 vértices geodésicos muéstrales existentes en el suelo de la ciudad de Bogotá D.C. solamente cubren estos orígenes un total de 285 vértices geodésicos muéstrales siendo este del 59.7% del total de los vértices a utilizar en el estudio, cabe resaltar que los vértices ocupan el uso del suelo urbano y suelo de expansión urbana superando el 45% garantizando la utilización de dichos orígenes para las zonas que nos son cubiertas por el área de influencia urbanística.

También, de este análisis se pudó observar que el porcentaje de cobertura de cada origen es de 20 km no sobrepasa el 30% con respecto a la totalidad de los vértices muéstrales en Bogotá D.C, muestra esto que la ubicación espacial de los vértices para poder ser utilizado dicho origen deberá cumplir con el área de cobertura para así determinar cada uno de los planos topográficos locales.

Asimismo, dicho análisis considera los planos de elevación según la elevación de proyección para cada uno de los orígenes cercanos a Bogotá D.C. Donde se encontró como resultados los siguientes datos estadísticos de cumplimiento respecto a la cantidad de vértices geodésicos muéstrales tomados según el radio de 20 km, donde de los 13 orígenes 8 cumplen con el rango de elevación y la cobertura dispuesta por encima del 50% y finalmente 3 de ellos son eliminados considerando que no cumple con el plano de proyección para cada origen dispuesto para el estudio; todo esto se puede observar en “Tabla De Vértices Muéstrales Por Cada Uno De Los Orígenes Cercanos Con Una Cobertura De 20 Km A Partir Del Origen Y Rango De Elevación” (Ver Anexo 9)

E igualmente también se obtuvo los datos estadísticos, donde se mostró la desviación estándar con un valor de 503.705 con respecto a la media de 3295.087 msnm siendo esta la dispersión de los datos con respeto a la media. (Ver Figura XLIX).

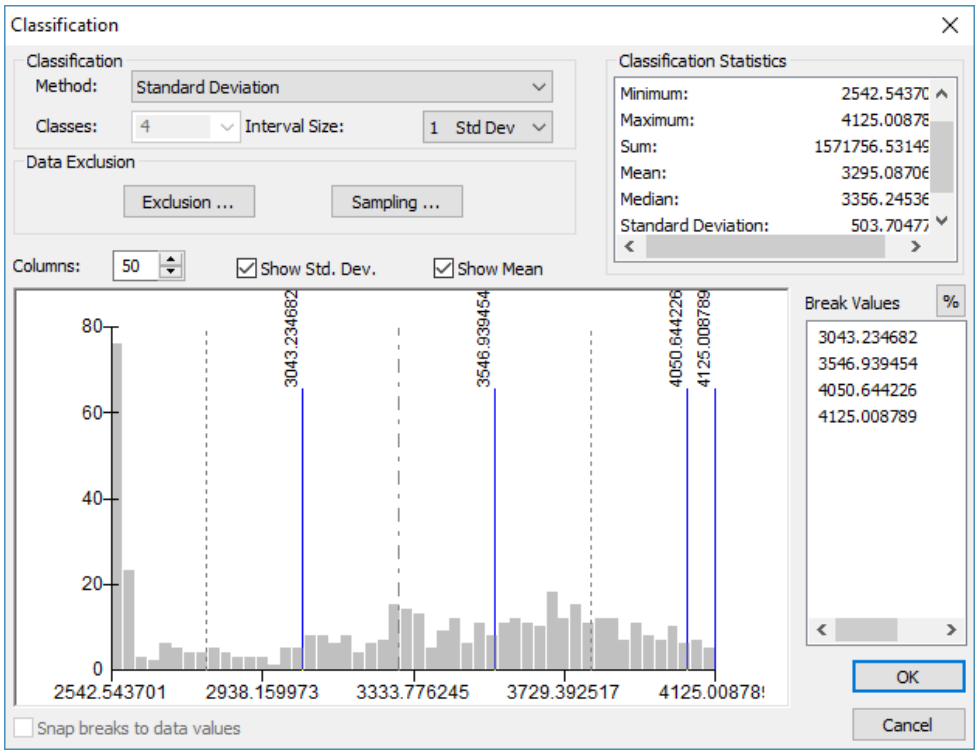


Figura XLIX. Desviación estándar de los vértices geodésicos muéstrales de Bogotá D.C**.**
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

6.7.2.1. Análisis estadístico.

Para la verificación de la cantidad de vértices geodésicos muéstrales de acuerdo al rango de elevación desde cada origen cercano:

Con el presente análisis estadístico se buscó analizar los datos antes realizados, donde como primera parte se observó la cantidad de vértices geodésicos que se encuentran bajo los criterios de radio de cobertura y rango de elevación que será de estudio para verificar la cobertura periférica sobre el territorio. Entendiendo lo anteriormente dicho, dentro del análisis se considera descartar tres de los orígenes por motivos de que los porcentajes no presentan relevancia sobre el presente estudio como se habían eliminado anteriormente. (Ver Tabla 23)

Tabla 23. Relación de los vértices por cada origen cercano a la ciudad de Bogotá D.C.

ORIGEN	TOTAL DE VERTICES GEODESICOS MUESTRALES DES.DE EL ORIGEN	TOTAL DE VERTICES GEODESICOS MUESTRALES DESDE EL ORIGEN CON CUMPLIMIENTO DE ELEVACION
CAJICA	**26**	**85%**
CHIA	**61**	**87%**
COTA	**86**	**86%**
LA CALERA	**106**	**42%**
MOSQUERA-MADRID-FUNZA	**81**	**96%**
SIBATE	**96**	**26%**
SOACHA	**128**	**57%**
SOPO	**16**	**81%**
TABIO	**27**	**93%**
TENJO	**44**	**95%**

Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Microsoft Excel 2010

Enseguida se procede a realizar los análisis estadísticos, los cuales mostraron resultados que ratifica que mediante la interacción de la cantidad de vértices geodésicos muéstrales que cumplen con las especificaciones de radio de cobertura y el rango de elevación; dichas proporciones de ocupación cambian de forma que delimita el estudio y que para el empleo de cada uno de los orígenes se debe tener en cuenta que dicho cumplimiento. (Ver Tabla 24)

Tabla 24. Datos estadísticos de la cantidad de vértices geodésicos muéstrales

TOTAL DE VERTICES GEODESICOS MUESTRALES DESDE EL ORIGEN	VALOR	TOTAL DE VERTICES GEODESICOS MUESTRALES DESDE EL ORIGEN CON CUMPLIMIENTO DE ELEVACION	VALOR
Media	**67**	**Media**	**75%**
Error típico	**12**	**Error típico**	**8%**
Mediana	**71**	**Mediana**	**85%**
Desviación estándar	**38**	**Desviación estándar**	**25%**
Rango	**112**	**Rango**	**70%**
Mínimo	**16**	**Mínimo**	**26%**
Máximo	**128**	**Máximo**	**96%**
Cuenta	**10**	**Cuenta**	**10**
Nivel de confianza (95.0%)	**27**	**Nivel de confianza (95.0%)**	**18%**

Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Microsoft Excel 2010

Así mismo, con los datos anteriormente dispuestos se analizó el comportamiento de los datos de manera gráfica, observando las características de la cantidad de vértices geodésicos a partir de

cada origen teniendo en cuenta solamente del radio de cobertura de los 20 km a partir del origen donde poseen una mediana de 71 vértices muéstrales respecto al total de los vértices geodésicos de muestra, asimismo con valores de máximos y mínimos de 128 y 16 respectivamente.

También se encontró la distribución de datos y su valor con respecto a la media teniendo una desviación estándar de 38 vértices, con lo cual se genera un nivel de confianza de 27 vértices a partir de la media, donde dichos datos que se encuentran en esta zona poseen un 95% de confiabilidad para poder ser tomados por en el presente análisis siendo estos los orígenes de: Cajicá, Chía, Cota, La Calera, MMF, Sibaté, y Soacha, cuyos orígenes cumple con el rango de elevación propio de cada sistema. (Ver Figura L)

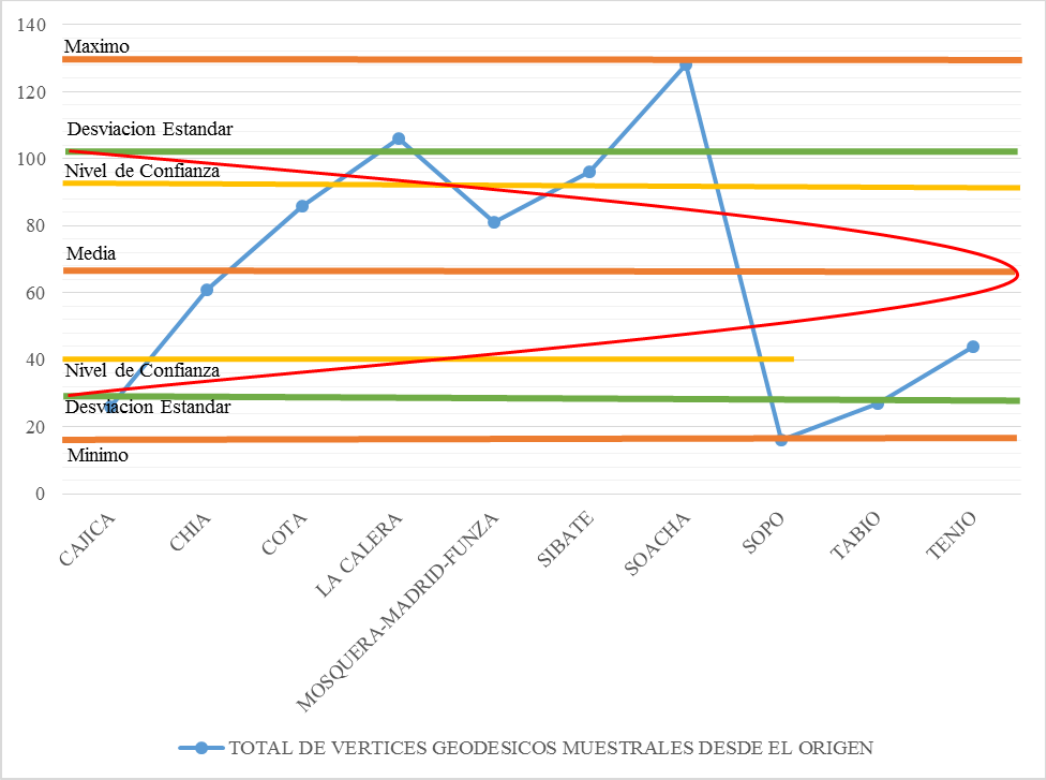


Figura L. Grafica estadística de vértices muéstrales de cada origen (Radio de 20 km)
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Microsoft Excel 2010

Igualmente, también el análisis consideró la elevación que mediante el uso gráfico, observando como los valores poseen características donde se muestra el valor de la medina con un porcentaje del 85% de los vértices muéstrales que equivalen a 69 vértices muéstrales; de igual manera también se posee sus porcentajes de máximos y mínimos de 96% y 26% vértices respectivamente y su equivalencia son 78 y 22 vértices muéstrales.

De esta misma forma, dichos vértices se encuentran dispersos a través de la media con una desviación estándar del 25% de los vértices muéstrales equivalente a 22 vértices muéstrales, generando así un nivel de confianza de 18% de los vértices desde la media que equivalen a 17 vértices muéstrales, lo cual son los vértices que poseen un 95% de confiabilidad para poder ser tomados por en el presente análisis, siendo estos: Chía, Cota, La Calera, MMF, Soacha y Tenjo. (Ver Figura LI)

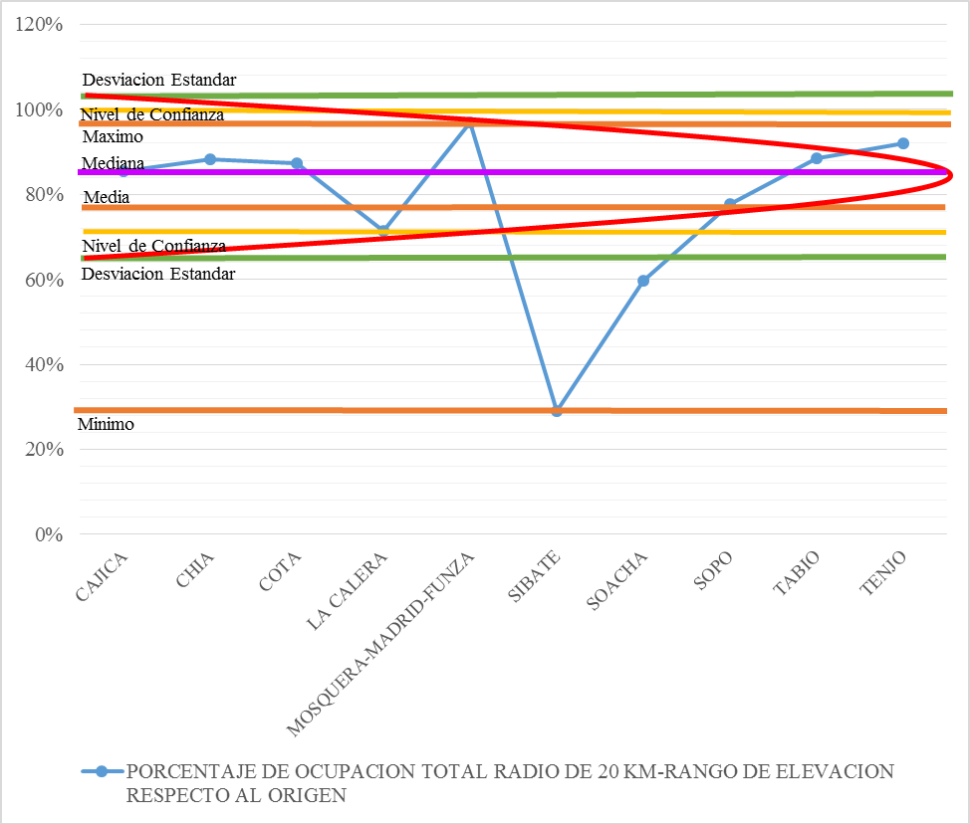


Figura LI. Grafica estadística de vertices muestrales (Radio de 20 km y elevación)
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Microsoft Excel 2010

6.8. Análisis de cobertura de planchas escala 1:2000

El presenta análisis buscó verificar la cobertura según la normatividad IGAC en un radio de 20 km a partir el origen adoptado para la ciudad de Bogotá D.C. (Ver Figura LII)

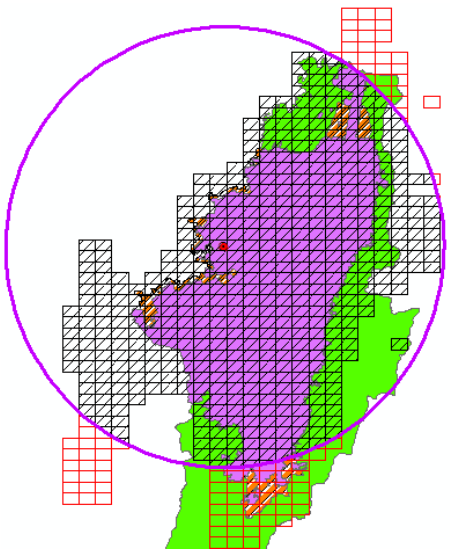


Figura LII. Área de cobertura a partir del origen para planchas escala 1:2000
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

Donde de 581 planchas que se encuentran disponibles para la ciudad de Bogotá D.C., bajo el parámetro anteriormente dispuesto, solamente su cobertura permite tener en cuenta 506 de las presentes planchas, lo cual representa que el 87.09% del total de las planchas con este origen local adoptado para la ciudad de Bogotá D.C cumplen.

Pero teniendo en cuenta el área sobre la superficie calculada para este análisis se presenta una disminución siendo el criterio de área su mayor influencia, donde al tener el área de cobertura de los 20 km su ocupación final corresponde al 85% que es equivalente a 493 planchas en el área de Bogotá D.C.

En este análisis ejecutado también se resalta la evaluación de la elevación que cubre el área de Bogotá D.C., dicho análisis se realizó bajo los mismos procedimientos anteriormente descritos, donde se evaluó la verdadera magnitud de cobertura. (Ver Figura LIII)

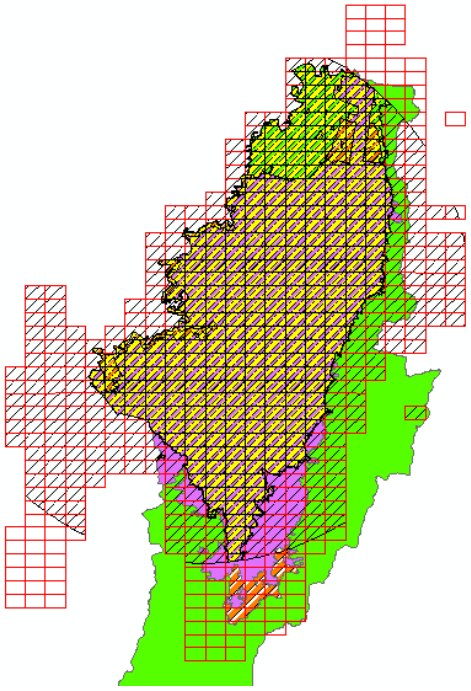


Figura LIII. Área de cobertura plancha escala 1:2000 (Radio de 20 km y elevación)
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

Donde se encontró que cubre un total de 45% de la intercepción de los dos ítems como lo son el radio de cobertura de 20 km y la elevación dentro del rango de 2425 y 2675 msnm, para lo cual se consideró el área de influencia que es abarcan las planchas a escala 1:2000 con origen dispuesto para el plano de proyección local para la ciudad de Bogotá D.C. (Ver Tabla 25)

Tabla 25. Áreas de relación cobertura de planchas escala 1:2000 para Bogotá D.C.

AREAS		UNIDAD	EQUIVALENCIA
AREA TOTAL PLACHAS	868.500	km^2	100%
AREA TOTAL (RADIO 20 KM)	738.423	km^2	85%
AREA TOTAL (RADIO 20 KM-ELEVACION)	395.137	km^2	45%

Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Microsoft Excel 2010

Ahora bien, a lo que corresponde ya mostrado hasta el presente, cabe citar en el presente estudio se ejecutó el análisis de la verdadera magnitud del cubrimiento real que poseen las manzanas que tienen como propósito un proceso constructivo. (Ver Figura LIV).

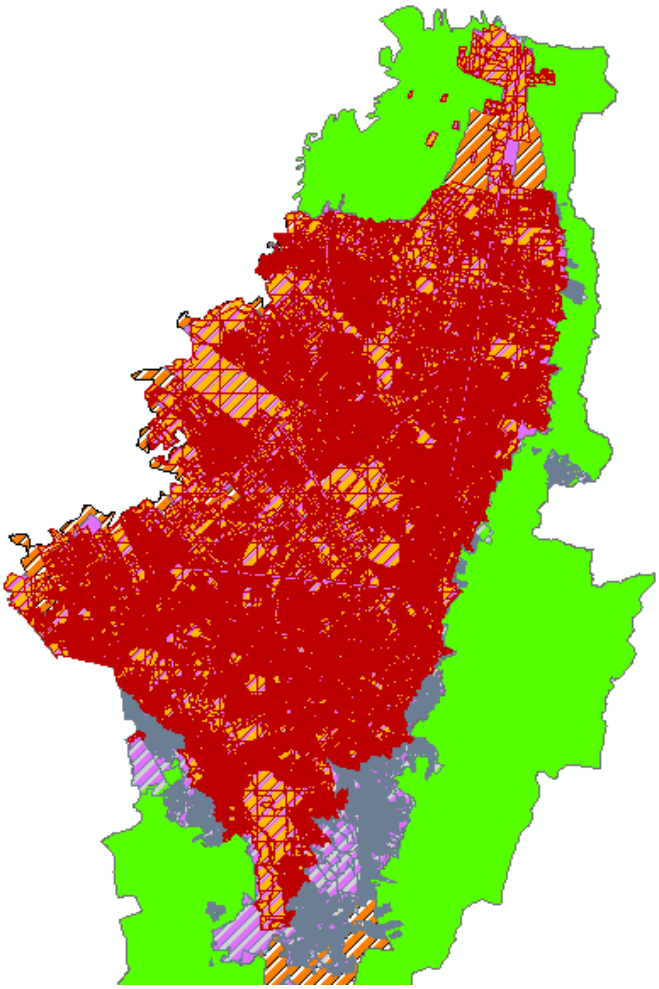


Figura LIV. Área de cobertura de las manzanas dentro del perímetro de influencia
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

Para lo cual, se resalta que del área total del ítem manzanas es del 86% y este se encuentra dentro de la zona que contempla el análisis de cubrimiento real con las condiciones dadas para el proyecto siendo esta la verdadera zona constructiva que cumple con los parámetros de generación de cartografía con dicho origen adoptado para la ciudad. (Ver Tabla 26)

Tabla 26. Relaciones áreas de manzanas dentro del perímetro de influencia

AREAS		UNIDAD	EQUIVALENCIA
AREA TOTAL MANZANAS	298.8746716	km^2	100%
AREA TOTAL MANZANAS CON PERIMETRO DE INFLUENCIA	257.732123	km^2	86%

Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Microsoft Excel 2010

6.9. Análisis de posible origen proyectado para Bogotá D.C.

Puesto que los análisis anteriormente ejecutados brindan la opción de cumplimiento según la normatividad IGAC. El presente análisis busca evaluar el centroide del área comprendidas entre el área urbana y área de expansión urbana, el cual puede ser una posible opción para maximizar las áreas de cobertura con respecto al área del radio de 20 km y la elevación comprendida dentro de nuestro rango de elevación para el plano local de proyección actual para la ciudad. Para ello mediante las herramientas el software ArcMap-ArcGis 10.3→ ArcToolbox → Data Management Tools →Feature to point, se realiza el vértice geodésico como centroide (Ver Figura LV).



Figura LV. Centroide del área urbana y de expansión urbana
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

Donde dicho centroide se muestra como coordenadas geodésicas en la Tabla 27.

Tabla 27. Coordenadas geodésicas del vértice geodésico como centroide.

DEPARTAMENTO	ORIGEN LOCAL	G	M	S	LATITUD	G	M	S	LONGITUD
BOGOTA D.C.	ORIGEN PROYECTADO BOGOTA D.C.	4	38	41	4.644694	74	6	29	74.108117

Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Microsoft Excel 2010

6.9.1. Análisis del área de cobertura espacial

A partir del radio de 20 km y la elevación +- 125m sobre el plano de proyección-(normatividad IGAC)- a partir del origen proyectado:

Ya habiendo realizado el centroide como origen proyectado, el presente análisis busca evaluar el área de cobertura del radio de 20 km y el rango de elevación desde el origen proyectado en el perímetro urbano de Bogotá D.C, para lo cual se encontró una evidencia sobre lo realizado con el origen que actualmente está adoptado para la ciudad. (Ver Tabla 28)

Tabla 28. Áreas de cobertura (Radio de 20 km y elevación a partir del origen proyectado)

TABLA DE RELACION DE RADIO 20 Km PROYECTADO_ELEVACION ENTRE 2425-2675 msnm				
CLASIFICACION DEL SUELO	(AREA CUEBIERTA 20 Km) km^2	(AREA TOTAL SUELO BOGOTA D.C) km^2	PORCENTAJE DE OCUPACION (%)	DISMINUCION/MEJORA(%)
Área Rural	35.083	211.623	*16.6%*	*-0.7%*
Área de Expansión Urbana	19.132	28.988	*66.0%*	*-31.5%*
Área Urbana	332.997	375.734	*88.6%*	*-10.4%*
Área (Urbana+Expansion Urbana)	**352.129**	**404.722**	*87.0%*	*-11.9%*

Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Microsoft Excel 2010

Encontrando así que al desplazar el origen actual adoptado por el IGAC, presenta un porcentaje de disminución con respecto a las áreas de ocupación considerando el área de cobertura y el rango de elevación con el origen dispuesto y se muestra de la siguiente manera dicha reducción en porcentaje cambiando el origen:

- ✓ Área rural → 0.7%
- ✓ Área de expansión urbana → 31.5%
- ✓ Área urbana → 10.4%
- ✓ Área (urbana + expansión urbana) → 11.9%

Igualmente, se realizó el análisis con respecto al área de ocupación en las planchas que actualmente existen con el origen para la ciudad de Bogotá D.C las cuales, del total de 581 planchas que se encuentran disponibles, solamente su cobertura permite tener en cuenta 502 de las presentes planchas lo cual representa el 86.4% del total de las planchas con este origen local adoptado para la ciudad de Bogotá D.C., (Ver Figura LVI).

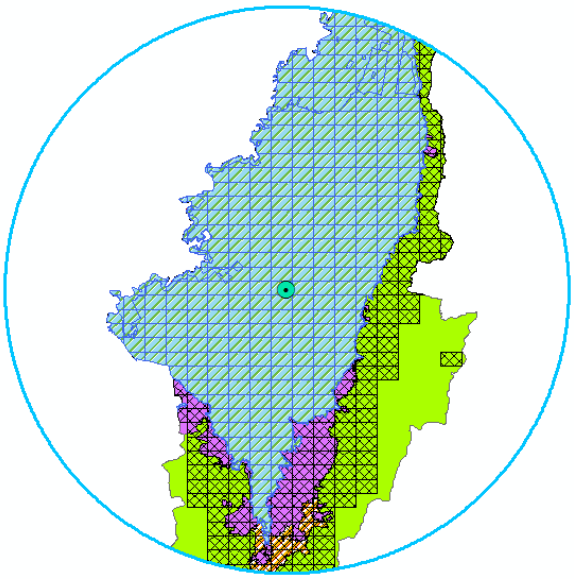


Figura LVI. Área de cobertura de las planchas escala 1:2000
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

Se encontró que cubre un total de 45% interceptando ítems como la elevación y teniendo al mismo tiempo el radio de cobertura de 20 km desde nuestro origen adoptado como un centroide, para lo cual se tuvo en cuenta el área de influencia que es abarca las planchas a escala 1:2000, el cual contiene las áreas tales como: suelo de expansión urbano, suelo urbano, rural y área de elevación entre las elevaciones de 2425 y 2675 msnm con origen dispuesto para el plano de proyección local para la ciudad de Bogotá D.C. (Ver Tabla 29)

Tabla 29. Áreas de cobertura de las planchas escala 1:2000 respecto nuestro origen adoptado

AREAS		UNIDAD	EQUIVALENCIA
AREA TOTAL PLACHAS	868.500	km^2	100%
AREA TOTAL (RADIO 20 KM)	764.764	km^2	88%
AREA TOTAL (RADIO 20 KM-ELEVACION)	387.337	km^2	45%

Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Microsoft Excel 2010

Con respecto a lo anterior realizado, las áreas de cobertura de las planchas al realizar el cambio de origen presenta una disminución del 11.9% en lo que se refiere a porcentajes de cobertura si se realiza el cambio de origen proyectado en su posición de ubicación espacial. Lo cual no representó un cambio significativo. (Ver Figura LVII).

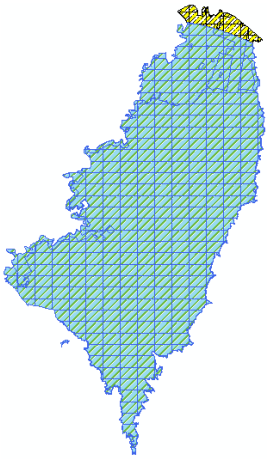


Figura LVII. Comparación entre áreas de cobertura
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

6.10. Análisis de vértices geodésicos muéstrales

Respecto al rango de elevación mediante el uso franjas:

Este análisis permite obtener a través de la visualización grafica las diferentes zonas de elevación mediante el uso de franjas de las cuales se obtendrán las áreas de cobertura dependiente de su rango de elevación.

Para ello, se obtuvieron 14 rangos de elevación o planos de proyección local, teniendo en cuenta la elevación de nuestro estudio de +-125 m dentro adoptado para la ciudad de Bogotá D.C. el cual equivale a los 2550 msnm. (Ver Figura LVIII).

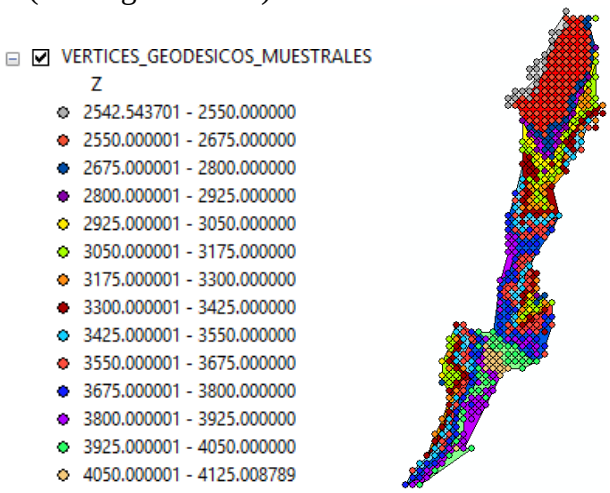


Figura LVIII. Rangos de planos de proyección posibles para la ciudad de Bogotá D.C
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

Con estos datos se obtuvieron las áreas aferentes con respecto a cada rango de elevación dispuesto para el estudio respecto a cada origen cercano a Bogotá D.C. (Ver Tabla 30)

Tabla 30. Áreas de cobertura por franjas por cada origen cercano a Bogotá D.C.

FRANJA Nº	PLANOS DE PROYECCION	RANGO DE ELEVACION-CRITERIO (+- 125 m)	AREA DE COBERTURA RADIO 20Km km^2	SUMATORIA DE AREAS RADIO 20 Km km^2	AREA DE COBERTURA CON RANGO DE ELEVACION km^2	SUMATORIA DE AREAS CON RANGO DE ELEVACION km^2	PORCENTAJE DE OCUPACION RESPECTO AL AREA TOTAL(%)	CUMPLIMIENTO CON EL RANGO DE ELEVACION	AREA TOTAL DE FRANJAS km^2	PORCENTAJE DE OCUPACION RESPECTO AL AREA TOTAL(%)	AREA TOTAL DE FRANJAS BOGOTA D.C
CAJICA											
1	2542.543-2550.000	"Z" >=2430 AND "Z" <=2660	11.425	80.356	11.425	59.984	100%	75%	46.045	25%	1535.716
2	2550.000-2675.000		48.559		48.559		100%		254.106	19%	
3	2675.000-2800.000		11.757		0.000		0%		61.399	19%	
5	2925.000-3050.000		8.615		0.000		0%		68.226	13%	
-	-		-		-		-		-	-	
-	-		-		-		-		-	-	
COTA											
1	2542.543-2550.000	"Z" >=2434 AND "Z" <=2685	34.959	273.227	34.959	214.806	100%	79%	46.045	76%	1535.716
2	2550.000-2675.000		179.847		179.847		100%		254.106	71%	
3	2675.000-2800.000		27.143		0.000		0%		61.399	44%	
4	2800.000-2925.000		4.036		0.000		0%		40.936	10%	
5	2925.000-3050.000		17.125		0.000		0%		68.226	25%	
6	3050.000-3175.000		8.503		0.000		0%		117.850	7%	
7	3175.000-3300.000		1.614		0.000		0%		71.666	2%	
LA CALERA											
1	2542.543-2550.000	"Z" >=2560 AND "Z" <=2810	23.445	337.006	0.000	141.262	0%	42%	46.045	51%	1535.716
2	2550.000-2675.000		184.190		106.093		58%		254.106	72%	
3	2675.000-2800.000		35.169		35.169		100%		61.399	57%	
4	2800.000-2925.000		9.703		0.000		0%		40.936	24%	
5	2925.000-3050.000		25.503		0.000		0%		68.226	37%	
6	3050.000-3175.000		24.203		0.000		0%		117.850	21%	
7	3175.000-3300.000		8.528		0.000		0%		71.666	12%	
8	3300.000-3425.000		23.284		0.000		0%		165.499	14%	
9	3425.000-3550.000		2.980		0.000		0%		138.226	2%	

FRANJA Nº	PLANOS DE PROYECCION	RANGO DE ELEVACION-CRITERIO (+- 125 m)	AREA DE COBERTURA RADIO 20Km km^2	SUMATORIA DE AREAS RADIO 20 Km km^2	AREA DE COBERTURA CON RANGO DE ELEVACION km^2	SUMATORIA DE AREAS CON RANGO DE ELEVACION km^2	PORCENTAJE DE OCUPACION RESPECTO AL AREA TOTAL(%)	CUMPLIMIENTO CON EL RANGO DE ELEVACION	AREA TOTAL DE FRANJAS km^2	PORCENTAJE DE OCUPACION RESPECTO AL AREA TOTAL(%)	AREA TOTAL DE FRANJAS BOGOTA D.C
PASCA											
6	3050.000-3175.000	"Z" >=2040 AND "Z" <=2290	0.085	190.165	0.000	0.000	0%	0%	117.850	0%	1535.716
7	3175.000-3300.000		8.406		0.000		0%		71.666	12%	
8	3300.000-3425.000		30.613		0.000		0%		165.499	18%	
9	3425.000-3550.000		59.178		0.000		0%		138.226	43%	
10	3550.000-3675.000		6.826		0.000		0%		116.047	6%	
11	3675.000-3800.000		66.287		0.000		0%		215.042	31%	
12	3800.000-3925.000		18.770		0.000		0%		121.193	15%	
SIBATE											
1	2542.543-2550.000	"Z" >=2448 AND "Z" <=2698	11.890	327.613	11.890	72.029	100%	22%	46.045	26%	1535.716
2	2550.000-2675.000		49.929		49.929		100%		254.106	20%	
3	2675.000-2800.000		21.507		10.210		47%		61.399	35%	
4	2800.000-2925.000		27.912		0.000		0%		40.936	68%	
5	2925.000-3050.000		38.801		0.000		0%		68.226	57%	
6	3050.000-3175.000		38.187		0.000		0%		117.850	32%	
7	3175.000-3300.000		28.903		0.000		0%		71.666	40%	
8	3300.000-3425.000		58.947		0.000		0%		165.499	36%	
9	3425.000-3550.000		34.920		0.000		0%		138.226	25%	
10	3550.000-3675.000		1.715		0.000		0%		116.047	1%	
11	3675.000-3800.000		13.832		0.000		0%		215.042	6%	
12	3800.000-3925.000		1.070		0.000		0%		109.242	1%	
SOACHA											
1	2542.543-2550.000	"Z" >=2475 AND "Z" <=2725	33.246	424.529	33.246	225.211	100%	53%	46.045	72%	1535.716
2	2550.000-2675.000		163.512		163.512		100%		254.106	64%	
3	2675.000-2800.000		37.883		28.453		75%		61.399	62%	
4	2800.000-2925.000		38.935		0.000		0%		40.936	95%	
5	2925.000-3050.000		51.490		0.000		0%		68.226	75%	
6	3050.000-3175.000		41.048		0.000		0%		117.850	35%	
7	3175.000-3300.000		3.405		0.000		0%		71.666	5%	
8	3300.000-3425.000		39.429		0.000		0%		165.499	24%	
9	3425.000-3550.000		15.582		0.000		0%		138.226	11%	

FRANJA Nº	PLANOS DE PROYECCION	RANGO DE ELEVACION-CRITERIO (+- 125 m)	AREA DE COBERTURA RADIO 20Km km^2	SUMATORIA DE AREAS km^2	AREA DE COBERTURA CON RANGO DE ELEVACION km^2	SUMATORIA DE AREAS CON RANGO DE ELEVACION km^2	PORCENTAJE DE OCUPACION RESPECTO AL AREA TOTAL(%)	CUMPLIMIENTO CON EL RANGO DE ELEVACION	AREA TOTAL DE FRANJAS km^2	PORCENTAJE DE OCUPACION (%)	AREA TOTAL DE FRANJAS BOGOTA D.C
CHIA											
1	2542.543-2550.000	"Z" >=2434 AND "Z" <=2685	23.734	191.362	23.734	154.141	100%	81%	46.045	52%	1535.716
2	2550.000-2675.000		130.406		130.406		100%		254.106	51%	
3	2675.000-2800.000		20.560		0.000		0%		61.399	33%	
4	2800.000-2925.000		0.175		0.000		0%		40.936	0.4%	
5	2925.000-3050.000		13.569		0.000		0%		68.226	20%	
6	3050.000-3175.000		2.917		0.000		0%		117.850	2%	
GUTIERREZ											
3	2675.000-2800.000	"Z" >=2162AND "Z" <=2412	1.707	117.370	0.000	0.000	0%	0%	61.399	3%	1535.716
6	3050.000-3175.000		6.169		0.000		0%		117.850	5%	
7	3175.000-3300.000		8.707		0.000		0%		71.666	12%	
8	3300.000-3425.000		23.311		0.000		0%		165.499	14%	
9	3425.000-3550.000		14.961		0.000		0%		138.226	11%	
10	3550.000-3675.000		37.642		0.000		0%		116.047	32%	
11	3675.000-3800.000		24.874		0.000		0%		215.042	12%	
MOSQUERA-MADRID-FUNZA											
1	2542.543-2550.000	"Z" >=2425 AND "Z" <=2675	44.606	254.899	44.606	246.224	100%	97%	46.045	97%	1535.716
2	2550.000-2675.000		197.673		197.673		100%		254.106	78%	
3	2675.000-2800.000		3.945		3.945		100%		61.399	6%	
4	2800.000-2925.000		4.574		0.000		0%		40.936	11%	
5	2925.000-3050.000		4.101		0.000		0%		68.226	6%	
-	-		-		-		-		-	-	
-	-		-		-		-		-	-	
-	-		-		-		-		-	-	
-	-		-		-		-		-	-	

FRANJA Nº	PLANOS DE PROYECCION	RANGO DE ELEVACION-CRITERIO (+- 125 m)	AREA DE COBERTURA RADIO 20Km km^2	SUMATORIA DE AREAS km^2	AREA DE COBERTURA CON RANGO DE ELEVACION km^2	SUMATORIA DE AREAS CON RANGO DE ELEVACION km^2	PORCENTAJE DE OCUPACION RESPECTO AL AREA TOTAL(%)	CUMPLIMIENTO CON EL RANGO DE ELEVACION	AREA TOTAL DE FRANJAS km^2	PORCENTAJE DE OCUPACION (%)	AREA TOTAL DE FRANJAS BOGOTA D.C
SAN BERNARDO											
6	3050.000-3175.000	"Z" >=1655 AND "Z" <=1905	17.150	66.454	0.000	0.000	0%	0%	117.850	15%	1535.716
8	3300.000-3425.000		13.556		0.000		0%		165.499	8%	
9	3425.000-3550.000		15.598		0.000		0%		138.226	11%	
10	3550.000-3675.000		11.521		0.000		0%		116.047	10%	
11	3675.000-3800.000		7.149		0.000		0%		215.042	3%	
13	3925.000-4050.000		1.480		0.000		0%		109.242	1%	
-	-		-		-		-		-	-	
SOPO											
1	2542.543-2550.000	"Z" >=2445 AND "Z" <=2695	46.045	428.069	46.045	314.119	100%	73%	46.045	100%	1535.716
2	2550.000-2675.000		254.106		254.106		100%		254.106	100%	
3	2675.000-2800.000		59.693		13.968		23%		61.399	97%	
5	2925.000-3050.000		68.226		0.000		0%		68.226	100%	
	-		-		-		-		68.226	-	
	-		-		-		-		117.850	-	
	-		-		-		-		71.666	-	
	-		-		-		-		165.499	-	
	-		-		-		-		138.226	-	
	-		-		-		-		116.047	-	
	-		-		-		-		215.042	-	
	-		-		-		-		109.242	-	
TABIO											
1	2542.543-2550.000	"Z" >=2465 AND "Z" <=2715	13.802	88.141	13.802	75.508	100%	86%	46.045	30%	1535.716
2	2550.000-2675.000		56.574		56.574		100%		254.106	22%	
3	2675.000-2800.000		9.376		5.132		55%		61.399	15%	
5	2925.000-3050.000		8.389		0.000		0%		68.226	12%	
TENJO											
1	2542.543-2550.000	"Z" >=2455 AND "Z" <=2705	24.672	140.278	24.672	120.028	100%	86%	46.045	54%	1535.716
2	2550.000-2675.000		95.356		95.356		100%		254.106	38%	
3	2675.000-2800.000		11.726		0.000		0%		61.399	19%	
5	2925.000-3050.000		8.524		0.000		0%		68.226	12%	

Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Microsoft Excel 2010

En las tablas anteriormente mostradas, se evidencia como el cumplimiento de la altura respecto a su origen cumple a lo esperado, con ello a través de lo aplicado se encuentra que la elevación como uno de los factores hace que este porcentaje disminuya con respecto a solo tener en cuenta el criterio de área de 20 km a partir del dicho origen.

6.10.1. Análisis estadístico para la verificación del rango de elevación por franjas

Con el presente análisis estadístico se analizó los datos antes realizados, como primera parte se observa los datos del porcentaje de franjas que se encuentran bajo los criterios de radio de cobertura y rango de elevación que será de estudio para verificar la cobertura a partir de cada origen sobre el territorio con respecto a las franjas de elevaciones que cumplen dentro del parámetro de limitación de 20 km. (Ver Tabla 31)

Tabla 31. Relación de la cobertura por cada una de las franjas

ORIGEN	PORCENTAJE DE OCUPACION TOTAL RADIO DE 20 KM-RANGO DE ELEVACION RESPECTO AL ORIGEN POR FRANJAS
CAJICA	**75%**
CHIA	**81%**
COTA	**79%**
LA CALERA	**65%**
MOSQUERA-MADRID-FUNZA	**97%**
SIBATE	**22%**
SOACHA	**53%**
SOPO	**73%**
TABIO	**86%**
TENJO	**86%**

Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Microsoft Excel 2010

Enseguida, se procedió a realizar los análisis estadísticos, los cuales muestran resultados que ratifican que mediante la interacción del área de cobertura desde cada origen y la elevación por franjas cumplen con las especificaciones; dichas proporciones de ocupación cambian de forma que delimita el estudio y que para el empleo de cada uno de los orígenes se debe tener en cuenta que dicho cumplimiento. (Ver Tabla 32)

Tabla 32. Datos estadísticos del porcentaje de cobertura a partir de las franjas de elevación.

PORCENTAJE DE OCUPACION TOTAL RADIO DE 20 KM-RANGO DE ELEVACIÓN RESPECTO AL ORIGEN POR FRANJAS	VALORES
Media	**72%**
Error típico	**7%**
Mediana	**77%**
Desviación estándar	**21%**
Varianza de la muestra	**4%**
Rango	**75%**
Mínimo	**22%**
Máximo	**97%**
Cuenta	**10**
Nivel de confianza (95.0%)	**15%**

Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Microsoft Excel 2010

Así mismo, con los datos anteriormente dispuestos se analizara el comportamiento de los datos de manera gráfica, observando las características de la elevación a partir de las franjas de elevación dispuestas para el estudio referidas a cada origen, donde poseen dichos datos una mediana de 77% con respecto al promedio de los datos, asimismo con valores de máximos y mínimos de 97% y 22% respectivamente.

Sucesivamente, se encontró la distribución de datos y su valor con respecto a la media teniendo una desviación estándar del 21% respecto al promedio de los datos, con lo cual se genera un nivel de confianza del 15% de los datos a partir de la media, donde dichos datos que se encuentran en esta zona poseen un 95% de confiabilidad para poder ser tomados por en el presente análisis siendo estos los orígenes de: Cajicá, Chía, Cota, La Calera, MMF, Sopo, Tabio y Tenjo , cuyos orígenes cumple con el rango de elevación propio de cada sistema. (Ver Figura LIX)

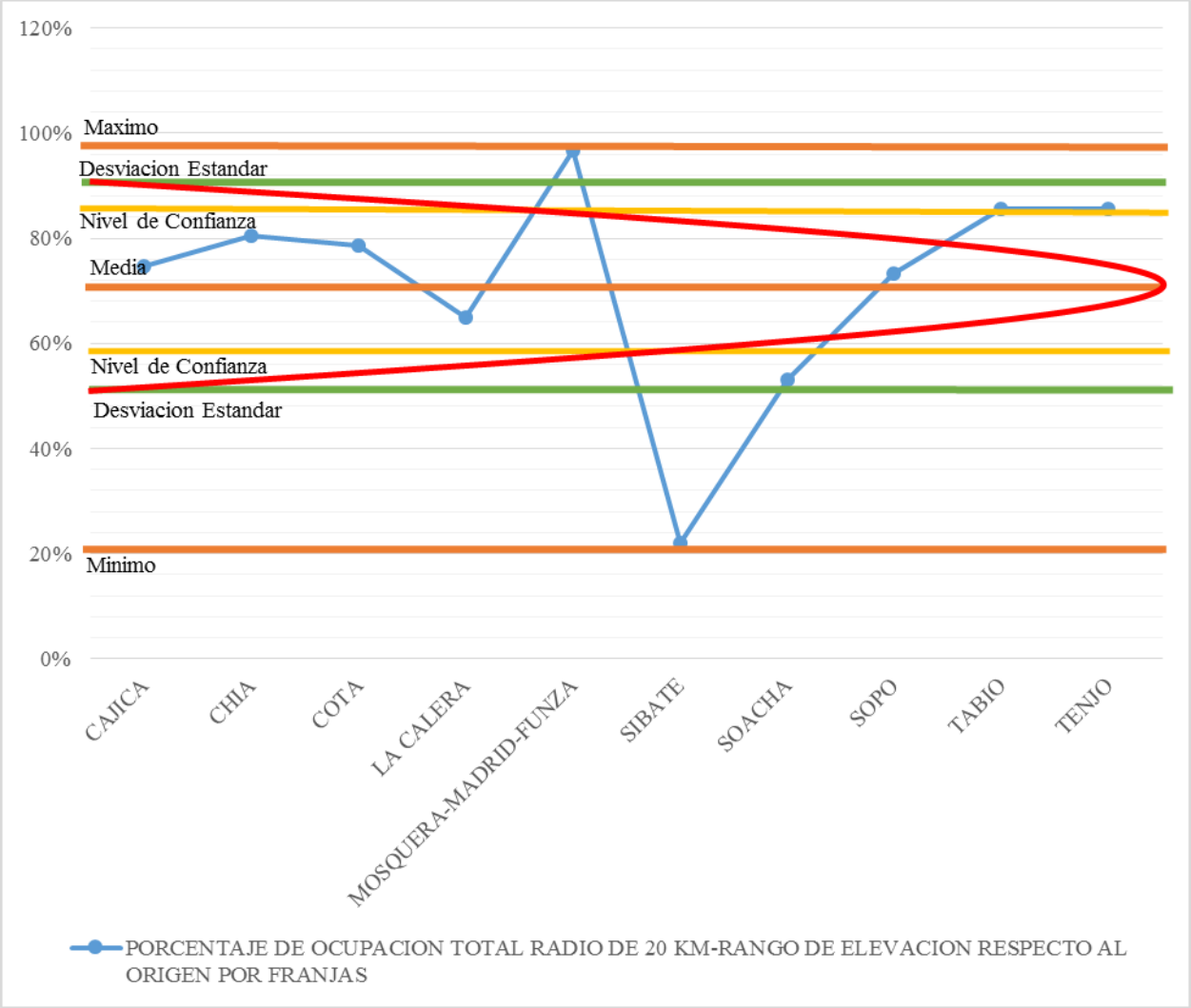


Figura LIX. Grafica estadística de las franjas de elevaciones, Criterio de radio de 20 km
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Microsoft Excel 2010

6.11. Análisis de transformación de coordenadas geodésicas a planas cartesianas

Mediante el método del IGAC:

Las coordenadas convertidas mediante el software magna sirgas pro utilizó sistemas matemáticos donde, el sistema de proyección cartesiana es equivalente a una representación conforme al elipsoide sobre un plano paralelo, ubicado a una altura H_0 e igualmente tangente al elipsoide en un punto origen dado por [ϕo, λo], dichos vértices proyectados sobre el plano no tienen una relación geométrica, ésta es puramente matemática.

Dicha proyección cartesiana es utilizada para la elaboración de planos a escalas mayores que 1:5000 de allí es que existen tantos orígenes de coordenadas cartesianas para ciudades o municipios; ya que el plano de proyección está definido sobre la altitud media a representar que para el caso de estudio está comprendida en los 2550 msnm para la ciudad de Bogotá D.C., donde se tuvo en cuenta el rango de elevación entre los planos de proyección de +-150 m y la cobertura espacial límite con lo cual se ha de cumplir con los dos parámetros de restricción para convertir coordenadas por este software. (Ver Figura LX).

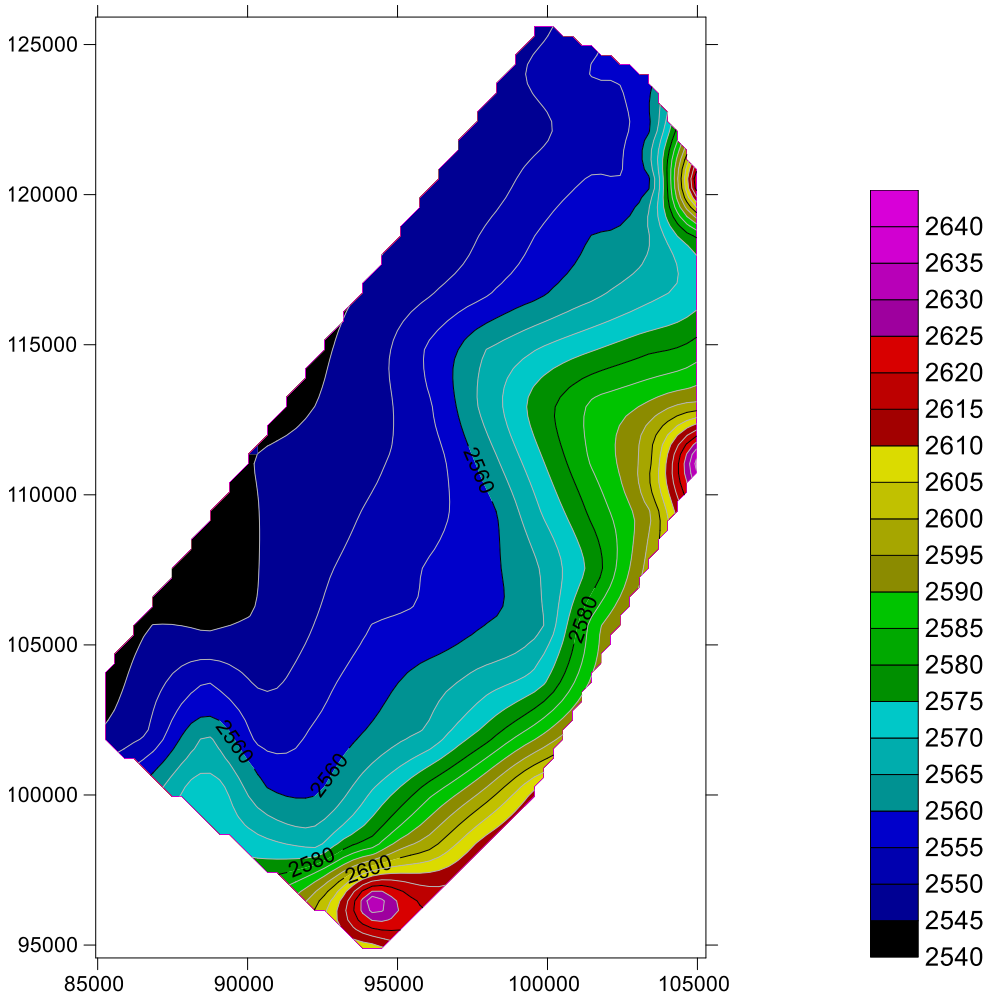


Figura LX. Plano coordenadas en sistema de proyección Magna Sirgas
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Surfer 14.

De igual manera se analizaron los resultados a través de estadísticas que fueron generados a partir de las coordenadas planas cartesianas mediante el método del IGAC. (Ver Tabla 33)

Tabla 33. Valores estadísticos de los vértices geodésicos muéstrales

Datos:103	**X**	**Y**	**Z**
Mínimo	84934.548	94570.855	2542.544
Máximo	105284.000	125915.230	2645.832
Media	96932.427	109661.363	2566.593
Mediana	97884.068	109321.150	2559.533
Desviación Estándar	5041.821	7574.755	21.039

Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Surfer 14.

De manera que visualmente de una forma tridimensional se observan las características de comportamiento al momento de realizar una proyección local por el sistema de origen dispuesto para la ciudad de Bogotá D.C. (Ver Figura LXI).

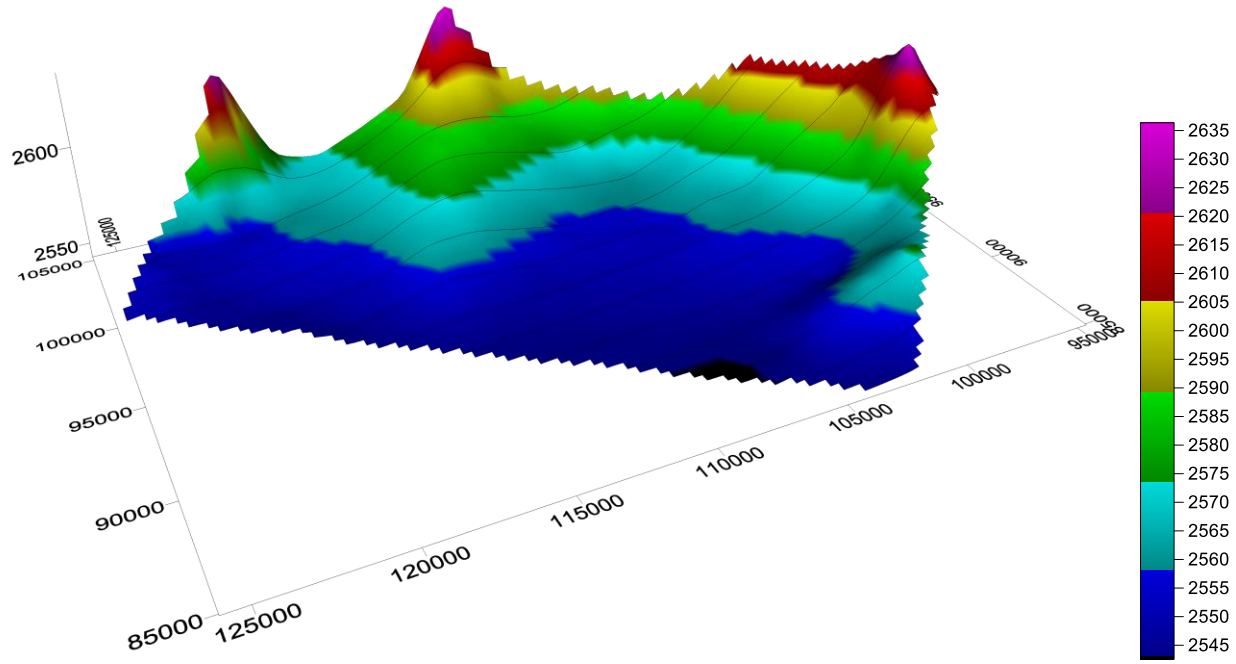


Figura LXI. Plano 3D en coordenadas proyectadas Magna Sirgas
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Surfer 14.

Así mismo, se analiza de forma estadística los valores del rango de elevaciones entre los 2425 y 2675 msnm de los vértices geodésicos muéstrales, para lo cual se tendrá 103 vértices a proyectar, con una desviación estándar de 20.937 respecto a la media de 2566.593 msnm, que como se observa anteriormente dentro de la triangulación para la generación del modelo genera una desviación estándar similar con un valor de 21.039 (Ver Figura LXII).

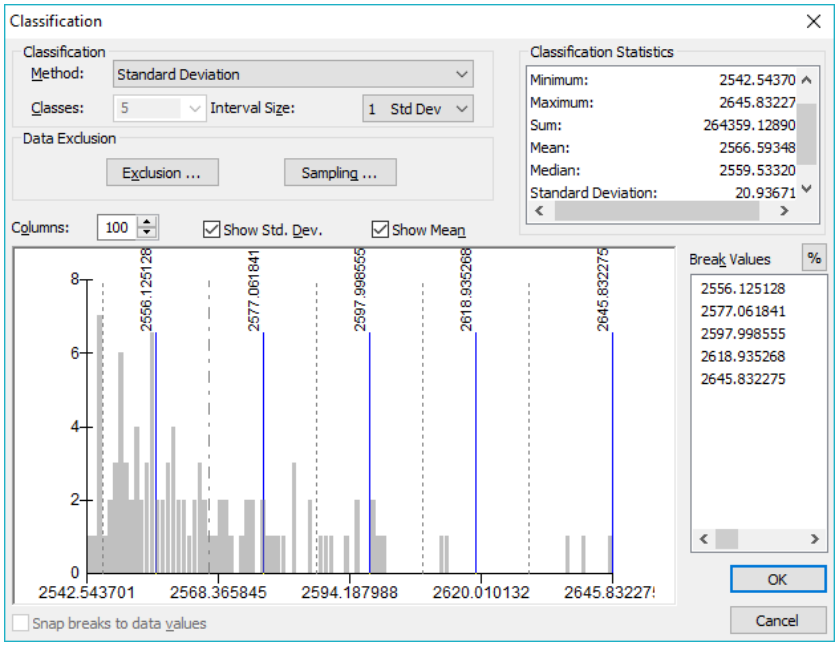


Figura LXII. Desviación estándar de los vértices geodésicos muéstrales de Bogotá D.C.
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3

6.12. Análisis de transformación del sistema geodésico al sistema cartesiano del PTL

Mediante la metodología de rotaciones y traslaciones:

La trasformación de las coordenadas mediante el software TRANSGEOLOCAL V 2.0 utilizó algoritmos matemáticos, los cuales generaron una matriz de valores de deformaciones los cuales fueron sumados a las coordenadas del vértice de origen generando las nuevas coordenadas planas topográficas locales bajo parámetros de la normatividad NBR 14166, con ello también se procedió a tener como resultados datos estadísticos de precisión. (Ver Tabla 34)

Tabla 34. Datos de precisión de las coordenadas transformadas (TRANSGEOLOCAL V2.0)

t Máximo:	12948.933	u Máximo:	16594.289		
t Mínimo:	-7400.287	u Mínimo:	-14750.175	Menor Módulo da Escala:	376.929441698415900000
Erro Absoluto:	0.037692944169842000	Erro Relativo:	440249.2128295252000000	Módulo da Precisão Planimétrica:	123370.8219737550000000

Fuente: Propia (2017) - TRASGEOLOCAL V 2.0 (Free).Universidad Federal De Santa María

- ✓ La menor escala de proyección es 1:400
- ✓ El error absoluto de la menor escala de proyección es de 0.037 m
- ✓ La precisión planimétrica con estas coordenadas proyectadas es de 1:123379

Como se puede observar la precisión no cumple con el parámetro esperado de ser superior a 1/40000 según la NBR 14166 para cumplir con el cierre de tolerancia de primer orden, sabiendo que en el desarrollo del estudio se tuvieron en cuenta los parámetros limitantes dados para el estudio. Generando una conversión de coordenadas ajustadas de segundo orden. De igual manera se muestra el plano con las coordenadas ajustadas por este método donde se puede observar el PTL dispuesto para la ciudad de Bogotá D.C. (Ver Figura LXIII).

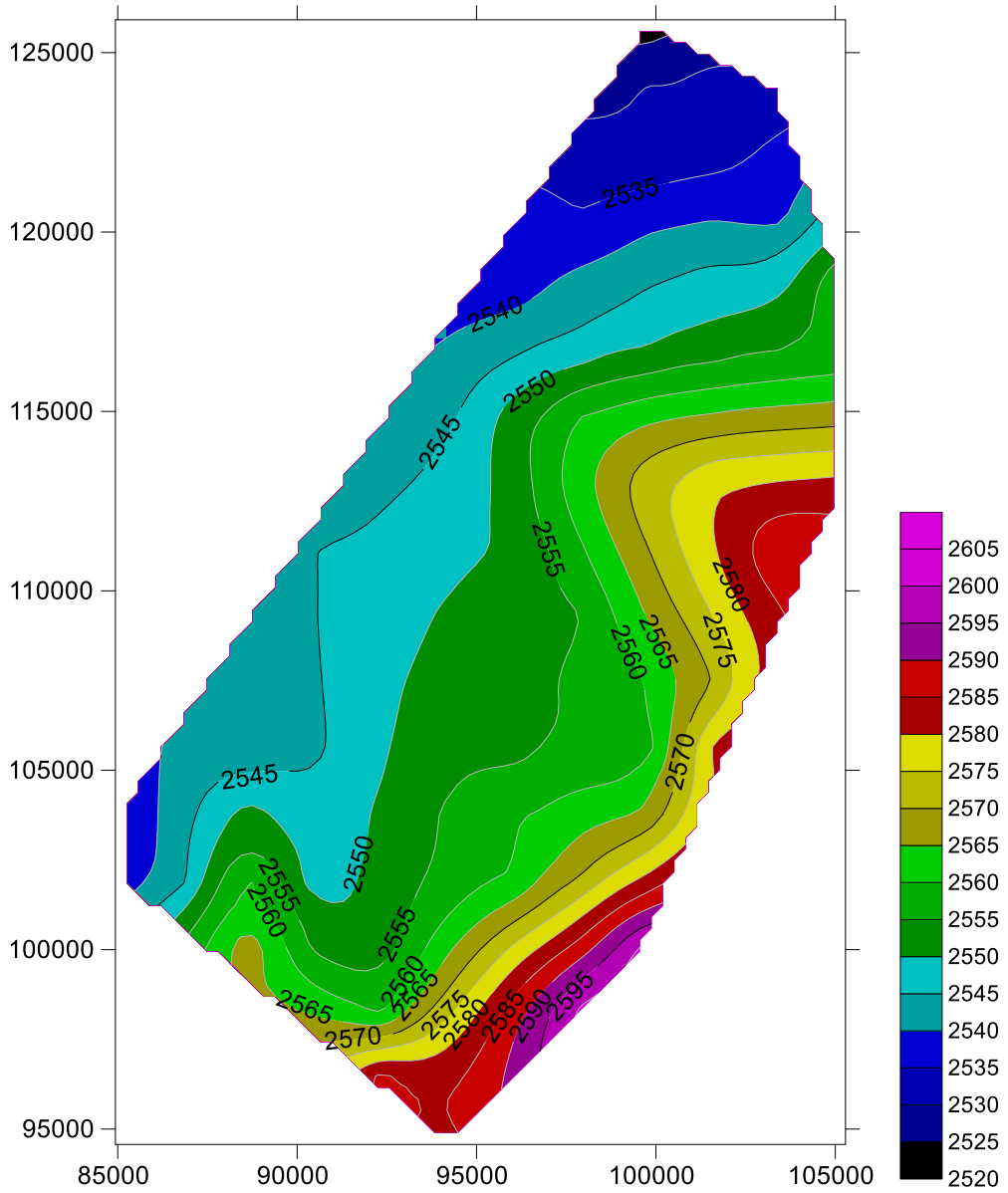


Figura LXIII. Plano de coordenadas en sistema PTL (TRANSGEOLOCAL V2.0)
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Surfer 14.

De igual manera también se analizan los resultados a través de estadísticas. (Ver Tabla 35)

Tabla 35. Valores estadísticos de los vértices geodésicos muéstrales

Datos:101	**X**	**Y**	**Z**
Mínimo	84934.592	94570.79	2522.001
Máximo	105283.812	125915.254	2601.527
Media	96767.112	109722.862	2556.374
Desviación Estándar	4950.372	7474.158	16.215

Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Surfer 14.

De manera que visualmente de una forma tridimensional se observaron las características de comportamiento al momento de realizar una proyección local por el sistema de origen utilizando el sistema de ajuste de rotación y traslación para un plano topográfico local. (Ver Figura LXIV).

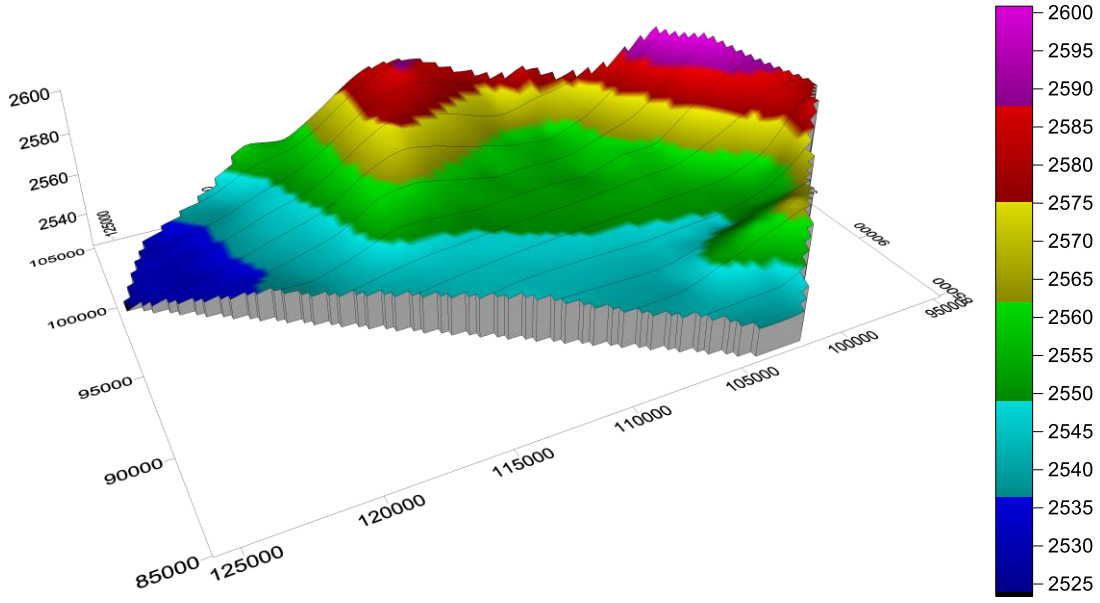


Figura LXIV. Plano 3D de las coordenadas en PTL (TRANSGEOLOCAL V 2.0)
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Surfer 14.

Según la norma NBR 14166, el rango de elevación no debe superar +-150m, donde se procede a obtener 101 vértices geodésicos muéstrales dentro del rango de elevación de 2475 a 2625 msnm a partir de la elevación de proyección para el plano topográfico local.; donde se encontró como desviación estándar el valor de 16.762 respecto a la media 2564.190 msnm (Ver Figura LXV).

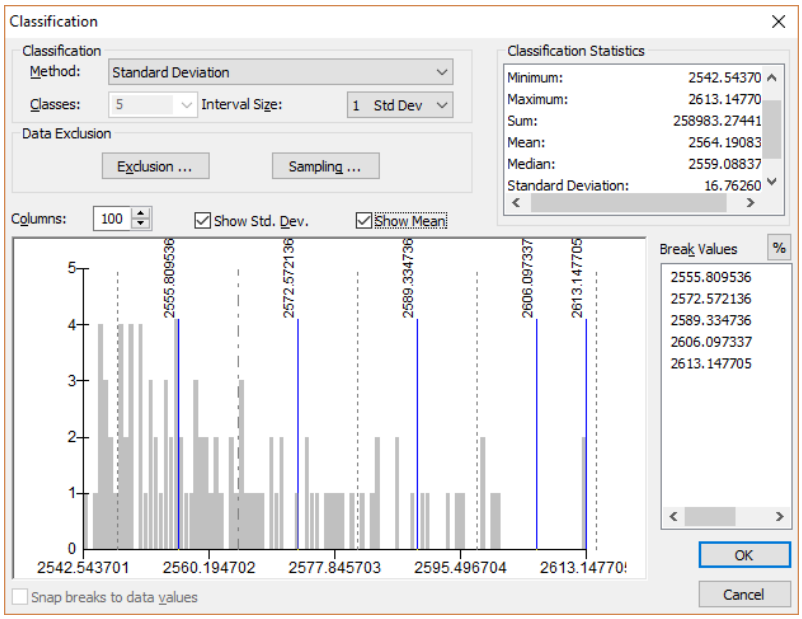


Figura LXV. Desviación estándar de los vértices geodésicos muéstrales de Bogotá D.C.
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software ArcMap-ArcGis 10.3.

6.13. Análisis de deformación lineal y en elevación

Una vez realizado el proceso de conversion de coordenadas, se procedió a realizar los analisis con respecto al modelo de rotacion y traslacion (Modelaje 3D), donde se obtuvo el siguiente modelo de deformacion lineal en el cual se utilizaron las varibales de valores en ΔX y ΔY generando una magnitud y direccion Δtotal con respecto al ejuste aplicado para la coversion de coordenadas cartesianas del plano topografico local. (Ver Figura LXVI).

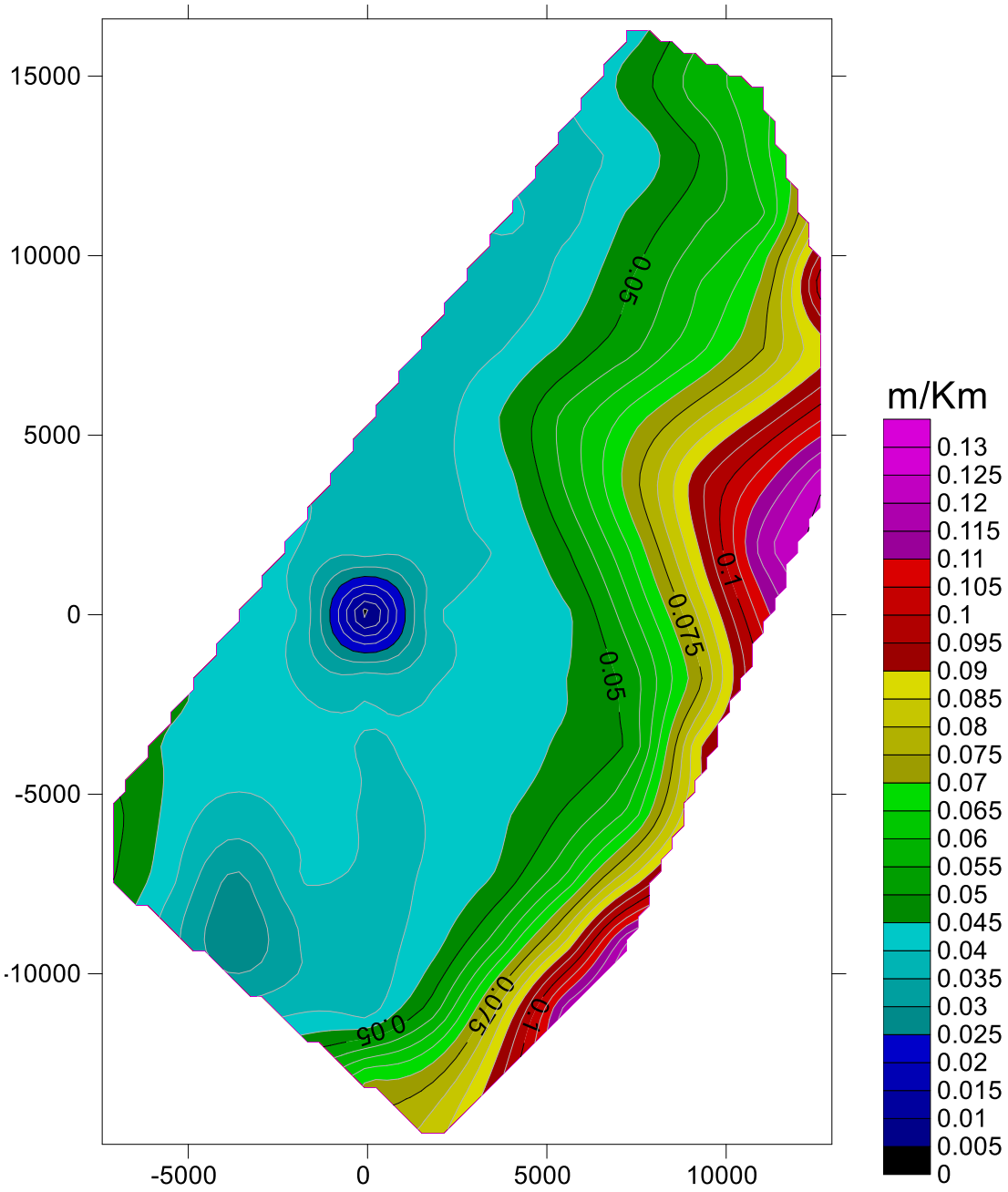


Figura LXVI. Plano de deformaciones lineales vs distancias horizontales del PTL
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Surfer 14.

De igual manera se genera el plano de vectores, el cual brindó la magnitud y el sentido de las deformaciones a partir del origen adoptado para la ciudad de Bogotá D.C. (Ver Figura LXVII).

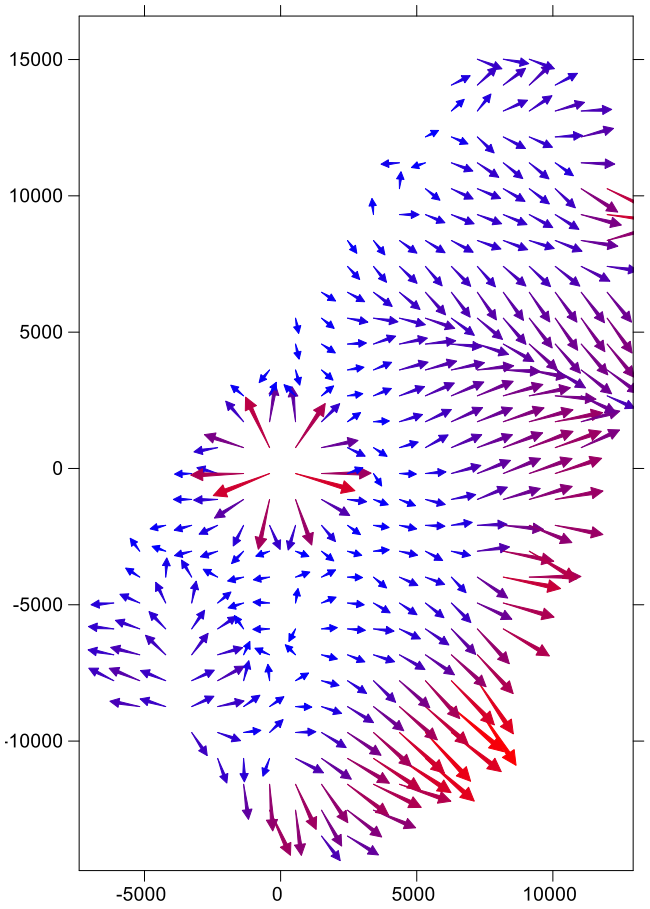


Figura LXVII. Plano de deformaciones a través de vectores**.**
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Surfer 14.

Así mismo se dispone del análisis estadístico de los datos antes realizados, como primera parte se observa la media es 0.057m y con la moda de 0.040m siendo este el valor que más se repite dentro de las deformaciones ya dispuestas. (Ver Tabla 36)

Tabla 36. Análisis estadístico de deformación lineal

Media	**0.057**
Error típico	**0.002**
Mediana	**0.047**
Moda	**0.040**
Desviación estándar	**0.023**
Rango	**0.102**
Mínimo	**0.024**
Máximo	**0.126**
Cuenta	**101**
Nivel de confianza (95.0%)	**0.005**

Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Microsoft Excel 2010

De igual manera, se elaboró el plano con respecto al análisis de la elevación, el cual muestra como a partir del origen presenta la reducción en la elevación proporcional a la distancia lo que proporciona que el plano topográfico local sea proyectado se proyecte tangente al elipsoide de referencia respecto al origen y su rango de elevaciones que no tengan mayor dispersión con respecto al origen. (Ver Figura LXVIII).

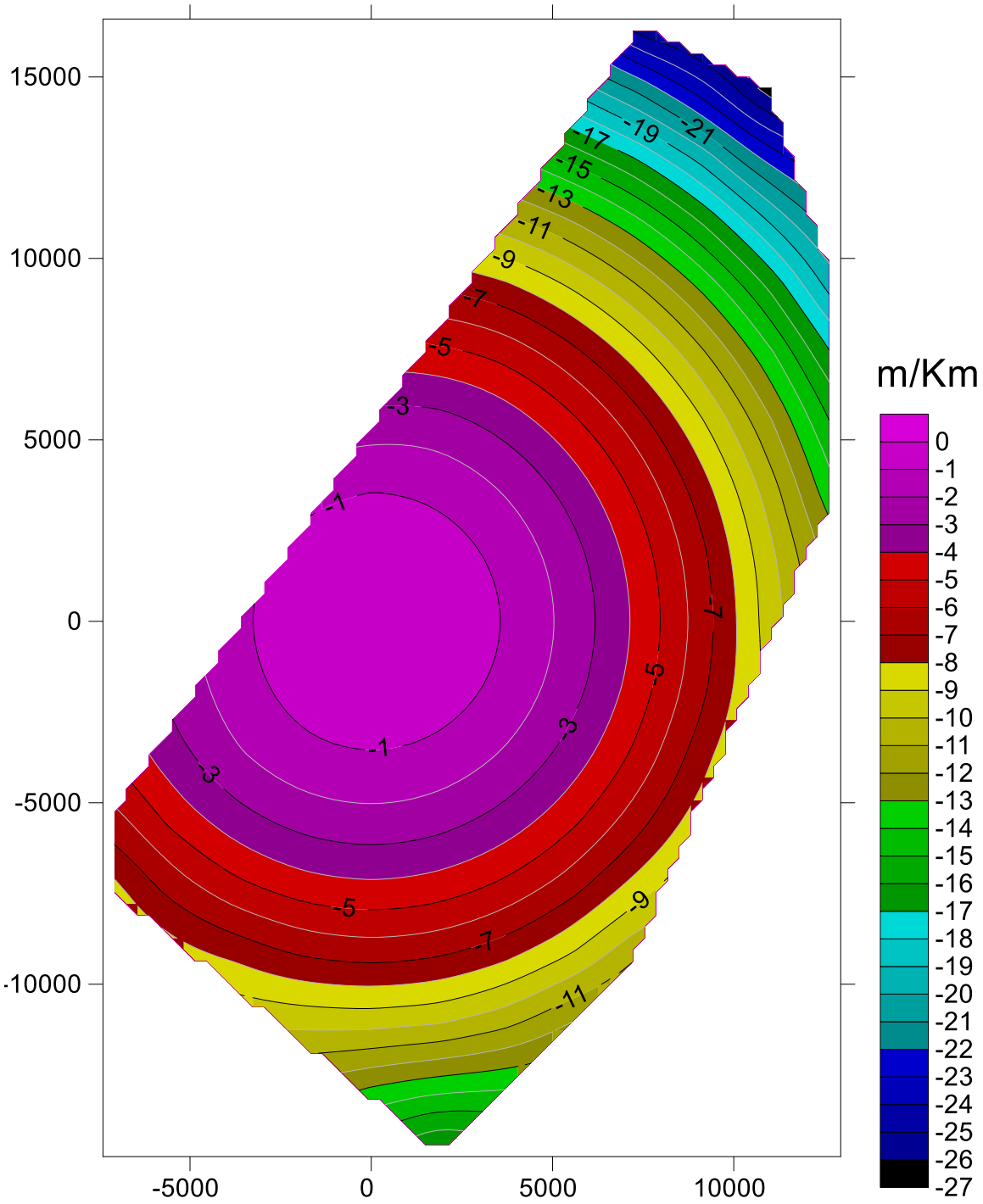


Figura LXVIII. Plano de deformacion en elevación
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Surfer 14.

6.14. Análisis de parámetros IGAC para la conversión de coordenadas

Una vez obtenidas las coordenadas se elaboró el análisis estadístico de los diferenciales en ΔN y ΔY para el caso de tomar la proyección desde el origen adoptado para Bogotá D.C. y dispuesto por el IGAC, que mediante la Tabla 37 "Conversión de coordenadas con datum modificado" que se encuentra en el (Ver Anexo 10).

Tabla 37. Conversión de coordenadas con datum modificado

Cartesiana_Bogotá

GRS 80_Inflado_Bog

Elip	GRS 80_Inflado_Bogotá
a	6380687
e^2	0.006694380
e'^2	0.0067394968
b	6359293.764
α	6369994.873
β	-0.002518828
γ	0.00000264354
δ	-0.00000000345262
ε	4.8918E-12
n	0.001679220

Pto	Latitud	Longitud	Norte	Este
0	04° 40' 49.7500''	74° 08' 47.7300''	109320.965	92334.879
Pto	Latitud	Longitud	Norte	Este
1	04° 32' 49.75''	74° 07' 47.73''	94570.897	94185.142
2	04° 33' 49.75''	74° 08' 47.73''	96414.634	92334.879
3	04° 33' 49.75''	74° 07' 47.73''	96414.655	94185.100
4	04° 34' 49.75''	74° 08' 47.73''	98258.393	92334.879
5	04° 34' 49.75''	74° 07' 47.73''	98258.414	94185.057
6	04° 34' 49.75''	74° 06' 47.73''	98258.479	96035.235
7	04° 34' 49.75''	74° 05' 47.73''	98258.586	97885.414
8	04° 35' 49.75''	74° 08' 47.73''	100102.153	92334.879
9	04° 35' 49.75''	74° 09' 47.73''	100102.174	90484.744

ID	Elip	Altura	a	e^2	e'^2	b	Aplanamiento
1	GRS 80	0	6378137	0.00669438	0.00673950	6356752.31	298.2572
2	Internacional	0	6378388	0.00672267	0.00676817	6356911.95	297.0000
3	GRS 80_Inflado_Bogotá	2550	6380687	0.00669438	0.00673950	6359293.76	298.2572
4	GRS 80_Inflado_Medellin	1510	6379647	0.00669438	0.00673950	6358257.25	298.2572
6							
7							
8							

ID	Origen	Latitud	Longitud	Norte	Este
1	Magna_central	04° 35' 46.3215''	74° 04' 39.0285''	1000000.000	1000000.000
2	Cartesiana_Bogotá	04° 40' 49.7500''	74° 08' 47.7300''	109320.965	92334.879
3	Cartesiana_Medellin	06° 13' 45.1520''	75° 33' 53.5930''	1180816.875	835378.647

Fuente: Ing. Carlos Rodríguez (2017). Bogotá D.C. – Software Microsoft Excel

Como se puede observar en los documentos de las entidades públicas como lo es el IDU en primera parte "*Guía mantenimiento y actualización del sistema de información geográfica del IDU-proceso de innovación y gestión del conocimiento-V2014"* (Ver Figura LXIX) encontramos el sistema de referencia utilizado para el SIG del IDU y que es implementado entre entidades para el manejo de los metadatos dispuestos para Bogotá D.C.

GUÍA MANTENIMIENTO Y ACTUALIZACIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DEL IDU			ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Desarrollo Urbano
CÓDIGO	PROCESO	VERSIÓN	
GU-IC-03	INNOVACIÓN Y GESTION DEL CONOCIMIENTO	1.0	

6.8 PROCESO DE MIGRACIÓN

El proceso de migración consistirá entonces en aplicar el modelo de datos ajustado (vacío) sobre el esquema de base de datos definido con SDE_Geometry y la información se cargará con las herramientas ETL que se desarrollen o con los modelos de cargue de datos que se construyan con ArcGIS en el caso geográfico.

En cuanto al sistema de referencia, éste corresponde al definido para la ciudad de Bogotá.

Sistema de Referencia Espacial

Projection: Transverse_Mercator
False_Easting: 92334,879000
False_Northing: 109320,965000
Central_Meridian: -74,146592
Scale_Factor: 1,000000
Latitude_Of_Origin: 4,680486
Linear Unit: Meter (1,000000)
Geographic Coordinate System: GCS_CartMAGBOG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433299)
Prime Meridian: Greenwich (0,000000000000000000)
Datum: GCS_CartMAGBOG
Spheroid: GRS80 Modificado
Semimajor Axis: 6380687,000000000000000000
Semiminor Axis: 6359293,764473118800000000
Inverse Flattening: 298,257222101000020000

Figura LXIX. Parámetros Sistema de referencia IDU
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Surfer 14.

Con lo mostrado anteriormente se analizó de manera matemática la conversión de coordenadas adoptando el datum modificado que manejan entidades como lo son: IDECA, IDU, ACUEDUCTO y se pudieron observar los diferenciales respectivos en la Tabla 38 "Análisis Coordenadas Cartesianas" y que se encuentran en el Anexo 10.

Tabla 38. Diferenciales con datum magna Bogotá modificado

ID	SOFTWARE		TABLA PROGRAMADA		SOFTWARE VS TABLA		
	MAGNA SIRGAS PRO 3.0		GRS 80-DATUM BOGOTA MODIFICADO		DIFERENCIALES		
	ESTE (m)	NORTE (m)	ESTE (m)	NORTE (m)	ESTE (m)	NORTE (m)	TOTAL (m)
0	92334.879	109320.965	92334.879	109320.965	0.000	0.000	0.000
1	94185.142	94570.855	94185.142	94570.897	0.000	0.042	0.042
2	92334.842	96414.529	92334.879	96414.634	0.037	0.105	0.111
3	94185.100	96414.551	94185.100	96414.655	0.000	0.104	0.104
4	92334.842	98258.335	92334.879	98258.393	0.037	0.058	0.068
5	94185.057	98258.357	94185.057	98258.414	0.000	0.057	0.057
6	96035.272	98258.423	96035.235	98258.479	-0.037	0.056	0.067
7	97885.376	98258.533	97885.414	98258.586	0.038	0.053	0.065
8	92334.842	100102.142	92334.879	100102.153	0.037	0.011	0.038
9	90484.781	100102.164	90484.744	100102.174	-0.037	0.010	0.039
10	94185.014	100102.164	94185.014	100102.174	0.000	0.010	0.010

Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Microsoft Excel 2010

De igual manera se obtuvo el cálculo estadístico para de los diferenciales con respecto al total de la muestra. (Ver Tabla 39)

Tabla 39. Datos estadísticos de diferenciales en X y Y

ESTE	VALOR	NORTE	VALOR	TOTAL	VALOR
Media	**-0.003**	**Media**	**-0.021**	**Media**	**0.046**
Error típico	**0.003**	**Error típico**	**0.003**	**Error típico**	**0.002**
Mediana	**-0.001**	**Mediana**	**-0.013**	**Mediana**	**0.045**
Desviación estándar	**0.030**	**Desviación estándar**	**0.034**	**Desviación estándar**	**0.021**
Rango	**0.082**	**Rango**	**0.141**	**Rango**	**0.106**
Mínimo	**-0.043**	**Mínimo**	**-0.105**	**Mínimo**	**0.005**
Máximo	**0.039**	**Máximo**	**0.036**	**Máximo**	**0.111**
Cuenta	**103**	**Cuenta**	**103**	**Cuenta**	**103**

Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Microsoft Excel 2010

De esta manera se mostró el plano respectivo con cada una de las deformaciones presentes de matera temática respecto a la posición de cada uno de los vértices muéstrales. (Ver Figura LXX)

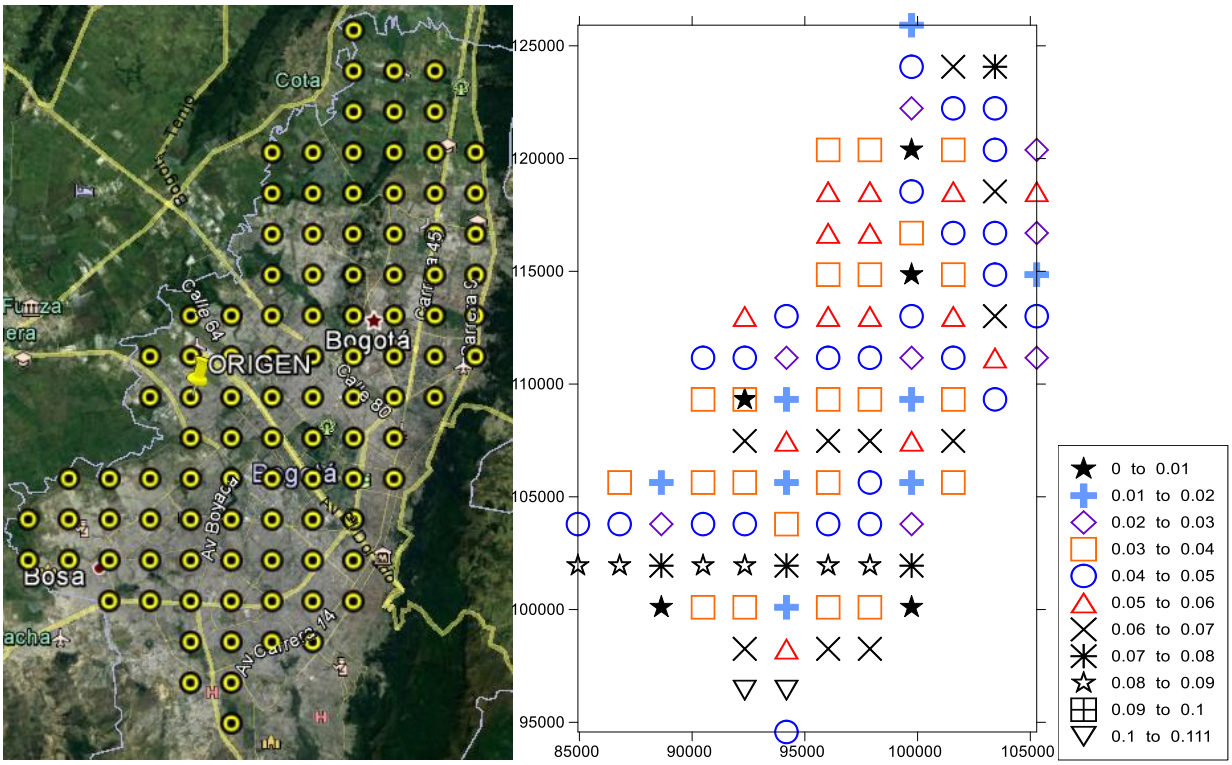


Figura LXX. Plano de clasificación por deformación espacial
Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Google Eearth/Software Surfer 14.

6.15. Análisis del factor de deformación de escala para cada PTL

El presente análisis demuestra la importancia de la tolerancia para una escala de representación es función de la magnitud, entonces para poder vincular esta tolerancia con un PTL es necesario definir qué diferencia de altura genera una deformación según su escala. Según la ecuación 3 se ha de obtener una diferencia de cota definida según la tolerancia esperada y el radio medio del lugar en estudio.

Donde K corresponde a la deformación de escala que existe entre un punto en la superficie topográfica y su representación cartográfica. Su cálculo se realiza por medio de la razón entre la tolerancia para la escala en estudio y un valor que represente la cantidad máxima de terreno a representar (20km en este caso). Por otra parte, el valor R corresponde al semieje mayor del elipsoide de referencia WGS 84 o GRS 80. (Ver Tabla 40)

DATOS		
DETALLE	**VALOR**	**UN**
Tolerancia de Cierre	20000	m
Semieje Mayor (R)	6378137	
Altura de proyección	2550	msnm
Percepción ojo ser humano	0.2	mm

Escala	**Tolerancia (m)**	**(m)**
1:	250	0.05
1:	500	0.1
1:	1000	0.2
1:	2000	0.4
1:	5000	1
1:	10000	2

Ecuación 9. (Kh)

$$\boldsymbol{kh} = 1 + (\text{Tol de Error}/\text{Tol de Cierre})$$

Ecuación 10. ΔH (Kh)

$$\mathbf{\Delta H\ (Kh)} = (\text{kh} * \text{R}) - \text{R}$$

Tabla 40. Disposición altimétrica de los Planos Topográficos Locales según tolerancia Kh

ESCALA	250			500			1000			2000			5000		
Kh	1.0000025			1.000005			1.00001			1.00002			1.00005		
ΔH (Kh)	31			63			127			255			637		
UN	m	msnm	msnm	m	msnm	msnm	m	msnm	msnm	m	msnm	msnm	m	msnm	msnm
PL1	15	2535	2565	31	2519	2581	63	2487	2613	127	2423	2677	318	2232	2868
PL2	46	2565	2596	94	2581	2644	190	2613	2740	382	2677	2932	955	2868	3505
PL3	77	2596	2627	157	2644	2707	317	2740	2867	637	2932	3187	1592	3505	4142
PL4	108	2627	2658	220	2707	2770	444	2867	2994	892	3187	3442			
PL5	139	2658	2689	283	2770	2833	571	2994	3121	1147	3442	3697			
PL6	170	2689	2720	346	2833	2896	698	3121	3248	1402	3697	3952			
PL7	201	2720	2751	409	2896	2959	825	3248	3375	1657	3952	4207			
PL8	232	2751	2782	472	2959	3022	952	3375	3502						
PL9	263	2782	2813	535	3022	3085	1079	3502	3629						
PL10	294	2813	2844	598	3085	3148	1206	3629	3756						
PL11	325	2844	2875	661	3148	3211	1333	3756	3883						
PL12	356	2875	2906	724	3211	3274	1460	3883	4010						
PL13	387	2906	2937	787	3274	3337	1587	4010	4137						
PL14	418	2937	2968	850	3337	3400									
PL15	449	2968	2999	913	3400	3463									
PL16	480	2999	3030	976	3463	3526									
PL17	511	3030	3061	1039	3526	3589									
PL18	542	3061	3092	1102	3589	3652									
PL19	573	3092	3123	1165	3652	3715									
PL20	604	3123	3154	1228	3715	3778									
PL21	635	3154	3185	1291	3778	3841									
PL22	666	3185	3216	1354	3841	3904									
PL23	697	3216	3247	1417	3904	3967									
PL24	728	3247	3278	1480	3967	4030									
PL25	759	3278	3309	1543	4030	4093									
PL26	790	3309	3340	1606	4093	4156									
PL27	821	3340	3371												
PL28	852	3371	3402												
PL29	883	3402	3433												
PL30	914	3433	3464												
PL31	945	3464	3495												
PL32	976	3495	3526												
PL33	1007	3526	3557												
PL34	1038	3557	3588												
PL35	1069	3588	3619												
PL36	1100	3619	3650												
PL37	1131	3650	3681												
PL38	1162	3681	3712												
PL39	1193	3712	3743												
PL40	1224	3743	3774												
PL41	1255	3774	3805												
PL42	1286	3805	3836												
PL43	1317	3836	3867												
PL44	1348	3867	3898												
PL45	1379	3898	3929												
PL46	1410	3929	3960												
PL47	1441	3960	3991												
PL48	1472	3991	4022												
PL49	1503	4022	4053												
PL50	1534	4053	4084												
PL51	1565	4084	4115												
PL52	1596	4115	4146												

Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Microsoft Excel 2010

Para la determinación del factor de deformación de escala para cada PTL, se emplearon los datos de la Tabla 41 utilizando el valor Δh coincidente con el definido determinando los valores K para cada PTL (Kp) resultando que se muestra en la Tabla 41

Tabla 41. Factor de deformación de escala según PTL Kp

ESCALA	250	500	1000	2000	5000
PL1	1.00040215504935	1.00040466361886	1.00040968075788	1.00041971503591	1.00044966108442
PL2	1.00040701540277	1.00041454111130	1.00042959252835	1.00045969536245	1.00054953350798
PL3	1.00041187575620	1.00042441860374	1.00044950429883	1.00049967568900	1.00064940593154
PL4	1.00041673610962	1.00043429609618	1.00046941606930	1.00053965601554	
PL5	1.00042159646304	1.00044417358862	1.00048932783978	1.00057963634209	
PL6	1.00042645681647	1.00045405108106	1.00050923961025	1.00061961666863	
PL7	1.00043131716989	1.00046392857350	1.00052915138072	1.00065959699517	
PL8	1.00043617752331	1.00047380606594	1.00054906315120		
PL9	1.00044103787673	1.00048368355838	1.00056897492167		
PL10	1.00044589823016	1.00049356105082	1.00058888669215		
PL11	1.00045075858358	1.00050343854326	1.00060879846262		
PL12	1.00045561893700	1.00051331603570	1.00062871023310		
PL13	1.00046047929043	1.00052319352814	1.00064862200357		
PL14	1.00046533964385	1.00053307102058			
PL15	1.00047019999727	1.00054294851302			
PL16	1.00047506035069	1.00055282600546			
PL17	1.00047992070412	1.00056270349790			
PL18	1.00048478105754	1.00057258099034			
PL19	1.00048964141096	1.00058245848278			
PL20	1.00049450176439	1.00059233597522			
PL21	1.00049936211781	1.00060221346766			
PL22	1.00050422247123	1.00061209096010			
PL23	1.00050908282466	1.00062196845254			
PL24	1.00051394317808	1.00063184594498			
PL25	1.00051880353150	1.00064172343742			
PL26	1.00052366388492	1.00065160092986			
PL27	1.00052852423835				
PL28	1.00053338459177				
PL29	1.00053824494519				
PL30	1.00054310529862				
PL31	1.00054796565204				
PL32	1.00055282600546				
PL33	1.00055768635888				
PL34	1.00056254671231				
PL35	1.00056740706573				
PL36	1.00057226741915				
PL37	1.00057712777258				
PL38	1.00058198812600				
PL39	1.00058684847942				
PL40	1.00059170883285				
PL41	1.00059656918627				
PL42	1.00060142953969				
PL43	1.00060628989311				
PL44	1.00061115024654				
PL45	1.00061601059996				
PL46	1.00062087095338				
PL47	1.00062573130681				
PL48	1.00063059166023				
PL49	1.00063545201365				
PL50	1.00064031236708				
PL51	1.00064517272050				
PL52	1.00065003307392				

Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Microsoft Excel 2010

Considerando lo anteriormente realizado puede introducirse de manera que se relacione el factor de escala aplicado a la proyección de manera de indicador que relacione directamente el plano de proyección y el plano topográfico local. (Ver Tabla 42)

Ecuación 11. Ke Efectivo

$$\mathbf{Ke} = \mathrm{Kh}^{-1} * \mathrm{Kp}$$

Tabla 42. Factor de deformación de escala efectivo Ke

ESCALA	250	500	1000	2000	5000
PL1	1.00039965405022	1.00039966162055	1.00039967676111	1.00039970704177	1.00039964110236
PL2	1.00040451439149	1.00040953906360	1.00041958833247	1.00043968656872	1.00049950853256
PL3	1.00040937473276	1.00041941650666	1.00043949990383	1.00047966609568	1.00059937596275
PL4	1.00041423507403	1.00042929394971	1.00045941147519	1.00051964562263	
PL5	1.00041909541530	1.00043917139276	1.00047932304654	1.00055962514958	
PL6	1.00042395575658	1.00044904883582	1.00049923461790	1.00059960467654	
PL7	1.00042881609785	1.00045892627887	1.00051914618926	1.00063958420349	
PL8	1.00043367643912	1.00046880372192	1.00053905776062		
PL9	1.00043853678039	1.00047868116497	1.00055896933198		
PL10	1.00044339712166	1.00048855860803	1.00057888090334		
PL11	1.00044825746294	1.00049843605108	1.00059879247470		
PL12	1.00045311780421	1.00050831349413	1.00061870404606		
PL13	1.00045797814548	1.00051819093719	1.00063861561742		
PL14	1.00046283848675	1.00052806838024			
PL15	1.00046769882802	1.00053794582329			
PL16	1.00047255916930	1.00054782326635			
PL17	1.00047741951057	1.00055770070940			
PL18	1.00048227985184	1.00056757815245			
PL19	1.00048714019311	1.00057745559550			
PL20	1.00049200053439	1.00058733303856			
PL21	1.00049686087566	1.00059721048161			
PL22	1.00050172121693	1.00060708792466			
PL23	1.00050658155820	1.00061696536772			
PL24	1.00051144189947	1.00062684281077			
PL25	1.00051630224075	1.00063672025382			
PL26	1.00052116258202	1.00064659769688			
PL27	1.00052602292329				
PL28	1.00053088326456				
PL29	1.00053574360583				
PL30	1.00054060394711				
PL31	1.00054546428838				
PL32	1.00055032462965				
PL33	1.00055518497092				
PL34	1.00056004531219				
PL35	1.00056490565347				
PL36	1.00056976599474				
PL37	1.00057462633601				
PL38	1.00057948667728				
PL39	1.00058434701856				
PL40	1.00058920735983				
PL41	1.00059406770110				
PL42	1.00059892804237				
PL43	1.00060378838364				
PL44	1.00060864872492				
PL45	1.00061350906619				
PL46	1.00061836940746				
PL47	1.00062322974873				
PL48	1.00062809009000				
PL49	1.00063295043128				
PL50	1.00063781077255				
PL51	1.00064267111382				
PL52	1.00064753145509				

Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Microsoft Excel 2010

Para validar la reducción de una magnitud considerada sobre un plano de proyección, es preciso considerar el error en el método de proyección cartográfica e interpretarlo como una tolerancia propia de cada escala cartográfica de representación. La determinación del factor Ke utilizado en la reducción deberá realizarse poniendo especial atención en el error que puede introducirse a partir de la determinación de dicho factor.

Al momento de realizar una reducción de este tipo, debe considerarse que esta será válida únicamente para un rango de alturas en función de la tolerancia aceptada para la escala de representación para todo el Plano Topográfico Local, los cuales se encuentran en “Tabla De Análisis Del Factor De Deformación De Escala Para Cada PTL” (Ver Anexo 11).

7. Comparación de Resultados

Tabla 43. Resultados de comparación de resultados

	NORMATIVIDAD IGAC	NORMATIVIDAD NBR 14166	VENTAJA	DESVENTAJA
Parámetros	-Radio máximo de cobertura desde el origen de 20 km respecto al origen adoptado para definir un plano topográfico local o plano cartesiano dependiente de su pérdida de conformidad con respecto a la diferencia de elevación. -Diferencia de elevación máxima entre planos de elevación es de 250 m.	-Radio máximo de cobertura será de 50 km para definir un plano topográfico local o plano cartesiano a partir del origen adoptado. -Diferencia de elevación máxima entre planos de elevación es de 150 m y su error absoluto debe poseer una precisión no menor a 1/40.000 equivalente a 0.025 m/km.	-Al tomar la normatividad de la NBR 14166 se tiene un control de tolerancias de precisión. -La norma NBR 14166 contempla una conversión de coordenadas mediante el uso matricial de rotación y traslación que contempla valores de (ΔX, ΔY, ΔZ) a partir del origen. -La normatividad IGAC contempla una transformación tangente al elipsoide de origen formando un plano paralelo al origen.	-La normatividad IGAC solamente contempla límites de área de cobertura y elevación más no estándares de tolerancias.
Análisis de Radio de cobertura a partir del origen (Criterio Área)	Radio de cobertura de 20 km Área de ocupación con respecto al área total del suelo de la ciudad de Bogotá D.C., Según su tipo de suelo. Urbano → 97.6% Expansión urbana → 65.5% Rural → 14.6 % Urbana+Expansión urbana→95.3%	Radio de cobertura de 50 km Área de ocupación con respecto al área total del suelo de la ciudad de Bogotá D.C., Según su tipo de suelo. Urbano → 100% Expansión urbana → 100% Rural → 40.1 % Urbana+Expansión urbana→100%	-El área de cobertura bajo la norma NBR 14166 abarca más extensión sobre el territorio total, siendo este la oportunidad de ampliar el área del PTL a proyectar.	-Teniendo en cuenta la perdida de conformidad de la proyección con respecto a la elevación se debe tener proceder a tener como criterio el área de elevación comprendida.
Análisis de Elevación a partir del radio de cobertura y el rango de elevación del plano local	Elevación comprendida entre los 2425 y 2675 msnm Área de ocupación con respecto al área total del suelo de la ciudad de Bogotá D.C., Según su tipo de suelo. Urbano → 90.9% Expansión urbana → 98.6% Rural → 26.5 % Urbana+Expansión urbana→91.3%	Elevación comprendida entre los 2475 y 2625 msnm Área de ocupación con respecto al área total del suelo de la ciudad de Bogotá D.C., Según su tipo de suelo. Urbano → 100% Expansión urbana → 100% Rural → 100 % Urbana+Expansión urbana→100%	-Las delimitaciones en estos dos parámetros, permiten conocer la verdadera magnitud del área de estudio que cumple con los requerimientos mininos exigidos por las normas.	
Análisis de orígenes cercanos a Bogotá D.C. - Radio de cobertura de 20 km a partir del origen	Análisis con Norma IGAC -Se dispuso de 10 orígenes para el estudio. -Del total de nuestro territorio de la ciudad de Bogotá D.C., el origen con mayor cobertura en área es Soacha→ 27% y el menor origen con cobertura es Sopo→ 4%.		-Muestra de manera espacial el comportamiento de la ocupación en el territorio de cada uno de los orígenes con respecto al total del territorio de la ciudad.	-Presenta un análisis global sin tener en cuenta la zona central del estudio, es por ello, que los resultados de ocupación se presentan bajos a lo que corresponde a porcentaje.

Fuente: Propia (2017). Bogotá D.C. – Software Microsoft Excel 2010

	NORMATIVIDAD IGAC	VENTAJA	DESVENTAJA
Análisis de orígenes cercanos a Bogotá D.C.- Radio de cobertura de 20 km a partir del origen y rango de elevación.	-Se dispone de los 10 orígenes de estudio con los cuales como área totales se tomaron las áreas dentro del radio de 20 km ocupadas sobre el territorio de la ciudad, dando estas como un 100% dichas áreas. -El orden de ocupación en base al análisis espacial se dispuso de esta manera. **1.** Mosquera-Madrid-Funza→97% **2.** Tenjo→92% **3.**Tabio→89% **4.** Chía→88% **5.**Cota→87% **6.**Cajicá→85% **7.**Sopo→78% **8.**La Calera→72% **9.**Soacha→60% **10.** Sibaté →29% -Después de realizar el análisis a través del uso de la estadística se obtuvo como resultado que los orígenes que cumplen con la confiabilidad de ser tomados para nuestro estudio serán 7 de los 10 inicialmente, lo cuales son: Cajicá, Chía, Cota, La Calera, Mosquera-Madrid-Funza, Sopo, Tabio.	-El análisis contempla los dos ítems evaluados como lo son el rango de cobertura de 20 km a partir del origen y el rango de elevación dispuesto para cada uno de los casos. -Presenta un conjunto de parámetros a tener presentes al momento de realizar una escogencia para realizar la proyección con el origen a disponer según donde se quiera proyectar el plano local.	-Es un proceso el cual no contiene contemplando el cruce de radio de coberturas de los 20 km, ya que se pretende analizar cada origen de forma independiente
Análisis De Orígenes Cercanos A Bogotá D.C. Respecto A La Cantidad De Vértices Geodésicos Muéstrales que cumplen con el rango de elevación	-El estudio contempla 285 vértices geodésicos muéstrales utilizados dentro del rango de elevación siendo este del 59.7% de los 477 disponibles en el total del área de Bogotá D.C. -Independientemente al origen utilizado los vértices geodésicos muéstrales utilizados por cada uno de los orígenes no sobrepasa el 30% de ocupación. -De los 10 vértices geodésicos muéstrales 8 cumplen con un porcentaje mayor al 50% de ocupación. - Con base al primer análisis del radio de cobertura son 7 orígenes quienes cumplen con estos parámetros por encima de la mediana de los 71 vértices, los cuales son Cajicá, Chía, Cota, La Calera, MMF, Sibaté, y Soacha. -Con base al segundo análisis del rango de elevación y radio de cobertura son 6 orígenes quienes cumplen con estos parámetros por encima de la mediana del 85% de los vértices que equivales a 69 vértices muéstrales, los cuales son Chía, Cota, La Calera, MMF, Soacha y Tenjo.	-El uso de los vértices geodésicos muéstrales permite tener por separado otro tipo de análisis que será comparado respecto al brindado por la ocupación de áreas. -Permite tener un control de la densificación por área aferente para controles de dispersión y magnitudes.	-La frecuencia o cantidad de datos son dispuestas por el usuario y de esto depende la densificación de la información que al ser mayor cantidad puede ser más precisa en su dictamen.
Análisis De Cobertura De Planchas Escala 1:2000 Existentes De La Ciudad De Bogotá D.C.	-El análisis contemplo las 581 planchas dispuestas para la ciudad bajo el plano de proyección dispuesto para la ciudad de Bogotá D.C de las cuales 500 cumplen con la cobertura espacial de los 20 km a partir del origen. -Igualmente se contempló la elevación junto con el criterio de rango de cobertura donde cubre un 45% las planchas totales para la ciudad. -asimismo se realizó el análisis respecto a la cobertura en el área constructiva de la ciudad y este cumple con un 86% de las construcciones cumplen con el plano de proyección dispuesto para la ciudad.	-Se analiza las verdadera cobertura que cumple con los parámetros anteriormente dispuestos para el desarrollo de cartografía para la ciudad de Bogotá D.C	-El análisis contempla proporciones de cobertura en las planchas que no toman la totalidad de las mismas y son tenidas en cuenta dentro del análisis cuantitativo.
Análisis De Posible Origen Proyectado Para Bogotá D.C. a partir del radio de 20 km y el rango de elevación de +-125m	-El origen se dispuso como centroide a partir del área urbanística de la ciudad. -A lo referido con respecto al radio de 20 km presenta una disminución promedio del 1.7% en todas las áreas. Lo cual ratifica que no presenta una mayor ocupación por ser desplazado el origen cuando la ciudad su crecimiento es alargado hacia el norte y sur de la ciudad y no de forma radial como se presenta en el estudio. -A lo que corresponde la cobertura espacial de las planchas no presenta un cambio sigue de igual manera con la misma proporción del 45% de las planchas cumplen.	-Permite conocer si la ubicación del origen dispuesto para la ciudad, al ser trasladado o desplazado de su origen cumple con lo dispuesto sobre la ocupación del espacio.	-Presenta una disminución con respecto a la cobertura en los dos caracteres estudiados como lo son en la elevación y cobertura de 20 km siendo así que no cumple con lo esperado.
Análisis De Vértices Geodésicos Muéstrales Respecto A Su Elevación Por Franjas	-Este análisis permitió obtener uso 14 franjas de elevación. -Los vértices que cumplen son 7 de los 10 orígenes, donde su cumplimiento es 77% con respecto a la media dispuesta para cada origen determinando así con un cumplimiento los orígenes de: Cajicá, Chía, Cota, La Calera, MMF, Sopo, Tabio y Tenjo.	-Permite comparar los resultados anteriormente descritos y tener claridad con respecto a las áreas ocupadas desde los orígenes dispuestos para la ciudad.	Las áreas no contienen los contornos delimitante al contorno de límite de estudio, sino que poseen una estructura cuadrática por la posición de sus vértices muéstrales.

8. Conclusiones

- ✓ El sistema de proyección para la ciudad de Bogotá D.C. cumple a nivel de cobertura del distrito capital con un 91.3%, teniendo en cuenta la valoración de las especificaciones brindas por la normatividad del IGAC, donde el limitante de área de cobertura de 20 km a partir del origen y el rango de elevación dispuesto para cumplimiento del PTL que se encuentra comprendido +-125m.

- ✓ El estudio de los orígenes cercanos a la ciudad con los parámetros del IGAC, garantiza un cumplimiento por encima del 85% a partir del área total abarcada con el radio de cobertura y el rango de elevación para cada origen, siendo estos de gran utilidad para las zonas que no se encuentran dentro del área de distrito capital realizando las proyecciones pertinentes respecto a su ubicación espacial dentro de Bogotá D.C.

- ✓ El estudio cartográfico evaluó los parámetros de proyección donde de 581 planchas cartográficas dispuestas en el IGAC solamente 262 garantizan los requerimientos mínimos teniendo una efectividad del 45%. Así mismo a nivel de distrito capital que contiene la zona urbanística de la ciudad garantiza un 86% dentro de esta proyección utilizada.

- ✓ En el estudio de la conversión de coordenadas por el sistema de proyección actual se presentan deformaciones Δx, Δy, Δz donde la calidad de la proyección es dependiente de la distancia proyectada y la extensión del sistema a proyectar, para lo cual, con el método de rotación y traslación muestra un error absoluto de 0.037 m/km en el ajuste y un error medio de 0.057m/km con una precisión por debajo del orden segundario de 1:20.000, de manera que se ha de establecer perímetros de proyección que cumplan con los tolerancias de cierres y la escala de representación cumpliendo así con la precisión requerida para los estudios de ingeniería.

- ✓ La proyección del datum modificado para la ciudad de Bogotá utilizada por el IGAC para la transformación de coordenadas tiene un error medio de 0.046m linealmente respecto al utilizado bajo parámetros del GRS 80, donde cabe resaltar que dichos vértices geodésicos muéstrales cumplen con el requerimiento de rango de elevación y radio de cobertura.

9. Recomendaciones

- ✓ Los parámetros brindados por el IGAC deberían contemplar normatividades en tolerancia, restricciones, precisiones, manipulación y entrega de información requeridas para así poder tener la misma calidad de información en la entrega de estudios de ingeniería colombiana. Al no contemplar lo anterior dicho se ha de recurrir a parámetros de calidad bajo normatividades internacionales cumpliendo con la calidad de lo entregado como profesionales al momento de ejecutar información de carácter ingenieril.

- ✓ Al utilizar una proyección cartográfica como instrumento de medición de los elementos representados, debe considerarse la superficie de referencia del producto cartográfico y la magnitud de deformación a la cual está sujeta. Es por ello que se presenta una alta correlación entre el factor de deformación de escala y la variación de los orígenes de la proyección la coordenada asegurando la exactitud de la medición.

10. Bibliografía

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1998). Rede de Referência Cadastral Municipal - Procedimento. Brasil: Copyright.

ArcMap. (2016). Datums. Recuperado el 21 de febrero de 2017, ArcGIS For Desktop: http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/guide-books/map-projections/datums.htm

Dal'Forno, G.L, Argentino, J.A. Hillebrand, L.F. y Gregório, F.V. (2010). Transformação de coordenadas geodésicas em coordenadas no plano topográfico local pelos métodos da norma NBR 14166:1998 e o de rotações e translações. Brasil; Rio de Janeiro. Universidad Federal de Santa María - UFSM.

Dal'Forno, G.L, Argentino, J.A. Hillebrand, L.F. y Gregório, F.V. (2010). Transgeolocal (Version 2.0). [Software Libre]. Seven Topografia e Engenharia Ltda. Brasil; Rio de Janeiro. Universidad Federal de Santa María - UFSM.

IBM. (2016). Sistema de coordenadas geográficas. Recuperado el 21 de febrero de 2017https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/SSEPGG_8.2.0/com.ibm.db2.udb.doc/opt/csb3022a.htm

Fuentes, S. (2006). Diagnóstico del uso de proyecciones transversales de Mercator en escalas urbanas. Universidad tecnológica metropolitana-Facultad de humanidades y tecnologías de la comunicación social escuela de cartografía Chile: Santiago.

IDECA. (2011). Instructivo para la migración de información geográfica al sistema de referencia MAGNA-SIRGAS. Bogotá D.C-Colombia.

IDECA. (2011). Catálogo de Representación para el Mapa de Referencia del Distrito Capital. Bogotá D.C-Colombia.

IGAC. & Grupo Interno de Trabajo Geodesia. (2010). Magna Sirgas Pro 3.0 Beta. (Version 1.0). [Software Libre]. Recuperado de: Colección de archivos distribuidos por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), agrupados bajo el nombre Magna Sirgas Pro 3.0 beta

INEGI. (2006). Norma Técnica NTG. Edición de Cartografía Topográfica. México: Aguascalientes. Dirección General de Geografía.

MundoGeo. (2002). P. T. Local, Productor).Recuperado el 21 de febrero de 2017, de MundoGeo: http://mundogeo.com/blog/2002/10/10/plano-topografico-local/

Peterson, S. (1994). Computing constrained delaunay triangulaciones. Universidad de Minnesota Pregrado. Recuperado el 21 de febrero de 2017, http://www.geom.uiuc.edu/~samuelp/del_project.html

Rodríguez, L. S. (Ed.). (2004). Tipos de coordenadas manejados en Colombia. Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

W. Martínez & C. Beltrán, M. Arias. (2012). Elaboración De Cartografía Referida A Sirgas: El Caso De Colombia. Recuperado el 21 de febrero de 2017, http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol17/Martinez_et_al_Cartografia_en_SIRGAS.pdf

11. Anexos Digitales

Anexo 1. Planos Temáticos y Modelos Digitales De Elevación

Anexo 2. Tabla De Vértices De Control-IGAC.

Anexo 3. Tabla De Vértices De Control-SCG

Anexo 4. Tabla de orígenes cercanos a Bogotá D.C.

Anexo 5. Certificados del IGAC-Orígenes.

Anexo 6. Lista De Coordenadas Cartesianas Locales De Los Vértices Geodésicos muéstrales Totales Transformadas Por La Metodología del IGAC.

Anexo 7. Lista De Coordenadas Cartesianas Locales De Los Vértices Geodésicos Muéstrales Totales Transformadas Por TRASGEOLOCAL V 2.0.

Anexo 8. Tabla De Relación De Áreas Con Respecto A Su Cobertura De 20 Km A Partir Del Origen Y Rango De Elevación.

Anexo 9. Tabla De Vértices Muéstrales Por Cada Uno De Los Orígenes Cercanos Con Una Cobertura De 20 Km A Partir Del Origen Y Rango De Elevación.

Anexo 10. Tabla De Deformaciones Con Datum Modificado.

Anexo 11. Tabla De Análisis Del Factor De Deformación De Escala Para Cada PTL.