

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE UN TERRENO DE ACUERDO A LA
RELACIÓN ENTRE LA RUGOSIDAD Y EL VOLUMEN EN FUNCIÓN DE LA
DENSIDAD DE LOS PUNTOS EVALUADOS

CARLOS ANDRES ARIAS ZULUAGA
VICTOR RAUL SUAREZ HINCAPIE

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TECNOLOGÍA EN TOPOGRAFÍA
ARMENIA
2006

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE UN TERRENO DE ACUERDO A LA
RELACIÓN ENTRE LA RUGOSIDAD Y EL VOLUMEN EN FUNCIÓN DE LA
DENSIDAD DE LOS PUNTOS EVALUADOS

CARLOS ANDRES ARIAS ZULUAGA
VICTOR RAUL SUAREZ HINCAPIE

Proyecto de grado para optar al título de
Tecnólogo en Topografía

Director
GONZALO JIMÉNEZ CLEVES
Topógrafo, Esp, MSc

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TECNOLOGÍA EN TOPOGRAFÍA
ARMENIA
2006

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Armenia, mayo de 2006

A DIOS, a nuestras familias, nuestra tierra y a todos aquellos que nos apoyaron e hicieron posible la realización de este proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Con júbilo y esperanza damos gracias a:

A DIOS.

Nuestras familias que siempre nos apoyaron incondicionalmente.

Nuestro director Gonzalo Jiménez Cleves por brindarnos sus conocimientos y guiarnos en la realización de este proyecto.

Nuestros asesores, Iván Rene Galindo, Julián Garzón, Jairo Díaz Jurado y Gilberto Gómez Gómez.

El programa de Topografía por habernos brindado los conocimientos necesarios para el desarrollo de esta investigación.

La Universidad del Quindío.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	14
1. PRESENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
1.1. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE UN TERRENO DE ACUERDO A LA RELACION ENTRE LA RUGOSIDAD Y EL VOLUMEN EN FUNCION DE LA DENSIDAD DE LOS PUNTOS EVALUADOS.	15
1.2. ALCANCE Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.2.1. Objetivo General.....	16
1.2.2. Objetivos Específicos	16
1.3. PROBLEMA	17
1.4. JUSTIFICACIÓN	18
2. MARCO TEÓRICO	19
2.1. MODELOS DIGITALES.....	19
2.2. RUGOSIDAD	20
2.3. VOLUMENES	22
MÉTODO DE LA MALLA (GRID) AUTOCAD LAND DEVELOPMENT DESKTOP 21	24
MÉTODO COMPUESTO. AUTOCAD LAND DEVELOPMENT DESKTOP 21	24
2.4. REGRESION LINEAL.....	26
2.5. MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN.....	28
2.5.1 BASE RADIAL	28
2.5.2 TIN	28
2.5.3 KRIGING.....	29
2.5.4 IDW (INVERSE DISTANCE WEIGHTING)	29
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	31

	Pág.
4. CÁLCULO DE VOLUMENES Y RUGOSIDAD	32
5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	33
5.1. BASE RADIAL	34
5.2. TIN	40
5.3. KRIGING.....	47
5.4. IDW	53
5.5. TIN (COMPUESTO) AUTOCAD LAND DEVELOPMENT DESKTOP 2I.....	60
5.6. TIN (GRID) AUTOCAD LAND DEVELOPMENT DESKTOP 2I.....	62
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	68
6.1. CONCLUSIONES.	688
6.2. RECOMENDACIONES PARA INVESTIGACIONES FUTURAS.	699
BIBLIOGRAFÍA.....	70

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Relación Cuadrícula Rugosidad.	33
Figura 2. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, Base Radial – Estación total.	34
Figura 3. Relación Δ Volumen y Cuadrícula, Base Radial - Nivel de Precisión.	36
Figura 4. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, Base Radial – NI 007.	37
Figura 5. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, Base Radial – Tránsito.	39
Figura 6. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, TIN – Estación total.	40
Figura 7. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, TIN – Nivel de Precisión.	42
Figura 8. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, TIN – NI 007.	43
Figura 9. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, TIN – Tránsito.	45
Figura 10. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, Kriging – Estación total.	47
Figura 11. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, Kriging – Nivel de Precisión.	49
Figura 12. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, Kriging – NI 007.	50
Figura 13. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, Kriging – Tránsito.	52
Figura 14. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, IDW – Estación total.	53
Figura 15. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, IDW – Nivel de Precisión.	55
Figura 16. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, IDW – NI 007.	56
Figura 17. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, IDW – Tránsito.	58
Figura 18. Relación Δ Volumen y Cuadrícula, TIN (Compuesto) – Estación total.	60
Figura 19. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, GRID – Estación total.	62

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Relación Cuadrícula Rugosidad.	33
Tabla 2. Relación Volumen - Cuadrícula – Rugosidad, Base Radial – Estación.	34
Tabla 3. Reporte de Rugosidad, Base Radial – Estación total.	35
Tabla 4. Reporte de Exclusión de Variable, Base Radial – Estación total.	35
Tabla 5. Relación Volumen - Cuadrícula – Rugosidad, Base Radial – Nivel de Precisión.	35
Tabla 6. Reporte de Rugosidad, Base Radial - Nivel de Precisión.	36
Tabla 7. Reporte de Exclusión de Variable, Base Radial - Nivel de Precisión.	36
Tabla 8. Relación Volumen - Cuadrícula – Rugosidad, Base Radial – NI 007.	37
Tabla 9. Reporte de Rugosidad, Base Radial – NI 007.	38
Tabla 10. Reporte de Exclusión de Variable, Base Radial – NI 007.	38
Tabla 11. Relación Volumen - Cuadrícula – Rugosidad, Base Radial – Tránsito.	38
Tabla 12. Reporte de Rugosidad, Base Radial – Tránsito.	39
Tabla 13. Reporte de Exclusión de Variable, Base Radial – Tránsito.	39
Tabla 14. Relación Volumen - Cuadrícula – Rugosidad, TIN – Estación total.	40
Tabla 15. Reporte de Rugosidad, TIN – Estación total.	41
Tabla 16. Reporte de Exclusión de Variable, TIN – Estación total.	41
Tabla 17. Relación Volumen - Cuadrícula - Rugosidad, TIN – Nivel de Precisión	41
Tabla 18. Reporte de Rugosidad, TIN - Nivel de Precisión.	42
Tabla 19. Reporte de Exclusión de Variable, TIN - Nivel de Precisión.	42
Tabla 20. Relación Volumen - Cuadrícula – Rugosidad, TIN – NI 007.	43
Tabla 21. Reporte de Rugosidad, TIN – NI 007.	44
Tabla 22. Reporte de Exclusión de Variable, TIN – NI 007.	44

Tabla 23. Relación Volumen - Cuadrícula – Rugosidad, TIN – Tránsito.	44
Tabla 24. Reporte de Rugosidad, TIN – Tránsito.	45
Tabla 25. Reporte de Exclusión de Variable, TIN – Tránsito.	45
Tabla 26. Relación Volumen - Cuadrícula – Rugosidad, Kriging – Estación total.	47
Tabla 27. Reporte de Rugosidad, Kriging – Estación total.	48
Tabla 28. Reporte de Exclusión de Variable, Kriging – Estación total.	48
Tabla 29. Relación Volumen - Cuadrícula – Rugosidad, Kriging – Nivel de Precisión.	48
Tabla 30. Reporte de Rugosidad, Kriging – Nivel de Precisión.	49
Tabla 31. Reporte de Exclusión de Variable, Kriging – Nivel de Precisión.	49
Tabla 32. Relación Volumen - Cuadrícula – Rugosidad, Kriging – NI 007.	50
Tabla 33. Reporte de Rugosidad, Kriging – NI 007.	51
Tabla 34. Reporte de Exclusión de Variable, Kriging – NI 007.	51
Tabla 35. Relación Volumen - Cuadrícula – Rugosidad, Kriging – Tránsito.	51
Tabla 36. Reporte de Rugosidad, Kriging – Tránsito.	52
Tabla 37. Reporte de Exclusión de Variable, Kriging – Tránsito.	52
Tabla 38. Relación Volumen - Cuadrícula – Rugosidad, IDW – Estación total.	53
Tabla 39. Reporte de Rugosidad, IDW – Estación total.	54
Tabla 40. Reporte de Exclusión de Variable, IDW – Estación total.	54
Tabla 41. Relación Volumen - Cuadrícula – Rugosidad, IDW – Nivel de Precisión.	54
Tabla 42. Reporte de Rugosidad, IDW – Nivel de Precisión.	55
Tabla 43. Reporte de Exclusión de Variable, IDW – Nivel de Precisión.	55
Tabla 44. Relación Volumen - Cuadrícula – Rugosidad, IDW – NI 007.	56
Tabla 45. Reporte de Rugosidad, IDW – NI 007.	57
Tabla 46. Reporte de Exclusión de Variable, IDW – NI 007.	57
Tabla 47. Relación Volumen - Cuadrícula – Rugosidad, IDW – Tránsito.	57
Tabla 48. Reporte de Rugosidad, IDW – Tránsito.	58
Tabla 49. Reporte de Exclusión de Variable, IDW – Tránsito.	59

Tabla 50. Relación Volumen - Cuadrícula – Rugosidad, TIN (Compuesto) – Estación total.	60
Tabla 51. Reporte de Rugosidad, TIN (Compuesto) – Estación total.	61
Tabla 52. Reporte de Exclusión de Variable, TIN (Compuesto) – Estación total.	61
Tabla 53. Relación Volumen - Cuadrícula – Rugosidad, GRID – Estación total.	62
Tabla 54. Reporte de Rugosidad, GRID – Estación total.	63
Tabla 55. Reporte de Exclusión de Variable, GRID – Estación total.	63
Tabla 56. Cuadrícula 1x1.	64
Tabla 57. Cuadrícula 2x2.	64
Tabla 58. Cuadrícula 4x4.	65
Tabla 59. Cuadrícula 5x5.	65
Tabla 60. Cuadrícula 8x8.	66
Tabla 61. Cuadrícula 10x10.	66
Tabla 62. Cuadrícula 20x20.	67
Tabla 63. Cuadrícula 40x40.	67

GLOSARIO

Acopio: Juntar, reunir en cantidad algo.

Geoestadístico: Estudio de la influencia de la geografía en la estadística.

Isohipsas: líneas que unen puntos de igual altura.

Morfología: nivel de descripción que estudia la estructura y la forma de un terreno.

Prismoide: Cuerpo limitado por dos polígonos planos, paralelos e iguales que se llaman bases, y por tantos paralelogramos cuantos lados tenga cada base. Si estas son triángulos, el prisma se llama triangular; si pentágonos, pentagonal, etc.

Cuadrícula: sistema de coordenadas "X" y "Y", medidas a partir de un par de ejes.

Rugosidad: pliegue de una superficie.

INTRODUCCION

Es nuestro propósito en este trabajo de investigación realizar un análisis sobre la caracterización morfológica de un terreno de acuerdo a la relación entre la rugosidad y el volumen en función de la densidad de puntos evaluados en una superficie ligeramente ondulada; localizada en predios de la Universidad del Quindío (Planta Piloto).

Teniendo en cuenta investigaciones anteriores en la aplicación de los métodos de nivelación de superficies se eligió el método de la cuadrícula, su rigidez, sus fundamentos y las características de los resultados. Por lo tanto, este proyecto busca establecer la relación entre la rugosidad y el volumen mediante un análisis de información; instrumentándose con el mayor cuidado posible y tiempo necesario para minimizar costos en cálculos de movimientos de tierras lo mismo que en los procesos realizados en la oficina para así determinar la morfología de la superficie y del equipo utilizado buscando condiciones óptimas.

Este proyecto está basado en una variable descriptora de la morfología de la superficie que lleva como nombre DEVUN (desviación estándar de los vectores unitarios normales a la superficie) y en información recopilada sobre rugosidad.

Además, se describen conocimientos basados en la experiencia realizada hasta el segundo semestre del 2005; esto aumenta y mejora los conocimientos en topografía en el área específica.

1. PRESENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE UN TERRENO DE ACUERDO A LA RELACION ENTRE LA RUGOSIDAD Y EL VOLUMEN EN FUNCION DE LA DENSIDAD DE LOS PUNTOS EVALUADOS.

Teniendo en cuenta la escasa información en la aplicación de la teoría sobre rugosidad y la teoría de la dimensión de las mallas para la representación de la superficie de un terreno, se realizó un análisis estadístico para la caracterización morfológica de un terreno en función de la densidad de puntos que se requieren trabajar.

El contenido es de interés ya que se determinarán aplicaciones para la enseñanza, consulta, adecuación y cálculo de movimiento de tierra, esto será usado por un número indefinido de profesionales para indeterminadas labores, y a la vez generará un aporte significativo en la disciplina topográfica.

Este proyecto está soportado en métodos y procedimientos que ayudaran a caracterizar la forma de la superficie, para mejorar la descripción de la misma y así realizar una representación gráfica mejor de modelos digitales; y a la vez minimizar los errores al realizar cálculos para el movimiento de tierra.

1.2. ALCANCE Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Objetivo General

Caracterizar morfológicamente un terreno de acuerdo a la relación entre la rugosidad y el volumen en función de la densidad de los puntos.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Determinación de la rugosidad en ocho diferentes densidades de la cuadrícula.
- Determinación del volumen en diferentes densidades de la cuadrícula e instrumentos.
- Análisis estadístico de la relación rugosidad - volumen en función de la densidad de los puntos para diferentes cuadrículas
- Caracterización morfológica de un terreno de acuerdo a la relación rugosidad - volumen en función de la densidad de los puntos.

1.3. PROBLEMA

Ya que no se tiene ninguna teoría que relacione la densidad de la cuadrícula, la rugosidad del terreno y el cálculo de volúmenes, se busca realizar un estudio que nos permita observar el comportamiento de estas tres variables, y así, generar resultados que ayuden al Topógrafo y otros profesionales interesados en el tema.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto es pertinente teniendo en cuenta que la sociedad académica será la directamente beneficiada, ya que brindará, comprensión y desarrollo a las nuevas tecnologías, dando así conocimientos basados en la experiencia, favoreciendo a los Topógrafos y demás profesionales interesados en el tema, proyectando esta investigación como un paso para fomentar el proceso de adquirir nuevos parámetros y conocimientos que ayuden al Topógrafo en su proyección laboral.

Uno de los objetivos fundamentales de este proyecto es “analizar por medio de un proceso estadístico la relación rugosidad-volumen en función de los puntos para ocho diferentes cuadrículas”, dado esto, el profesional de la topografía se beneficiará económicamente disminuyendo costos, para el bienestar de una determinada comunidad.

La comunidad en este caso de la Universidad del Quindío se verá beneficiada con conocimientos para un proceso de investigación en el área de la topografía. Dando así una importancia educativa, brindando a los docentes y estudiantes referencias teórico prácticas para la enseñanza, el aprendizaje y medios de consulta.

En el área administrativa se pueden dar posibilidades de mostrar conocimientos que incentiven a las empresas relacionadas con el tema en adquirir estos nuevos conceptos llevándolos así a la práctica comercial y obtener recursos que soporten una línea de investigación.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. MODELOS DIGITALES

Una definición bastante generalizada de modelo, originada en ámbitos geográficos, es una representación simplificada de la realidad en la que aparecen algunas de sus propiedades ¹ (Joly, 1988:111). De la definición se deduce que la versión de la realidad que se realiza a través de un modelo pretende reproducir solamente algunas propiedades del objeto o sistema original que queda representado por otro objeto o sistema de mejor complejidad.

“un modelo es un objeto, concepto o conjunto de relaciones que se utiliza para representar y estudiar de forma simple y comprensible una porción de la realidad empírica”.

Para que los modelos puedan decirnos algo sobre el objeto que representan, es necesario que se construyan estableciendo una relación con la realidad que debe ser simétrica, es decir la relación de correspondencia entre el objeto real y el modelo debe ser al menos parcialmente reversible y debe permitir la traducción de algunas propiedades del modelo a la realidad.

Un modelo digital del terreno es una estructura numérica de datos que representan la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua. Los modelos digitales del terreno o MDT son, por tanto, modelos simbólicos ya que las relaciones de correspondencia que se establecen con el objeto real tienen la forma de algoritmos o formalismos matemáticos.

¹ FELICÍSIMO, Anglez M. Curso de modelos digitales de terreno. Oviedo, 2001. Capítulo 4, pág 10 a 11.

2.2. RUGOSIDAD

En este documento se analizará la base de datos desarrollada en un proyecto anterior este contiene las diferentes elevaciones tomadas en una cuadrícula de 40 x 40 m², información recolectada en campo con cuatro equipos citados a continuación: Nivel de precisión, Nivel NI 007, Transito, Estación total ETH-120F. Como variable descriptora de la morfología de la superficie estudiada, se elegirá la desviación estándar de los vectores unitarios normales a la superficie (rugosidad, R), que en trabajos anteriores ha demostrado una buena correlación con la rugosidad del terreno. Posteriormente se calcularán los componentes principales en las direcciones X, Y, Z, para obtener finalmente el DEVUN según las expresiones:

$$A = \sqrt{\text{var } x + \text{var } y + \text{var } z} \quad (1)$$

$$R = \frac{1}{A} \quad (2)$$

Diversos autores han aplicado métodos significativamente distintos para su evaluación, por ejemplo, Balce (1987:324) utiliza la pendiente media como estimador de un factor de rugosidad. Evans (1972:27-37) realiza una revisión de métodos, entre los cuales menciona desde rangos de altitud hasta la desviación estándar de la elevación en entornos limitados. Hobson (1967,1972) propone que, dado un punto del terreno se calculen los vectores unitarios perpendiculares a la superficie en él y en los puntos de su entorno. Si el terreno es uniforme la suma vectorial será elevada y la dispersión baja; en el caso de terrenos rugosos con cambios en orientación y pendiente, la suma vectorial será pequeña y la dispersión elevada.

De acuerdo con Franklin (1987 a: 605), las estimaciones de la rugosidad deben ser independientes de otros parámetros del relieve para reducir la información redundante. Parece deseable, además, cierta independencia de las escalas de análisis, lo cual elimina algunas aproximaciones excesivamente simples como las que usan el rango de altitud.³

2 LOPEZ, Deybi A. y VARGAS Edison E. Determinación del error medio cuadrático por el método de la cuadrícula con cinco equipos. Universidad del Quindío. Armenia, 2004.

3 FELICÍSIMO, Anglez M. Curso de modelos digitales de terreno. Oviedo, 2001. Capítulo IV, Pág. 10 a 11.

Barry, comenta que las dimensiones del cuadrado o del paralelogramo (según el caso), de la cuadrícula debe ser elegido con un criterio adecuado. Pues mientras que una cuadrícula de 15.24x15.24 m puede ser suficiente, cuando se trata de un terreno mas o menos uniforme, para sitios en donde las diferencias de alturas son pronunciadas y numerosas, será indispensable trazar una cuadrícula, por ejemplo, de 3.048x3.048 m. Algunas veces además, habrá necesidad de localizar puntos adicionales, ya sea a la mitad de un cuadro o bien a lo largo de una línea para asegurar el registro de alguna característica especial del área que se estudia. También resulta muy provechoso cerciorarse que los datos obtenidos para cada punto queden correctamente registrados, puesto que es muy fácil equivocarse y registrar una lectura en donde no corresponde. ⁴

⁴ BARRY, Austin B. Topografía aplicada a la construcción. México, 1976. 346 Pág. capitulo 2 Pág. 59-60.

2.3. VOLUMENES

Podemos decir que volumen es una magnitud física que expresa la extensión de un cuerpo en tres dimensiones: largo, ancho y alto.

La medición directa de volúmenes por lo regular no se efectúa en topografía, ya que es difícil aplicar realmente una unidad de medida al material por cubicar. En su lugar se emplean mediciones indirectas determinando líneas y áreas que tengan relación con el volumen deseado.

El cálculo de volúmenes se hizo con la ayuda del programa SURFER 8.0 que utiliza tres métodos para dicho cálculo: regla de Simpson, regla de Simpson 3/8 y la regla Trapezoidal. Estos métodos emplean formulas que describiremos a continuación:

REGLA DE SIMPSON 3/8

El modelo de los coeficientes es (1,3,3,2,3,3,2,...,3,3,2,1):

$$A_i = \frac{3\Delta x}{8} [G_{i,1} + 3G_{i,2} + 3G_{i,3} + 2G_{i,4} + \dots + 2G_{i,nCol-1} + G_{i,nCol}] \quad (3)$$

$$Volumen \approx \frac{3\Delta y}{8} [A_1 + 3A_2 + 3A_3 + 2A_3 + \dots + 2A_{nCol-1} + A_{nCol}] \quad (4)$$

Donde:

Δx es el espacio que hay entre las columnas de las mallas

Δy es el espacio que hay entre las filas de las mallas

G_{ij} es la intersección de la malla de los valores de las filas en i y de las columnas en j .

Los resultados de los volúmenes están dadas en unidades cúbicas basadas en las unidades en que se encuentra los datos de la malla. Para una malla con valores XYZ en unidades de metro (m), las unidades para los resultados son:

Volumen neto: (metro * metro * metro)

REGLA TRAPEZOIDAL

El modelo de los coeficientes es (1,2,2,2,...,2,2,1):

$$A_i = \frac{\Delta x}{2} [G_{i,1} + 2G_{i,2} + 2G_{i,3} + \dots + 2G_{i,nCol-1} + G_{i,nCol}] \quad (5)$$

$$Volumen \approx \frac{\Delta y}{2} [A_1 + 2A_2 + 2A_3 + \dots + 2A_{nCol-1} + A_{nCol}] \quad (6)$$

Donde:

Δx es el espacio que hay entre las columnas de las mallas

Δy es el espacio que hay entre las filas de las mallas

G_{ij} es la intersección de la malla de los valores de las filas en i y de las columnas en j .

REGLA DE SIMPSON

El modelo de los coeficientes es (1,4,2,4,2,4,2,...,4,2,1):

$$A_i = \frac{\Delta x}{3} [G_{i,1} + 4G_{i,2} + 2G_{i,3} + 4G_{i,4} + \dots + 2G_{i,nCol-1} + G_{i,nCol}] \quad (7)$$

$$Volumen \approx \frac{\Delta y}{3} [A_1 + 4A_2 + 2A_3 + 4A_4 + \dots + 2A_{nCol-1} + A_{nCol}] \quad (8)$$

Donde:

Δx es el espacio que hay entre las columnas de las mallas

Δy es el espacio que hay entre las filas de las mallas

G_{ij} es la intersección de la malla de los valores de las filas en i y de las columnas en j .

MÉTODO DE LA MALLA (GRID) Autocad Land Development Desktop 2i

El método de la malla intercala volúmenes que usan mallas cubiertas o sobrepuestas en las dos superficies que constituyen el campo actual. Este método calcula los volúmenes usando el volumen del prismoide de todas las mallas. Este método es muy exacto cuando ambas superficies tienen cierta cantidad de variación en ellos.

El método de la malla agrupa el sitio en la serie de celdas de la malla en filas y columnas que son determinadas por el comando **Define Site**. El método de la malla usa M y N para determinar la magnitud de las celdas de la malla que se especificaron con el comando **Define Site**. El método de la malla muestra las elevaciones existentes y plantea superficies a las esquinas (o nodos de la malla) de cada celda. Entonces éste método agrupa los resultados en dos prismas triangulares. Si algún punto de la celda no coincide con cualquiera de las superficies, el área de la celda entera se desecha. Entonces las celdas son divididas individualmente entre el prismoide.

Se debe tener en cuenta que este método usa aproximaciones controladas por el intervalo de la malla. Cuando usa volúmenes malla-base, se necesita que el sitio no sea demasiado pequeño, porqué retrasaría el proceso de cálculo del volumen, y no demasiado grande, qué podría producir un resultado impreciso del volumen.

En cualquier caso, puede usar el método de la malla o el método compuesto y decidir cual método es el apropiado.

MÉTODO COMPUESTO. Autocad Land Development Desktop 2i

Cuando se calculan los volúmenes usando este método, no usa una malla, se emplea una red de triángulos para una nueva superficie basada en puntos de dos superficies. Se usan los puntos de ambas superficies, en cualquier posición donde el triángulo corte las dos superficies. El comando entonces calcula la nueva superficie basada en la diferencia de elevaciones de las dos superficies.

Este método es el más preciso y da los volúmenes exactos entre las dos superficies.

Usando el comando Current Stratum del menú Terrain, podemos definir, seleccionar, y anular un estrato en el dibujo. Un estrato contiene dos superficies que existen en su proyecto, normalmente la superficie existente y la superficie del proyecto, y se usa para calcular el volumen.

2.4. REGRESION LINEAL

El objeto de un análisis de regresión es investigar la relación estadística que existe entre una variable dependiente (Y) y una o más variables independientes (X_1, X_2, X_3, \dots). Para poder realizarla, se debe postular una relación funcional entre las variables.

Debido a su simplicidad analítica, la forma funcional que más se utiliza en la práctica es la relación lineal. Cuando solo existe una variable independiente, esto se reduce a una línea recta:

$$\hat{y} = A + B_x \quad (9)$$

Donde los coeficientes A y B_x son parámetros que definen la posición e inclinación de la recta. (Nótese que hemos usado el símbolo especial \hat{y} para representar el valor de Y calculado por la recta. Como veremos, el valor de Y rara vez coincide con el valor calculado, por lo que es importante hacer esta distinción.)

El parámetro A , conocido como la ordenada en el origen, nos indica cuanto es Y cuando $X = 0$. El parámetro B conocido como la pendiente indica cuanto aumenta Y por cada aumento de una unidad en X . nuestro problema consiste en obtener estimaciones de estos coeficientes a partir de una muestra de observaciones sobre las variables Y y X . en los análisis de regresión, estas estimaciones se obtienen por el método de mínimos cuadrados.

El coeficiente de correlación que permite hacer el análisis de regresión es el valor "r" que se encuentra entre

$$[-1, -0.65] \text{ y } [0.65, 1]$$

Si $r \approx 1$ las variables tienen relación directa y perfecta

Si $r = 0$ no hay asociación entre las variables

Si $r \approx -1$ las variables tienen relación indirecta y perfecta

El "r" está determinada por:

$$r = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{n \cdot SX \cdot SY} \quad (10)$$

Donde:

SX desviación estándar de X

SY desviación estándar de Y

Rangos para "r":

-1 o 1 las variables se correlacionan perfectamente

$0.9 \leq r \leq 1$ o $-1 \leq r \leq -0.9$ correlación excelente

$0.8 \leq r \leq 0.9$ o $-0.9 \leq r \leq -0.8$ correlación aceptable

$0.7 \leq r \leq 0.8$ o $-0.8 \leq r \leq -0.7$ correlación regular

$-0.7 \leq r \leq 0.7$ muy baja correlación

2.5. MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN

2.5.1 BASE RADIAL

Las funciones de base radial (FBR) comprenden un amplio grupo de interpoladores exactos que emplean una ecuación de base dependiente de la distancia entre el punto interpolado y los puntos muestrales vecinos⁵. En general, el valor de la variable Z en un punto no muestral X_0 viene dado por la siguiente expresión:

$$Z_j = \sum_{i=1}^n a_i * F(d_{ij}) \quad (11)$$

Donde $F(d_{ij})$ denota a las funciones de base radial, d la distancia entre puntos y a_i los coeficientes que deben ser calculados mediante la resolución de un sistema lineal de n ecuaciones, siendo n el número de puntos muestrales vecinos que intervienen en la obtención de $Z(X_0)$.

2.5.2 TIN

Consiste el modelo en una red de nodos con los valores de la altitud, que se encuentran conectados por ejes, originando una red de triángulos con sus correspondientes caras triangulares. Presentan la ventaja de que ésta red triangular alcanza una densidad variable en función del nivel de detalle que exija el terreno.

Este modelo vectorial resulta por ello muy preciso, por lo que necesitan del imprescindible acopio de gran variedad de datos, como el límite del análisis, líneas fundamentales del terreno, isohipsas, cotas, polígonos de descuento, etc. Su desventaja reside en las importantes exigencias para procesamiento y análisis para áreas de gran tamaño.

⁵ JHONTSON, K et al. Using ArcGIS Geostatistical Analyst. ESRI. Redlands. 2001

2.5.3 KRIGING

Es un método de interpolación exacto y local que pondera el peso de cada punto muestral X_i en el valor interpolado en un punto no muestral X_o según una función estocástica de la distancia entre dichos puntos. Su fundamento conceptual deriva de la teoría de las variables regionalizadas, tratándose, en esencia, de un método geoestadístico consistente en la búsqueda de unos interpoladores óptimos que producen unos residuos insesgados y con mínima varianza.

Este método presenta una ventaja sustancial con respecto a otros interpoladores, pues permite, una vez seleccionado el semivariograma que mejor explica la variabilidad espacial de la cota del terreno Z , seleccionar el tipo de malla de muestreo y el número de puntos muestrales mínimo para obtener un error predeterminado en la estimación de la cota de cualquier otro punto de la superficie topográfica. De esta forma podemos disminuir el costo de futuros levantamientos topográficos, si fueran necesarios.

2.5.4 IDW (INVERSE DISTANCE WEIGHTING)

El IDW es una técnica de interpolación determinística local exacta. IDW asume que el valor de un lugar desconocido es el promedio distancia-peso de valores a los puntos conocidos sin un vecino definido alrededor del punto desconocido⁶. Este método es exacto, y trabaja estimando el valor de la variable para el punto que no pertenece a la muestra, empleando la siguiente expresión:

$$\hat{Z}(s_o) = \sum_{i=1}^n \lambda_i * Z(s_i) \quad (12)$$

Donde:

$\hat{Z}(s_o)$: Es el valor predicho en el lugar desconocido S_o .

⁶ BURROUGH, Paúl, and. McDonnell, R. Principles of geographical information systems. Oxford University Press, Oxford. 1998.

n : es el número de puntos conocidos medidos, sin los vecinos definidos por S_o .
 λ_i : es la distancia-pesos asociados dependientes de cada uno de los puntos de la muestra.

(S_i) : es el lugar conocido.

$Z(S_i)$: es el valor observado del lugar S_i .

Los pesos se calculan aplicando la siguiente fórmula:

$$Z_j = \frac{\sum_{i=1}^n 1/d^{p_{ij}} * Z(x_i)}{\sum_{i=1}^n 1/d^{p_{ij}}} \quad (13)$$

Donde:

d_{ij} : es la distancia euclidiana en medio de cada dato conocido y el punto a interpolar.

p : es el peso exponente. (Se utiliza 2)

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Este proyecto es de tipo exploratorio y en el cual se realizara un análisis cualitativo, que cuenta con una base de datos de un estudio anterior. De igual manera es descriptivo pues mostrará la relación que existe entre la rugosidad y el volumen en función de la densidad de puntos observados.

Para llevar a cabo esta investigación se utilizó el programa SURFER 8.0 con el cual se calcularon los volúmenes empleando cinco métodos de interpolación en cada una de las ocho diferentes cuadrículas mencionadas anteriormente.

Al obtener los volúmenes, se realizó el cálculo de R (rugosidad) en cada una de las cuadrículas empleando el programa EXCEL, utilizando la fórmula (2) de R citada previamente.

Luego de adquirir estos datos con los procedimientos ya mencionados, se hizo el análisis de regresión lineal con la ayuda del programa SPSS 7.5.

Haciendo uso de los datos obtenidos se realizó el proceso de análisis estadístico, teniendo en cuenta el comportamiento de las diferentes variables en el proceso realizado.

A partir de lo anterior se realizaron las conclusiones y recomendaciones.

4. CÁLCULO DE VOLUMENES Y RUGOSIDAD

Se calcularon los volúmenes con la ayuda del programa SURFER 8.0, utilizando cada uno de los cinco métodos de interpolación en cada una de las cuadrículas, cortando siempre el terreno en una cota menor a la mínima del mismo (1500.00 m), También empleamos AUTOCAD LAND DEVELOPMENTDESKTOP 2i⁷ para calcular el volumen de las diferentes cuadrículas ya que este programa solo calcula con el método TIN, pero con un solo instrumento (Estación) para compararlo con el de SURFER. Luego calculamos R (rugosidad) por medio del programa EXCEL⁸ con la fórmula mencionada anteriormente.

Para realizar las graficas fue necesario calcular el error del volumen (Δv), que se determino mediante la siguiente formula aplicada en el programa EXCEL.

$$\Delta v = \frac{(Vm - Vi)}{Vi} \quad (14)$$

Donde:

Δv = Error del volumen

Vm = Volumen medido

Vi = Volumen ideal (cuadrícula 1x1)

⁷ AutoCad Land, Autodesk. Tutorial.

⁸ Microsoft Office Excel 2003.

5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

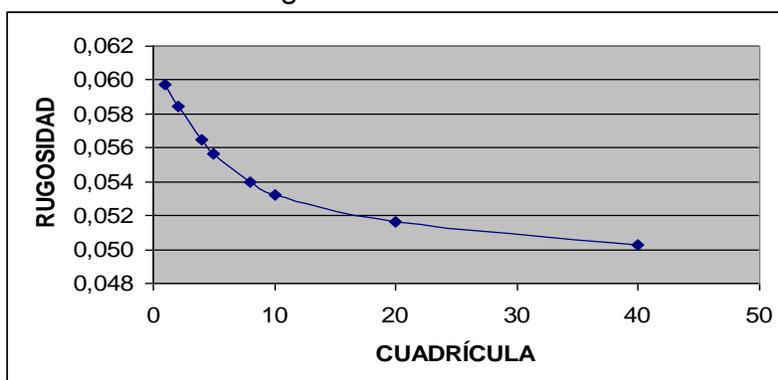
Para el análisis de los datos se utilizó el programa SPSS 7.5. El estudio se hizo teniendo en cuenta el diseño exploratorio planteado, para este proceso, se estudian dos variables independientes (cuadrícula y rugosidad), y una variable dependiente (Δ volumen). Los resultados pueden verse en las siguientes graficas y tablas.

La rugosidad calculada es la siguiente:

Tabla 1. Relación Cuadrícula Rugosidad.

CUADRÍCULA	A	RUGOSIDAD
1	16,74	0,060
2	17,1	0,058
4	17,71	0,056
5	17,96	0,056
8	18,52	0,054
10	18,78	0,053
20	19,38	0,052
40	19,88	0,050

Figura 1. Relación Cuadrícula Rugosidad



5.1. BASE RADIAL

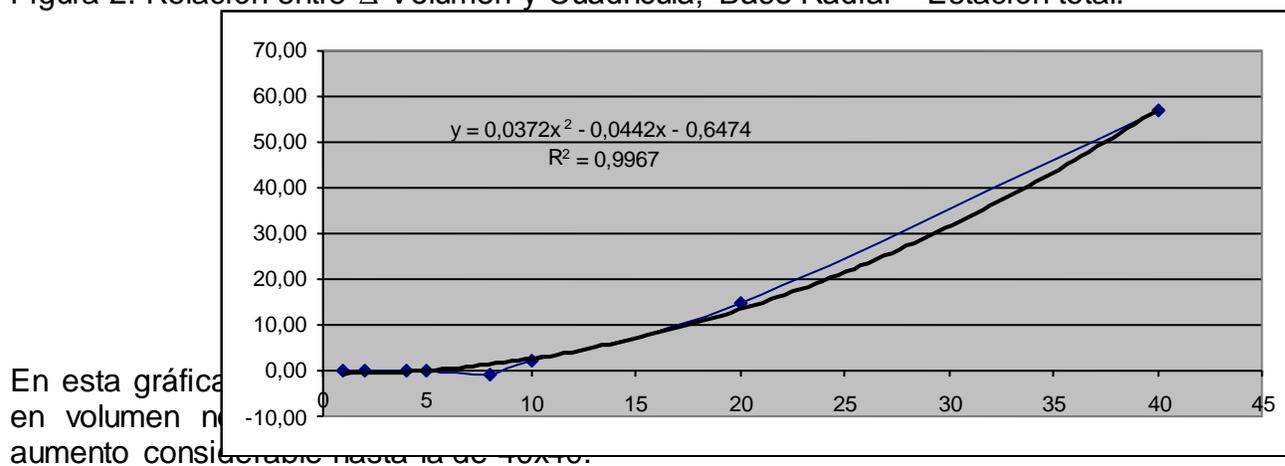
INSTRUMENTO:

ESTACIÓN TOTAL

Tabla 2. Relación Volumen - Cuadrícula, Base Radial – Estación total.

VOLUMEN (m³)	CUADRICULA
17135,1	1x1
17130,77	2x2
17136,13	4x4
17147,93	5x5
16966,81	8x8
17492,33	10x10
19695,21	20x20
26876,27	40x40

Figura 2. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, Base Radial – Estación total.



La variación del volumen en la cuadrícula de 10x10 es de 2.08%, que se considera pequeña.

Tabla 3. Reporte de Rugosidad, Base Radial – Estación total.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,965 ^a	,931	,920	970,3552
2	,993 ^b	,987	,981	470,3221

a. Predictors: (Constant), CUA

b. Predictors: (Constant), CUA, RUG

Tabla 4. Reporte de Exclusión de Variable, Base Radial – Estación total.

Excluded Variables^a

Model	Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics	
					Tolerance	
1	RUG	,457 ^a	4,532	,006	,897	,265

a. Predictors in the Model: (Constant), CUA

b. Dependent Variable: VOL

A partir del análisis de regresión se obtuvo que el aporte de la rugosidad al modelo no es significativo como lo demuestra la tabla de exclusión de variable.

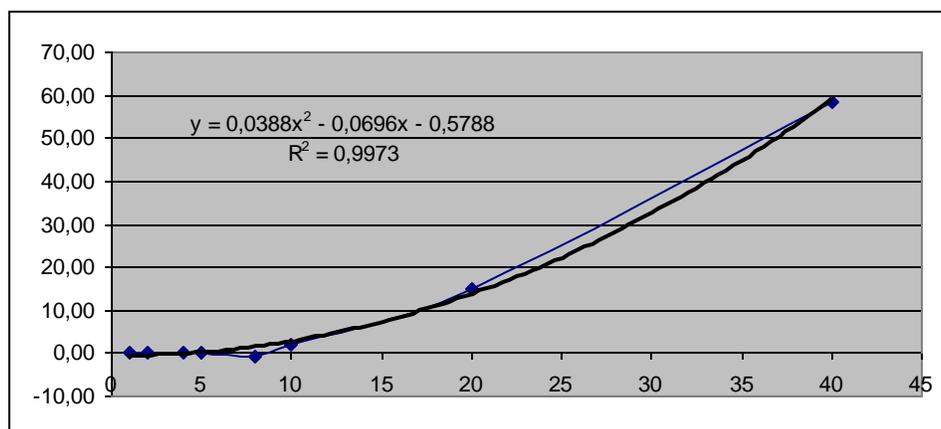
INSTRUMENTO:

NIVEL DE PRECISION

Tabla 5. Relación Volumen - Cuadrícula, Base Radial – Nivel de Precisión.

VOLUMEN(m ³)	CUADRICULA
17142,54	1x1
17137,31	2x2
17139,14	4x4
17154,69	5x5
17019,38	8x8
17454,71	10x10
19733,42	20x20
27159,64	40x40

Figura 3. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, Base Radial - Nivel de Precisión.



En esta gráfica observamos que el error en volumen es mínimo hasta la cuadrícula de 8x8 este error corresponde al -0.72 % del volumen total, a partir de allí este se incrementa considerablemente hasta la cuadrícula de 40x40.

Tabla 6. Reporte de Rugosidad, Base Radial - Nivel de Precisión.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,964 ^a	,930	,918	1007,3787
2	,993 ^b	,986	,981	490,4001

a. Predictors: (Constant), CUA

b. Predictors: (Constant), CUA, RUG

Tabla 7. Reporte de Exclusión de Variable, Base Radial – Nivel de Precisión.

Excluded Variables^b

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics Tolerance
1	RUG	,461 ^a	4,508	,006	,896	,265

a. Predictors in the Model: (Constant), CUA

b. Dependent Variable: VOL

A partir del análisis de regresión se obtuvo que el aporte de la rugosidad al modelo no es significativo como lo demuestra la tabla de exclusión de variable.

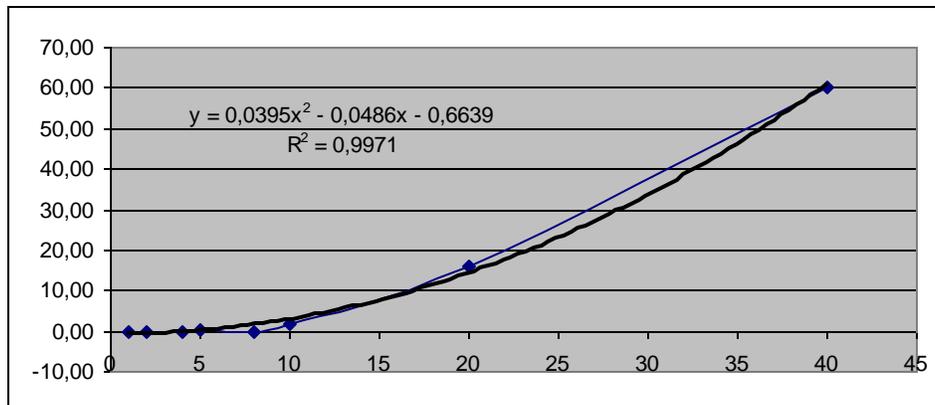
INSTRUMENTO:

NI 007

Tabla 8. Relación Volumen - Cuadrícula, Base Radial – NI 007.

VOLUMEN(m³)	CUADRICULA
17142,36	1x1
17137,11	2x2
17136,44	4x4
17160,18	5x5
17072,64	8x8
17415,52	10x10
19874,31	20x20
27481,66	40x40

Figura 4. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, Base Radial – NI 007.



En la gráfica observamos claramente que entre las cuadrículas de 1x1 y 10x10 el error en volumen no presenta mucha variación, a partir de esta cuadrícula el Δ del volumen se hace más grande hasta llegar a la cuadrícula de 40x40.

Tabla 9. Reporte de Rugosidad, Base Radial – NI 007.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,965 ^a	,931	,920	1027,5606
2	,994 ^b	,987	,982	484,3879

a. Predictors: (Constant), CUA

b. Predictors: (Constant), CUA, RUG

Tabla 10. Reporte de Exclusión de Variable, Base Radial – NI 007.

Excluded Variables^b

Model	Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
					Tolerance
1	RUG	,459 ^a	4,691	,005	,903
					,265

a. Predictors in the Model: (Constant), CUA

b. Dependent Variable: VOL

A partir del análisis de regresión se obtuvo que el aporte de la rugosidad al modelo no es significativo como lo demuestra la tabla de exclusión de variable.

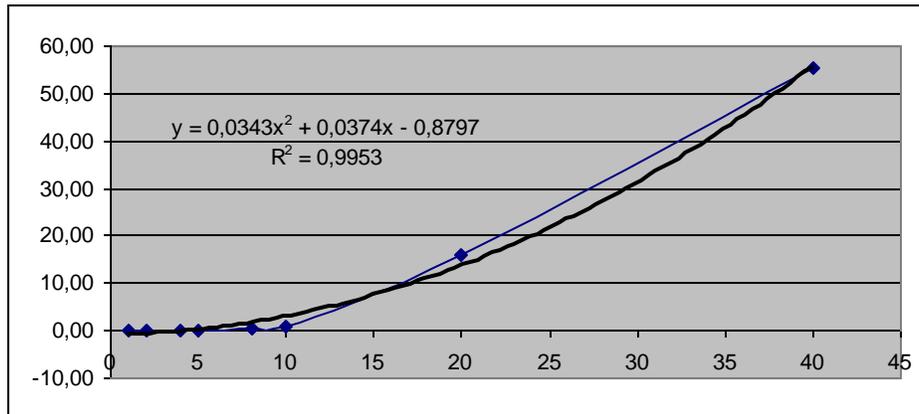
INSTRUMENTO:

TRÁNSITO

Tabla 11. Relación Volumen - Cuadrícula, Base Radial – Tránsito.

VOLUMEN(m³)	CUADRICULA
17133,79	1x1
17126,51	2x2
17121,02	4x4
17151,73	5x5
17198,64	8x8
17244,71	10x10
19832,15	20x20
26579,59	40x40

Figura 5. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, Base Radial – Tránsito.



En esta gráfica podemos observar que el error en volumen aumenta significativamente a partir de la cuadrícula de 10x10.

Tabla 12. Reporte de Rugosidad, Base Radial – Tránsito.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,968 ^a	,936	,926	907,7626
2	,995 ^b	,991	,987	383,4461

a. Predictors: (Constant), CUA

b. Predictors: (Constant), CUA, RUG

Tabla 13. Reporte de Exclusión de Variable, Base Radial – Tránsito.

Excluded Variables^b

Model	Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearit y Statistics	
					Tolerance	
1	RUG	,453 ^a	5,350	,003	,923	,265

a. Predictors in the Model: (Constant), CUA

b. Dependent Variable: VOL

A partir del análisis de regresión se obtuvo que el aporte de la rugosidad al modelo no es significativo como lo demuestra la tabla de exclusión de variable.

5.2. TIN

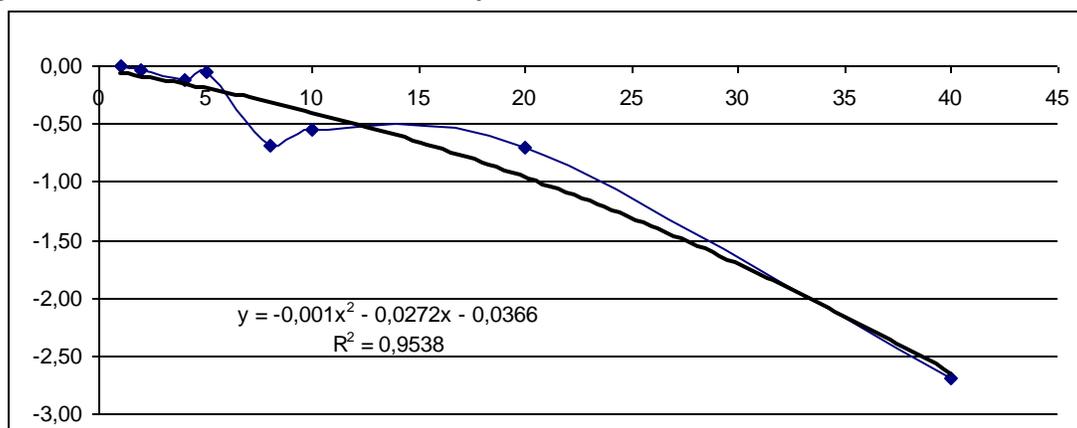
INSTRUMENTO:

ESTACIÓN TOTAL

Tabla 14. Relación - Volumen - Cuadrícula, TIN – Estación total.

VOLUMEN(m ³)	CUADRICULA
17134,21	1x1
17127,99	2x2
17114,38	4x4
17124,86	5x5
17015,62	8x8
17039,82	10x10
17012,87	20x20
16672,24	40x40

Figura 6. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, TIN – Estación total.



En esta gráfica lo que se observa es que el error del volumen entre las cuadrículas de 1x1 y 5x5 no presenta mucha variación, desde allí y hasta la cuadrícula de 8x8 el error aumenta con signo negativo, posteriormente el Δ volumen no muestra una variación significativa entre las cuadrículas de 8x8 y 20x20, a partir de esta cuadrícula y hasta llegar a la de 40x40 la variación en el error presenta un aumento considerable.

La variación del volumen en la cuadrícula de 20x20 es de -0.71% del volumen ideal.

Tabla 15. Reporte de Rugosidad, TIN – Estación total.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,966 ^a	,932	,921	43,1324

a. Predictors: (Constant), CUA

Tabla 16. Reporte de Exclusión de Variable, TIN – Estación total.

Excluded Variables^a

Model	Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics Tolerance
1	RUG	-,088 ^a	-,397	,708	-,175 ,265

a. Predictors in the Model: (Constant), CUA

b. Dependent Variable: VOL

A partir del análisis de regresión se obtuvo que el aporte de la rugosidad al modelo no es significativo como lo demuestra la tabla de exclusión de variable.

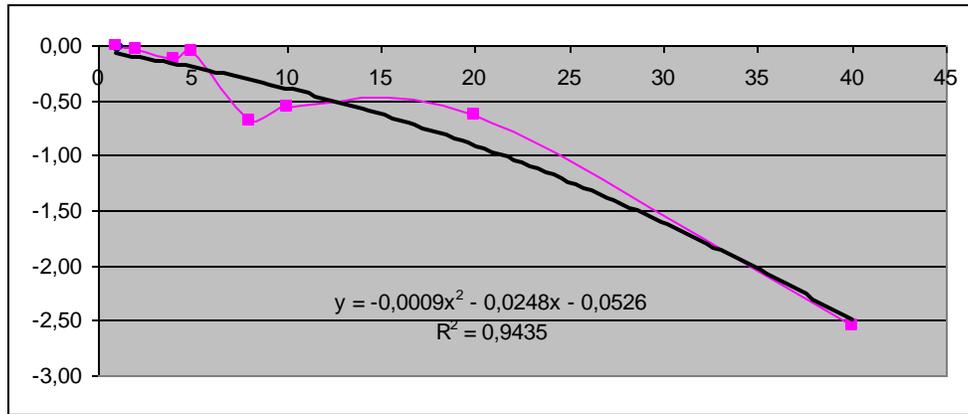
INSTRUMENTO:

NIVEL DE PRECISION

Tabla 17. Relación Volumen - Cuadrícula, TIN – Nivel de Precisión.

VOLUMEN(m³)	CUADRICULA
17141,73	1x1
17134,85	2x2
17119,38	4x4
17131,15	5x5
17023,53	8x8
17046,05	10x10
17032,5	20x20
16705,49	40x40

Figura 7. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, TIN – Nivel de Precisión.



La variación que presenta el volumen en la cuadrícula de 20x20 es de -0.64% del volumen total, este error es considerado como pequeño.

Tabla 18. Reporte de Rugosidad, TIN – Nivel de Precisión.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,960 ^a	,922	,909	43,6949

a. Predictors: (Constant), CUA

Tabla 19. Reporte de Exclusión de Variable, TIN – Nivel de Precisión.

Excluded Variables^b

Model	Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics Tolerance
1	RUG	-,067 ^a	-,276	,793	-,123 ,265

a. Predictors in the Model: (Constant), CUA

b. Dependent Variable: VOL

A partir del análisis de regresión se obtuvo que el aporte de la rugosidad al modelo no es significativo como lo demuestra la tabla de exclusión de variable.

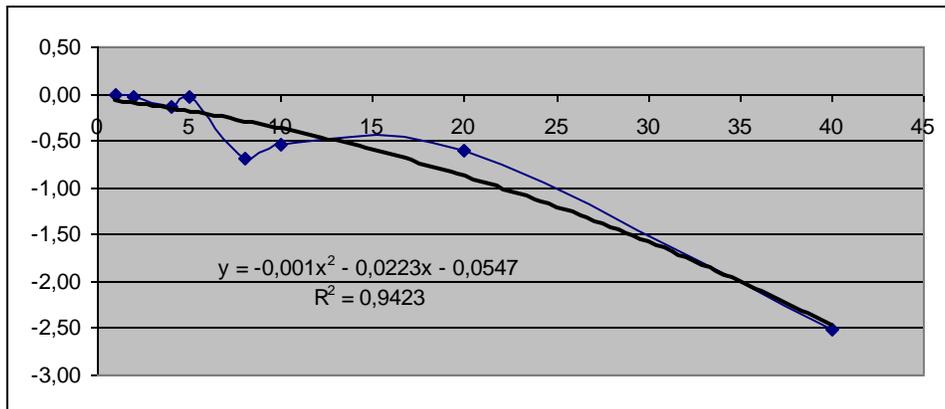
INSTRUMENTO:

NI 007

Tabla 20. Relación Volumen - Cuadrícula, TIN – NI 007.

VOLUMEN(m³)	CUADRICULA
17141,54	1x1
17134,65	2x2
17118,07	4x4
17135,65	5x5
17025,06	8x8
17050,87	10x10
17036,43	20x20
16709,99	40x40

Figura 8. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, TIN – NI 007.



En esta gráfica se observa que el error del volumen entre las cuadrículas de 1x1 y 5x5 no presenta mucha variación, desde allí y hasta la cuadrícula de 8x8 el error aumenta con signo negativo, posteriormente el Δ volumen no muestra una variación significativa entre las cuadrículas de 8x8 y 20x20, a partir de esta cuadrícula y hasta llegar a la de 40x40 la variación en el error presenta un aumento considerable.

La variación que presenta el volumen en la cuadrícula 20x20 es de el -0.61% del volumen que se considera como optimo.

Con una variación para la cuadrícula de 40x40 de -2.52%.

Tabla 21. Reporte de Rugosidad, TIN – NI 007.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,958 ^a	,918	,904	44,3848

a. Predictors: (Constant), CUA

Tabla 22. Reporte de Exclusión de Variable, TIN – NI 007.

Excluded Variables^a

Model	Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics Tolerance
1	RUG	-,081 ^a	-,329	,756	,265

a. Predictors in the Model: (Constant), CUA

b. Dependent Variable: VOL

A partir del análisis de regresión se obtuvo que el aporte de la rugosidad al modelo no es significativo como lo demuestra la tabla de exclusión de variable.

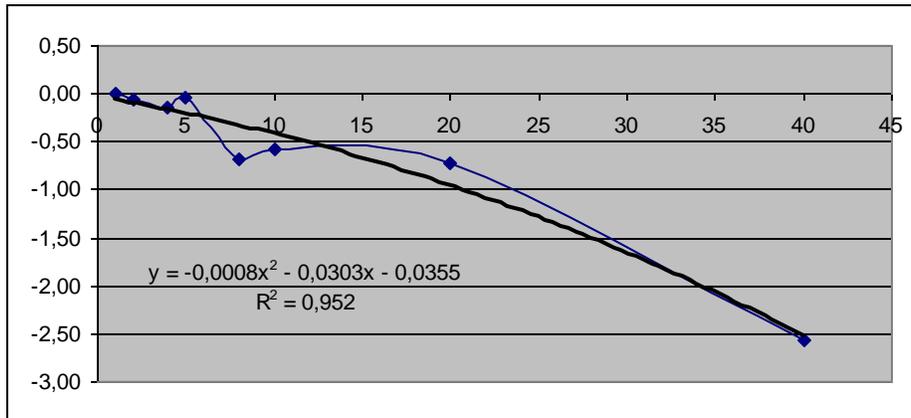
INSTRUMENTO:

TRÁNSITO

Tabla 23. Relación Volumen - Cuadrícula, TIN – Tránsito.

VOLUMEN(m ³)	CUADRICULA
17133,03	1x1
17124,25	2x2
17106,93	4x4
17126,2	5x5
17017,07	8x8
17034,96	10x10
17010,49	20x20
16695,2	40x40

Figura 9. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, TIN – Tránsito.



En esta gráfica se observa que el error del volumen entre las cuadrículas de 1x1 y 5x5 no presenta mucha variación, desde allí y hasta la cuadrícula de 8x8 el error aumenta con signo negativo, posteriormente el Δ volumen no muestra una variación significativa entre las cuadrículas de 8x8 y 20x20, a partir de esta cuadrícula y hasta llegar a la de 40x40 la variación en el error presenta un aumento considerable.

En la cuadrícula de 20x20 observamos que la variación del volumen es de -0.72% del volumen total.

Tabla 24. Reporte de Rugosidad, TIN – Tránsito.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,967 ^a	,936	,925	39,7822

a. Predictors: (Constant), CUA

Tabla 25. Reporte de Exclusión de Variable, TIN – Tránsito.

Excluded Variables^b

Model	Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics Tolerance
1	RUG	-,053 ^a	-,243	,817	-,108 ,265

a. Predictors in the Model: (Constant), CUA

b. Dependent Variable: VOL

A partir del análisis de regresión se obtuvo que el aporte de la rugosidad al modelo no es significativo como lo demuestra la tabla de exclusión de variable.

5.3. KRIGING

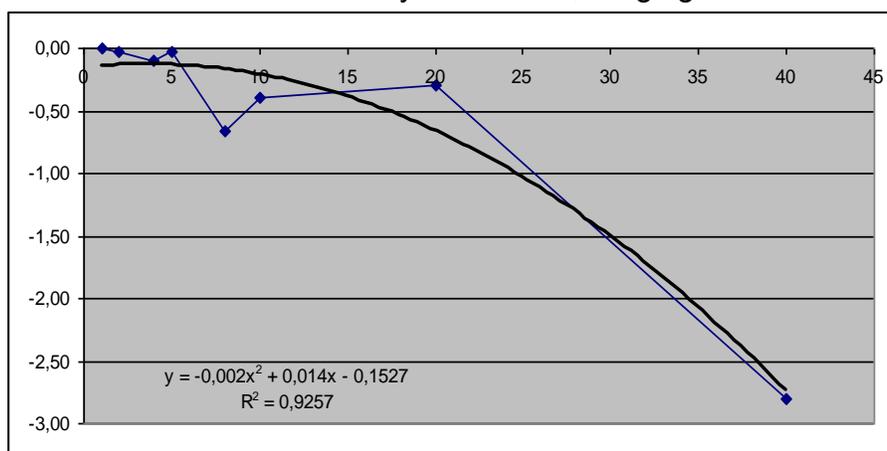
INSTRUMENTO:

ESTACIÓN TOTAL

Tabla 26. Relación Volumen - Cuadrícula, Kriging – Estación total.

VOLUMEN(m ³)	CUADRICULA
17134,82	1x1
17129,74	2x2
17118,53	4x4
17129,48	5x5
17020,99	8x8
17067,4	10x10
17084,88	20x20
16654,81	40x40

Figura 10. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, Kriging – Estación total.



En esta gráfica se muestra que el error del volumen entre las cuadrículas de 1x1 y 5x5 no presenta mucha variación, desde allí y hasta la cuadrícula de 8x8 el error aumenta con signo negativo, posteriormente el Δ volumen muestra una disminución hasta la cuadrícula de 20x20, a partir de esta cuadrícula y hasta llegar a la de 40x40, la variación en el error presenta un aumento considerable con signo negativo.

La variación que presenta el volumen en la cuadrícula de 20x20 es de -0.29 % del volumen que se considera como optimo.

Tabla 27. Reporte de Rugosidad, Kriging – Estación total.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,919 ^a	,844	,818	68,9894

a. Predictors: (Constant), CUA

Tabla 28. Reporte de Exclusión de Variable, Kriging – Estación total.

Excluded Variables^b

Model	Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics Tolerance
1	RUG	-,248 ^a	-,764	,480	-,323 ,265

a. Predictors in the Model: (Constant), CUA

b. Dependent Variable: VOL

A partir del análisis de regresión se obtuvo que el aporte de la rugosidad al modelo no es significativo como lo demuestra la tabla de exclusión de variable.

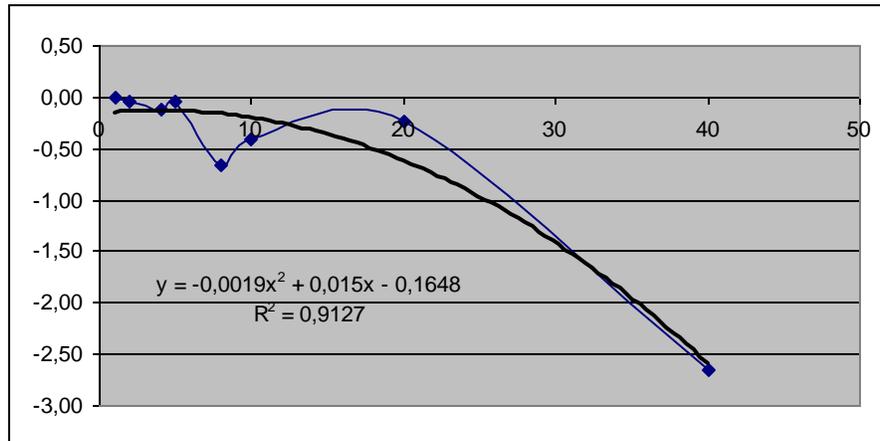
INSTRUMENTO:

NIVEL DE PRECISION

Tabla 29. Relación Volumen - Cuadrícula, Kriging – Nivel de Precisión.

VOLUMEN(m³)	CUADRICULA
17142,29	1x1
17136,52	2x2
17123,25	4x4
17135,71	5x5
17028,45	8x8
17072,77	10x10
17101,75	20x20
16687,56	40x40

Figura 11. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, Kriging – Nivel de Precisión.



En la gráfica se muestra que la variación del volumen en la cuadrícula de 8x8 corresponde al -0.66% del volumen ideal, este error se considera como poco significativo.

Tabla 30. Reporte de Rugosidad, Kriging – Nivel de Precisión.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,910 ^a	,828	,799	68,4658

a. Predictors: (Constant), CUA

Tabla 31. Reporte de Exclusión de Variable, Kriging – Nivel de Precisión.

Excluded Variables^b

Model	Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics Tolerance	
1	RUG	-,232 ^a	-,672	,532	-,288	,265

a. Predictors in the Model: (Constant), CUA

b. Dependent Variable: VOL

A partir del análisis de regresión se obtuvo que el aporte de la rugosidad al modelo no es significativo como lo demuestra la tabla de exclusión de variable.

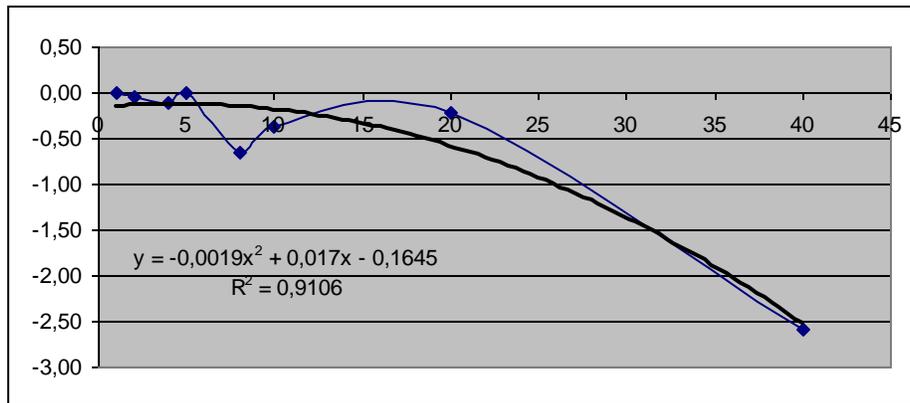
INSTRUMENTO:

NI 007

Tabla 32. Relación Volumen - Cuadrícula, Kriging – NI 007.

VOLUMEN(m³)	CUADRICULA
17142,11	1x1
17136,35	2x2
17122,02	4x4
17140,42	5x5
17030,38	8x8
17077,70	10x10
17105,83	20x20
16697,67	40x40

Figura 12. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, Kriging – NI 007.



En esta gráfica observamos que el error del volumen entre las cuadrículas de 1x1 y 5x5 no presenta mucha variación, desde allí y hasta la cuadrícula de 8x8 el error aumenta con signo negativo, posteriormente el Δ volumen muestra una disminución hasta la cuadrícula de 20x20, a partir de esta cuadrícula y hasta llegar a la de 40x40, la variación en el error presenta un aumento considerable con signo negativo.

La variación del volumen en la cuadrícula de 20x20 es del -0.21% del volumen ideal, el cual es considerado como pequeño.

Tabla 33. Reporte de Rugosidad, Kriging – NI 007.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,906 ^a	,821	,792	68,4265

a. Predictors: (Constant), CUA

Tabla 34. Reporte de Exclusión de Variable, Kriging – NI 007.

Excluded Variables^b

Model	Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearit y Statistics	
					Tolerance	
1	RUG	-,243 ^a	-,692	,520	-,296	,265

a. Predictors in the Model: (Constant), CUA

b. Dependent Variable: VOL

A partir del análisis de regresión se obtuvo que el aporte de la rugosidad al modelo no es significativo como lo demuestra la tabla de exclusión de variable.

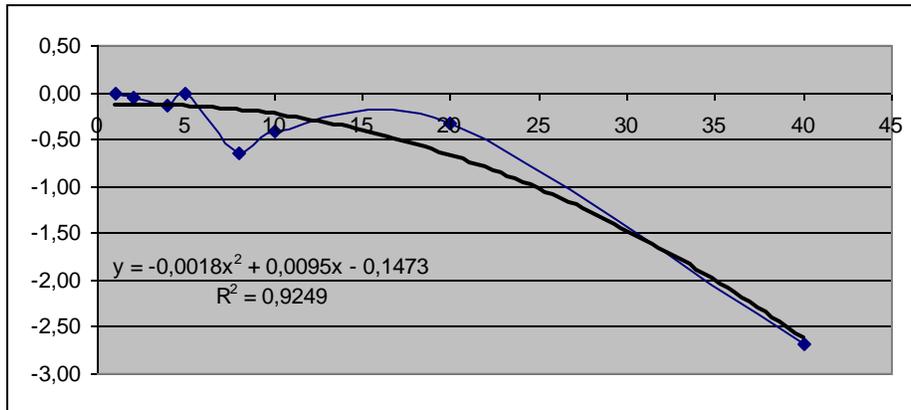
INSTRUMENTO:

TRÁNSITO

Tabla 35. Relación Volumen - Cuadrícula, Kriging – Tránsito.

VOLUMEN(m³)	CUADRICULA
17133,56	1x1
17125,93	2x2
17110,82	4x4
17130,73	5x5
17021,74	8x8
17061,58	10x10
17078,59	20x20
16673,14	40x40

Figura 13. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, Kriging – Tránsito.



En la cuadrícula de 20x20 la variación que presenta el volumen es de -0.32% del volumen ideal.

El error que presenta el volumen en la cuadrícula de 40x40 corresponde al -2.69% del volumen total, el cual representa poca variación.

Tabla 36. Reporte de Rugosidad, Kriging – Tránsito.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,922 ^a	,851	,826	64,3545

a. Predictors: (Constant), CUA

Tabla 37. Reporte de Exclusión de Variable, Kriging – Tránsito.

Excluded Variables^b

Model	Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearit y Statistics	
					Tolerance	
1	RUG	-,222 ^a	-,690	,521	-,295	,265

a. Predictors in the Model: (Constant), CUA

b. Dependent Variable: VOL

A partir del análisis de regresión se obtuvo que el aporte de la rugosidad al modelo no es significativo como lo demuestra la tabla de exclusión de variable.

5.4. IDW

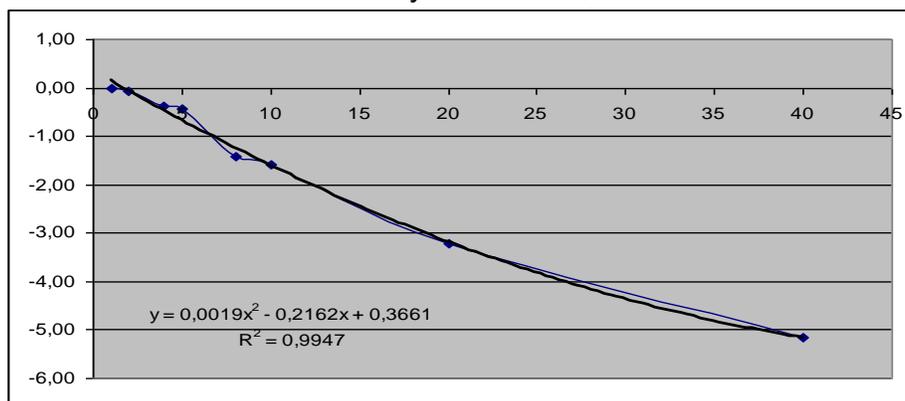
INSTRUMENTO:

ESTACIÓN TOTAL

Tabla 38. Relación Volumen - Cuadrícula, IDW – Estación total.

VOLUMEN(m ³)	CUADRICULA
17131,65	1x1
17118,81	2x2
17068,68	4x4
17058,63	5x5
16890,05	8x8
16861,01	10x10
16582,31	20x20
16248,58	40x40

Figura 14. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, IDW – Estación total.



En esta gráfica observamos que el error en volumen tiene un comportamiento uniforme y sigue un patrón, el cual indica que aumenta a medida que los datos de cada cuadrícula disminuyen.

Podemos apreciar que en la cuadrícula de 10x10 el volumen varía en el -1.58% del volumen ideal y se puede considerar como una variación pequeña.

Tabla 39. Reporte de Rugosidad, IDW – Estación total.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,986 ^a	,973	,968	55,1861

a. Predictors: (Constant), CUA

Tabla 40. Reporte de Exclusión de Variable, IDW – Estación total.

Excluded Variables^b

Model	Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearit y Statistics
					Tolerance
1	RUG	,212 ^a	1,973	,106	,662
					,265

a. Predictors in the Model: (Constant), CUA

b. Dependent Variable: VOL

A partir del análisis de regresión se obtuvo que el aporte de la rugosidad al modelo no es significativo como lo demuestra la tabla de exclusión de variable.

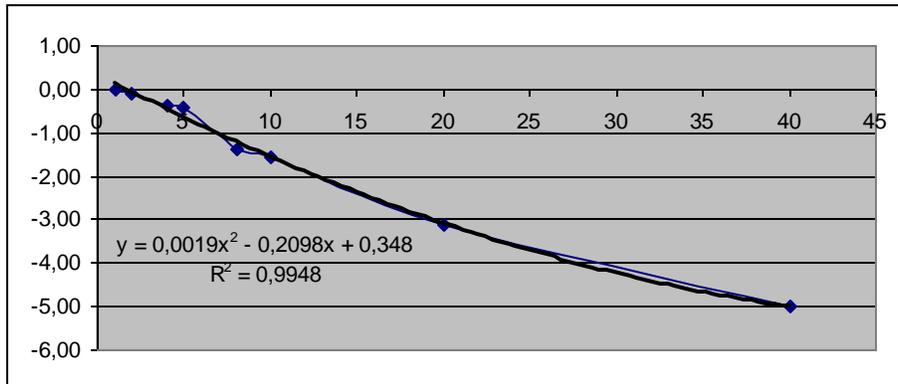
INSTRUMENTO:

NIVEL DE PRECISION

Tabla 41. Relación Volumen - Cuadrícula, IDW – Nivel de Precisión.

VOLUMEN(m³)	CUADRICULA
17139,3	1x1
17126,2	2x2
17075,78	4x4
17067,35	5x5
16903,14	8x8
16873,21	10x10
16606,8	20x20
16281,12	40x40

Figura 15. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, IDW – Nivel de Precisión.



Esta gráfica nos muestra que a medida que la cuadrícula aumenta el error en volumen también aumenta con signo negativo.

La variación que presenta el volumen en la cuadrícula de 10x10 es de -1.55% del volumen ideal, esta es un error no muy significativo.

Tabla 42. Reporte de Rugosidad, IDW – Nivel de Precisión.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,986 ^a	,973	,968	53,5066

a. Predictors: (Constant), CUA

Tabla 43. Reporte de Exclusión de Variable, IDW – Nivel de Precisión.

Excluded Variables^b

Model	Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics Tolerance	
1	RUG	,216 ^a	2,055	,095	,677	,265

a. Predictors in the Model: (Constant), CUA

b. Dependent Variable: VOL

A partir del análisis de regresión se obtuvo que el aporte de la rugosidad al modelo no es significativo como lo demuestra la tabla de exclusión de variable.

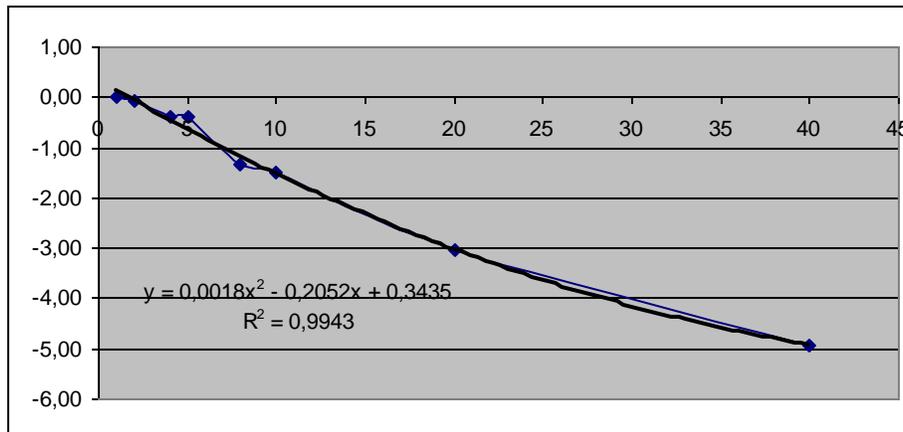
INSTRUMENTO:

NI 007

Tabla 44. Relación Volumen - Cuadrícula, IDW – NI 007.

VOLUMEN(m³)	CUADRICULA
17139,15	1x1
17126,18	2x2
17075,39	4x4
17073,02	5x5
16907,36	8x8
16880,66	10x10
16616,42	20x20
16295,90	40x40

Figura 16. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, IDW – NI 007.



Al observar esta gráfica vemos, como el error en volumen tiende a aumentar constantemente con signo negativo.

Tabla 45. Reporte de Rugosidad, IDW – NI 007.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,986 ^a	,973	,969	52,5489

a. Predictors: (Constant), CUA

Tabla 46. Reporte de Exclusión de Variable, IDW – NI 007.

Excluded Variables^b

Model	Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics Tolerance
1	RUG	,212 ^a	1,982	,104	,663

a. Predictors in the Model: (Constant), CUA

b. Dependent Variable: VOL

A partir del análisis de regresión se obtuvo que el aporte de la rugosidad al modelo no es significativo como lo demuestra la tabla de exclusión de variable.

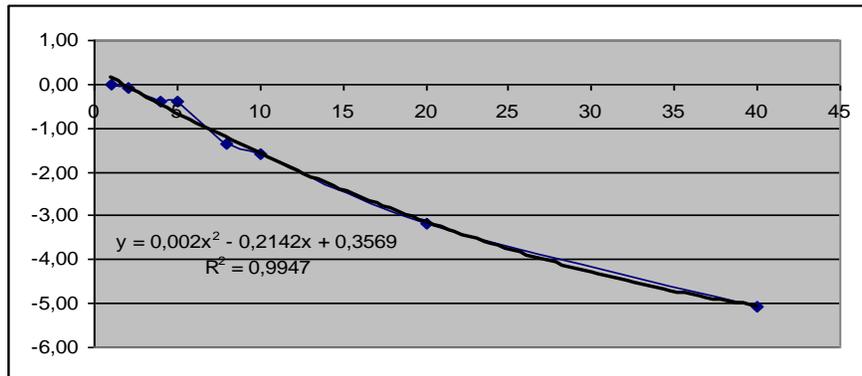
INSTRUMENTO:

TRÁNSITO

Tabla 47. Relación Volumen - Cuadrícula, IDW – Tránsito.

VOLUMEN(m³)	CUADRICULA
17130,62	1x1
17115,48	2x2
17062,94	4x4
17060,91	5x5
16894,55	8x8
16860,29	10x10
16586,97	20x20
16265,09	40x40

Figura 17. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, IDW – Tránsito.



En esta gráfica se muestra que el error en volumen se hace más grande en función de la cuadrícula con signo negativo.

En la cuadrícula de 10x10 se muestra una variación en volumen del -1.58% del volumen ideal.

La variación del volumen que se presenta en la cuadrícula de 20x20 es del -3.17% el cual se considera como pequeño.

Podemos observar que en la cuadrícula de 40x40 la variación del volumen es de -5.05% del volumen ideal, esta variación es significativa.

Tabla 48. Reporte de Rugosidad, IDW – Tránsito.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,986 ^a	,972	,967	55,4093

a. Predictors: (Constant), CUA

Tabla 49. Reporte de Exclusión de Variable, IDW – Tránsito.

Excluded Variables^b

Model	Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearit y Statistics
					Tolerance
1	RUG	,219 ^a	2,014	,100	,669
					,265

a. Predictors in the Model: (Constant), CUA

b. Dependent Variable: VOL

A partir del análisis de regresión se obtuvo que el aporte de la rugosidad al modelo no es significativo como lo demuestra la tabla de exclusión de variable.

5.5. TIN (COMPUESTO) Autocad Land Development Desktop 2i.

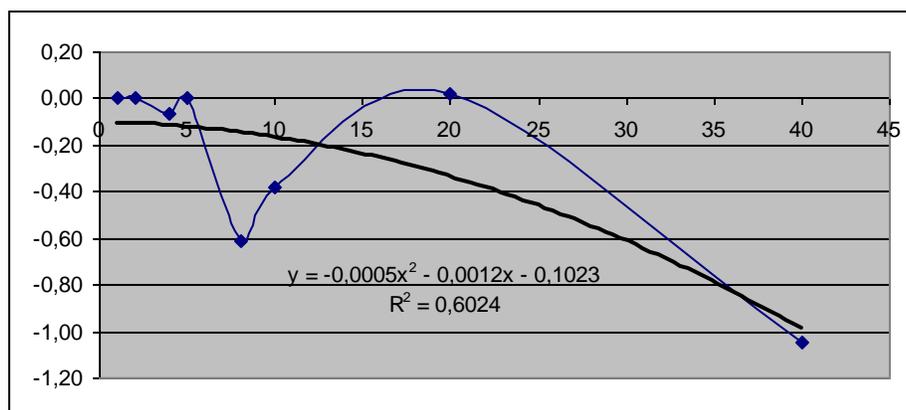
INSTRUMENTO:

ESTACIÓN TOTAL

Tabla 50. Relación Volumen - Cuadrícula, TIN (Compuesto) – Estación total.

VOLUMEN(m³)	CUADRICULA
17134,35	1x1
17129,65	2x2
17117,99	4x4
17129,75	5x5
17025,55	8x8
17064,62	10x10
17132,87	20x20
16949,87	40x40

Figura 18. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, TIN (Compuesto) – Estación total.



En esta gráfica se observa que el error en volumen no presenta un comportamiento constante.

Observando que la variación en la cuadrícula de 20x20 es mínimo, podemos decir que para este tipo de terreno se puede trabajar con la cuadrícula de 20x20 obteniendo unos datos muy buenos, ya que presentan una variación del -0.01 % del volumen ideal.

Tabla 51. Reporte de Rugosidad, TIN (Compuesto) – Estación total.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,757 ^a	,572	,501	47,7636

a. Predictors: (Constant), CUA

Tabla 52. Reporte de Exclusión de Variable, TIN (Compuesto) – Estación total.

Excluded Variables^b

Model	Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearit y Statistics
					Tolerance
1	RUG	,212 ^a	,378	,721	,167
					,265

a. Predictors in the Model: (Constant), CUA

b. Dependent Variable: VOL

A partir del análisis de regresión se obtuvo que el aporte de la rugosidad al modelo no es significativo como lo demuestra la tabla de exclusión de variable.

5.6. TIN (GRID) Autocad Land Development Desktop 2i.

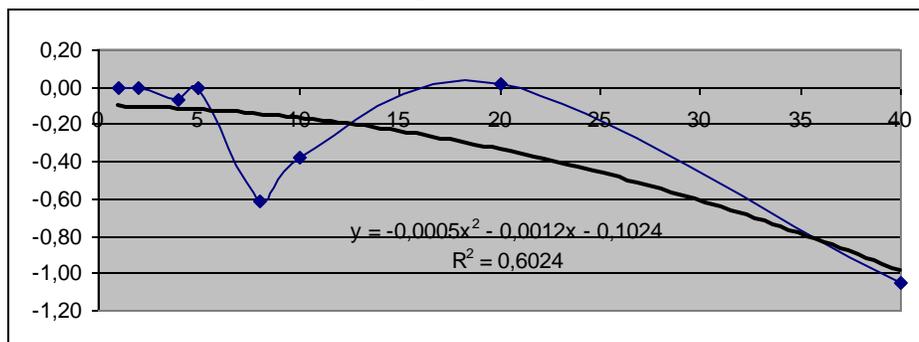
INSTRUMENTO:

ESTACIÓN TOTAL

Tabla 53. Relación Volumen - Cuadrícula, GRID – Estación total.

VOLUMEN(m³)	CUADRICULA
17134,59	1x1
17129,7	2x2
17117,99	4x4
17129,75	5x5
17025,55	8x8
17064,62	10x10
17132,87	20x20
16949,87	40x40

Figura 19. Relación entre Δ Volumen y Cuadrícula, GRID – Estación total.



La gráfica nos muestra que el error en volumen no se comporta de una forma constante.

En la cuadrícula de 8x8 se muestra una variación del volumen representa el - 0.64% del volumen ideal, este error es considerado como poco significativo.

La variación del volumen que se presenta en la cuadrícula de 20x20 es de el - 0.01% del volumen, que se considera como correcto.

Podemos observar que en la cuadrícula de 40x40 la variación del volumen es de - 1.08% del volumen ideal.

Tabla 54. Reporte de Rugosidad, GRID – Estación total.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,757 ^a	,573	,501	47,7723

a. Predictors: (Constant), CUA

Tabla 55. Reporte de Exclusión de Variable, GRID – Estación total.

Excluded Variables^b

Model	Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearit y Statistics	
					Tolerance	
1	RUG	,213 ^a	,381	,719	,168	,265

a. Predictors in the Model: (Constant), CUA

b. Dependent Variable: VOL

A partir del análisis de regresión se obtuvo que el aporte de la rugosidad al modelo no es significativo como lo demuestra la tabla de exclusión de variable.

TABLAS RESUMEN

Tabla 56. Cuadrícula de 1x1.

CUADRÍCULA	EQUIPO	MÉTODO	VOLUMEN (m³)	Δ VOLUMEN (m³)	%
1X1 R = 0.060	ESTACIÓN TOTAL	BASE RADIAL	17135,1	0,00	0,00
		TIN	17134,21	0,00	0,00
		KRIGING	17134,82	0,00	0,00
		IDW	17131,65	0,00	0,00
		TIN (Compuesto)	17134,35	0,00	0,00
		GRID	17134,59	0,00	0,00
	NIVEL DE PRECISIÓN	BASE RADIAL	17142,54	0,00	0,00
		TIN	17141,73	0,00	0,00
		KRIGING	17142,29	0,00	0,00
		IDW	17139,3	0,00	0,00
	NI 007	BASE RADIAL	17142,36	0,00	0,00
		TIN	17141,54	0,00	0,00
		KRIGING	17142,11	0,00	0,00
		IDW	17139,15	0,00	0,00
	TRANSITO	BASE RADIAL	17133,79	0,00	0,00
		TIN	17133,03	0,00	0,00
KRIGING		17133,56	0,00	0,00	
IDW		17130,62	0,00	0,00	

Tabla 57. Cuadrícula de 2x2.

CUADRÍCULA	EQUIPO	MÉTODO	VOLUMEN (m³)	Δ VOLUMEN (m³)	%
2X2 R = 0.058	ESTACIÓN TOTAL	BASE RADIAL	17130,77	-0,03	-0,03
		TIN	17127,99	-0,04	-0,04
		KRIGING	17129,74	-0,03	-0,03
		IDW	17118,81	-0,07	-0,07
		TIN (Compuesto)	17129,65	-0,03	-0,03
		GRID	17129,7	-0,03	-0,03
	NIVEL DE PRECISIÓN	BASE RADIAL	17137,31	-0,03	-0,03
		TIN	17134,85	-0,04	-0,04
		KRIGING	17136,52	-0,03	-0,03
		IDW	17126,2	-0,08	-0,08
	NI 007	BASE RADIAL	17137,11	-0,03	-0,03
		TIN	17134,65	-0,04	-0,04
		KRIGING	17136,35	-0,03	-0,03
		IDW	17126,18	-0,08	-0,08
	TRANSITO	BASE RADIAL	17126,51	-0,04	-0,04
		TIN	17124,25	-0,05	-0,05
KRIGING		17125,93	-0,04	-0,04	
IDW		17115,48	-0,09	-0,09	

Tabla 58. Cuadrícula de 4x4.

CUADRÍCULA	EQUIPO	MÉTODO	VOLUMEN (m³)	Δ VOLUMEN (m³)	%
4X4 R = 0.056	ESTACIÓN TOTAL	BASE RADIAL	17136,13	0,01	0,01
		TIN	17114,38	-0,12	-0,12
		KRIGING	17118,53	-0,10	-0,10
		IDW	17068,68	-0,37	-0,37
		TIN (Compuesto)	17117,99	-0,10	-0,10
		GRID	17117,99	-0,10	-0,10
	NIVEL DE PRECISIÓN	BASE RADIAL	17139,14	-0,02	-0,02
		TIN	17119,38	-0,13	-0,13
		KRIGING	17123,25	-0,11	-0,11
		IDW	17075,78	-0,37	-0,37
	NI 007	BASE RADIAL	17136,44	-0,03	-0,03
		TIN	17118,07	-0,14	-0,14
		KRIGING	17122,02	-0,12	-0,12
		IDW	17075,39	-0,37	-0,37
	TRANSITO	BASE RADIAL	17121,02	-0,07	-0,07
		TIN	17106,93	-0,15	-0,15
KRIGING		17110,82	-0,13	-0,13	
IDW		17062,94	-0,40	-0,40	

Tabla 59. Cuadrícula de 5x5.

CUADRÍCULA	EQUIPO	MÉTODO	VOLUMEN (m³)	Δ VOLUMEN (m³)	%
5X5 R = 0.056	ESTACIÓN TOTAL	BASE RADIAL	17147,93	0,07	0,07
		TIN	17124,86	-0,05	-0,05
		KRIGING	17129,48	-0,03	-0,03
		IDW	17058,63	-0,43	-0,43
		TIN (Compuesto)	17129,75	-0,03	-0,03
		GRID	17129,75	-0,03	-0,03
	NIVEL DE PRECISIÓN	BASE RADIAL	17154,69	0,07	0,07
		TIN	17131,15	-0,06	-0,06
		KRIGING	17135,71	-0,04	-0,04
		IDW	17067,35	-0,42	-0,42
	NI 007	BASE RADIAL	17160,18	0,10	0,10
		TIN	17135,65	-0,03	-0,03
		KRIGING	17140,42	-0,01	-0,01
		IDW	17073,02	-0,39	-0,39
	TRANSITO	BASE RADIAL	17151,73	0,10	0,10
		TIN	17126,2	-0,04	-0,04
KRIGING		17130,73	-0,02	-0,02	
IDW		17060,91	-0,41	-0,41	

Tabla 60. Cuadrícula de 8x8.

CUADRÍCULA	EQUIPO	MÉTODO	VOLUMEN (m³)	Δ VOLUMEN (m³)	%
8X8 R = 0.054	ESTACIÓN TOTAL	BASE RADIAL	16966,81	-0,98	-0,98
		TIN	17015,62	-0,69	-0,69
		KRIGING	17020,99	-0,66	-0,66
		IDW	16890,05	-1,41	-1,41
		TIN (Compuesto)	17025,55	-0,63	-0,63
		GRID	17025,55	-0,64	-0,64
	NIVEL DE PRECISIÓN	BASE RADIAL	17019,38	-0,72	-0,72
		TIN	17023,53	-0,69	-0,69
		KRIGING	17028,45	-0,66	-0,66
		IDW	16903,14	-1,38	-1,38
	NI 007	BASE RADIAL	17072,64	-0,41	-0,41
		TIN	17025,06	-0,68	-0,68
		KRIGING	17030,38	-0,65	-0,65
		IDW	16907,36	-1,35	-1,35
	TRANSITO	BASE RADIAL	17198,64	0,38	0,38
		TIN	17017,07	-0,68	-0,68
KRIGING		17021,74	-0,65	-0,65	
IDW		16894,55	-1,38	-1,38	

Tabla 61. Cuadrícula de 10x10.

CUADRÍCULA	EQUIPO	MÉTODO	VOLUMEN (m³)	Δ VOLUMEN (m³)	%
10X10 R = 0.053	ESTACIÓN TOTAL	BASE RADIAL	17492,33	2,08	2,08
		TIN	17039,82	-0,55	-0,55
		KRIGING	17067,4	-0,39	-0,39
		IDW	16861,01	-1,58	-1,58
		TIN (Compuesto)	17064,62	-0,41	-0,41
		GRID	17064,62	-0,41	-0,41
	NIVEL DE PRECISIÓN	BASE RADIAL	17454,71	1,82	1,82
		TIN	17046,05	-0,56	-0,56
		KRIGING	17072,77	-0,41	-0,41
		IDW	16873,21	-1,55	-1,55
	NI 007	BASE RADIAL	17415,52	1,59	1,59
		TIN	17050,87	-0,53	-0,53
		KRIGING	17077,7	-0,38	-0,38
		IDW	16880,66	-1,51	-1,51
	TRANSITO	BASE RADIAL	17244,71	0,65	0,65
		TIN	17034,96	-0,57	-0,57
KRIGING		17061,58	-0,42	-0,42	
IDW		16860,29	-1,58	-1,58	

Tabla 62. Cuadrícula de 20x20.

CUADRÍCULA	EQUIPO	MÉTODO	VOLUMEN (m³)	Δ VOLUMEN (m³)	%
20X20 R = 0.052	ESTACIÓN TOTAL	BASE RADIAL	19695,21	14,94	14,94
		TIN	17012,87	-0,71	-0,71
		KRIGING	17084,88	-0,29	-0,29
		IDW	16582,31	-3,21	-3,21
		TIN (Compuesto)	17132,87	-0,01	-0,01
		GRID	17132,87	-0,01	-0,01
	NIVEL DE PRECISIÓN	BASE RADIAL	19733,42	15,11	15,11
		TIN	17032,5	-0,64	-0,64
		KRIGING	17101,75	-0,24	-0,24
		IDW	16606,8	-3,11	-3,11
	NI 007	BASE RADIAL	19874,31	15,94	15,94
		TIN	17036,43	-0,61	-0,61
		KRIGING	17105,83	-0,21	-0,21
		IDW	16616,42	-3,05	-3,05
	TRANSITO	BASE RADIAL	19832,15	15,75	15,75
		TIN	17010,49	-0,72	-0,72
KRIGING		17078,59	-0,32	-0,32	
IDW		16586,97	-3,17	-3,17	

Tabla 63. Cuadrícula de 40x40.

CUADRÍCULA	EQUIPO	MÉTODO	VOLUMEN (m³)	Δ VOLUMEN (m³)	%
40X40 R = 0.050	ESTACIÓN TOTAL	BASE RADIAL	26876,27	56,85	56,85
		TIN	16672,24	-2,70	-2,70
		KRIGING	16654,81	-2,80	-2,80
		IDW	16248,58	-5,15	-5,15
		TIN (Compuesto)	16949,87	-1,08	-1,08
		GRID	16949,87	-1,08	-1,08
	NIVEL DE PRECISIÓN	BASE RADIAL	27159,64	58,43	58,43
		TIN	16705,49	-2,54	-2,54
		KRIGING	16687,56	-2,65	-2,65
		IDW	16281,12	-5,01	-5,01
	NI 007	BASE RADIAL	27481,66	60,31	60,31
		TIN	16709,99	-2,52	-2,52
		KRIGING	16697,67	-2,59	-2,59
		IDW	16295,9	-4,92	-4,92
	TRANSITO	BASE RADIAL	26579,59	55,13	55,13
		TIN	16695,2	-2,56	-2,56
KRIGING		16673,14	-2,69	-2,69	
IDW		16265,09	-5,05	-5,05	

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1. CONCLUSIONES.

- Obtenidos los resultados del el terreno estudiado que fue medido con diferentes instrumentos, y al analizar los datos interpolados por los siguientes métodos: BASE RADIAL, TIN, KRIGING, INVERSE DISTANCE TO A POWER y TIN (AUTOCAD LAND DEVELOPMENT DESKTOP 2I).Una vez realizado el proceso estadístico, se encontró que no existe relación entre los volúmenes y la rugosidad de este terreno.
- En este tipo de terreno, podemos decir que los métodos de interpolación TIN y KRIGING nos permiten obtener buenos resultados en el cálculo de volumen, ya que presentan un comportamiento similar.
- Observadas las gráficas y los resultados, concluimos que los cuatro métodos de interpolación (TIN, KRIGING, INVERSE DISTANCE TO A POWER. Trabajados con Surfer y TIN trabajado con Land) presentan un comportamiento similar.
- Con base a los resultados podemos comentar que los cuatro métodos de interpolación ya mencionados, contradicen el modelo BASE RADIAL que intuitivamente se acerca mucho a lo observado en campo.

6.2. RECOMENDACIONES PARA INVESTIGACIONES FUTURAS.

- De acuerdo con lo obtenido en este terreno y en caso de tener solo el programa LAND, se recomienda eliminar la subjetividad al calcular el volumen, hasta tanto no se compruebe lo contrario.
- Podemos decir que dados los resultados, este proceso exige realizar un estudio mas profundo.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR, Fernando J., AGUILAR, Manuel, A., AGUERA, Francisco V., CARVAJAL, Fernando R. y SANCHEZ, Pedro L. Efectos de la morfología del terreno, densidad muestral y métodos de interpolación en la calidad de los modelos digitales de elevaciones. Universidad de Almería, España. Santander, 2002.

AUTOCAD Land, Autodesk Tutorial.

BARRY Austin B. Topografía aplicada a la construcción. México 1976. 346 pág.

BURROUGH, Paúl, and. McDonnell, R. Principles of geographical information systems. Oxford University Press, Oxford. 1998.

COLE, Julio H. M.A. (Econ). Nociones de regresión lineal.

FELICISIMO M. Curso de modelos digitales de terreno. Oviedo 2001. 122 pág.

JHONTSON, K et al. Using ArcGIS Geostatistical Analyst. ESRI. Redlands. 2001

JIMENEZ, Gonzalo C. y GALINDO, Iván E. Altimetría. Universidad del Quindío. Armenia 2004. 98 pág.

LOPEZ, Deybi A. y VARGAS Edison E. Determinación del error medio cuadrático por el método de la cuadrícula con cinco equipos. Universidad del Quindío. Armenia, 2004. 121 pág.

MURILLO, Barragán J., PEREZ, Preciado F., POZO, Baselga J., REBOLLO, Castillo F. J. y RODRIGUEZ, Gordillo M. C. Análisis de calidad de un modelo digital de elevaciones generado con distintas técnicas de interpolación. Universidad de Extremadura, España. Santander, 2002.

SURFER 8.0 (Golden Software, 2002)