



**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Colegio de Posgrados**

**Comparación Estadística de Métodos Interpolación  
Determinísticos y Estocásticos para la generación de Modelos  
Digitales del Terreno a partir de datos LIDAR, en la parroquia de  
Tumbabiro, cantón San Miguel de Urucuquí, provincia de Imbabura**

**José Sebastián Duque Martínez**

**Richard Resl, Ph.D.(c), Director de Tesis**

Tesis de grado presentada como requisito  
para la obtención del título de Magister en Sistemas de Información Geográfica

Quito, enero de 2015

**Universidad San Francisco de Quito**

**Colegio de Posgrados**

**HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS**

**Comparación Estadística de Métodos Interpolación  
Determinísticos y Estocásticos para la generación de Modelos  
Digitales del Terreno a partir de datos LIDAR, en la parroquia de  
Tumbabiro, cantón San Miguel de Urucuquí, provincia de Imbabura**

**José Sebastián Duque Martínez**

Richard Resl, Ph.D.(c) .....  
**Director de Tesis**

Karl Atzmanstorfer, MSc. ....  
**Miembro del Comité de Tesis**

Richard Resl, Ph.D.(c) .....  
**Director de la Maestría en Sistemas  
de Información Geográfica**

Stella de la Torre, Ph.D. ....  
**Decana del Colegio de Ciencias  
Biológicas y Ambientales**

Víctor Viteri Breedy, Ph.D. ....  
**Decano del Colegio de Posgrados**

Quito, enero de 2015

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

-----  
José Sebastián Duque Martínez

C. I.: 1717823262

Quito, enero de 2015

## **DEDICATORIA**

A Ibrahim...

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi tierna y amada esposa, Ingrid, por su compañía, ánimo e incondicionalidad permanente. A mis padres, por haber forjado en mí, la persona que soy. A mi familia, por su cariño y amor fraterno. Al Programa SIGTIERRAS, por su respaldo continuo en el desarrollo del presente proyecto.

## **RESUMEN**

El presente estudio describe el análisis estadístico de Modelos Digitales del Terreno (MDT) generados en la parroquia de Tumbabiro, provincia de Imbabura, a partir de métodos de interpolación determinísticos y estocásticos utilizando datos LIDAR para evaluar la calidad geométrica / temática de los productos cartográficos obtenidos y determinar su interrelación y semejanzas.

Objetivamente, de acuerdo a la metodología aplicada se filtró al terreno y clasificó información LIDAR mediante el uso de herramientas SIG libres, entonces se generaron Modelos Digitales del Terreno a partir de métodos determinísticos como: Triangulación, Inversa Distancia, Spline (mínima curvatura); y mediante métodos estocásticos como Kriging Ordinario Lineal, Kriging Ordinario Esférico y Kriging Ordinario Exponencial, que básicamente son variantes de modelos de variogramas teóricos.

Finalmente, se aplicaron técnicas estandarizadas para la selección de muestras de puntos de chequeo que sirvieron como testigo para evaluar la calidad del ajuste e interrelación de los Modelos Digitales del Terreno a través de los parámetros estadísticos como el Error Típico de Estimación y el Coeficiente de Correlación, los cuales concluyeron que los MDT con mejor ajuste fueron los obtenidos a partir de las variantes de Kriging Ordinario (métodos estocásticos) y principalmente el producto proporcionado a través del método determinístico Spline (mínima curvatura).

## **ABSTRACT**

This document presents information about a collection of quality control statistical analysis done over Digital Terrain Model (DTM) data. The analyzed data has been constructed from LIDAR observations from parish of Tumbabiro located at Imbabura's province in Ecuador by means of stochastic and deterministic interpolation methods. The purpose of this analysis is to assess the geometric and thematic quality of the interpolated data and to determine its similarities and interrelations between them.

For the purpose of this research LIDAR data was filtered and classified to ground observations with the help of open source GIS tools. As a next step, collections of different DTM were generated by interpolation using deterministic methods such as Triangulation, Inverse Distance Weighted and Spline (minimum curvature); and stochastic methods such as Ordinary Kriging with Linear, Spherical and Exponential models that are basically variations of the theoretical variogram models.

Standardized sampling methods were applied to select a collection of check points used to assess the goodness of fitting of the modeled data to obtain a Digital Terrain Model (DTM). On these locations some statistic parameters were calculated by means of Root Mean Square Error (RMSE) and Correlation Coefficients. In conclusion, the results of the comparison determined that the best adjustment was obtained by the application of Ordinary Kriging DTM (stochastic methods) and with the deterministic method Spline (minimum curvature) over all the other methods used in this research.



## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	7
ABSTRACT .....	8
1. Introducción.....	16
1.1 Generalidades.....	16
1.2 Antecedentes .....	17
1.3 Importancia .....	18
1.4 Objetivos.....	19
1.4.1 Objetivo General .....	19
1.4.2 Objetivos Específicos .....	19
2. Marco Teórico .....	20
2.1 Los Modelos Digitales del Terreno.....	20
2.1.1 Conceptualización de Modelo .....	21
2.1.2 Definición de Modelo Digital del Terreno (MDT).....	22
2.1.3 Estructuras de datos de los MDT.....	24
2.1.4 Captura de insumos para la generación de MDTs.....	26
2.1.5 Aplicación de los Modelos Digitales del Terreno .....	31
2.2 Los Sistemas Láser – LIDAR.....	33
2.2.1 Planificación y Ejecución de Vuelos LIDAR.....	34
2.2.2 EL Formato *.LAS .....	37
2.2.3 Clasificación y Edición de los datos LIDAR.....	39
2.2.4 Aplicaciones del Sensor LIDAR .....	43
2.3 Interpolación Espacial.....	43

2.3.1	Métodos Determinísticos.....	44
2.3.2	Métodos Estocásticos .....	49
3.	Metodología para la generación de Modelos Digitales del Terreno (M.D.T) determinísticos y estocásticos.....	61
3.1	El Programa SIGTIERRAS .....	61
3.2	Proceso metodológico de generación de M.D.T.....	63
3.3	Tratamiento de datos LIDAR.....	65
3.3.1	Clasificación y Filtrado de Información LIDAR cruda.....	67
3.3.2	Diálogo Open LIDAR .....	69
3.4	Compilación de la información LAS.....	70
3.5	Generación de Modelos Digitales del Terreno Determinísticos.....	73
3.5.1	Generación de MDT por Triangulación .....	75
3.5.2	Generación de MDT por Inversa Distancia.....	77
3.5.3	Generación de MDT por Mínima Curvatura “Spline” .....	79
3.6	Generación de Modelos Digitales del Terreno Estocásticos.....	81
3.6.1	Generalización de datos LIDAR.....	83
3.6.2	Análisis de Autocorrelación Espacial.....	85
3.6.3	Preparación para el proceso de Interpolación Kriging Ordinario.....	90
3.6.4	Generación de MDT por Kriging Ordinario (Lineal, Esférico y Exponencial)	93
4.	Comparación estadística entre Modelos Digitales del Terreno generados por métodos de interpolación determinísticos y estocásticos.....	105
4.1	Proceso metodológico para la comparación estadística entre los Modelos Digitales del Terreno de la parroquia Tumbabiro. ....	105

4.2	Selección del tamaño de la muestra (puntos de chequeo).....	107
4.3	Selección de puntos LIDAR aleatorios.....	109
4.4	Asignación de los valores interpolados de los diferentes Modelos Digitales del Terreno a los puntos de chequeo. ....	113
4.5	Análisis estadístico de los Modelos Digitales del Terreno determinísticos y estocásticos .....	114
4.5.1	Error Típico de Estimación o RMS .....	115
4.5.2	Coefficientes de Correlación (r).....	116
4.5.3	Matriz RMS / Correlación .....	118
5.	Conclusiones y Recomendaciones .....	120
5.1	Conclusiones.....	120
5.1.1	Sobre los Modelos Digitales del Terreno analizados .....	120
5.1.2	Respecto al uso y tratamiento de los datos LIDAR.....	123
5.1.3	Sobre el proceso de Control de Calidad de datos geográficos y las normas ISO	124
5.1.4	Acerca del uso de las distintas herramientas SIG.....	125
5.2	Recomendaciones .....	126
5.2.1	Respecto a los métodos de interpolación a aplicar .....	126
5.2.2	Acerca de la calidad de los datos LIDAR.....	127
5.2.3	Aspectos integrales del Control de Calidad de los datos geográficos .....	127
5.2.4	Sobre el uso y manejo de los sistemas de información geográfica .....	129
	Referencias Bibliográficas.....	130
	Glosario de Términos .....	133
	ANEXOS .....	135

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1: Descripción de las propiedades emergentes de un modelo .....	22
Figura 2-2: Vista 3D de la Laguna de Yahuarcocha.....	22
Figura 2-3: Estructuras de Datos de los Modelos Digitales del Terreno.....	26
Figura 2-4: Métodos de Captura de información altimétrica.....	27
Figura 2-5: El escaneo de la superficie terrestre a través del LIDAR .....	29
Figura 2-6: Esquema de Planificación de los vuelos LIDAR.....	34
Figura 2-7: Parámetros técnicos del vuelo LIDAR.....	35
Figura 2-7: Parámetros técnicos del vuelo LIDAR.....	35
Figura 2-8: Información LIDAR que se analiza en los algoritmos de clasificación.....	40
Figura 2-9: MDT resultado del filtrado de los datos crudos del MDS .....	42
Figura 2-10: Construcción de un Polígono de Thiessen .....	45
Figura 2-11: Triangulación de Delauney .....	46
Figura 2-12: Representación gráfica del Variograma .....	52
Figura 3-1: Alcance del proyecto de tesis, parroquia Tumbabiro .....	63
Figura 3-2: Flujo de procesos para la generación de Modelos Digitales del Terreno en Tumbabiro.....	64
Figura 3-3: Datos LIDAR crudos parroquia Tumbabiro .....	65
Figura 3-4: Generación de una falsa imagen de Elevación y de Intensidad a partir de datos LIDAR .....	66
Figura 3-5: Información LIDAR categorizada por hojas 1:5000 para Tumbabiro .....	67
Figura 3-6: Interfaz Dielmo Open LIDAR gvSIG. Clasificación LIDAR parroquia Tumbabiro .....	70
Figura 3-7: Filtrado de puntos clasificados al terreno LAS – Global Mapper 11 .....	72
Figura 3-8: Archivo LAS Tumbabiro – Global Mapper.....	72
Figura 3-9: Acceso a la opción Surface Modeling (interpolación) dentro de TNT Mips 6.9.....	74
Figura 3-10: Entorno TNT Mips 6.9 – Triangulación .....	76
Figura 3-11: MDT por Triangulación generado para Tumbabiro .....	77
Figura 3-12: Entorno TNT Mips 6.9 – Inversa Distancia.....	77
Figura 3-13: MDT por Inversa Distancia generado para Tumbabiro .....	78
Figura 3-14: Entorno TNT Mips 6.9 – Mínima Curvatura / Spline .....	79
Figura 3-15: MDT por Mínima Curvatura / Spline generado para Tumbabiro.....	81

Figura 3-16: Grilla 8x8 que permitirá extraer un único punto LIDAR .....	83
Figura 3-17: Puntos LIDAR extraídos aleatoriamente para la generación de MDT estocásticos .....	85
Figura 3-18: Histograma para la variable altitudinal de los puntos LIDAR de Tumbabiro .....	86
Figura 3-19: Ploteo de cuantiles en la variable altitudinal de los puntos LIDAR de Tumbabiro.....	87
Figura 3-20: Mapa de Tendencia para los puntos LIDAR de Tumbabiro.....	88
Figura 3-21: Polígonos de Voronoi a partir de los puntos LIDAR de Tumbabiro.....	89
Figura 3-22: Superficie de semivariograma a partir de los puntos LIDAR para Tumbabiro .....	90
Figura 3-23: Definición de línea de quiebre .....	91
Figura 3-24: Líneas de quiebre presentes en la Parroquia Tumbabiro .....	91
Figura 3-25: Teselas creadas aplicando los criterios descritos .....	93
Figura 3-26: Selección del método Kriging en TNT Mips 6.9.....	94
Figura 3-27: Entorno TNT Mips 6.9 – Kriging / Lineal.....	94
Figura 3-28: Variograma experimental TNT Mips 6.9 para los puntos LIDAR de Tumbabiro.....	101
Figura 3-29: Herramientas para generar mosaicos en TNT Mips 6.9 .....	103
Figura 3-30: MDT por Kriging Lineal generado para Tumbabiro .....	103
Figura 3-31: MDT por Kriging Esférico generado para Tumbabiro .....	104
Figura 3-32: MDT por Kriging Exponencial generado para Tumbabiro .....	104
Figura 4-1: Flujo de procesos para el análisis estadístico comparativo de MDT para Tumbabiro .....	106
Figura 4-2: Tabla para determinar el tamaño de muestra para los puntos LIDAR de Tumbabiro .....	108
Figura 4-3: Plan de muestreo y aceptación de lotes en una inspección normal .....	109
Figura 4-4: Interface macro Selec_muestras.xlsm bajo entorno Excel 2007 .....	112
Figura 4-5: 500 Puntos de chequeo (muestras) distribuidos en la parroquia Tumbabiro .....	113
Figura 4-6: Asignación de valores raster a elementos vectoriales.....	114

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1: Formato 0 - Registros de Puntos LAS.....	38
Tabla 2-2: Estándar ASPRS para los valores de Clasificación de puntos LIDAR .....	39
Tabla 3-1: Teselas creadas y su correspondiente cantidad de puntos.....	92
Tabla 3-2: Parámetros utilizados en el Método Estocástico Kriging .....	101
Tabla 4-1: Distribución de número de muestras para cada archivo LIDAR de Tumbabiro .....	110
Tabla 4-2: Resultados del cálculo del Error Típico de Estimación ( $RMS_z$ ) para los diferentes MDT .....	116
Tabla 4-3: Resultados de los Coeficientes de Correlación obtenidos entre los MDT generados .....	118
Tabla 4-4: Matriz RMS / Correlación para los diferentes MDT generados .....	118

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 2-1: Definición de MDT .....	23
Ecuación 2-2: Cálculo del plano que subtiende un triángulo de Delauney .....	46
Ecuación 2-3: Media ponderada de alturas (Inversa Distancia) .....	47
Ecuación 2-4: Ejemplo de un ajuste de mínima curvatura sobre una superficie cúbica (Bosque, 1997) .....	49
Ecuación 2-5: Media ponderada para estimación Kriging .....	50
Ecuación 2-6: Definición de Variograma .....	51
Ecuación 2-7: Definición del variograma esférico .....	54
Ecuación 2-8: Definición del variograma exponencial .....	54
Ecuación 2-9: Definición del variograma lineal .....	54
Ecuación 2-10: Criterios de partida Kriging Ordinario .....	55
Ecuación 2-11: Propagación de las varianzas .....	55
Ecuación 2-12: Equivalencia de varianzas .....	56
Ecuación 2-13: Equivalencia de covarianzas .....	56
Ecuación 2-14: Reemplazo de notación en la propagación de varianzas .....	56
Ecuación 2-15: Multiplicador de Lagrange previo a la minimización .....	57
Ecuación 2-16: Minimización de la ecuación (derivación parcial respecto a cada factor de ponderación $\lambda_i$ y al multiplicador $\mu$ ) .....	57
Ecuación 2-17: Sistema de ecuaciones para resolver los factores de ponderación .....	58
Ecuación 2-18: Ecuación matricial para los factores de ponderación .....	59
Ecuación 4-1: Error Típico de Estimación (RMS) .....	115
Ecuación 4-2: Coeficiente de Correlación ( $r$ ) .....	117

## **1. Introducción**

### **1.1 Generalidades**

Los Modelos Digitales, son variables espaciales de carácter continuo, que representan exclusivamente la variable topográfica de la altitud, estas pueden ser altitudes sobre el nivel del mar, altitudes ortométricas, altitudes elipsoidales, desniveles, etc. En fin, la variable puede referirse a cualquier superficie de referencia, sin embargo, la representación del objeto espacial se concreta a la variable “Z” comúnmente asociada a los elementos tridimensionales.

Tradicionalmente, el componente “Z” en la cartografía analógica clásica era representado por elementos gráficos llamados “curvas de nivel” y/o “puntos acotados”, los mismos que brindan una apariencia tridimensional pero discreta del relieve del terreno. Actualmente, las tecnologías para el tratamiento de datos espaciales a través de los sistemas de información geográficos, han desarrollado y potencializado esta representación, por lo que mediante diversas estructuras de datos se puede apreciar el relieve del terreno sea a través de una Red de Triángulos Irregulares (TIN), o a través de una arreglo bidimensional de celdas regulares (MDT – Raster).

Debido a la importancia y a la representatividad de esta variable, se podría considerar al Modelo Digital del Terreno como una variable temática con amplia relevancia en el campo geográfico y de planificación territorial, con innumerables aplicaciones para las ciencias y la ingeniería.



## 1.2 Antecedentes

En el marco del Plan Nacional de Desarrollo monitoreado por SENPLADES (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo) y ejecutado por diversas instituciones públicas de carácter técnico; la Unidad Ejecutora MAGAP – PRAT, órgano adscrito al Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca del Ecuador (MAGAP), se encuentra ejecutando el Proyecto SIGTIERRAS para la “Toma de Fotografía Aérea Digital y Elaboración de Ortofotografías 1:5000 a nivel nacional”, en cuyo objeto se detalla la generación de toda la cartografía básica nacional en formato raster (ortofotografías), misma que servirá de insumo para desarrollar diversos programas, planes y acciones conjuntas que permitan establecer un ámbito de desarrollo nacional progresivo e inclusivo, considerando como meta fundamental el concepto del “*Buen Vivir*” plasmado en la actual Constitución de la República.

Como parte de los productos cartográficos esperados dentro de la ejecución del presente proyecto, adicionalmente a la ortofotografía como tal, se requiere la producción de Modelos Digitales del Terreno, cuyas precisiones altimétricas se vinculen a las relativas a la cartografía 1:5000. Los Modelos Digitales del Terreno resultantes se obtendrán a partir de dos fuentes de datos específicas: la autocorrelación de imágenes (fotografía aérea) y la utilización de nubes de puntos LIDAR<sup>1</sup>; cualquiera de las dos alternativas genera con certeza la consistencia numérica de los datos medidos sobre el terreno, lo que brindará gran confiabilidad en los productos a obtenerse.

Es por ello, que bajo la premisa que con los datos LIDAR se obtiene un volumen considerable de datos editables, es factible evaluar estadísticamente varios Modelos

---

<sup>1</sup> LIDAR: Light Detection and Ranging, “detección y medición de la luz”. (Middleton & Spilhaus, 1953).

Digitales del Terreno generados tanto por métodos determinísticos, como por métodos estocásticos; con el fin de definir la información que mejor se ajuste numéricamente y sobretodo enmarcada dentro de las precisiones requeridas por el Proyecto SIGTIERRAS.

### **1.3 Importancia**

Probablemente la variable espacial más utilizada en el ámbito científico es la variable altitudinal, o comúnmente conocida como topografía. Bajo su análisis se derivan innumerables aplicaciones y marcos teóricos relevantes para la innovación de las ciencias de la tierra.

El determinar un método de interpolación que estadísticamente se ajuste mejor al modelamiento de esta variable, permitirá determinar una superficie continua precisa y sobretodo confiable, dado que parte de la premisa del presente proyecto es la utilización como insumo de datos LIDAR, cuya principal ventaja es la alta densidad de puntos registrados sobre la superficie terrestre.

Gracias a una edición exhaustiva de datos de partida que constituyen la nube de puntos LIDAR de gran confiabilidad, es necesario analizar y concluir en la aplicación del método de interpolación más adecuado, sea este un método determinístico o un método estocástico, con lo cual, se podrá establecer una metodología satisfactoria para la generación y modelamiento de una de las variables más relevantes dentro del espectro geográfico.

Actualmente en el Ecuador, en las entidades que laboran con la información georeferenciada, se aplica de manera empírica los métodos tradicionales de generación de Modelos Digitales del Terreno, por lo que surge la pregunta: ¿qué tan acertado es el uso de los métodos tradicionales de interpolación, cuando se dispone de una serie representativa

de datos originalmente observados sobre la superficie terrestre? En este sentido, se intentará encontrar el vínculo entre las prácticas técnicas vigentes en el país y verdaderos indicadores de éxito numérico como lo son los parámetros estadísticos.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Comparar Métodos de Interpolación Determinísticos y Estocásticos para la generación de Modelos Digitales del Terreno a partir de datos LIDAR, en la parroquia de Tumbabiro, cantón San Miguel de Urcuquí, provincia de Imbabura.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Efectuar técnicas de clasificación de datos LIDAR para discriminar los puntos de que verdaderamente se localicen sobre el terreno.
- Aplicar muestreo aleatorio estratificado sobre los puntos del terreno LIDAR resultantes, los mismos que se constituirán como puntos de chequeo para el análisis estadístico.
- Utilizar diversas herramientas tecnológicas como Sistemas de Información Geográfica para la organización, tratamiento, análisis e interpretación de los resultados obtenidos.
- Determinar el método de interpolación mejor ajustado para la generación de MDT's a través de diversos parámetros estadísticos aplicables.

## **2. Marco Teórico**

### **2.1 Los Modelos Digitales del Terreno**

La evolución vertiginosa de la tecnología ha cambiado notablemente la perspectiva de análisis científico de las variables espaciales que sustentan la planificación territorial. Dentro de estos análisis, la cartografía ha jugado un papel esencial a través de la historia, puesto que en ella cualquier sector de la superficie terrestre es representado en mayor o menor magnitud, y sobre ella se interpreta la realidad reflejada para ejecutar un objetivo determinado.

Con el desarrollo de los Sistemas de Información Geográficos (SIG), se permite efectuar un análisis pormenorizado de cada variable espacial, no solo de manera independiente, sino como un conjunto de datos que se interrelacionan entre sí. A su vez, el uso de los SIG, ha permitido una manipulación y análisis mucho más eficientes en lo referente al uso del recurso tiempo, permitiendo así una mayor profundización y especificidad al momento de tratar información territorial, en este sentido los resultados han sido más precisos y sobretodo actualizados.

Mediante el empleo acertado de los SIG, varias estructuras de datos geográficos son debidamente almacenadas, visualizadas, manipuladas, procesadas, interpretadas y representadas; entre estas, los Modelos Digitales del Terreno (MDT) que han surgido exponencialmente gracias al impulso tecnológico que ha brindado la aplicación de los sistemas geográficos, es decir, a medida que pasa el tiempo, el rigor del análisis de los MDT se relacionará directamente con el soporte informático que estará presente en los SIG.

### 2.1.1 Conceptualización de Modelo

Para tratar de definir los Modelos Digitales del Terreno (MDT), es necesario precisar y enfatizar el sentido etimológico de su expresión. Fundamentalmente, el MDT es un modelo, es decir, *una representación simplificada de la realidad en la que aparecen algunas de sus propiedades* (Joly, 1988). Con ello, la realidad es representada desde el punto de vista exclusivo del intérprete, realzando las características que a criterio del observador son significativas para el propósito del modelo. La intención del modelo es abstraer el mundo real a través de la percepción de ciertas características o propiedades que trascienden a un fenómeno en particular, mientras que otros aspectos simplemente no son tomados en cuenta por su escasa relevancia en relación a la evolución de mencionado fenómeno.

Los modelos se categorizan en función de la correspondencia o afinidad respecto a la realidad como tal: los modelos icónicos, son representaciones muy detalladas y morfológicamente similares a la realidad, como por ejemplo, una maqueta; los modelos análogos, conservan muchas de las propiedades de los objetos a representar, sin embargo carecen de esa exactitud morfológica, como por ejemplo, un mapa; finalmente, los modelos simbólicos conllevan un nivel de abstracción superior a los demás, es una representación muy sencilla y a la vez concisa de un fenómeno específico, como por ejemplo, geometría, estadística. En resumen, existirán modelos que dependiendo de su correspondencia con la realidad denotarán mayor detalle respecto a otros, sin embargo, en su interpretación siempre permitirán inferir (en mayor o menor magnitud) otras características del objeto representado no detalladas en el modelo.

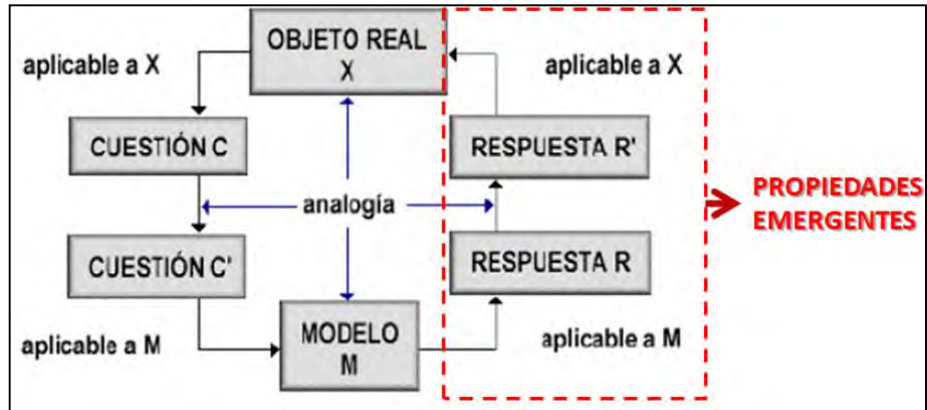


Figura 2-1: Descripción de las propiedades emergentes de un modelo  
Fuente: Aracil, 1986

### 2.1.2 Definición de Modelo Digital del Terreno (MDT)



Figura 2-2: Vista 3D de la Laguna de Yahuarcocha  
Fuente: SIGTIERRAS, 2011

Bajo las categorizaciones de los modelos antes mencionados, se puede definir al MDT, como un modelo simbólico de la realidad que puede ser tratado digitalmente a través de herramientas informáticas. A diferencia de los modelos analógicos, el modelo digital del terreno es un conjunto de expresiones y algoritmos matemáticos desarrollados, cuya

información resultante es codificada y cifrada de tal forma que pueda ser leída únicamente por procesadores automáticos en diversos medios informáticos.

En este sentido, el modelo digital del terreno es *un conjunto de datos numéricos que describe la distribución espacial de una característica del territorio* (Doyle, 1978). Y de manera más precisa, el Modelo Digital del Terreno es *una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua* (Felicísimo, 1994).

Tradicionalmente, la cartografía convencional representaba la variación de altitudes o hipsométrica a través de curvas de nivel y puntos acotados, en la actualidad y conforme al repunte de los SIG, la representación de la altitud es asumida por los Modelos Digitales del Terreno (MDT) o también conocidos como Modelos Digitales de Elevación (MDE).

Existen varias definiciones de modelos relacionados a la variación topográfica existente, sin embargo, el MDT/MDE, está conformado exclusivamente por altitudes del terreno natural reflejando la morfología propia de la superficie terrestre, este tipo de modelos no considera superficies como infraestructura, construcciones, vegetación o ruido dentro de su estructura.

Matemáticamente un MDT puede definirse de la siguiente manera:

**Ecuación 2-1: Definición de MDT**

$$z = f(x, y)$$

Donde:

$z$ : altitud de un punto característico

$x$  e  $y$ : coordenadas planimétricas de un punto característico

$f$ : expresión matemática que deriva la altitud dependiendo de su ubicación espacial

### 2.1.3 Estructuras de datos de los MDT

Como se describió en el ítem anterior, los Modelos Digitales del Terreno (MDT) y su altitud resultante (cota  $z$ ), depende exclusivamente de las variables planimétricas ( $x$  e  $y$ ), sea cual fuere su proyección cartográfica o sistema de referencia. Es decir, el marco resultante de un MDT será un conjunto de coordenadas en tres dimensiones ( $x, y, z$ ) de un determinado sector.

Con los datos resultantes, el objetivo es estructurarlos de cierta manera que permita su utilización o manipulación en función de la aplicación que vaya a inducirse. Por ello, existen diferentes tipos de estructuras de almacenamiento y representación de la información resultante de un MDT, cuyas características fundamentales se detallan a continuación:

- **Estructuras Vectoriales (curvas de nivel):** Conocidas también como isohipsas, es un conjunto organizado de pares de coordenadas que siguen una concatenación topológica ordenada generando así una geometría vectorial básica del tipo línea, en la trayectoria que la curva nivel atraviesa se representa una única cota continua. Es así, que todos los vértices y nodos que conforman la curva de nivel poseerán un atributo numérico o cota constante para todos los elementos que la integran. Dentro de estas estructuras vectoriales figuran también los puntos acotados, o coordenadas que representan los diferentes puntos de inflexión existente en el



relieve de la superficie terrestre, son datos indispensables para la generación de MDTs.

- **Estructuras Vectoriales (Breaklines – líneas de quiebre):** Poseen geometría vectorial del tipo línea, sin embargo, las coordenadas puntuales que la definen contienen valores de altitud diferentes, pues representan el contorno lineal específico en el cual la pendiente del terreno adyacente sufre una variación o alteración súbita, como por ejemplo: líneas de cumbre, líneas de depresión hidrográfica, bordes de acantilados, etc. La definición de breaklines corresponden a casos puntuales sobre la superficie terrestre.
- **Estructuras Vectoriales (Perfiles):** Es una representación parcial del relieve en las cuales se muestran las variaciones topográficas en un corte o sección específica del terreno. Es la abstracción en dos dimensiones de una porción topográfica de tres dimensiones.
- **Estructuras TIN (Triangulated Irregular Network – Red de Triángulos Irregulares):** Constituyen elementos vectoriales en tres dimensiones cuyo elemento exclusivo es un conjunto de triángulos que forman diferentes planos. Estos se forman a partir de puntos cercanos no colineales. El terreno adopta la forma del conjunto de triángulos adyacentes formados a partir del conjunto de puntos disponibles. Los triángulos que se generan deben aproximarse en la medida de lo posible a triángulos equiláteros.
- **Estructuras Raster (Matrices o grillas regulares):** Es el tipo de de representación de los Modelos Digitales del Terreno más común. El terreno está representado por una matriz o cuadrículas rectangulares georeferenciada cuyas celdas o elementos básicos son equidistantes y en cada cual se almacena el valor correspondiente a la altitud media representativa para cada celda.

- **Estructuras Raster (Matrices irregulares):** El criterio de almacenamiento de la información es idéntico al de las matrices regulares, la diferencia radica en la resolución para cada elemento, en este caso se dividen en niveles, los cuales se agrupan en función de su número digital común. Es una estructura similar a los *quadtrees*.
- **Estructuras Analíticas:** Inicialmente se propuso dentro del análisis de los Modelos Digitales del terreno, el planteamiento de superficies a través de ecuaciones matemáticas polinómicas o segmentos de Bézier con el objetivo de optimizar la capacidad de almacenamiento de la información altimétrica.

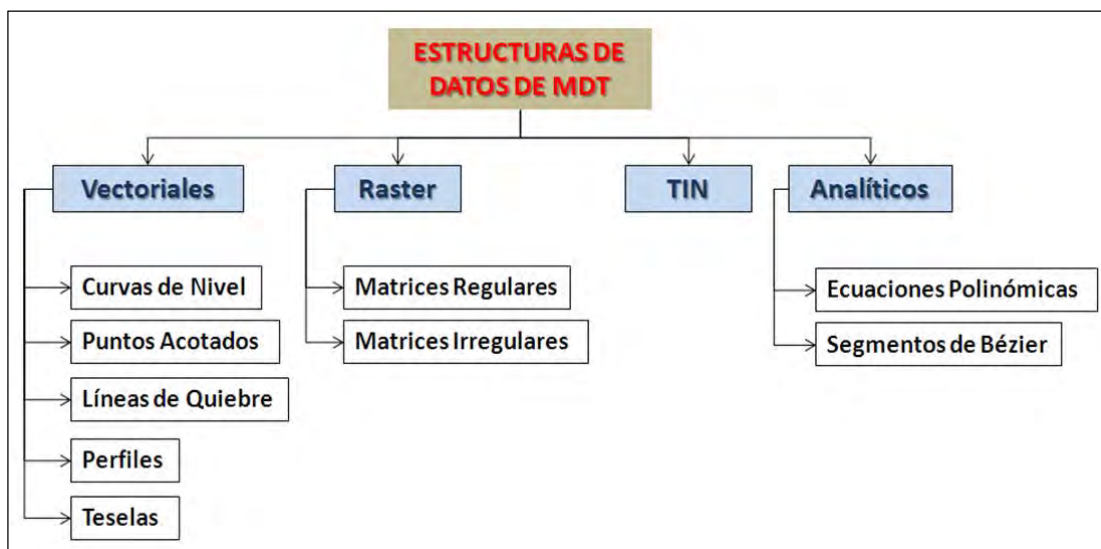


Figura 2-3: Estructuras de Datos de los Modelos Digitales del Terreno

#### 2.1.4 Captura de insumos para la generación de MDTs

Es el proceso de abstracción de la realidad hacia un proceso de almacenamiento digital de la síntesis espacial, en el cual se obtiene la información primaria que conformará el Modelo Digital del Terreno resultante. Dentro de un proyecto de Implementación de una Base de Datos Geográfica, el proceso de captura de la información es el más costoso y por

ende el más crítico dado la estrecha relación de esta fase con la calidad de la información resultante, por ello es importante la planificación detallada y presupuestada para lograr con suceso este fin.

Los diferentes métodos de captura de información se dividen en dos grandes grupos: los métodos directos y los métodos indirectos, para lo cual, es importante definir cada uno de sus contextos.

Se entienden como métodos directos aquellos en los cuales se obtiene información altimétrica directamente sobre el terreno sin la utilización como insumo de información espacial generada previamente. En contraparte, los métodos indirectos generan información altimétrica a través del procesamiento de información espacial generada inicialmente:

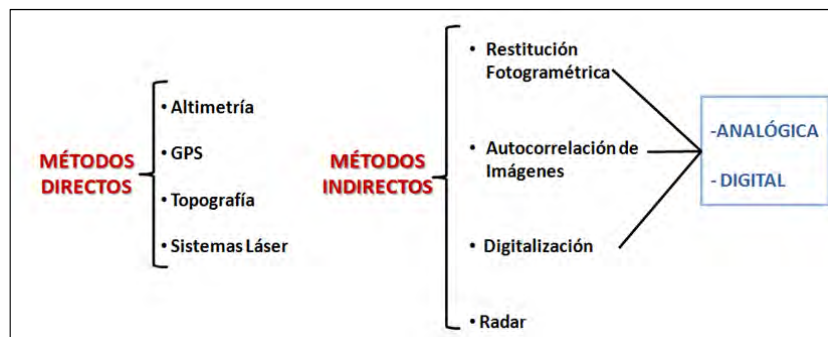


Figura 2-4: Métodos de Captura de información altimétrica

#### **2.1.4.1 MÉTODOS DIRECTOS - ALTIMETRÍA**

El registro de la presión barométrica y su procesamiento da como resultado la obtención de datos de elevación a partir del uso de altímetros de gran precisión. Sin embargo, actualmente su uso se ha restringido para el estudio de glaciares y lechos marinos debido al alto grado de dispersión que genera la atmósfera en los resultados obtenidos. Una ventaja significativa es que constituye un método de percepción remota de información altimétrica.

#### **2.1.4.2 MÉTODOS DIRECTOS - GPS**

Los sistemas satelitales que gracias a cálculos de triangulaciones iterativas obtienen coordenadas en tres dimensiones de un determinado punto sobre la superficie terrestre, es otro método directo de adquisición de datos altimétricos, actualmente se disponen de modelos geoidales que complementan este tipo de observaciones y que mejoran el nivel de confiabilidad de los datos recibidos. Sin embargo, existen varias limitantes que surgen al momento de utilizar el método GPS como método de captura masiva de datos altimétricos, el primero es nivel de accesibilidad variable en distintas zonas de interés, segundo es la calidad de la señal a receptarse en diversas superficies dada por la existencia de cobertura vegetal densa, topografía abrupta, actividad antrópica intensa, tercero es la disponibilidad de estaciones de referencia relativamente cerca a las zonas de interés, etc. Todas estas limitantes inciden en la calidad de la información registrada; en este sentido, la obtención de datos altimétricos se convierte en un método de soporte más que en un método recursivo para la recopilación de altitudes.

#### **2.1.4.3 MÉTODOS DIRECTOS - TOPOGRAFÍA**

Los métodos topográficos, tanto mediante el empleo de estaciones totales o niveles digitales, constituyen otro método directo de recopilación de información altimétrica. Son métodos de registro visual que con el apoyo de distanciómetros láser facilitan el almacenamiento y cálculo de la información resultante. Sin embargo, presentan similares limitantes a las existentes en el método de GPS: dificultad en la accesibilidad y visibilidad, que encarecen el uso de esta alternativa como método masivo de captura de altitudes. Es decir, también constituye un método de apoyo o sectorizado de determinación de elevaciones.

#### 2.1.4.4 MÉTODOS DIRECTOS – SISTEMAS LÁSER

Es una tecnología relativamente nueva que ha revolucionado la captura masiva de información tridimensional. Está compuesta exclusivamente por sensores activos que emiten pulsos láser los cuales se reflejan sobre la superficie expuesta, generando posteriormente una nube de puntos ampliamente densa y con varios atributos asociados. Existen sistemas láser del tipo terrestre como aerotransportados, su objetivo es escanear los sectores de interés para obtener modelos digitales de superficies con diversas aplicaciones.

El sistema LIDAR aerotransportado, es un sistema de percepción remota láser utilizado principalmente para fotogrametría y cartografía, permite obtener registros tridimensionales del terreno con densidades significativas, las cuales dependen exclusivamente de las variables inmersas en los planes de vuelo ejecutados. La ventaja es que este método es considerado como un método de captura masiva a gran escala.

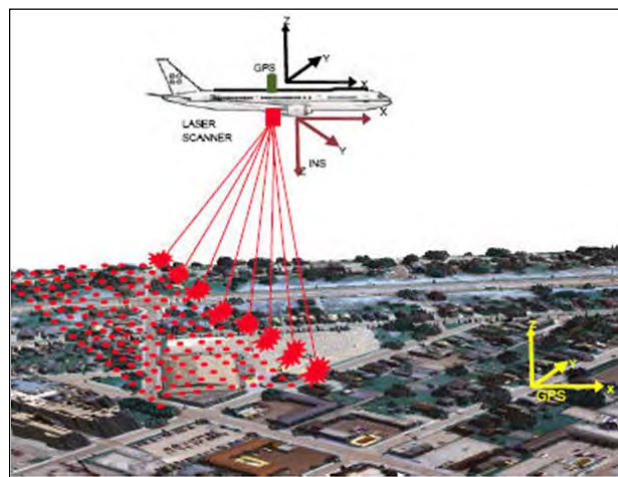


Figura 2-5: El escaneo de la superficie terrestre a través del LIDAR  
Fuente: Comunidad LIDAR.com.es, 2012<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Comunidad LIDAR.com.es – Foro Español de Noticias LIDAR. (2012, Marzo 05). *Airborne Altimetric LIDAR: Principle, Data collection, Processing and Applications*. Accedido el 19 de marzo de 2012 en <http://lidar.com.es/2010/09/15/airborne-altimetric-lidar-principle-data-collection-processing-and-applications/>

#### **2.1.4.5 MÉTODOS INDIRECTOS – RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA**

Los métodos indirectos son los utilizados en mayor proporción para la generación de MDTs, Como se mencionó, la restitución al ser un método indirecto, requiere información espacial de partida, en este caso se requiere de fotografía aérea y una serie de puntos de apoyo ubicados en campo de tal forma que se pueda espacializar los modelos estereoscópicos resultantes. Gracias a la estereoscopia en los pares de fotografía aérea es posible dimensionar el paralaje existente entre puntos homólogos y con ello se deducen los desniveles asociados a los diferentes pares de puntos medidos. *La información resultante es procesada mediante un proceso iterativo de correlaciones, para identificar los demás puntos homólogos (Claus, 1984), medir paralajes y estimar altitudes (Allam, 1978).*

Tradicionalmente, la restitución se la empleaba sobre fotografías aéreas en formato análogo, actualmente la mayoría de restituidores utiliza información en formato digital. De la misma manera, no solo la fotografía aérea ha sido fuente de datos para efectuar restitución, sino también imágenes satelitales provenientes de diversos sensores pasivos con capacidades estereoscópicas como Quick Bird, Ikonos, Worldview 1, Worldview 2, GeoEye 1, GeoEye 2, etc.; estos productos son exclusivamente digitales.

#### **2.1.4.6 MÉTODOS INDIRECTOS – AUTOCORRELACIÓN DE IMÁGENES**

Este método es similar al de restitución con el aditivo que es un proceso automático de procesamiento de imágenes digitales, también es posible el procesamiento de imágenes analógicas previo escaneo de las mismas. Para su desarrollo emplea algoritmos iterativos de matching con lo cual se obtienen precisiones resultantes de hasta 1/3 de píxel en la determinación de puntos homólogos en tres dimensiones. Sin embargo, requiere edición y

depuración manual de un pequeño porcentaje de puntos correlacionados. De todas formas es un método adecuado para la extracción masiva de puntos altimétricos.

#### ***2.1.4.7 MÉTODOS INDIRECTOS – DIGITALIZACIÓN***

La digitalización comprende la vectorización de elementos altimétricos presentes en documentos cartográficos publicados anteriormente. Se la puede realizar a partir de documentos analógicos o digitales previamente escaneados. Tradicionalmente la digitalización se la realizaba sobre tableros que soportaban los mapas o cartas en papel. Actualmente, es posible efectuar la digitalización en pantalla, inclusive con la ayuda de algoritmos automáticos y semi automáticos para la vectorización de elementos cartográficos.

#### ***2.1.4.8 MÉTODOS INDIRECTOS – RADAR***

Otro método utilizado para la adquisición de información altimétrica es la interferometría o radargrametría, técnicas aplicadas sobre imágenes radar. Estas técnicas son muy complejas y dependiendo del fabricante del sensor existirá un software apropiado dado que sus algoritmos son encriptados, los cuales poseen módulos, procedimientos y características de aplicación propias. Generalmente, se recurre al uso de imágenes radar cuando se evidencia ausencia de información proveniente de sensores pasivos como imágenes satelitales o fotografía aérea digital.

### **2.1.5 Aplicación de los Modelos Digitales del Terreno**

Los modelos digitales del terreno representan la variable altimétrica de un determinado sector, esta información puede ser tratada adecuadamente para generar información

derivada obteniendo nuevas variables complementarias resultado del tratamiento local y sus respectivas relaciones topológicas de los valores de altimetría disponibles en el MDT.

Con la disposición de nuevas variables, es posible efectuar una serie de análisis espaciales complejos y detallados para lograr varios propósitos y fines que ayudarán significativamente para la toma de decisiones.

A continuación se detallan varias variables derivadas de los MDTs y su nivel de aplicación:

- **Pendientes:** Es la tangente resultante entre el vector normal a un punto y su plano horizontal asociado. Permite cuantificar el relieve del terreno y el grado de variación de alturas en sus inmediaciones.
- **Orientación:** Se define como el ángulo resultante entre el norte y la dirección del plano adyacente asociado a un punto determinado. Su criterio de calificación es similar al de la pendiente. Permite conocer la dirección a la que tiende el relieve de análisis.
- **Curvatura:** Se traduce como la variación del cambio de pendiente, con el fin de determinar cimas o valles presentes en el relieve, es decir la convexidad y la concavidad existente.
- **Cuencas Hidrográficas:** A través de un análisis morfométrico del MDT, se pueden calcular las cotas mínimas con las cuales se asocian las líneas de flujo de una red hidrográfica.
- **Cuencas Visuales:** Se determinan áreas visibles desde puntos de observación variados sobre el terreno, estos modelos se utilizan para la determinación de fenómenos con relativo impacto visual.



- **Modelo de sombras o reflectancia:** Simula la apariencia del terreno resultado de proyectar luz a través de una fuente situada en una ubicación específica. Permite apreciar a gran escala el relieve continuo del terreno y detectar con facilidad incompatibilidades resultantes de algún tratamiento erróneo previo.
- **Análisis de radiación solar:** Con el tratamiento de variables como curvatura, orientación, pendiente y el modelo de sombras se puede determinar el impacto de la radiación solar a varias magnitudes, con el fin de determinar escenarios de impactos y afectación para los seres vivos.

En conclusión, una amplia gama de información muy útil se deriva del tratamiento de los modelos digitales del terreno, los cuales se constituyen tal vez en la variable espacial con mayor trascendencia dentro de las ciencias geográficas.

## 2.2 Los Sistemas Láser – LIDAR

LIDAR es un acrónimo cuyas siglas en inglés significa “LIght Detection And Ranging”, es decir *detección y medición de la luz*”.

Los sistemas LIDAR son sistemas de medición de distancias a partir de haces de rayos láser (espectro electromagnético) emitidos a través de un sensor de tipo activo. Es decir, que está constituido por un escáner, el cual generalmente se instala en aeronaves, en medios móviles terrestres o en su defecto de manera estática estacionaria, emitiendo constantemente pulsos de luz infrarroja, cuya longitud de onda se ubica en el rango entre 500 nm y 1500 nm (nanómetros).

El cálculo de las distancias entre el sensor y la superficie reflectante, se deduce a partir de la relación entre el periodo de tiempo transcurrido desde la emisión del pulso de luz hasta su retorno y la constante de la velocidad de la luz.

La aplicación más connotada del sistema LIDAR está relacionada con la cartografía para la obtención veloz y masiva de un barrido de puntos tridimensionales y georeferenciados ubicados en sectores de accesibilidad compleja. Para lo cual, se planifican y ejecutan vuelos aerotransportando sistemas LIDAR soportados por sistemas inerciales y GPS.

### 2.2.1 Planificación y Ejecución de Vuelos LIDAR

El proceso de planificación de vuelos LIDAR será exclusivamente dependiente de las características técnicas o los términos de referencia (TDR) del proyecto cartográfico que se desee ejecutar, en tal sentido, constituye un elemento esencial del plan en conjunto con otros insumos que permitirán ajustar adecuadamente el proyecto a la realidad:

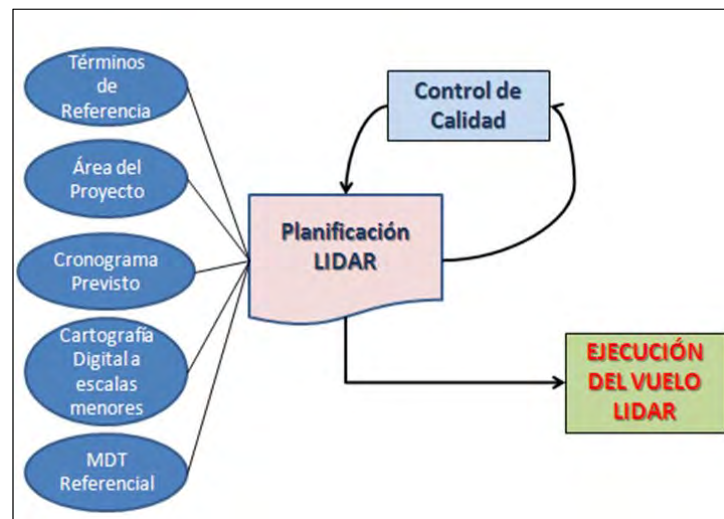
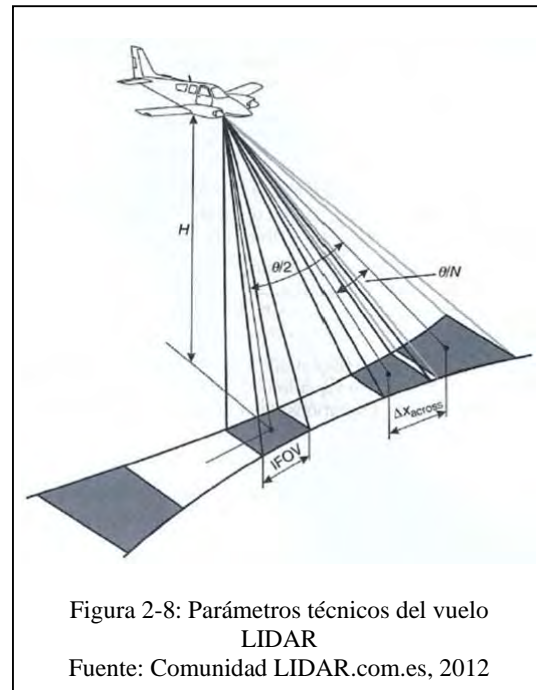


Figura 2-6: Esquema de Planificación de los vuelos LIDAR

El esquema presentado es idéntico al existente para una planificación de un vuelo fotogramétrico, la diferencia radica en los parámetros técnicos presentes en el TDR y su configuración a través de las variables del sensor láser.

Las principales variables técnicas que se deben definir inicialmente en el programa de Planificación del vuelo LIDAR son los siguientes:



- **Altura de vuelo (H):** Depende de las características del sensor y de la aeronave.
- **Ancho de escaneo (Swat width):** Distancia transversal a la línea de vuelo donde los pulsos se reflejan del terreno. Depende de la altura de vuelo y del ángulo de apertura del sensor.
- **Frecuencia de Pulsos:** Número de pulsos que emite el sensor por segundo.
- **Frecuencia del Escaneo:** Número de movimientos (adelante – atrás) que realiza el escáner.
- **Número de puntos en línea de escaneo:** Depende de las características propias de cada sensor en frecuencia de pulsos y frecuencia de escaneo.
- **Densidad de puntos en la línea de vuelo ( $\Delta X_{\text{along}}$ ):** Espaciado entre puntos conforme la aeronave avanza la línea de vuelo. Depende de la velocidad del avión y la frecuencia de escaneo.

- **Densidad de puntos transversales a la línea de vuelo ( $\Delta X_{\text{across}}$ ):** Espaciado entre puntos en dirección ortogonal a la línea de vuelo. Depende del ancho de barrido y del número de puntos por línea de escaneo.
- **Número de Líneas de vuelo:** Dependerá del ancho del proyecto y el porcentaje de traslape entre líneas de vuelo.

Todos estos parámetros se configuran y/o calculan dentro del software de planificación y con el apoyo de cartografía vectorial y modelos digitales del terreno referenciales, con ello se puede obtener el primer documento del Plan de Vuelo LIDAR diseñado para ser presentado al cliente o en su defecto aplicar criterios de control de calidad requeridos.

Una vez que el Plan de Vuelo haya sido aprobado por el cliente, se hayan conseguido todos los permisos operativos del proyecto, y sobre todo existan condiciones meteorológicas aptas, entonces se ejecutará el vuelo. El archivo resultante del Plan, es ingresado al sistema de control del sensor con el fin de dar cumplimiento con los parámetros establecidos.

Los archivos LIDAR crudos son recopilados en grandes dispositivos de almacenamiento, paralelamente también se guardan los archivos crudos GPS e inerciales (IMU), con los que se efectuará el procesamiento y estructuración de la información LIDAR en formato genérico (\*.las), dando como resultado la nube de puntos general producto del reflejo de los retornos en superficies de cualquier tipo (terreno, edificaciones, vegetación alta, vegetación media, vegetación baja, agua, etc.). La nube de puntos resultante deberá ser posteriormente editada, clasificada y filtrada para generar un Modelo Digital del Terreno (MDT) y no un Modelo Digital de Superficies (MDS).

### 2.2.2 EL Formato \*.LAS

“El archivo LAS está configurado para almacenar registros de datos LIDAR u otros tipos de nubes de puntos. Esta información generalmente será estructurada en este formato a partir del software dotado por el proveedor del hardware LIDAR, el cual combina información GPS, IMU y distancias de pulso láser para producir puntos (X, Y, Z). El propósito del formato LAS es dotar de un formato genérico que permita a diferentes herramientas LIDAR de hardware y software trabajar en un formato común” (ASPRS<sup>3</sup>, 2011).

La estructura interna del formato LAS<sup>4</sup>, está definida por cuatro componentes que lo caracterizan:

- *Bloque Público de Cabecera (Public Header Block)*: Contiene la información descriptiva del archivo LAS, esta comprende la información descriptiva del archivo (por ejemplo, usuario, extensión espacial del archivo, software de procesamiento, número de puntos del archivo, valores máximos, medios y mínimos, etc.
- *Registros de Longitud Variable (Variable Length Records)*: Corresponde a información adicional que describa los contenidos del archivo LAS, entre estos se incluye, proyección cartográfica, descripción de rango espectral utilizado, aplicaciones del usuario, metadatos, etc. Su capacidad máxima de almacenamiento corresponde a 65.535 bytes.
- *Registros Extendidos de Longitud Variable (Extended Variable Length Records)*: Permite incluir de información descriptiva adicional en los archivos LAS que

---

<sup>3</sup> The American Society for Photogrammetry and Remote Sensing – ASPRS (Sociedad Americana para la Fotogrametría y Sensores Remotos)

<sup>4</sup> Formato LAS 1.4, definido por la ASPRS en Noviembre de 2011.

superen los 65.535 bytes; incluso como ventaja al respecto, este componente puede vincularse al final del archivo LAS.

- *Registros de Puntos (Point Data Records)*: Es el cuerpo propiamente dicho del archivo LAS, en este se almacenan todos los puntos captados en por el sensor LIDAR, es decir se configuran todos los registros bajo una misma estructura o formato. El archivo LAS soporta once (11) diferentes formatos de registros de puntos, para este análisis particular se describirá el formato “0” u original, adoptado para el almacenamiento de puntos tridimensionales:

**Tabla 2-1: Formato 0 - Registros de Puntos LAS**

ELEMENTO	FORMATO	DESCRIPCIÓN
X	Flotante	Coordenada X del punto registrado sobre el terreno
Y	Flotante	Coordenada Y del punto registrado sobre el terreno
Z	Flotante	Coordenada Z del punto registrado sobre el terreno
Intensidad	Entero corto (sin signo)	Magnitud espectral del retorno del pulso láser
Retorno	3 bits	Es el número de retorno al que corresponde el punto registrado respecto al pulso láser emitido por el sensor
Número de Retornos	3 bits	Es el número total de retornos que posee el pulso láser emitido por el sensor
Dirección del haz de escaneo	1 bit	Representa la dirección con la cual el espejo del sensor se ubica al momento de la emisión del pulso láser. Será positivo cuando el escáner se ubique al lado izquierdo (a lo largo de la trayectoria), o negativo cuando se ubique al derecho
Borde de la Línea de Vuelo	1 bit	Será (1) siempre y cuando el punto coincida con el último registro del barrido láser
Clasificación*	Texto	Consiste en el valor correspondiente a la clasificación del punto registrado sobre la superficie, si un punto “nunca ha sido clasificado”, le corresponderá el valor de (0)
Ángulo de escaneo	Texto	Corresponde al valor (con signo) del ángulo respecto al nadir con el cual fue emitido el pulso con el cual se ha registrado un determinado punto. Será negativo hasta (-90) a la izquierda de la trayectoria, (0) al nadir, y hasta (+90) a la derecha de la trayectoria

ELEMENTO	FORMATO	DESCRIPCIÓN
Dato de Usuario	Texto	Campo utilizado conveniencia del usuario
ID Fuente del Punto	Entero corto (sin signo)	Contiene el valor relacionado con el archivo fuente de sobre el cual se generó el punto tridimensional registrado

\* Valores que se refieren a un estándar ASPRS de clasificación

**Tabla 2-2: Estándar ASPRS para los valores de Clasificación de puntos LIDAR**

VALOR DE CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
0	Creado, nunca clasificado
1	Sin clasificación
2	Terreno
3	Vegetación Baja
4	Vegetación Media
5	Vegetación Alta
6	Edificaciones
7	Ruido
8	Key Point (punto clave)
9	Agua
10	<i>Reservado para definición de la ASPRS</i>
11	<i>Reservado para definición de la ASPRS</i>
12	Puntos sobrepuestos (desechados de la clasificación)
13-31	<i>Reservado para definición de la ASPRS</i>

### 2.2.3 Clasificación y Edición de los datos LIDAR

En el campo correspondiente a la *Clasificación* presente en el formato LAS, originalmente para aquellos datos netamente crudos, el valor por defecto asignado en este campo es siempre de cero (0, creado – nunca clasificado), de tal forma que los datos LIDAR crudos constituyen insumos para la generación de un Modelo Digital de Superficies (MDS). Sin embargo, dentro de este campo se almacenan los valores correspondientes a las superficies

sobre la cual el pulso láser retornó al receptor, por ejemplo, terreno desnudo, vegetación, infraestructura, construcciones, nubes, etc., (Tabla 2-2), de tal forma que una vez efectuado el proceso de clasificación sea factible filtrar aquellos datos que únicamente correspondan a suelo desnudo y consecutivamente generar un Modelo Digital del Terreno.

Con este antecedente, existen algoritmos y métodos de clasificación y filtrado de información LIDAR, que en cierta manera, ayudan a discernir automáticamente la categoría del punto editado. En todo caso, es importante acotar que durante el proceso de clasificación y filtrado de información LIDAR, siempre habrá la necesidad de evaluar manualmente todos los algoritmos automáticos ejecutados, más aún cuando la orografía del relieve sea abrupta y la densidad de la cobertura vegetal sea amplia.

Para que sea aplicable cualquier método automático de clasificación LIDAR, se debe disponer de la siguiente información de partida presente conforme el formato LAS (Ver Figura 2-8):

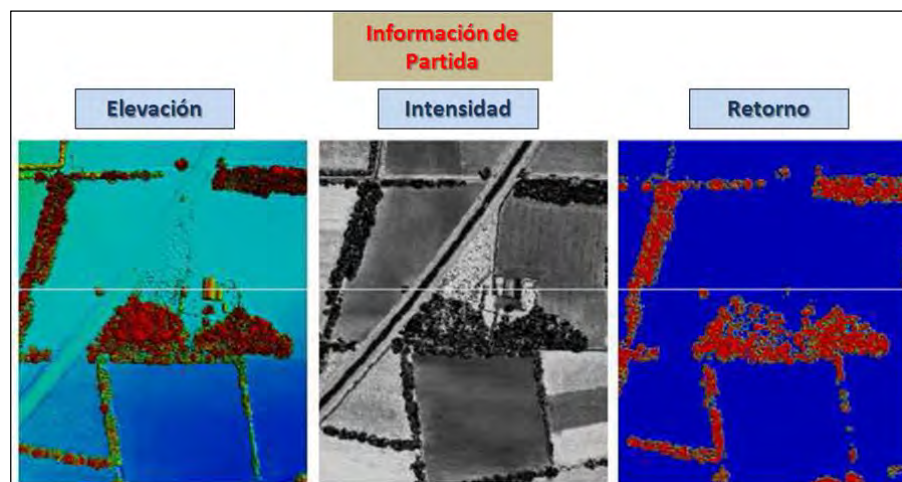


Figura 2-9: Información LIDAR que se analiza en los algoritmos de clasificación

Con el tratamiento de la información detallada, es posible aplicar varios filtros de clasificación LIDAR existentes, dependerá de la experticia del editor para utilizar un



método específico o un conjunto de métodos, sin embargo, es necesaria la revisión manual de los resultados, como proceso integrado de Control de Calidad.

### ***2.2.3.1 Filtros Morfológicos***

A través de la morfología matemática, permite extraer formas concretas de regiones, los filtros morfológicos se dividen en:

- **Filtro de Erosión:** Implica disminuir o reducir el carácter continuo de un conjunto de puntos, eliminando todas aquellas puntos de estructuras “pequeñas”.
- **Filtro de Dilatación:** Implica aumentar o ampliar el carácter continuo de un conjunto de puntos, generalizando su estructura macro.
- **Filtro de Apertura:** (Erosión + Dilatación), elimina objetos menores y consecutivamente amplía las grandes estructuras, se puede considerar un efecto de suavizado.
- **Filtro de Cierre:** (Dilatación + Erosión), amplía la continuidad de las estructuras, seguidamente realza las formas particulares de cada uno de sus componentes.

### ***2.2.3.2 Filtros basados en la pendiente***

Este tipo de filtro, puede catalogarse como un filtro focal de los puntos crudos del MDS, ya que aplica un análisis similar al *Vecino más cercano (Nearest neighbor)*. En este algoritmo, para cada punto analizado se calcula la pendiente existente entre sus vecinos y para aquella pendiente parcial que supere el valor del umbral predefinido, se excluye al punto vecino analizado de la discriminación del terreno y se lo categoriza como otro objeto. Para aplicar este método dependerá que la pendiente promedio del terreno sea constante y no sufra alteraciones persistentes.

### **2.2.3.3 Filtros de Densificación Progresiva**

En este método se crea una red temporal de triángulos (TIN), lo más homogénea posible; para aquellos puntos internos de cada triángulo se efectúa un análisis específico de discriminación con parámetros como ángulos máximos de elevación o depresión y distancias máximas de proyección, clasificando así los puntos del terreno como aquellos que no superen estas tolerancias.

### **2.2.3.4 Filtros de Segmentación**

Los filtros de segmentación se basan en la idea de agrupar la nube de puntos en segmentos comunes. Cada segmento ampliará su extensión en la medida que los residuos de cada punto con respecto al plano común ajustado del segmento se encuentren dentro de las tolerancias establecidas. Además, inicialmente los segmentos que se generan son resultado de la interpretación de información complementaria presente en el formato LAS como la intensidad y el retorno.

### **2.2.3.5 Filtros basados en Superficies**

En este método se deben plantear modelos de tendencia de superficies matemáticas predefinidas, para el cual es necesario analizar los residuos existentes para cada punto filtrado y clasificarlo en función de su dispersión respecto a los estadísticos máximos.



Figura 2-10: MDT resultado del filtrado de los datos crudos del MDS

#### 2.2.4 Aplicaciones del Sensor LIDAR

Con el desarrollo vertiginoso de los sistemas LIDAR, la aparición de métodos automatizados y diversos programas especializados en su tratamiento, su aplicación ha derivado en amplios campos técnicos con implicaciones muy significativas para la toma de decisiones; cabe resaltar algunas ramas beneficiarias de esta tecnología como: la cartografía, gestión de riesgos, medio ambiente, obras civiles, arqueología, patrimonio y restauración, etc. En conclusión, es posible resumir el uso del LIDAR en los siguientes proyectos puntuales:

- **LIDAR en la Gestión de Riesgos:** Generación de Modelos Digitales del Terreno de alta densidad para generar análisis de perfiles y modelamiento de deslizamientos de suma confiabilidad.
- **LIDAR en Silvicultura:** Discriminación de bosques, cálculos de biomasa y demanda de dióxido de carbono, caracterización de especies vegetales.
- **LIDAR en Túneles:** Obtención de perfiles para mantenimiento de obras, levantamiento rápido y preciso de obras civiles.
- **LIDAR en Patrimonio:** Planes y prioridades de restauración. Escaneo a gran detalle principalmente de obras arquitectónicas y de escultura.
- **LIDAR en Ordenamiento Territorial:** Gestión del territorio y evaluación de diversos escenarios con la generación de modelos digitales del terreno rápidos y su análisis conexo.

### 2.3 Interpolación Espacial

La interpolación espacial se puede considerar en esencia como la conversión de una variable discreta hacia una variable continua, es decir, transformar los valores puntuales de

una variable, en una superficie continua de información relacionada con dicha variable. O se refiere estrictamente a *“un procedimiento que permite calcular el valor de una variable en una posición del espacio (punto no muestral, con un valor estimado), conociendo los valores de esa variable en otras posiciones del espacio (puntos muestrales con valores reales)”*, (Bosque, 1997).

Existen procedimientos o métodos de interpolación espacial que difieren mucho entre sí, y pueden agregarse dependiendo entre otras razones: de la fuente de datos, del producto a obtenerse, de las relaciones de vecindad entre los datos de partida, etc. Sin embargo, la mayoría de estudios referentes interpolación espacial, la categorizan de acuerdo al método matemático del análisis de los datos, con ello existen dos vertientes muy definidas de métodos de interpolación espacial: los métodos determinísticos y los métodos estocásticos.

### **2.3.1 Métodos Determinísticos**

Son diversos tipos de métodos matemáticos estáticos para la estimación de valores de una variable, donde las entradas producen con certeza únicas salidas. Su planteamiento está basado en la interacción de variables independientes que determinan el comportamiento de una o algunas variables dependientes (modelo de la realidad); sin embargo, mientras más variables participan en la resolución del método, más complejo se torna el proceso de estimación generando un nivel de incertidumbre característico de los métodos estocásticos o probabilísticos.

Cada uno de este tipo de métodos tiene una estructura de estimación definida, la cual efectúa el cálculo de la variable “tridimensional”

A continuación, se describen algunos métodos de interpolación determinísticos que permiten calcular valores estimados y continuos de una variable a partir de datos conocidos de la misma. Específicamente, se detallarán los métodos aplicados para la generación de Modelos Digitales del Terreno (MDT), cuya variable que se plantea como objeto de estudio es la altura.

### **2.3.1.1 Polígonos de Thiessen**

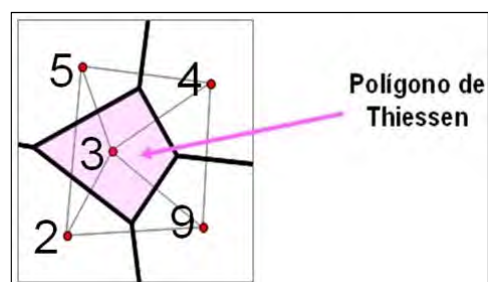


Figura 2-11: Construcción de un Polígono de Thiessen

Es un método determinístico muy simple, el cual asigna a la superficie continua únicamente los valores de los datos conocidos de una variable, estableciendo un área de influencia en cuya superficie la variable mantendrá un único valor constante, el valor del dato conocido más cercano. Este método es exacto pues efectivamente utiliza los valores de los datos conocidos sin ser estos alterados o modificados, sin embargo, no genera confianza en su uso ya que a lo largo de toda la superficie presenta variaciones bruscas ajenas al comportamiento real de la altura.

### **2.3.1.2 Triangulación**

El método determinístico de la triangulación consiste en la construcción de una red de triángulos a lo largo de toda la superficie en la cual se distribuyen los puntos de altura conocida. Cada triángulo está construido por vértices que corresponden a puntos con

alturas conocidas dispuestos relativamente cerca, que sin embargo, para adecuarse al método deberán satisfacer las condiciones de Delauney<sup>5</sup>.

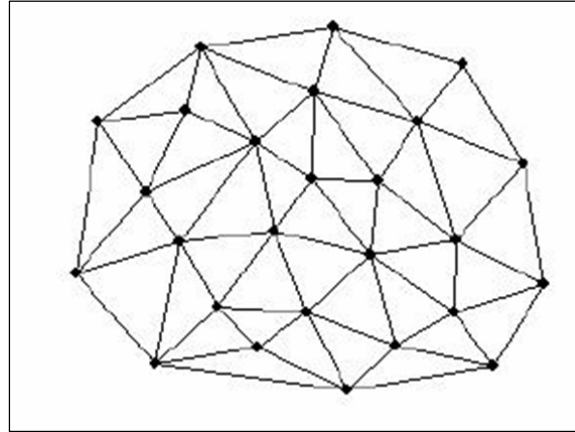


Figura 2-12: Triangulación de Delauney  
Fuente: Ramos, 2004

Con la red de triángulos dispuesta, es posible calcular los puntos de altura estimada a partir de la ecuación del plano que subtiende cada triángulo:

**Ecuación 2-2: Cálculo del plano que subtiende un triángulo de Delauney**

$$\mathbf{Z} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{Y} + \mathbf{B} \cdot \mathbf{X} + \mathbf{C}$$

La siguiente es una ecuación paramétrica, cuyos valores de ( $A$ ,  $B$  y  $C$ ), se determinan a partir de los valores conocidos ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) de los vértices del triángulo que forma el plano, con ello, para cualquier punto que incida dentro del plano calculado, se puede derivar su altura ( $z$ ) a partir de su posición  $x$ ,  $y$ .

---

<sup>5</sup> “Los triángulos a conformarse deberán aproximarse a triángulos equiláteros, cuyos ángulos internos se aproximen a los 60°, para lo cual se generarán los polígonos de Thiessen en torno a cada punto conocido, para posteriormente trazar las líneas que unan los puntos conocidos que a la vez sean perpendiculares a un lado del polígono de Thiessen” (Kidner y Jones, 1991).

### 2.3.1.3 Inversa Distancia

Este método aplica como supuesto inicial que existirá mayor similitud en las alturas de aquellos puntos que se encuentren cercanos entre sí, y que esta similitud disminuirá en tanto en cuanto la distancia aumente entre los diferentes puntos de altura conocida.

La estimación del valor de ( $Z$ ) para un punto de altura desconocida, se calcula a través de la determinación estadística de la media ponderada de las alturas de los puntos circundantes, cuyos pesos para la ponderación se obtienen a raíz del inverso de las distancias entre cada punto conocido en relación al punto desconocido.

Matemáticamente, se establece la siguiente ecuación para el cálculo de la Inversa Distancia:

Ecuación 2-3: Media ponderada de alturas (Inversa Distancia)

$$Z_i = \frac{\sum_j (Z_j \cdot W_{ij})}{\sum_j W_{ij}}$$

$$W_{ij} = \frac{1}{D_{ij}^a}$$

Donde:

$Z_i$ : Valor estimado de altura en el punto  $i$ , media ponderada de alturas conocidas de puntos

$Z_j$ : Valores conocidos de alturas en todos los puntos  $j$

$W_{ij}$ : Pesos de ponderación, distancia inversa entre el punto  $i$  respecto a los demás puntos  $j$

$D_{ij}$ : Distancia entre el punto  $i$  y los demás puntos  $j$  de altura conocida

∴ Factor exponencial que oscila entre el valor de 1 en adelante, mientras el valor del exponencial crece, la influencia de la altura de los puntos más alejados se reduce considerablemente, dando prevalencia a las alturas conocidas más cercanas al punto en el cual se realiza el cálculo. Con ello, se evidencia cierta correspondencia con el principio de autocorrelación espacial característico de los métodos de interpolación estocásticos.

Durante su aplicación, es recomendable no utilizar todos los puntos de alturas conocidas dispuestos en toda el área de interpolación, para ello, se deberá reducir a base de un “radio de acción predefinido”, o en su defecto, por un número mínimo de puntos participantes cuya altura sea conocida, evitando así la influencia global de la variable.

#### ***2.3.1.4 Superficies de mínima curvatura (Spline)***

Es un método determinístico en el cual, a partir de los valores conocidos de altura ( $Z$ ), se puede ajustar una superficie  $Z$  utilizando métodos de regresión matemática, en los cuales prevalece el ajuste de los mínimos cuadrados, es decir aquel en el cual sus desviaciones o variaciones son las mínimas.

El método de regresión calcula varios parámetros que se ajustarán a la ecuación que puede ser lineal, cuadrática, cúbica o de mayor orden, sin embargo, su confiabilidad en el ajuste siempre dependerá de la cantidad de puntos de altura conocida que se dispongan. Otro parámetro que se deberá considerar es el coeficiente de correlación, el cual mientras más cercano a uno (1) sea, mejor será el ajuste y las desviaciones serán mínimas.

La limitación del método spline o de mínima curvatura radica en que su influencia se extiende hacia toda el área en la cual subtienden los puntos conocidos, generando un efecto global en la estimación, que reduce así la confiabilidad de los resultados obtenidos. Sin



embargo, actualmente los sistemas de interpolación permiten parametrizar el área de influencia de la estimación, reduciendo así la tendencia global del método y garantizando mejores resultados.

**Ecuación 2-4: Ejemplo de un ajuste de mínima curvatura sobre una superficie cúbica (Bosque, 1997)**

$$Z = 340 - 54x - 73y + 15x^2 + 2xy + 8,5y^2 - 1,1x^3 + 0,79x^2y - 0,9xy^2 - 0,1y^3$$

En este ejemplo la superficie presenta diez (10) coeficientes, con lo cual, al menos se requirieron 10 puntos conocidos para su determinación, sin embargo, para obtener un coeficiente de correlación cercano a uno (1), se requiere un considerable incremento en la cantidad de puntos conocidos.

Para estimar la altura ( $Z$ ) de un punto cualquiera, a partir de sus coordenadas ( $x, y$ ), se deberán aplicar los coeficientes determinados en la superficie de regresión.

### **2.3.2 Métodos Estocásticos**

Son métodos que describen la forma que adquiere un conjunto de datos (variable) observados cuyo comportamiento se supone aleatorio.

Los métodos estocásticos, representan fenómenos compuestos por eventos perfectamente predecibles como por otros eminentemente aleatorios, por tanto figurarán en escena siempre factores de probabilidad que determinarán el comportamiento de una variable.

*“Cualquier desarrollo temporal que pueda ser analizable en términos de probabilidad merece ser denominado un proceso estocástico”, (Kac, M.; Nelson, E., 1976 – 1985)*

### 2.3.2.1 Método Kriging

Este método es reconocido en el mundo de las ciencias, como aquel en el que mejores resultados de estimación se obtienen, puesto que dentro de su algoritmo de definición ofrece el cálculo de la varianza del error de predicción.

El método de Kriging parte del supuesto que en toda la distribución espacial de los puntos observados existe autocorrelación espacial<sup>6</sup>, es decir, que cuando disponemos de un punto con un valor conocido para una determinada variable, la variación de ésta será menor en el entorno más cercano a dicho punto, sin embargo, conforme las distancias se incrementen respecto al punto conocido, la variación de la variable será mucho mayor.

En el caso del proceso de interpolación de alturas, se puede inferir de manera análoga al método determinístico de Inversa Distancia, que para estimar el valor de ( $Z$ ) definido por una serie de puntos observados en una superficie particular, la estimación considerará una media ponderada de todas las mediciones de alturas observadas. Para lo cual se calcularán los factores de ponderación a través de combinaciones lineales, que sustentarán la estimación a través de la media ponderada.

Ecuación 2-5: Media ponderada para estimación Kriging

$$\hat{Z}_{(s_0)} = \sum_{i=1}^n \lambda_i * Z_{(s_i)}$$

Donde:

$\lambda_i$ : Factores de ponderación para cada punto de altura conocida  $i$ .

---

<sup>6</sup> “Todas las cosas se parecen, pero las cosas más próximas en el espacio se parecen más”. (Tobler, 1970)

Las condiciones para el cálculo de los factores de ponderación dentro del método Kriging siempre serán:

- $\hat{Z}_{(s_0)}$  sea insesgado, es decir, su distribución sea normal.
- $Var(\hat{Z}_{(s_0)} - Z_{(s_0)})$ , sea la mínima.

Con estos antecedentes, primeramente los algoritmos de cálculo Kriging precisan definir el variograma experimental con el cual se podrá conocer el nivel de autocorrelación espacial de las alturas ( $Z$ ) y posteriormente satisfacer matemáticamente las condiciones definidas, a fin de construir los sistemas de ecuaciones para el cálculo de los factores de ponderación.

### **2.3.2.2 Variograma Experimental**

El variograma, “ $\gamma(h)$ , es una función matemática que mide la variabilidad, es decir, la desemejanza de una variable, cuando sus valores se observan en puntos que están separados una distancia concreta”, (Bosque, 1997).

**Ecuación 2-6: Definición de Variograma**

$$\gamma(h) = \frac{1}{2 * NP(h)} \sum_{i=1}^{NP(h)} (Z_i - Z_{i+h})$$

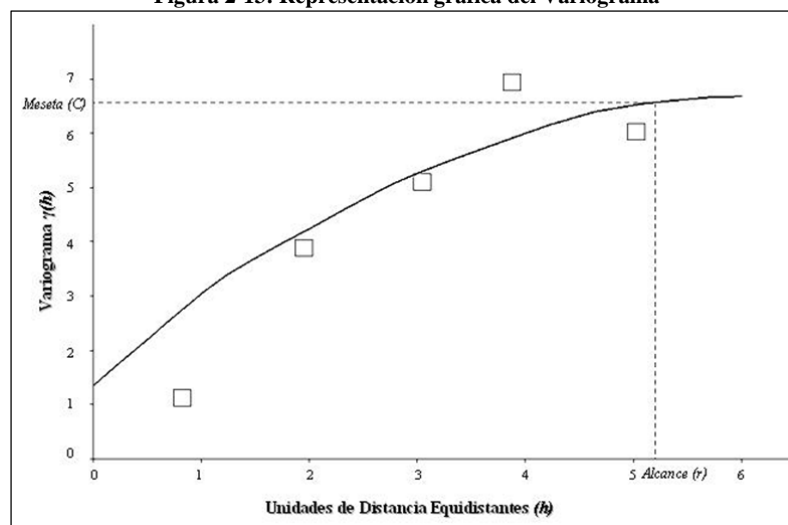
Donde:

$NP(h)$ : número de parejas de valores distantes, vector  $h$ .

$Z_i, Z_{i+h}$ : la pareja de valores temáticos en los puntos  $i, i+h$ .

Además de ser una expresión matemática, el variograma puede ser graficado, generando las parejas de puntos con los datos reales que estén separados en 1, 2, 3,....., etc, unidades de distancia a lo largo de una dirección, ya sea norte – sur, este – oeste o cualquier otra. En el eje de las abscisas, se ubican los valores de  $h$  o unidades de distancia, mientras que en las ordenadas se ubican los valores del variograma  $\gamma(h)$ , obteniéndose así un gráfico de dispersión.

**Figura 2-13: Representación gráfica del Variograma**



Fuente: Bosque, 1997

Del gráfico de dispersión resultado de la construcción del variograma, se pueden denotar componentes fundamentales del mismo:

- ◆ *Alcance (r)*: distancia máxima sobre el eje de construcción del variograma donde existe autocorrelación espacial entre los puntos muestrales.
- ◆ *Meseta (C)*: valor de  $\gamma(h)$  correspondiente al alcance  $r$ , coincide con la varianza estadística de la variable.

- ◆ La nube de puntos dispersos y la línea tendencial que seguirían los mismos, dicha línea, constituirá en el variograma teórico al que se ajustaría el método Kriging para determinar los posteriores puntos estimados.

Es importante acotar que la definición de un variograma se ajusta siempre a una dirección específica, si es que la esencia del variograma es similar en diferentes direcciones, se puede llamar un *variograma isotrópico*, mientras si se detectan variaciones bruscas en la definición del variograma en diferentes direcciones, corresponde entonces a un *variograma anisotrópico*, en el cual además de la distancia, la dirección influye en la autocorrelación espacial de una variable.

El variograma experimental será construido siempre a base de los puntos de variable conocida, sin embargo, para realizar las estimaciones utilizando Kriging, se necesita reducir el variograma a una función matemática (*variograma teórico*) para que la varianza sea evaluada a cualquier distancia. Es decir, se deberá seleccionar el modelo de variograma para obtener el mejor resultado posible de ajuste, el mismo que a diferencia del método determinístico de Inversa Distancia, presentará ajustes cuando la dirección cambie en el caso de los modelos anisotrópicos.

### ***2.3.2.3 Variogramas Teóricos***

Son funciones matemáticas que caracterizarán la variación de una variable en un punto donde no existan valores observados de la misma.

A continuación se detallan algunos variogramas teóricos comúnmente empleados:

- *Modelo esférico o Matheron*

**Ecuación 2-7: Definición del variograma esférico**

$$\gamma(h) = C \left[ \frac{3h}{2r} - \frac{h^3}{2r^3} \right]$$

Donde:

$r$ : Alcance, resultado de la construcción del variograma experimental.

$C$ : Meseta, resultado de la construcción del variograma experimental.

$h$ : Unidades de distancia equidistantes.

- *Modelo exponencial*

**Ecuación 2-8: Definición del variograma exponencial**

$$\gamma(h) = C \left( 1 - e^{-\frac{h}{r}} \right)$$

- *Modelo Lineal*: Aunque existen muchas variaciones con respecto al polinomio que se utilice, a continuación se representa el modelo lineal de primer orden.

**Ecuación 2-9: Definición del variograma lineal**

$$\gamma(h) = a \cdot h$$

Donde:

$\alpha$ : Pendiente de la recta ascendente

### 2.3.2.4 Estimación Kriging Ordinario

Existen varios métodos de estimación Kriging, que básicamente se ajustan dependiendo del nivel de información que obtenga la variable de estimación, por ejemplo, si se conoce la media grupal, la estacionariedad de la variable, las varianzas de estimadores, entre otros; sin embargo, el Kriging Ordinario radica su concepto en el hecho que es necesario demostrar todas estas condiciones propias de la variable a estimar, es decir, se parte del supuesto que no se conoce la media, la estacionariedad y se deberá minimizar al máximo las varianzas del estimador.

Con este precepto, el principal objetivo del estimador Kriging consiste en *garantizar la varianza mínima de predicción*. (Samper y Carrera, 1990).

A continuación se presentan varias ecuaciones que deducen el cálculo de la estimación Kriging Ordinario.

**Ecuación 2-10: Criterios de partida Kriging Ordinario**

$$V[\hat{Z}_{(s_0)} - Z_{(s_0)}] \text{ mínimo}$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \text{ criterio de insesgamiento, dist. normal de la variable}$$

**Ecuación 2-11: Propagación de las varianzas**

$$V[\hat{Z}_{(s_0)} - Z_{(s_0)}] = V[\hat{Z}_{(s_0)}] - 2COV[\hat{Z}_{(s_0)}; Z_{(s_0)}] + V[Z_{(s_0)}]$$

Covarianza valor estimado con valor real

**Ecuación 2-12: Equivalencia de varianzas**

$$V[\hat{Z}_{(s_0)}] = V\left[\sum_{i=1}^n \lambda_i Z_{(s_i)}\right] = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j COV[Z_{(s_i)}; Z_{(s_j)}]$$

**Ecuación 2-13: Equivalencia de covarianzas**

$$COV[\hat{Z}_{(s_0)}; Z_{(s_0)}] = COV\left[\sum_{i=1}^n \lambda_i Z_{(s_i)}; Z_{(s_0)}\right] = \sum_{i=1}^n \lambda_i COV[Z_{(s_i)}; Z_{(s_0)}]$$

Con el fin de facilitar la notación matemática de las covarianza entre los puntos conocidos y por estimar, se empleará la siguiente denominación:

$$COV[Z_{(s_i)}; Z_{(s_j)}] = C_{ij}$$

$$V[Z_{(s_0)}] = \sigma^2$$

Aplicando a la covarianza del valor estimado, se tiene:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i COV[Z_{(s_i)}; Z_{(s_0)}] = \sum_{i=1}^n \lambda_i C_{i0}$$

Los valores de la covarianza son significativos en este proceso, puesto que se calculan a partir del principio de autocorrelación espacial, es decir, a raíz del variograma experimental o en su defecto del variograma teórico adoptado según corresponda el caso, como se detallará más adelante.

**Ecuación 2-14: Reemplazo de notación en la propagación de varianzas**

$$\sigma_k^2 = V[\hat{Z}_{(s_0)} - Z_{(s_0)}] = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j C_{ij} - 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i C_{i0} + \sigma^2$$



Una vez con la ecuación expresada en función de las covarianzas, se aplica la minimización de la misma, considerando el criterio de insesgamiento (distribución normal) de la variable, para lo cual se debe aplicar multiplicadores de Lagrange.

**Ecuación 2-15: Multiplicador de Lagrange previo a la minimización**

$$\sigma_k^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j C_{ij} - 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i C_{i0} + \sigma^2 + \left[ 2\mu \left( \sum_{i=1}^n \lambda_i - 1 \right) \right]$$

Donde:

$$2\mu \left( \sum_{i=1}^n \lambda_i - 1 \right) = 0; \text{ Multiplicador de Lagrange}$$

**Ecuación 2-16: Minimización de la ecuación (derivación parcial respecto a cada factor de ponderación  $\lambda_i$  y al multiplicador  $\mu$ )**

Respecto a  $\lambda_1$ :

$$\frac{\delta(\sigma_k^2)}{\delta\lambda_1} = \frac{\delta \left[ (\lambda_1^2 C_{11} + 2\lambda_1 \sum_{j=2}^n \lambda_j C_{1j} + \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j C_{ij}) - 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i C_{i0} + \sigma^2 + [2\mu(\sum_{i=1}^n \lambda_i - 1)] \right]}{\delta\lambda_1} = 0$$

$$2\lambda_1 C_{11} + 2 \sum_{j=2}^n \lambda_j C_{1j} - 2C_{10} + 2\mu = 0$$

$$2 \sum_{j=1}^n \lambda_j C_{1j} - 2C_{10} + 2\mu = 0$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j C_{1j} + \mu = C_{10} \quad (1)$$

Respecto a  $\lambda_2$ :

$$\frac{\delta(\sigma_k^2)}{\delta\lambda_2} = 2 \sum_{j=1}^n \lambda_j C_{2j} - 2C_{20} + 2\mu = 0$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j C_{2j} + \mu = C_{20} \quad (2)$$

... Respecto a  $\lambda_n$ :

$$\frac{\delta(\sigma_k^2)}{\delta\lambda_n} = 2 \sum_{j=1}^n \lambda_j C_{nj} - 2C_{n0} + 2\mu = 0$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j C_{nj} + \mu = C_{n0} \quad (3)$$

Finalmente respecto a  $\mu$ :

$$\frac{\delta(\sigma_k^2)}{\delta\mu} = 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i - 2 = 0$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (4)$$

Con ello, a partir de las ecuaciones (1), (2), (3), y (4) se obtiene un sistema de ecuaciones que debe ser resuelto matricialmente con la siguiente expresión:

**Ecuación 2-17: Sistema de ecuaciones para resolver los factores de ponderación**

$$\begin{pmatrix} C_{11} & \cdots & C_{1n} & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ C_{n1} & \cdots & C_{nn} & 1 \\ 1 & \cdots & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ \mu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{10} \\ \vdots \\ C_{n0} \\ 1 \end{pmatrix}$$

**Ecuación 2-18: Ecuación matricial para los factores de ponderación**

$$C_{ij} \cdot \lambda = C_{i0}$$

$$\lambda = C_{ij}^{-1} \cdot C_{i0}$$

Donde:

$\lambda$ : Matriz de incógnitas

$C_{ij}^{-1}$ : Matriz inversa de coeficientes

$C_{i0}$ : Matriz de términos independientes

Es importante señalar, que todo este análisis matemático preliminar corresponde al sistema de ecuaciones que deberán ser resueltos para calcular los factores de ponderación que inciden en la estimación de un único el valor de Z, es decir, para calcular los valores íntegros en una superficie continua, se deberá repetir este andamiaje de ecuaciones para cada punto regular desconocido que pueda constituir la superficie raster del Modelo Digital del Terreno (MDT).

Con ello, finalmente se resume que los elementos componentes de las matrices son covarianzas calculas básicamente a partir de la construcción de variograma experimental y de la adopción del variograma teórico elegido, siendo finalmente elementos de la matriz de coeficientes, las covarianzas resultantes del variograma experimental; mientras que los elementos de la matriz de términos independientes se ajustará a los valores calculados resultado del variograma teórico elegido.

Resuelto el sistema de ecuación, fácilmente se puede estimar el valor de Z desconocido contemplando la mínima variación entre el valor estimado y su respectivo valor real (Ver Ecuación 2-5).

### **3. Metodología para la generación de Modelos Digitales del Terreno (M.D.T) determinísticos y estocásticos.**

En términos generales, el presente estudio se deriva en la generación de Modelos Digitales del Terreno previo tratamiento de información LIDAR, mediante el uso de diversas herramientas SIG dentro de su desarrollo. Como se verá, existirán varios puntos críticos que demostrarán en cierto sentido, que la dependencia de una herramienta SIG específica para la consecución de un objetivo puntual, se ve limitada ante las diferentes potencialidades que los paquete SIG (propietario y libre) puede ofrecer, es decir, que dependiendo de los modelos de datos, formatos, algoritmos, modelamientos cartográficos, entre otros, se podrá adecuar al uso de una herramienta SIG particular.

Con este antecedente, es fundamental conocer el origen puntual de la información fuente y posteriormente el desarrollo propio del esquema metodológico aplicado para la generación y posterior comparación de los Modelos Digitales del Terreno determinísticos y estocásticos en la parroquia Tumbabiro, provincia de Imbabura.

#### **3.1 El Programa SIGTIERRAS**

En el marco de ejecución del Programa SIGTIERRAS y su proyecto emblemático para la “Toma de Fotografía Aérea Digital y Elaboración de Ortofotografías 1:5000 a nivel nacional”, además del producto cartográfico correspondiente a la ortofotografía, y como resultado del ajuste estereoscópico de los modelos de fotografía digital tomada, se entregó: la nube de puntos tridimensionales y el Modelo Digital del Terreno generado con estos.

Sin embargo, el Consorcio Stereocarto – Aeromapa, como contratista ejecutor del 66% del territorio nacional, dentro de su oferta técnica y con el fin de obtener los datos altimétricos para la generación del MDT, planteó la adquisición de información LIDAR en ciertos sectores

inmersos en su área contractual, de los cuales, la parroquia Tumbabiro en la provincia de Imbabura, constituía uno de ellos y corresponde a donde se realiza el presente proyecto académico.

Las características técnicas de la información LIDAR adquirida en la parroquia Tumbabiro, está circunscrita a los términos de referencia para la toma de fotografía aérea digital, contemplando las siguientes especificaciones:

- *Sistema:* ALS 60 con GPS/IMU incorporado
- *Altura de vuelo:* (3.000 – 5.000) m., sobre el terreno
- *Pulsaciones:* aprox. 50.000 pulsos/segundo
- *FOV:* 10° - 75°
- *Retornos:* 4
- *Clasificación:* Unclassified
- *Densidad de puntos:* 1 pto/ 3m<sup>2</sup>
- *Traslape entre líneas:* 50%

Posteriormente a la captura de la información LIDAR, la contratista ajustó las líneas voladas y procesó los datos conjuntamente con la información GPS/IMU a fin que sea considerada como insumo confiable de datos altimétricos y como punto de partida del análisis de los diferentes métodos de interpolación a generarse.

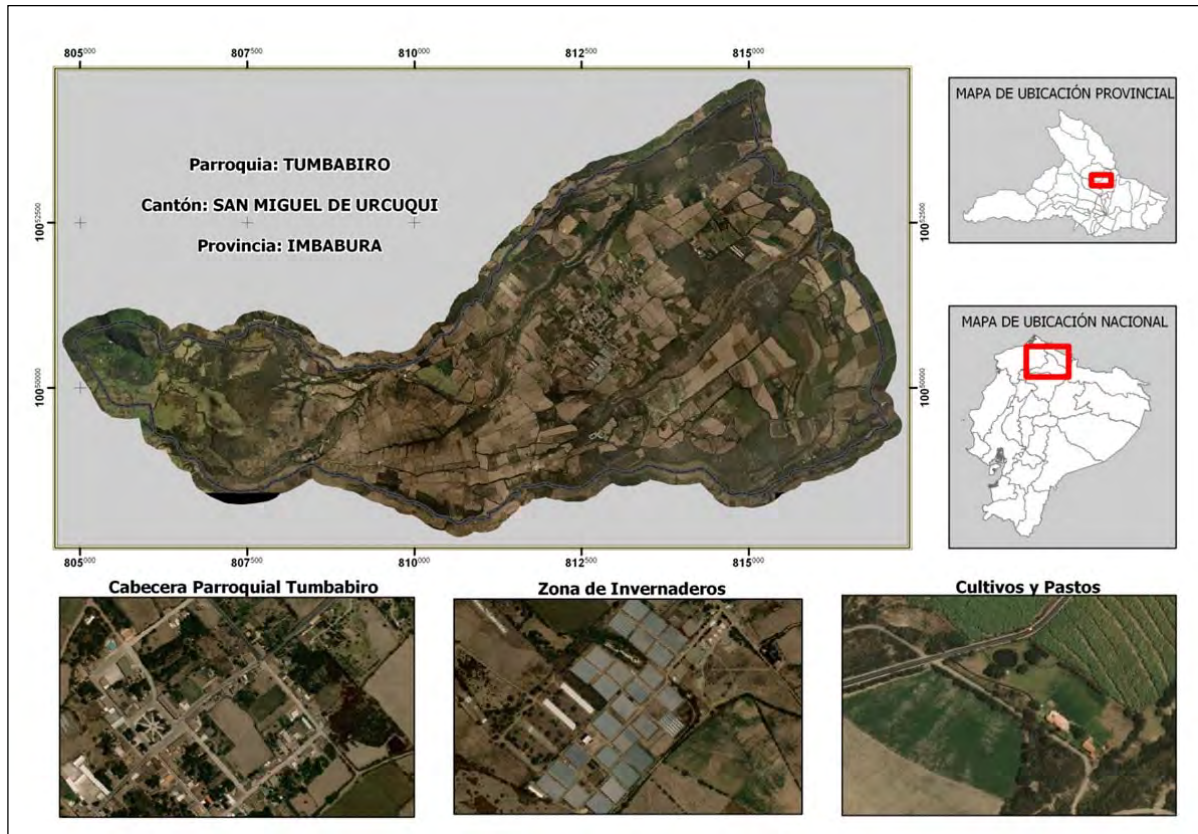


Figura 3-1: Alcance del proyecto de tesis, parroquia Tumbabiro  
Fuente: SIGTIERRAS, 2012

### 3.2 Proceso metodológico de generación de M.D.T.

La figura que se muestra a continuación, corresponde al flujo de procesos que permitió la obtención de los modelos digitales del terreno (MDT) determinísticos y estocásticos a partir de datos LIDAR en la parroquia de Tumbabiro.

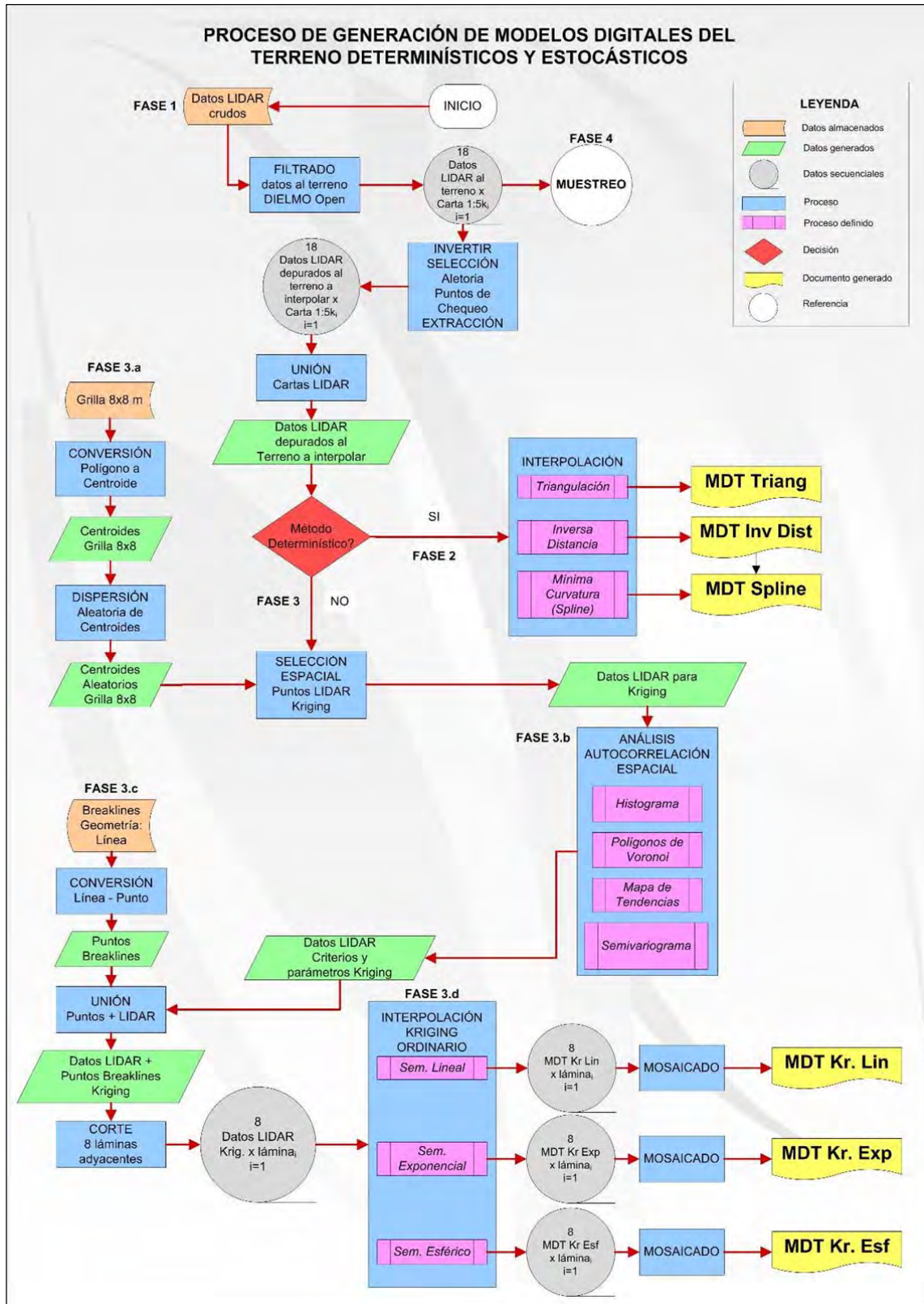


Figura 3-2: Flujo de procesos para la generación de Modelos Digitales del Terreno en Tumbabiro



### 3.3 Tratamiento de datos LIDAR

Como se puede visualizar en la figura 3-2; el punto de partida del presente estudio corresponde a lo descrito como **FASE 1**, que esencialmente se refiere al procesamiento de la información LIDAR cruda entregada en el marco del Programa SIGTIERRAS.

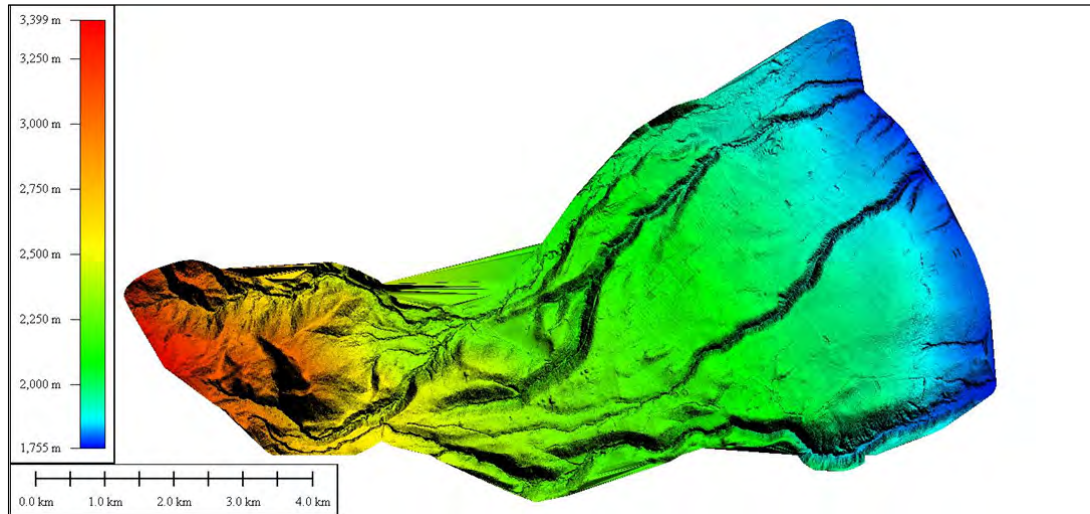


Figura 3-3: Datos LIDAR crudos parroquia Tumbabiro  
Fuente: SIGTIERRAS, 2012

Al tratarse de información LIDAR cruda, significa que dicha información espacialmente se encuentra ajustada absoluta y relativamente, pero que aún no se dispone de la clasificación a la que corresponde cada punto de la nube en concordancia al formato LAS y el dominio de atributos relacionados con la clasificación (Ver Tabla 2-2).

El ajuste relativo consiste en la orientación común de las líneas de vuelo traslapadas generadas como parte del proceso de captura de la información LIDAR, el mecanismo es similar al utilizado en fotogrametría, es decir a través de la correlación entre puntos homólogos, sin embargo, el sistema LIDAR no produce datos continuos sino discretos, es decir, que existe un nivel de incertidumbre para la selección e identificación de los puntos homólogos. Igualmente, el ajuste absoluto consiste en llevar a terreno toda la ubicación

del proyecto LIDAR, se lo logra fundamentalmente a través de puntos de control observados en campo sobre elementos identificables, presentándose también el problema posterior de identificación de los detalles donde se observaron los puntos de control sobre una superficie discreta.

Al presentar este inconveniente con la identificación de los puntos de control y puntos homólogos sobre una superficie discreta, lo que usualmente se estila es generar una superficie interpolada utilizando los datos de intensidad existentes en la cobertura cruda LIDAR, resultando una falsa imagen sobre los detalles identificables, facilitando el proceso de pinchado y posterior correlación.

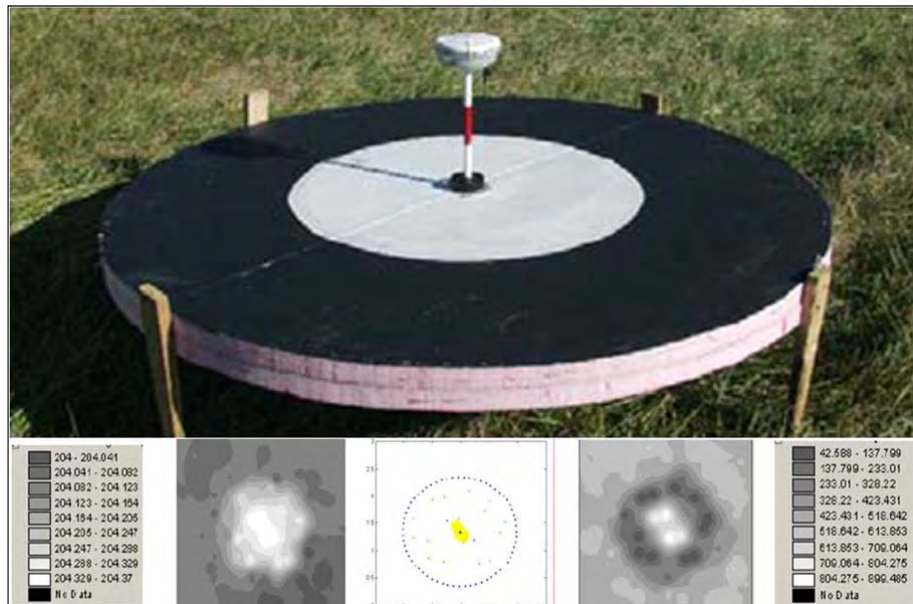


Figura 3-4: Generación de una falsa imagen de Elevación y de Intensidad a partir de datos LIDAR  
Fuente: Csanyi, 2006<sup>7</sup>

Finalmente, se generó la información LIDAR cruda correspondiente a la parroquia de Tumbabiro, cantón San Miguel de Urcuquí, provincia de Imbabura, la misma que se categorizó

<sup>7</sup> Csanyi, N. (2006). *Precision LiDAR Mapping of Transportation Corridors Using LiDAR-Specific Ground Targets*. Trabajo presentado en el Simposio de Sistemas de Información Geoespacial para transporte. Columbus – EEUU.

espacialmente en archivos (\*.las) de acuerdo a la clasificación cartográfica de hojas topográficas 1:5000, bajo estándar del Instituto Geográfico Militar del Ecuador (I.G.M.).

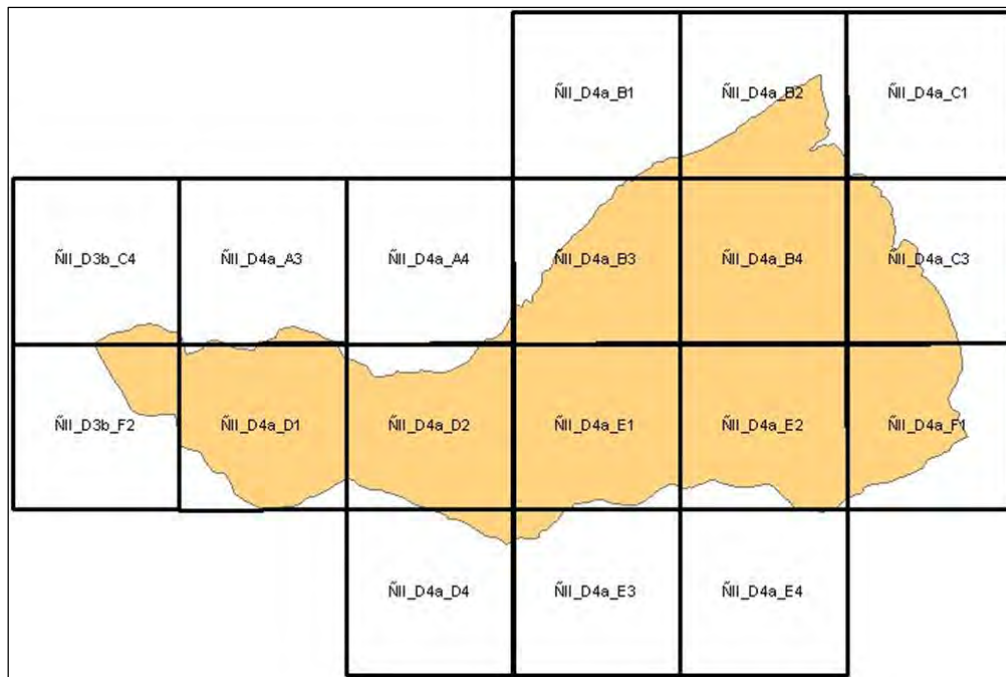


Figura 3-5: Información LIDAR categorizada por hojas 1:5000 para Tumbabiro  
Fuente: SIGTIERRAS, 2012

### 3.3.1 Clasificación y Filtrado de Información LIDAR cruda

Para cada uno de los archivos \*.las que forma parte de la parroquia de Tumbabiro, se procedió a extraer únicamente la información que se encontraba dentro de dicha parroquia, a fin de clasificar exclusivamente la información inherente al alcance del proyecto.

Actualmente, existen varias herramientas SIG que permiten procesar y editar información LIDAR, elegir la más adecuada para aquello dependerá exclusivamente de dos factores: el objetivo final del producto cartográfico y la disponibilidad presupuestaria, es decir, dependerá de la cantidad de información con el nivel de detalle para procesarla; y conjuntamente dependerá de la capacidad económica para adquirir un paquete informático con estas características y potencialidades.

Con estas particularidades, se pueden mencionar las siguientes herramientas especializadas en manejo LIDAR, tanto propietario, como libre:

- Módulos LIDAR Terra – TERRASOLID, paquetes propietarios especializados en tecnología LIDAR.
- SCOP++ LIDAR – INPHO, módulo especializado LIDAR dentro de la herramientas fotogramétricas INPHO.
- ArcGIS 3D Spatial Analyst versión 10.1 - ESRI, potencialidades limitadas para manejo LIDAR.
- Módulo LIDAR Processing TNT Mips 2014 – Microimages, potencialidades limitadas para manejo LIDAR.
- Módulo LAS Edit - Fugro Viewer Software, herramienta libre para tratamiento y análisis LIDAR
- Dielmo Open LIDAR, gvSIG, herramienta libre desarrollada por la Generalitat Valenciana para tratamiento de información LIDAR.

En términos generales, las herramientas TERRA, han venido desarrollándose en el mercado como los aplicativos de mayor desarrollo y uso para la tecnología LIDAR, con algoritmos altamente especializados para este tipo de sistemas, sin embargo, sus componentes son altamente costosos en lo que a licenciamiento se refiere.

Por ello, para el presente estudio, se ha optado por el uso de la herramienta Dielmo Open LIDAR de gvSIG, fundamentalmente por el acceso libre a su operatividad al tratarse de una herramienta SIG GNU/GPL (open source).

### 3.3.2 Dielmo Open LIDAR

*“DielmoOpenLiDAR es un software libre con licencia GNU GPL basado en gvSIG para el manejo de datos LiDAR. Permite el acceso, visualización, análisis y control de calidad de datos LiDAR originales, pudiendo visualizar a la vez grandes volúmenes de datos LiDAR originales (nube de puntos irregular en formato LAS y BIN) superpuestos con otros datos geográficos” (DIELMO 3D S.L., 2013).*

Fundamentalmente, el uso del software Dielmo Open LIDAR, consistió en clasificar a terreno, toda la información cruda LIDAR correspondiente a la parroquia Tumbabiro, este proceso fue manual, debido principalmente a que el aplicativo no presenta algoritmos de edición semi automáticos o automáticos, sin embargo, su interface amigable permite al usuario adaptarse óptimamente a fin de garantizar la comprensión académica de la edición LIDAR.

El proceso de edición utilizado en Dielmo Open LIDAR, correspondió con al menos los siguientes pasos:

- Definir el Sistema de Referencia EPSG para los datos LIDAR (32717: UTM 17 Sur – WGS84)
- Situar a una escala de trabajo adecuada para la edición, (como por ejemplo, si la escala del MDT es 1:5000, al menos la edición deberá realizarse a 1:2500).
- Generar las franjas donde se harán los perfiles de puntos 3D.
- En el perfil, seleccionar todos los puntos que yacen respecto al nivel aparente del terreno.
- Asignar, la clase correspondiente de acuerdo al formato LAS, en este caso (2: Suelo y 0: Creado, nunca clasificado).

- Grabar los resultados
- Repetir hasta abarcar toda el área de estudio.

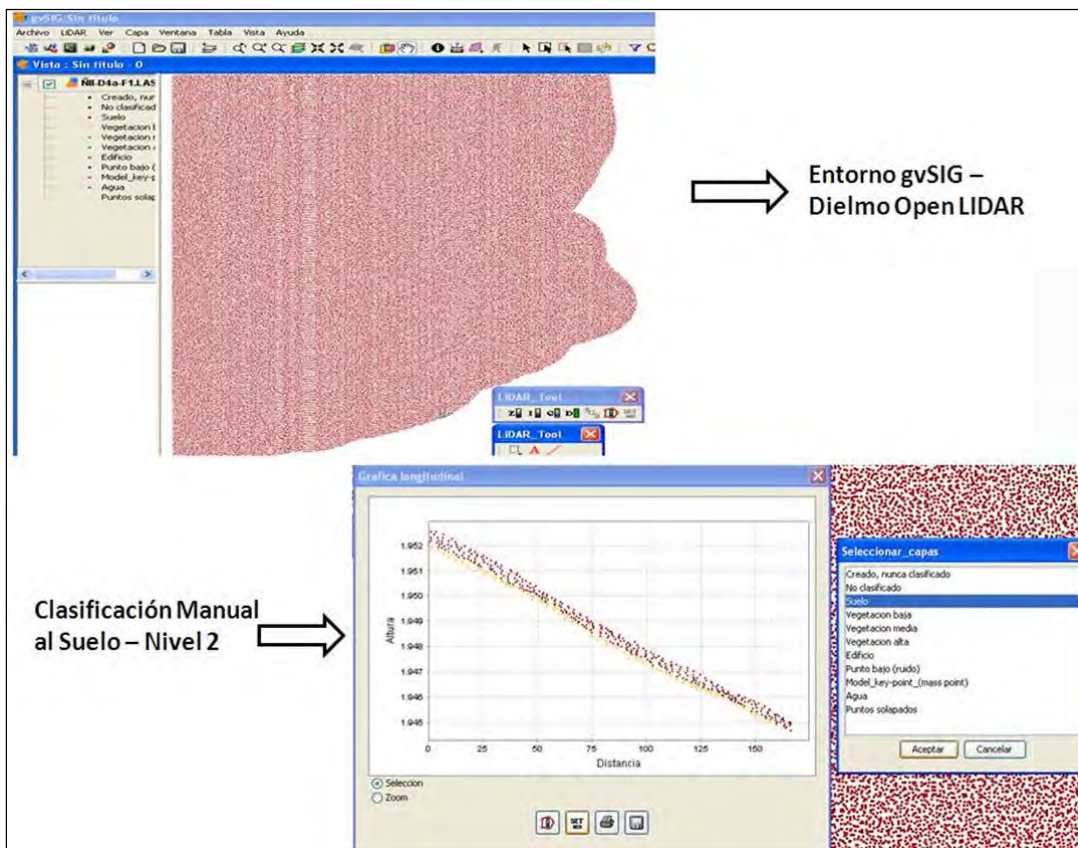


Figura 3-6: Interfaz Dielmo Open LIDAR gvSIG. Clasificación LIDAR parroquia Tumbabiro

Es decir, a través del uso de esta herramienta libre, se pudo clasificar al terreno todos los puntos LIDAR dentro de la parroquia Tumbabiro en sus correspondientes archivos (\*las) categorizados con la nomenclatura 1:5000, obteniendo así el insumo que posteriormente se utilizará en la generación de los distintos MDT.

### 3.4 Compilación de la información LAS.

Los archivos LAS con información LIDAR correspondiente a la parroquia Tumbabiro fueron clasificados en dos tipos: los puntos *Creado, nunca clasificado* (0) y los puntos *Suelo* (2), es decir, se obtuvieron todos aquellos puntos que pertenecen al terreno y complementariamente

los que no pertenecen. Por lo que únicamente, para efectos del presente estudio, se han extraído los puntos correspondientes a *Suelo*, a fin de generar los Modelos Digitales del Terreno de interés.

Para este efecto, se ha utilizado la herramienta SIG Global Mapper<sup>8</sup> que posee la capacidad para trabajar con una cantidad muy variada de formatos de archivos y estructuras de datos muy diversas, lo que permite procesar cualquier tipo de dato o formato en particular y a su vez, exportar a otros formatos de interés.

Antes del proceso de compilación, fue necesario extraer los puntos de chequeo LIDAR, que corresponden a puntos clasificados al terreno que no forman parte del proceso de interpolación para generar los MDT, con ellos, se podrá obtener el análisis estadístico cuantitativo objeto del presente estudio. Este procedimiento será tratado en el capítulo siguiente.

Básicamente, la compilación de información LAS consistió en extraer a través de Global Mapper la información previamente clasificada al terreno para cada uno de los archivos categorizados con la nomenclatura IGM 1:5000 y posteriormente generar un único archivo LIDAR común para la parroquia de Tumbabiro.

---

<sup>8</sup> Herramienta GIS de la casa comercial Blue Marble, este paquete tiene la versatilidad de ser económicamente asequible y sobre todo muy interoperable.





Figura 3-7: Filtrado de puntos clasificados al terreno LAS – Global Mapper 11

Debido a la interoperabilidad óptima de Global Mapper, es factible exportar un conjunto de datos LAS en varios formatos tipo vector, web services, raster, entre otros; sin embargo, a fin de obtener un único archivo LAS, se generó un mosaico de datos LIDAR a raíz de los archivos parciales 1:5000 correspondientes a Tumbabiro.

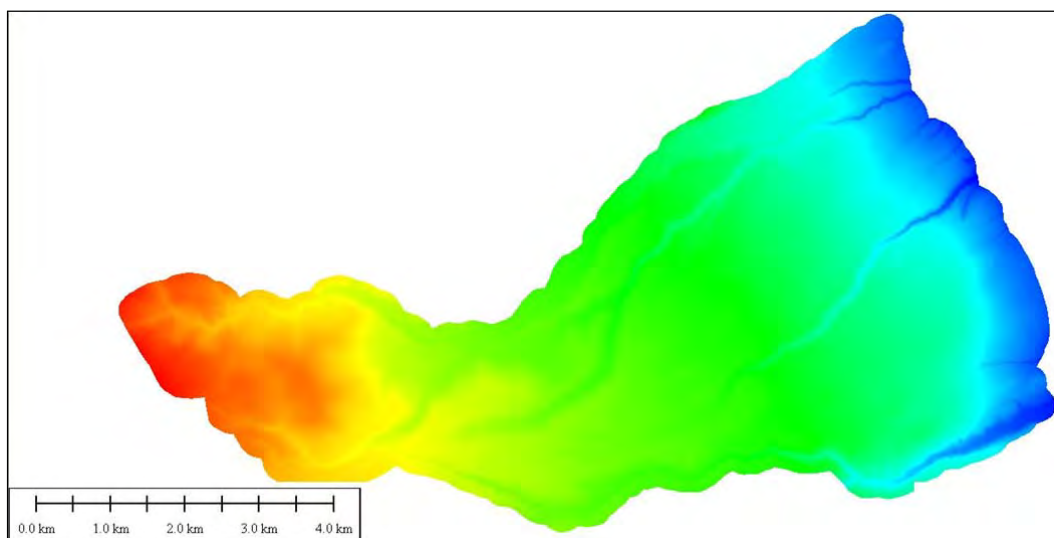


Figura 3-8: Archivo LAS Tumbabiro – Global Mapper



### 3.5 Generación de Modelos Digitales del Terreno Determinísticos

Existen varias herramientas SIG que permiten generar Modelos Digitales de Terreno a partir de una nube de puntos descrita, en este caso particular, a partir de un archivo LAS integral.

Un ejemplo básico, corresponde al paquete de ARCGIS de ESRI, en cuyo caso presenta herramientas para interpolación en los módulos: *3D Analyst*, *Spatial Analyst*, y *Geostatistical Analyst*, siendo este último, el módulo especializado en procesos de interpolación y análisis de autocorrelación espacial.

En otros casos, los paquetes SIG bajo estándares GNU/GPL<sup>9</sup> (open source), han presentado cierto desarrollo en temáticas de interpolación, específicamente para la generación de modelos determinísticos, por lo tanto, es factible encontrar ciertas aplicaciones en paquetes como: *QGIS*, *Sextante (gvSIG - Kosmo)*, o *GRASS GIS*.

Finalmente, para el presente estudio, se ha optado por la generación de modelos digitales del terreno a través de sus distintos métodos de interpolación dentro de la herramienta SIG TNT Mips<sup>10</sup>. Básicamente, haber escogido este paquete particular para el desarrollo del presente estudio, corresponde a los siguientes factores:

- Presenta en su entorno varios algoritmos de interpolación tanto determinísticos como estocásticos, es decir, se podrán obtener resultados con una arquitectura de programación estándar.

---

<sup>9</sup> GNU/GPL: General Public License, Licencia Pública General de GNU, licencia que garantiza al usuario final, la libertad de usar, compartir, copiar, estudiar y modificar el software.

<sup>10</sup> Herramienta GIS de la casa comercial de Microimages, Inc de Lincoln, Nebraska, que provee productos de gestión avanzada en GIS, procesamiento de imágenes y análisis geoespacial.

- Integra varios parámetros al aplicar cualquier método de interpolación que permiten controlar el alcance de los resultados a generarse.
- Permite generar resultados en un entorno diferente al ofrecido por ESRI, con lo cual se podrán establecer experiencias análogas con relación a la herramienta SIG de mayor difusión en el país.

Con este antecedente, y con los datos LIDAR correspondientes a la parroquia de Tumbabiro previamente clasificados al terreno, se procedió a generar los Modelos Digitales del Terreno derivados a partir de métodos de interpolación determinísticos, es decir, mediante métodos matemáticos pre establecidos que simulan un escenario en particular, dando así paso a la **FASE 2** del proceso metodológico planteado en la Figura 3-2.

El entorno de TNT Mips 6.9 es común para todos los métodos de interpolación inscritos, se encuentra disponible dentro de la opción *Surface Modeling* “modelamiento de superficies” en el menú *Process* “proceso”.

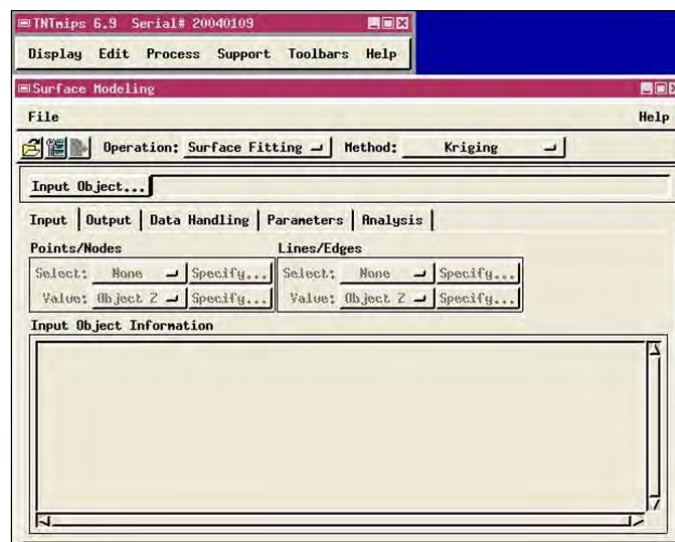


Figura 3-9: Acceso a la opción Surface Modeling (interpolación) dentro de TNT Mips 6.9

Como se puede apreciar en la Figura 3-9, se disponen de cinco (5) fichas que controla la ejecución del método de interpolación, de las que sin embargo, la ficha *Parameters* “parámetros”, es la que presenta su especificidad relacionada exclusivamente con el tipo de método de interpolación seleccionado.

Dentro de las generalidades propias del módulo *Surface Modeling*, para generar MDT en TNT Mips 6.9, es posible detallar el uso de las siguientes fichas comunes:

- *Input* “entradas”: Se refiere exclusivamente a la lectura del archivo con la información tridimensional de partida (datos LIDAR), sobre la cual se generará el MDT.
- *Output* “salidas”: Ficha en la que se dimensiona las características básicas del raster resultante, como tamaño de píxel, tipo de raster y pirámides para visualización.
- *Data handling* “manejo de datos”: Permite definir si se requiere algún criterio para extrapolar por fuera de la extensión de la información de partida, a fin de garantizar la cobertura total del MDT (en este caso).

Finalmente, en la opción *Method* “método”, es posible seleccionar el método de interpolación, para el caso particular, los métodos determinísticos utilizados fueron:

- Triangulación
- Inversa Distancia
- Mínima curvatura “Spline”

### **3.5.1 Generación de MDT por Triangulación**

Dentro del principio teórico para generar Modelos Digitales del Terreno a partir del método determinístico de Triangulación, en el ambiente TNT Mips 6.9, el objetivo consiste

en crear una Red de Triángulos Irregulares (TIN) a partir de todos los datos puntuales y/o lineales del archivo de entrada “INPUT”.

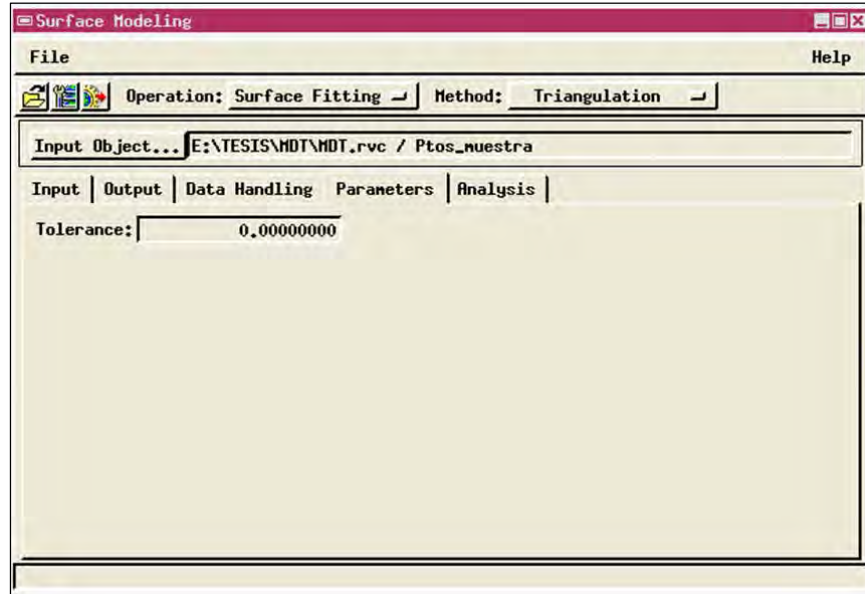


Figura 3-10: Entorno TNT Mips 6.9 – Triangulación

En la ficha *Parameters* “parámetros”, únicamente existe la variable *Tolerance* “tolerancia” a definir, que se refiere a la distancia mínima que utilizará el algoritmo para formar los triángulos bajo el criterio de Delaunay, es decir, que con un valor de cero (0), el algoritmo generará el TIN con todos los puntos presentes en el archivo de entrada, sin distinción.

Para el caso particular, se generó el MDT por Triangulación con tolerancia cero (0).

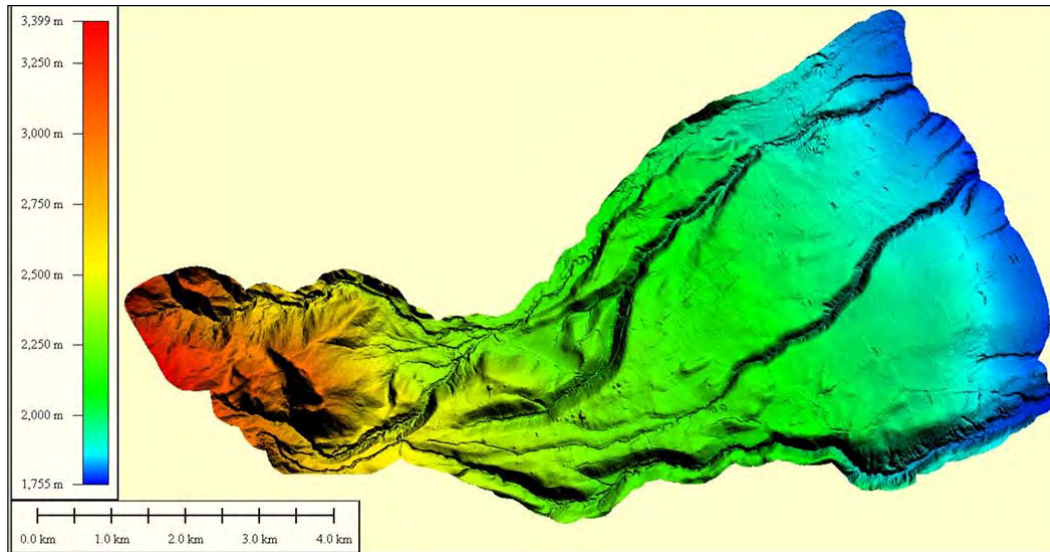


Figura 3-11: MDT por Triangulación generado para Tumbabiro

### 3.5.2 Generación de MDT por Inversa Distancia

El método de Inversa Distancia genera un dato de altura estimada a partir de la media ponderada de las alturas de los puntos de entrada aledaños, utilizando como pesos la distancia inversa del punto estimado respecto a los puntos conocidos aledaños.

En TNT Mips 6.9, se presentan las siguientes variables que rigen el funcionamiento propio del método:

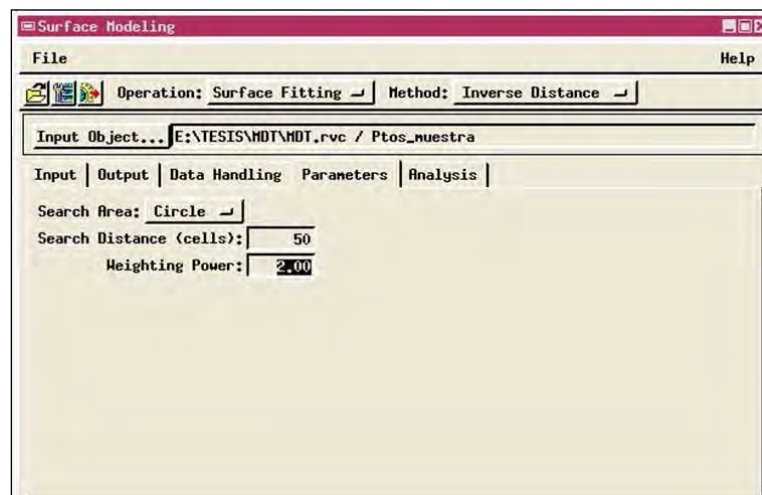


Figura 3-12: Entorno TNT Mips 6.9 – Inversa Distancia

- *Search Area* “Área de Búsqueda”: Especifica la forma del sector o zona a partir del cual se utilizarán los puntos circundantes del punto a estimar.
- *Search Distance cells* “Distancia de Búsqueda – celdas”: Define el tamaño del sector del cual se utilizarán los puntos circundantes del punto a estimar, el tamaño está configurado por número de celdas, cuya unidad fue especificada en la ficha *Output* “salida de resultados”.
- *Weighting Power* “Grado de los pesos”: Configura la potencia que se aplicará a la distancia inversa al momento de definir los pesos, mientras mayor sea la potencia, los puntos cercanos tendrán mayor influencia en la estimación.

Para el presente estudio, se utilizó un área de búsqueda tipo Círculo, con un tamaño definido con 50 celdas (de 3 metros de tamaño unitario) y un grado para pesos de 2 (cuadrático).

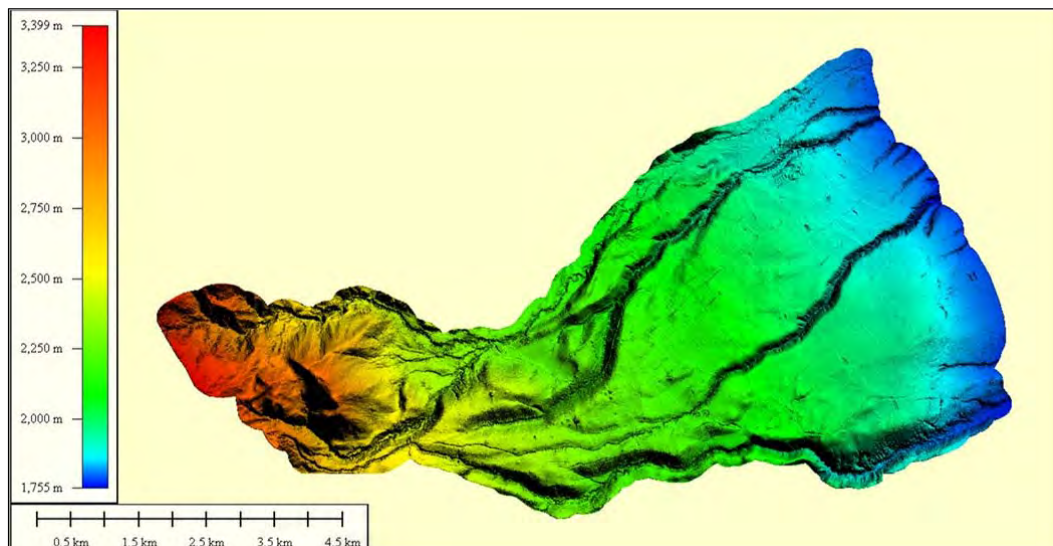


Figura 3-13: MDT por Inversa Distancia generado para Tumbabiro

### 3.5.3 Generación de MDT por Mínima Curvatura “Spline”

El método determinístico de Mínima Curvatura, genera una superficie polinomial a partir del ajuste de los puntos de entrada, en la cual, las diferencias entre los puntos conocidos del archivo de partida y la superficie sea la mínima.

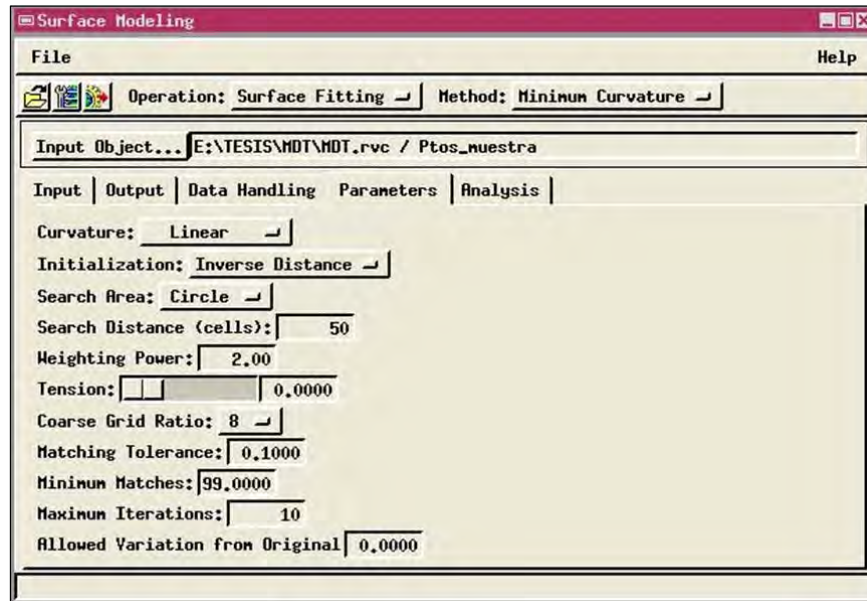


Figura 3-14: Entorno TNT Mips 6.9 – Mínima Curvatura / Spline

En la ficha *Parameters* “parámetros”, se puede encontrar un número considerable de variables que controlarán el resultado final. Este método genera información preliminar, la misma que es ajustada a través de iteraciones hasta obtener las desviaciones mínimas, la información preliminar puede generarse por medio del método de inversa distancia, con las consideraciones detalladas en el ítem anterior.

- *Coarse Grid Ratio* “malla de ajuste inicial”: Define el tamaño de celda inicial, expresado en número de píxeles de salida, sobre el cual se generará la superficie polinomial ajustada.

- *Matching Tolerance* “tolerancia de ajuste”: es el valor correspondiente a la diferencia entre la superficie generada y los puntos de entrada. Corresponde a la desviación mínima requerida para obtener el resultado final.
- *Minimum Matches* “número de ajustes mínimo”: Se refiere al número de ajustes mínimo que se ejecutarán hasta obtener el raster definitivo.
- *Maximum Iterations* “número de iteraciones máximas”: Establece un número máximo de iteraciones para ajustar la superficie polinomial, en el caso que las desviaciones no alcancen a la tolerancia de ajuste.
- *Tension*: Es un parámetro fundamental utilizado frecuentemente cuando no existe una buena distribución de los datos de entrada, el cual funciona como un elástico que reduce los puntos de inflexión presentes en una superficie polinomial. Mientras mayor sea la tensión, los puntos de inflexión reducirán mayormente su efecto.
- *Allowed variation from original* “variación permitida respecto a los datos originales”: Determina si la superficie debe atravesar precisamente sobre los puntos de entrada (valor 0). Si el valor cambia, la superficie no pasará a través de los datos de entrada gradualmente.

La esencia de este método radica en generación de una malla de ajuste inicial, que aportará con los datos de partida para la generación de la superficie polinomial, una vez ajustada la primera superficie, sus datos servirán de insumo para generar la segunda superficie de ajuste, repitiendo este proceso hasta conseguir el tamaño resultante del raster especificado en la ficha *Output* “salidas”.

En el presente estudio, la distribución de los datos de entrada (LIDAR) es buena, por lo tanto, la tensión establecida fue (0); una malla de ajuste inicial de 8; tolerancia de ajuste de



0.1; número máximo de iteraciones 10; y una variación permitida respecto a los datos originales de 0, es decir, que la superficie polinomial efectivamente atraviesa por los datos de entrada.

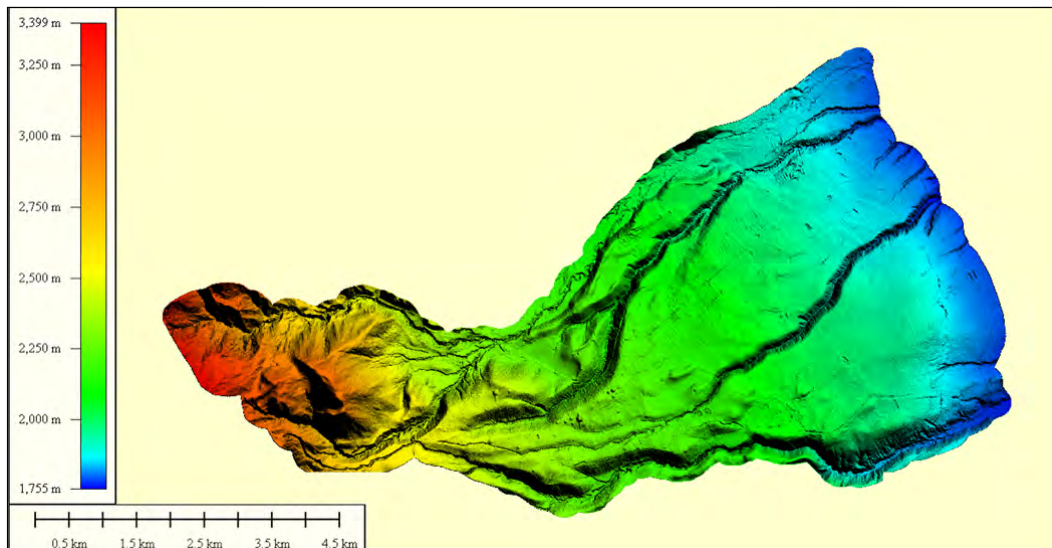


Figura 3-15: MDT por Mínima Curvatura / Spline generado para Tumbabiro

### 3.6 Generación de Modelos Digitales del Terreno Estocásticos

Con la información generada como Modelos Digitales del Terreno a partir de métodos determinísticos, es momento de elegir métodos de interpolación estocásticos (**FASE 3** – Figura 3-2), sobre los cuales se podrán determinar los Modelos Digitales del Terreno complementarios que sustentarán la presente comparación estadística.

Para el presente desarrollo, se ha optado por la elección de los siguientes métodos de interpolación estocásticos:

- Kriging Ordinario Lineal
- Kriging Ordinario Esférico
- Kriging Ordinario Exponencial

Con lo cual, es preciso determinar los parámetros de autocorrelación espacial (semivariograma, alcance, meseta, isotropía, entre otros), que regirán sobre los procesos estocásticos de interpolación a implementar.

Sin embargo, han surgido algunas limitantes que han impedido un normal desarrollo del análisis de autocorrelación espacial preliminar:

- La complejidad del algoritmo matemático para el cálculo del semivariograma experimental, ha reducido el rendimiento de los recursos tecnológicos disponibles para el presente análisis.
- El volumen de la información de entrada (datos LIDAR clasificados), para la parroquia Tumbabiro, representa aproximadamente cuatro millones de puntos o registros tridimensionales (aprox. 4'800.000 puntos) distribuidos uniformemente por el área del proyecto, lo cual indudablemente limita el rendimiento de la infraestructura tecnológica disponible para este efecto.
- Finalmente, se pudo inferir, que posteriormente al ejecutar el método de interpolación estocástico, igualmente se incrementará la inversión de tiempo para la generación de resultados analíticos, y así limitar la eficiencia del estudio comparativo.

Con el objetivo de conseguir un resultado oportuno adaptado a los recursos tecnológicos disponibles, se ha generalizado la nube de puntos LIDAR clasificados, reduciendo en aproximadamente siete veces el volumen de datos para generar el insumo de partida óptimo para analizar la autocorrelación espacial pertinente y su posterior interpolación.

### 3.6.1 Generalización de datos LIDAR

El proceso para generalizar la información LIDAR disponible (**FASE 3.a** – Figura 3-2), se fundamentó en el criterio de extraer únicamente un punto LIDAR aleatorio respecto a todos los puntos LIDAR que incidan dentro de cada celda de 8 metros por 8 metros que formará parte de una malla continua construida sobre la parroquia de Tumbabiro.

Dentro del procedimiento de generalización, se han utilizado herramientas CAD, SIG y hojas de cálculo para conseguir el objetivo de disminuir significativamente el volumen de la información de partida sin alterar los datos originales.

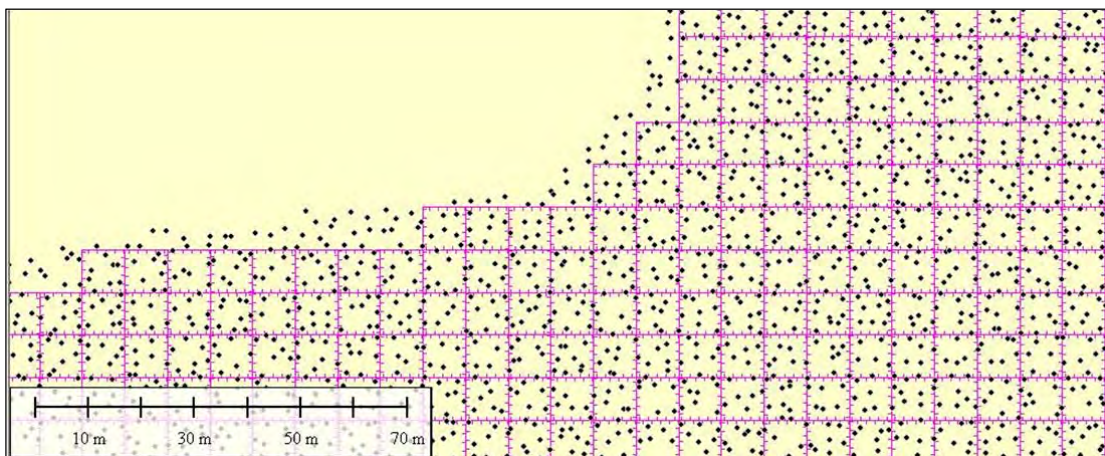


Figura 3-16: Grilla 8x8 que permitirá extraer un único punto LIDAR

A continuación se resume el proceso de generalización efectuado en ARCGIS 9.3 de ESRI:

- *Construcción de la grilla:* Por medio del paquete CAD Microstation V8 de Bentley, se construye una grilla regular de 8 por 8 metros a lo largo de toda la extensión de la parroquia Tumbabiro.
- *Importación:* Los puntos LIDAR de la parroquia (\*.las) Tumbabiro son importados a entorno ESRI (\*.shp) a través de la herramienta Conversion Tools – Import LAS de ArcToolbox. De igual manera, se importa la grilla generada en Microstation.

- *Generación de centroides:* Para cada celda generada en la grilla de 8x8, se extrae el centroide<sup>11</sup> respectivo mediante la herramienta Data Management Tools – Features to Point. Posteriormente se crean y asignan dos campos correspondientes a las coordenadas (Este – Norte) de los puntos.
- *Exportación en formato plano:* El archivo de centroides de la grilla, se exporta a formato plano o tabla (\*.dbf), y en los campos correspondientes a las coordenadas (Este – Norte) se suma algebraicamente un valor aleatorio comprendido entre [-7.9 y 7.9] relacionado exclusivamente a las dimensiones originales de la grilla de referencia. Con esto, se obtendrán las coordenadas aleatorias de un punto cualquiera dentro de las dimensiones de cada celda de 8 x 8 metros.
- *Conversión de puntos aleatorios:* Nuevamente en ARCGIS, se plotean los puntos aleatorios generados para cada celda 8 x 8 y se exporta a un archivo tipo punto.
- *Unión espacial:* Adicionalmente, desplegando la cobertura de puntos LIDAR de Tumbabiro, se deberá enlazar a través del proceso de unión espacial “join data from another layer based on spatial location”, los puntos LIDAR más cercanos a los puntos aleatorios generados para cada celda 8x8. Con esto, en cada punto aleatorio se registrará el código correspondiente al punto LIDAR más cercano.
- *Unión de atributos:* En la tabla de atributos de los puntos aleatorios se enlazaron los atributos de los puntos LIDAR respectivos más cercanos. Utilizando este código, se enlaza alfanuméricamente con la tabla de los puntos LIDAR de Tumbabiro mediante el proceso “join attributes from table”. Automáticamente seleccionarán (gráfica y alfanuméricamente) los puntos LIDAR más cercanos a los puntos aleatorios de cada celda 8 x 8.

---

<sup>11</sup> “El centroide de una figura geométrica es el centro de simetría. Para cualquier otro objeto de forma irregular de dos dimensiones, el centroide es el punto donde un soporte simple puede equilibrar este objeto. Por lo general, el centroide de un objeto bidimensional o tridimensional se encuentra utilizando integrales dobles o triples” (Weisstein E., 1999).

- *Exportación del archivo resultante:* Con la selección previamente realizada, se procede a exportar a un archivo independiente de resultados, en los cuales existirá un punto LIDAR original para cada celda de 8 x 8.

Finalizado el proceso de generalización, se ha reducido la cantidad de registros LIDAR en Tumbabiro a un total de 681.821 puntos, lo que facilitará el procesamiento eficiente para la generación de Modelos Digitales del Terreno a través de métodos de interpolación estocásticos.

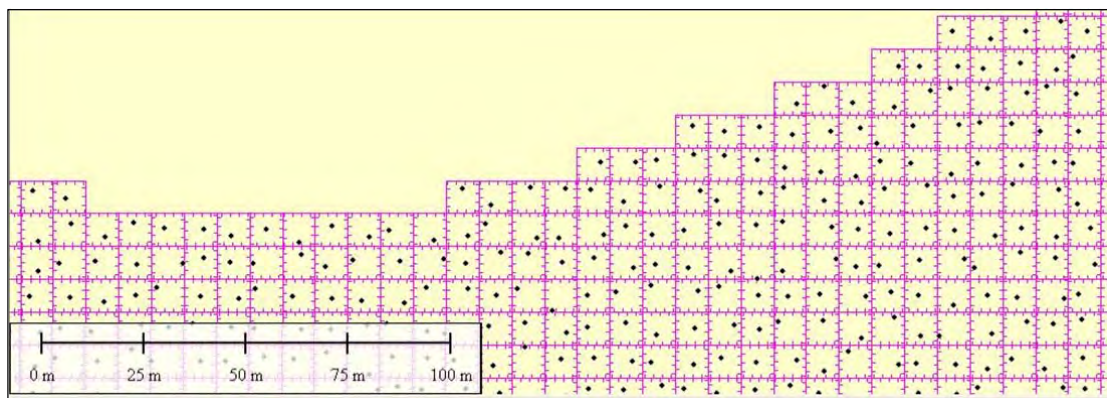


Figura 3-17: Puntos LIDAR extraídos aleatoriamente para la generación de MDT estocásticos

### 3.6.2 Análisis de Autocorrelación Espacial

El análisis de autocorrelación espacial es fundamental para determinar la factibilidad para implementar el Método de Interpolación Kriging, permitirá conocer a través de diagramas estadísticos y geoestadísticos si existe autocorrelación espacial entre los puntos LIDAR, es decir, si existe homogeneidad numérica entre los puntos LIDAR más cercanos entre sí.

Para este análisis se utilizan los puntos LIDAR generalizados (ítem 3.6.1) a fin de optimizar el nivel de procesamiento de la información disponible.

A continuación mediante las herramientas exploratorias de datos espaciales existentes en el módulo de ARCGIS 9.3, *Geostatistical Analyst*, se analizará la existencia de autocorrelación espacial presente en la nube de puntos LIDAR de Tumbabiro:

- *Histograma de Frecuencias*

Como se puede evidenciar en la Figura 3-18, a lo largo de toda la superficie de estudio, la distribución de frecuencias denota una distribución normal con sesgo hacia la izquierda, de allí que su coeficiente de asimetría “skewness” sea positivo. Al tratarse de una distribución normal, se puede concluir con un panorama preliminar que los puntos LIDAR en su variable altitudinal tienen autocorrelación espacial.

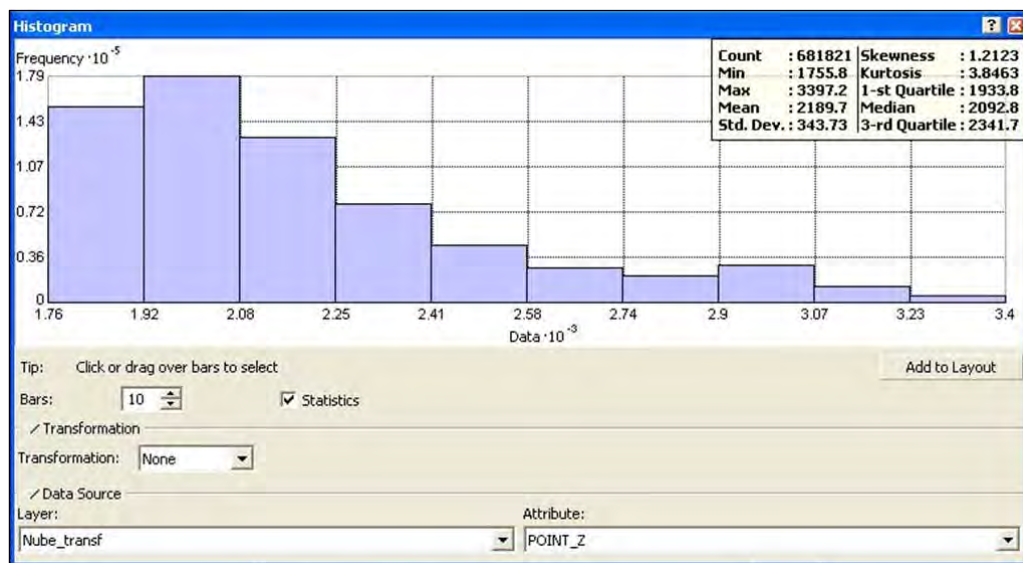


Figura 3-18: Histograma para la variable altitudinal de los puntos LIDAR de Tumbabiro

- *Ploteo de cuantiles “QQ Plot”*

Otro método para verificar la tendencia de la distribución de los datos, es el diagrama de ploteo de cuantiles (QQ Plot), el cual tiende una línea recta (teórica)

que representa la distribución normal “tentativa” para las altitudes, mientras paralelamente se grafica la nube de cuantiles, con lo cual, mientras más se asemeje la distribución de cuantiles con la línea recta “teórica”, mayor será su similitud a una distribución normal (ver Figura 3-19).

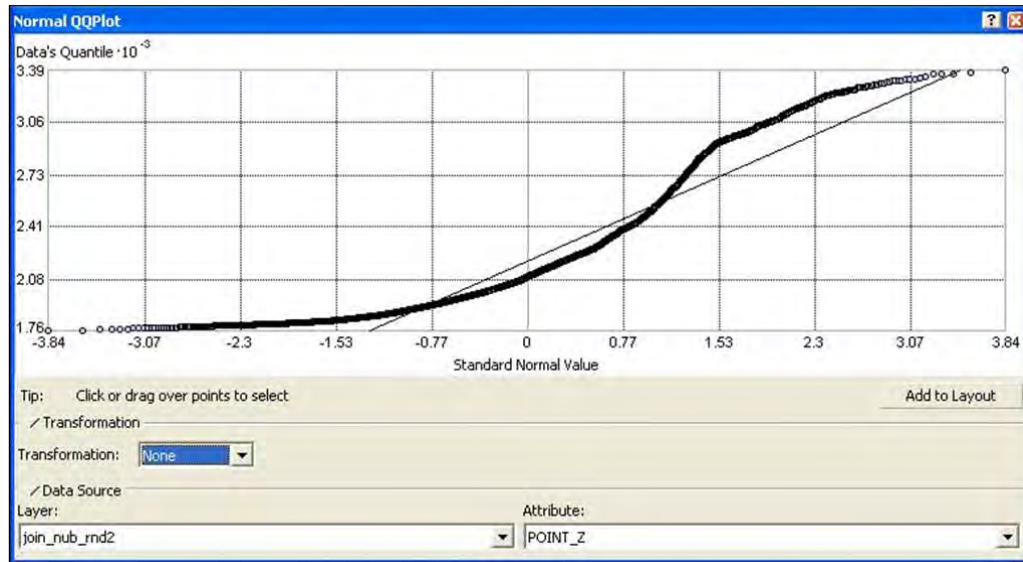


Figura 3-19: Ploteo de cuantiles en la variable altitudinal de los puntos LIDAR de Tumbabiro

Se puede apreciar efectivamente, que la nube de cuantiles se aproxima a la normal y que además, en el rango de [1 a 3,07] la nube de cuantiles se aleja de la normal, justificando así la tendencia de distribución normal de los datos y su sesgo hacia la izquierda respectivamente, es decir, que los datos LIDAR tienen autocorrelación espacial.

Demostrada la existencia de la autocorrelación espacial, es necesario identificar a través de diagramas geoestadísticos la existencia de demás rasgos característicos de la distribución espacial de los puntos, a fin de poder interpretarlos correctamente al momento de efectuar el proceso de interpolación estocástico.



- *Mapa de Tendencia*

El mapa de tendencia permite conocer si los datos presentan una tendencia global en la autocorrelación espacial, es decir, si la homogeneidad en los datos es común en toda el área de estudio. La tendencia global se manifiesta cuando en el gráfico resultante se proyectan en los planos (XZ y YZ), funciones matemáticas continuas sobre las cuales se ajusta la componente vertical (altitudes) de los puntos LIDAR a lo largo de toda el área de intervención (ver Figura 3-20).

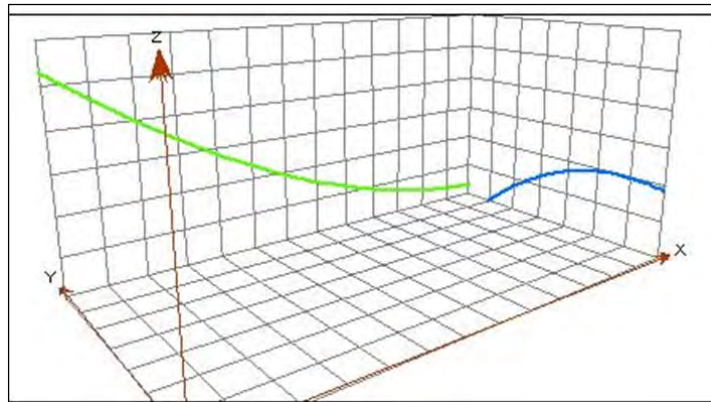


Figura 3-20: Mapa de Tendencia para los puntos LIDAR de Tumbabiro

Como se observa, en el plano XZ, las altitudes proyectan una función logarítmica a lo largo del eje X, en la cual la variable disminuye gradualmente en sentido Oeste – Este; mientras que en el plano YZ, las altitudes proyectan una función cuadrática negativa a lo largo del eje Y, en el cual la variable presenta un ligero incremento a partir del sentido Sur y posteriormente decrece significativamente hacia el Norte. Por estas razones, los datos poseen una tendencia global a lo largo de toda la parroquia de Tumbabiro.

- *Polígonos de Voronoi*



Tal y como fue descrito en el capítulo anterior, el polígono de Voronoi constituye una superficie discreta de brindará un panorama certero respecto a la influencia de la dirección en la distribución de los puntos LIDAR en Tumbabiro, es decir, la existencia de *anisotropía* (ver Figura 3-21).

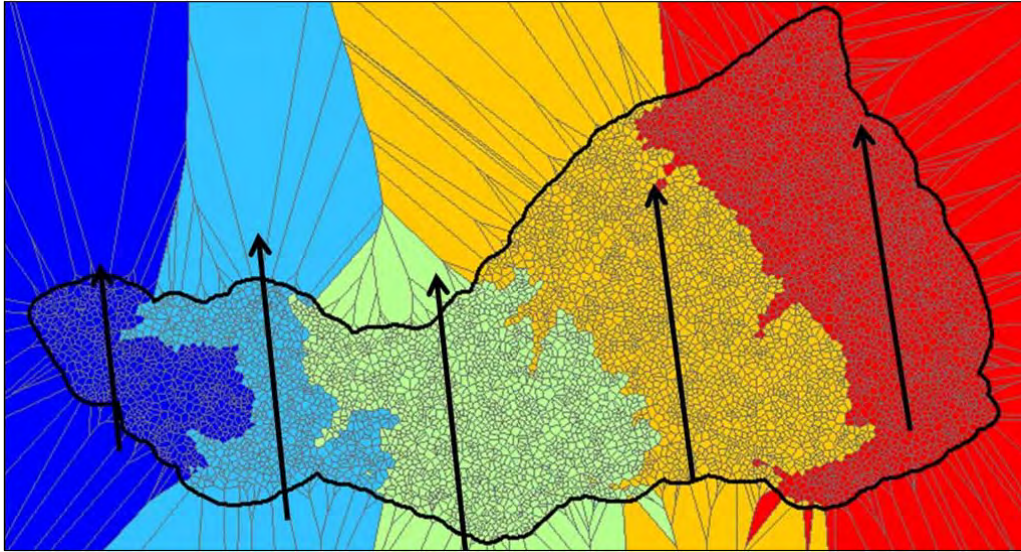


Figura 3-21: Polígonos de Voronoi a partir de los puntos LIDAR de Tumbabiro

En el gráfico se puede observar que los polígonos de Voronoi fueron representados a partir de las altitudes agrupadas en 5 clases, las cuales muestran una disposición ligeramente inclinada unos cuantos grados a partir del Norte hacia el Oeste, es decir, los datos presentan anisotropía en la dirección Sur – Norte aproximadamente.

- *Superficie de Semivariograma*

Además de ratificar la conclusión respecto a la incidencia de la dirección en la autocorrelación espacial, es posible apreciar el semivariograma experimental en el cual se representa la variación entre las altitudes a lo largo de diferentes tramos de distancia “lags”, con ello se infieren ciertos valores tentativos “meseta – sill,

alcance – *range* y pepita – *nugget*” que permitirán definir los parámetros del proceso de interpolación a través de métodos estocásticos (ver Figura 3-22).

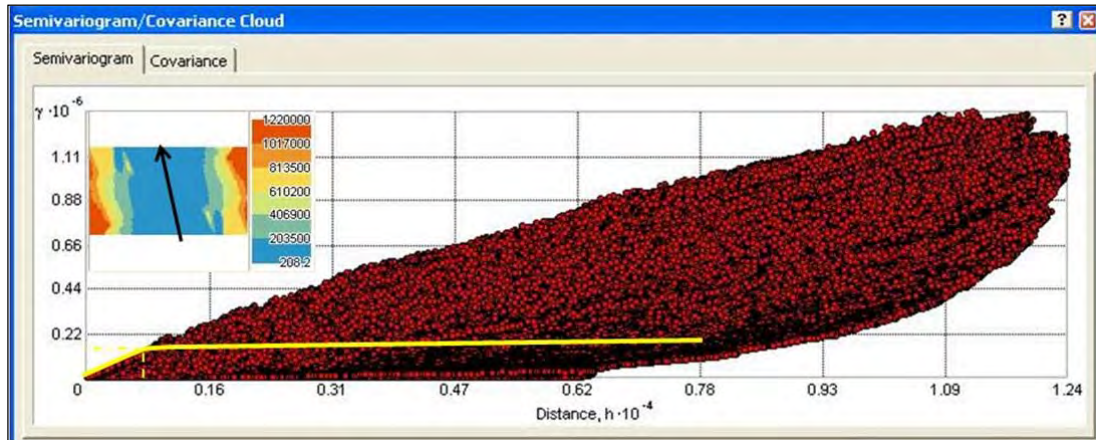


Figura 3-22: Superficie de semivariograma a partir de los puntos LIDAR para Tumbabiro

Por medio de este gráfico, como se mencionó, es factible observar la superficie de semivariograma, en la cual la menor variación entre los datos ocurre en dirección Sur – Norte con una ligera inclinación hacia el Oeste, por ello, se ratifica la existencia de anisotropía en los datos. Además, en el semivariograma experimental se puede evidenciar como punto de partida, que referencialmente los puntos LIDAR reducen su variación entre sí a los 800 metros “*range*”, y que poseen una variación acumulada aproximada de 120.000 metros, por ende baja, de acuerdo a la leyenda de la superficie de semivariograma.

### 3.6.3 Preparación para el proceso de Interpolación Kriging Ordinario

En concordancia con la Figura 3-2 en su **FASE 3.c**, se ha optado por la preparación de los datos a fin que puedan ser interpolados con a través de los métodos estocásticos Kriging, por ello, al haber reducido considerablemente el número de puntos mediante la selección aleatoria de puntos a partir de la grilla de 8 x 8, se incorporaron puntos adicionales característicos en el terreno que definen de mejor manera el relieve, estos puntos fueron

levantados por medio de restitución fotogramétrica y corresponden a los vértices de objetos 3D tipo línea, generalmente conocidos como líneas de quiebre, ruptura o *breaklines*<sup>12</sup>.

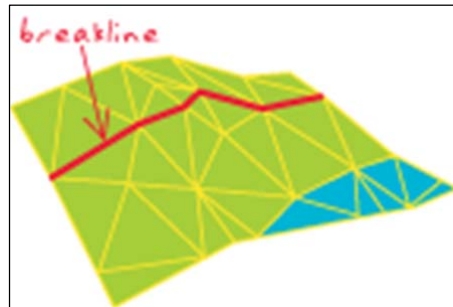


Figura 3-23: Definición de línea de quiebre  
Fuente: ESRI, 2014

Con la incorporación de los vértices correspondientes a las líneas de quiebre presentes en Tumbabiro y generadas por el consorcio Stereocarto – Aeromapa en el marco del Programa SIGTIERRAS, en cierta forma se podrá definir de mejor manera el relieve cuando la interpolación considere en su proceso estos puntos característicos. Estas líneas están definiendo fundamentalmente: drenajes puntuales, vías principales, estanques y reservorios existentes en el área de estudio.

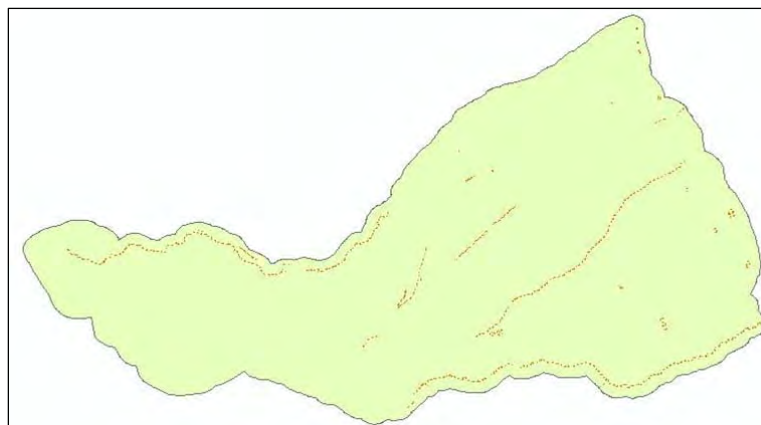


Figura 3-24: Líneas de quiebre presentes en la Parroquia Tumbabiro

<sup>12</sup> “Líneas de Quiebre o Breaklines: Son líneas 3D, que en un proceso de triangulación mediante interpolación o generación de estructuras TIN, representan un cambio abrupto y radical de la pendiente del terreno, tal y como: barrancos, vías, drenajes, líneas de cumbre, entre otros. Dentro de la triangulación, ningún triángulo generado puede atravesar la línea de quiebre, en otras palabras, las líneas de quiebre definen los bordes de los triángulos. Los valores de altitud en las líneas de quiebre pueden ser constantes o variables”. (ESRI, 2014)

Nuevamente, al efectuar algunas pruebas de rendimiento hardware / software, el algoritmo para el cálculo del semivariograma presentó varios inconvenientes en su implementación, considerando que se busca obtener la variación cruzada de 696.650 puntos obtenidos de la selección aleatoria de la malla Kriging 8 x 8 y la incorporación de los vértices disponibles en las líneas de quiebre de Tumbabiro.

En este sentido se optó por la generación de teselas “*tiles*” para la extracción de los puntos a interpolar, con ello se reduce el impacto del rendimiento hardware / software para facilitar el proceso estocástico con una menor cantidad de puntos. Sin embargo, es necesario denotar algunas condiciones que rigen la definición de las teselas para la posterior interpolación Kriging:

- Las teselas deben traslaparse entre sí, a fin de evitar ausencia de datos o gaps al momento final de la consolidación del MDT generado.
- La extensión de cada una de las teselas debe conformarse al menos por la extensión que tiende el rango resultante del análisis del semivariograma experimental, es decir 800 metros x 800 metros, a fin de garantizar la existencia de autocorrelación espacial en el conjunto de datos.
- La cantidad de puntos presentes en cada tesela, debe ser lo más homogénea entre sí.

**Tabla 3-1: Teselas creadas y su correspondiente cantidad de puntos**

TESELA	CANTIDAD DE PTOS.
E-1-1	88.029
E-1-2	94.605
E-2-1	90.271
E-2-2	89.320
W-1-1	89.524

TESELA	CANTIDAD DE PTOS.
W-1-2	86.172
W-2-1	86.782
W-2-2	86.684

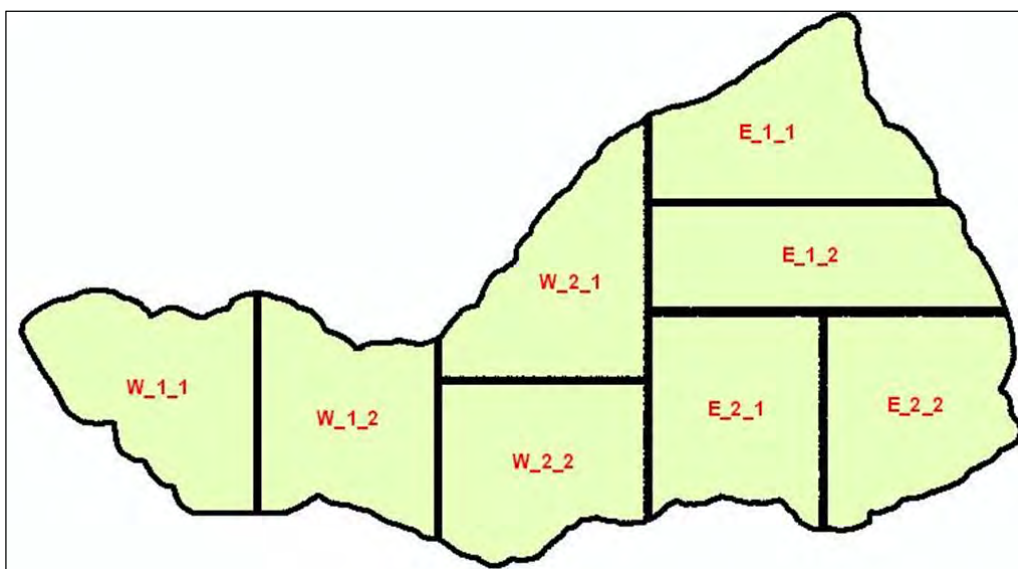


Figura 3-25: Teselas creadas aplicando los criterios descritos

Una vez que se han extraído los puntos para cada tesela, es procedente realizar la interpolación estocástica acordada.

### 3.6.4 Generación de MDT por Kriging Ordinario (Lineal, Esférico y Exponencial)

Considerando la Figura 3-2, a continuación se detalla la **FASE 3.d**, misma que se refiere exclusivamente al proceso de interpolación utilizando el método estocástico Kriging y sus variantes de semivariogramas teóricos (lineal, esférico y exponencial).

En el entorno TNT Mips 6.9, se procede de manera análoga a seleccionar el módulo *Surface Modelling* “modelamiento de superficies”, con el cual se podrá direccionar el método de interpolación Kriging.

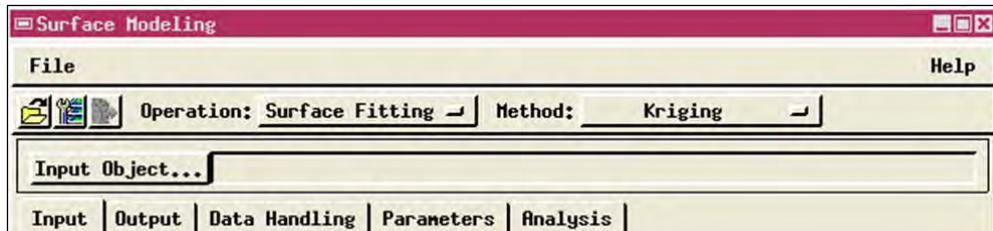


Figura 3-26: Selección del método Kriging en TNT Mips 6.9

De igual manera, para las fichas *Input*, *Output* y *Data Handling*, el criterio y el concepto de aplicación es idéntico al utilizado en los métodos determinísticos. Sin embargo, el *Input Object* “Objeto de Entrada” para el caso particular de la interpolación Kriging, serán parcialmente cada una de las teselas de puntos creadas previamente, obteniendo así un resultado parcial para cada Modelo Digital del Terreno a generarse.

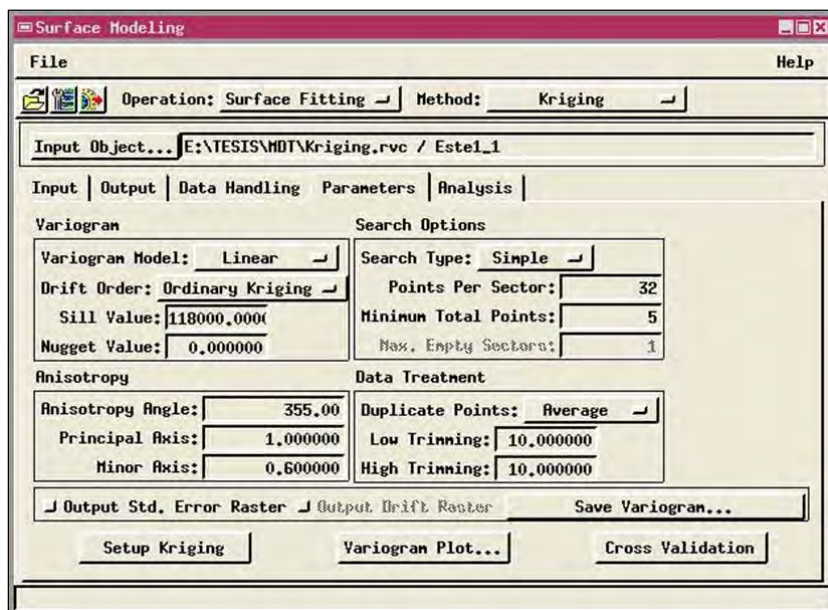


Figura 3-27: Entorno TNT Mips 6.9 – Kriging / Lineal



En la ficha *Parameters* “parámetros” para el caso particular del método Kriging, se pueden especificar las siguientes funcionalidades distribuidas en 5 sectores organizados de la siguiente manera:

- *Search Options*: “Opciones de Búsqueda”, con estas opciones se pueden identificar los puntos de altura conocida más cercanos a partir de los cuales se podrá estimar superficie continua a lo largo de toda el área de estudio. El método Kriging utiliza una geometría circular de búsqueda, con las siguientes clases:
  - *Simple*: Maneja como referencia de búsqueda un círculo completo en el cual se podrá encontrar una distribución irregular de puntos, desde puntos muy concentrados hasta puntos aislados.
  - *Quadrant*: “Cuadrante” Maneja como referencia de búsqueda un círculo dividido en cuatro cuadrantes iguales, en el cual, el algoritmo determinará puntos conocidos repartidos proporcionalmente en cada cuadrante para estimar el valor resultante.
  - *Octant*: “Octante” Maneja como referencia de búsqueda un círculo dividido en ocho octantes iguales, con ello, se pretende garantizar una mayor representatividad de los puntos conocidos a lo largo del sector de búsqueda para estimar los valores resultantes.

Incluso, es factible definir el número máximo de puntos por sector “*Points per Sector*”. El algoritmo de búsqueda se comienza desde el interior hacia el exterior del sector para encontrar todos los puntos requeridos, o que en su defecto el radio de búsqueda sea igual al rango del semivariograma, es decir, hasta donde efectivamente exista autocorrelación espacial. Para el caso puntual de Tumbabiro,

se ha elegido un número máximo de puntos por sector de 32, considerando que es un valor representativo de puntos conocidos a fin de obtener un valor estimado.

Además, se puede establecer un número mínimo de puntos en el sector “*Minimum Total Points*”, es decir, que en caso que la búsqueda determine una cantidad de puntos menor a la especificada, la estimación será de cero “0”; en el caso de estudio se ha fijado al menos 5 puntos<sup>13</sup>.

- Anisotropy: “Anisotropía”, a través de los parámetros de anisotropía se podrá definir la incidencia de la dirección en la correlación de las alturas:
  - *Anisotropy Angle*: “Ángulo de Anisotropía”, es el ángulo medido en sentido horario a partir del eje Y positivo en el cual se ha evidenciado la existencia de anisotropía. Para el caso de Tumbabiro, se puede inferir aproximadamente que existe influencia de la dirección en el acimut 355°, (ver Figura 3-21).
  - *Principal Axis*: “Eje Principal”, es el peso que se le dará a todos los puntos encontrados en dicha dirección, dado que en una elipse, el eje principal siempre será mayor, la importancia de los puntos dispuestos a lo largo de tal sentido será mayor respecto a los demás. En el caso de estudio es 1.
  - *Minor Axis*: “Eje Menor”, es el peso menor que se les dará a los puntos ubicados en la dirección transversal al sentido de la anisotropía. En el caso de estudio es 0,6<sup>14</sup>.
- Data Treatment: “Tratamiento de los Datos”, mediante estas opciones se puede manejar los datos “especiales” estableciendo un criterio homogéneo a lo largo de toda la superficie de estudio:

---

<sup>13</sup> Se debe tomar en cuenta que debido a la gran densidad de puntos conocidos LIDAR, la probabilidad de que la estimación Kriging sea cero “0” es casi nula.

<sup>14</sup> Cuando tanto el eje principal como el eje secundario sean iguales, denota al sistema que no existe anisotropía.



- *Duplicate Points*: “Puntos Duplicados”, cuando se dispongan de dos o más puntos conocidos con idéntica posición planimétrica (XY) y distinta altimétrica (Z), se opta por las siguientes alternativas de manejo: mantener el primer punto generado “*keep first*”, descartarlos “*discard*”, media de los valores “*average*”, el valor mínimo “*minimum*”, el valor máximo “*maximum*”, y mantener el último punto generado “*keep last*”. En el presente estudio se utiliza la media de los valores.
- *Low / High Trimming*: “Eliminación mínimos y máximos”, esta opción permite eliminar valores estimados atípicos del raster resultante. Establecen los porcentajes mínimos y máximos de desviación respecto a los valores mínimos y máximos de los puntos conocidos utilizados. En caso que un valor estimado resultare fuera de este rango, el valor estimado se elimina y en su reemplazo se utiliza sea el mínimo o el máximo valor conocido según corresponda. En el caso de estudio, se determina como porcentajes de eliminación el 10% tanto en exceso como en defecto.
- *Variogram*: “Variograma”, se puede considerar como el núcleo del proceso de la interpolación estocástica Kriging, ya que en estas opciones se define la geometría y los modelos de variogramas teóricos sobre los cuales se calculan los factores de ponderación que incidirán en la estimación de los valores continuos resultantes en el MDT (ver ítem 2.3.2.4):
  - *Variogram Model*: “Modelo del Variograma Teórico”, en esta opción se podrá escoger el modelo teórico del variograma elegido, a fin de calcular el sistema de ecuaciones lineales aplicables para cada punto cuya altura se estimará. Como se puede recordar, a través del variograma teórico se conforma el vector de las covarianzas estimadas relativo a los términos

independientes del sistema de ecuaciones para resolver, los tipos de modelos teóricos de variogramas presentes son los siguientes:

- *Lineal*: Modelo aplicado en el presente estudio, tiene como único parámetro la pendiente, es decir que se asume que existe autocorrelación espacial en toda el área de extensión, por lo tanto, no existe meseta “*sill*”.
  - *Spherical*: “Esférico”, modelo aplicado para el proyecto, es considerado como el modelo ideal, ya que comienza desde el origen, aumenta paulatinamente hasta la meseta definida “*sill*”, y a partir de allí continúa a nivel constante.
  - *Exponential*: “Exponencial”, modelo igualmente aplicado en el presente estudio, este modelo se aproxima a la meseta de manera asintótica, es decir, que la tendencia no interseca exactamente con la meseta, además, su varianza es menor a la resultante del modelo esférico para todas las distancias menores al valor del rango “*range*”.
  - *Quadratic*: “Cuadrático”, este modelo es similar al modelo esférico, pero la curva que subtiende es más empinada ascendiendo hasta alcanzar la meseta.
  - *Gaussian*: “Gausiano”, este modelo es similar al modelo exponencial y al igual que el modelo cuadrático, se aproxima a la meseta más pronunciadamente.
- *Drift Order*: “Grado de Tendencia Global”, Marcan como opciones una serie de ecuaciones polinómicas para demarcar la tendencia global que existe en la superficie donde se distribuyen los puntos LIDAR, mientras

mayor sea el grado polinómico, más compleja será la curva a la que se aproxima la tendencia global:

- *Ordinary Kriging*: “Kriging Ordinario”, con esta opción se elimina por completo la tendencia global y se aplica completamente el concepto de geoestadística al hablar de fenómenos randómicos de comportamiento de la variable altura. Esta opción se aplica en todos los modelos de variogramas teóricos utilizados en la interpolación Kriging objeto de este documento.
  - *Linear*: Polinomio de primer grado para representar la tendencia global.
  - *Quadratic*: “Cuadrático”, polinomio de segundo grado para representar la tendencia global.
  - *Cubic*: “Cúbico”, polinomio de tercer grado para representar la tendencia global.
  - *Quartic*: “Cuártico”, polinomio de cuarto grado para representar la tendencia global.
  - *Quintic*: “Quíntico”, polinomio de quinto grado para representar la tendencia global.
- *Sill Value*: “Valor de la meseta”, cantidad que representa la máxima variación entre el conjunto de puntos cuando existe autocorrelación espacial, resulta del cálculo del variograma experimental efectuado por el sistema, sin embargo, puede ser modificado por el usuario y formará parte de los parámetros de los variogramas teóricos para la resolución de los sistemas de ecuaciones en el proceso de estimación de los valores.

- *Nugget Value*: “Valor de la pepita”, punto de corte sobre las ordenadas del variograma experimental, igualmente puede ser modificado y constituye parámetros para los variogramas teóricos utilizados.

Finalmente, en el esquema Kriging presente en TNT Mips 6.9, existen seis opciones que configuran el método:

- *Output Std. Error Raster*: “Salida del Raster de Error estándar”, botón de opción que permite la generación del raster del error estándar una vez que se ha generado el MDT Kriging, ya que en esencia el método Kriging minimiza las varianzas resultantes en el ajuste.
- *Output Drift Raster*: “Salida del Raster de la Tendencia Global”, botón de opción que permite la generación del raster de la tendencia global utilizada en el método, no aplica cuando se utiliza el Kriging Ordinario ya que elimina de antemano dicha tendencia.
- *Save Variogram*: “Guardar Variograma Experimental”, botón que permite guardar en archivo local y en formato texto, el variograma experimental calculado por el sistema.
- *Setup Kriging*: “Configurar Kriging”, botón que calcula el variograma experimental, con el cual se definen los parámetros para el posterior proceso de interpolación.
- *Variogram Plot*: “Ploteo del variograma”, botón que genera un gráfico XY del variograma experimental calculado; en el eje X, se representan los lags o distancias fijas, mientras que en el eje Y se representa la variación acumulada entre todos los pares de puntos presentes dentro de un lag (ver ítem 2.3.2.2).

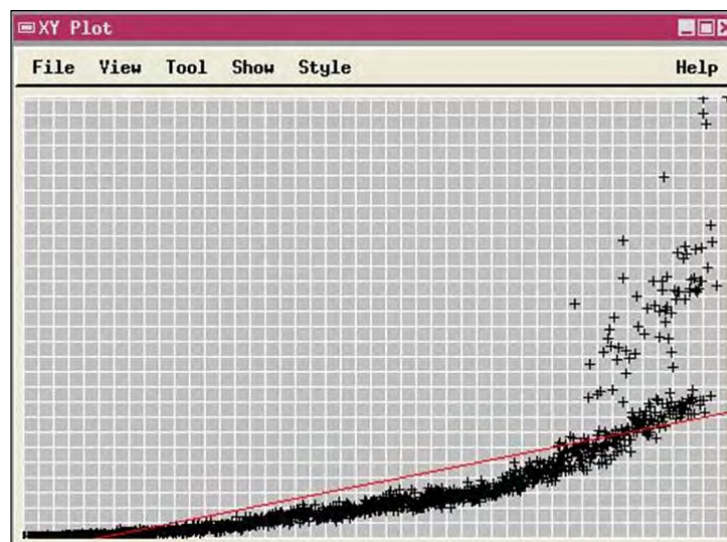


Figura 3-28: Variograma experimental TNT Míps 6.9 para los puntos LIDAR de Tumbabiro

- *Cross Validation*: “Validación Cruzada”, permite calcular el promedio de las diferencias entre todas las alturas estimadas respecto a todas las alturas conocidas.

Con estas consideraciones, se procedió a fijar los parámetros Kriging, con la única salvedad que el elemento que cambia del método es el *Modelo de Variograma Teórico*, con el cual se generarán los tres modelos digitales del terreno Kriging: Lineal, Esférico y Exponencial, a continuación se resume el conjunto de parámetros aplicados:

Tabla 3-2: Parámetros utilizados en el Método Estocástico Kriging<sup>15</sup>

PARÁMETRO	VALOR
<i>Variogram</i>	
Variogram Model	<b>Linear / Spherical / Exponential</b>
Drift Order	<b>Ordinary Kriging</b>
Sill Value	<b>118.000</b>
Nugget Value	<b>0</b>

<sup>15</sup> Para generar los distintos modelos, únicamente se cambió la opción de *Variogram Model*, a fin de elegir paulatinamente: Lineal, Esférico y Exponencial.

PARÁMETRO	VALOR
<i>Search Options</i>	
Points per sector	<b>32</b>
Minimum Total Points	<b>5</b>
<i>Anisotropy</i>	
Anisotropy Angle	<b>355</b>
Principal Axis	<b>1</b>
Minor Axis	<b>0,6</b>
<i>Data Treatment</i>	
Duplicate Points	<b>Average</b>
Low Trimming	<b>10</b>
High Trimming	<b>10</b>
<i>Output Std. Error Raster</i>	<b>NO</b>

Por las limitaciones del rendimiento hardware / software mencionadas inicialmente, se obtienen paquetes de archivos raster interpolados correspondientes a cada tesela generada (en total 8 teselas para cada modelo digital del terreno), el conjunto de teselas es continuo y abarca toda la extensión de la parroquia Tumbabiro, para lo cual es necesario unir todas las teselas para producir un único archivo raster correspondiente al MDT Kriging, sea: lineal, esférico y exponencial. Es por ello que se procedió a realizar un mosaico en entorno TNT Mips 6.9 para cada uno de los 3 conjuntos de teselas generados.

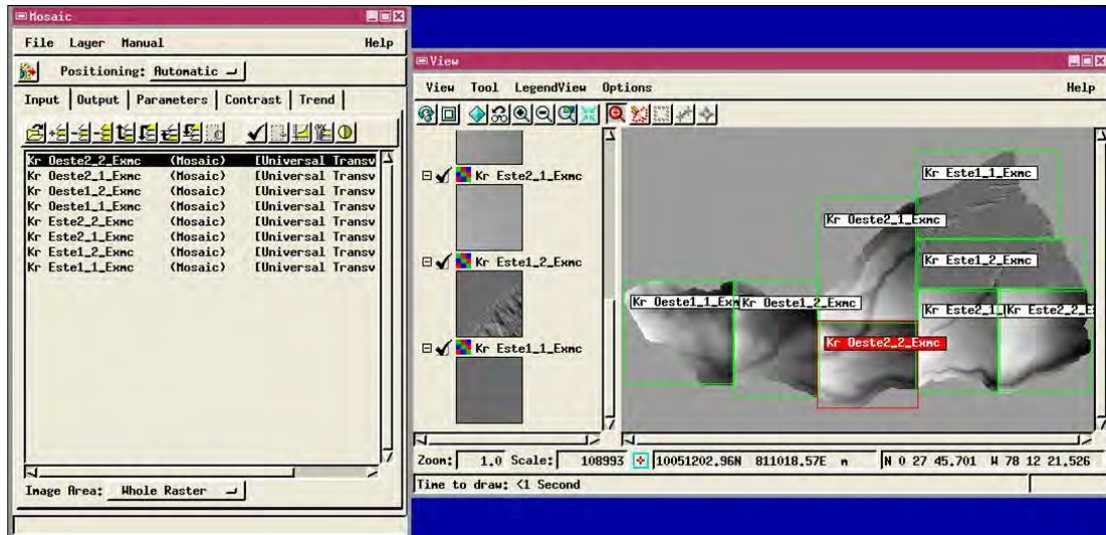


Figura 3-29: Herramientas para generar mosaicos en TNT Mips 6.9

Con los mosaicos creados para cada conjunto de teselas Kriging (lineal, esférico y exponencial), se obtuvieron los siguientes resultados:

- *Modelo Digital del Terreno – Kriging Lineal*

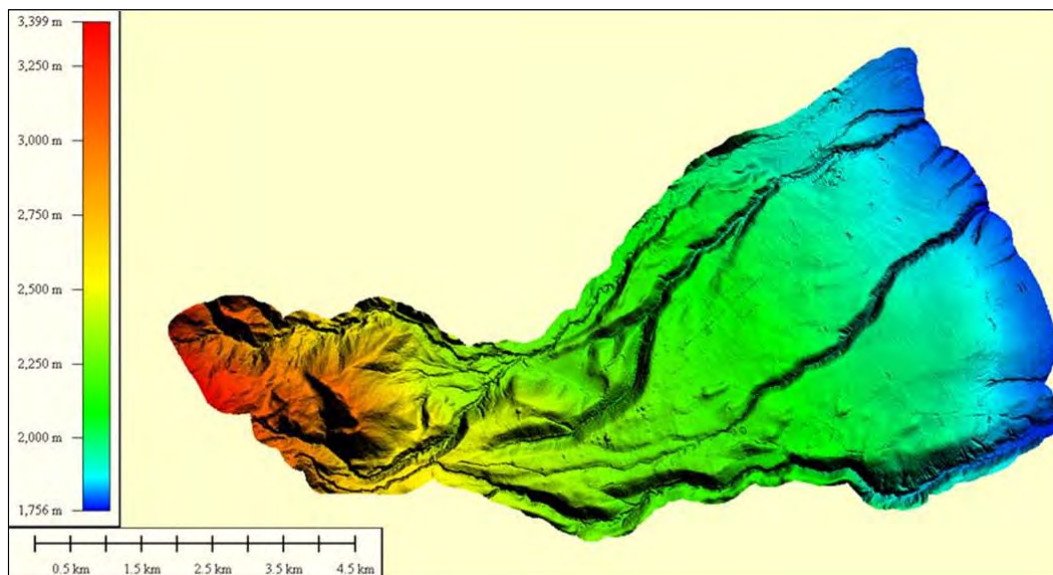


Figura 3-30: MDT por Kriging Lineal generado para Tumbabiro

- *Modelo Digital del Terreno – Kriging Esférico*

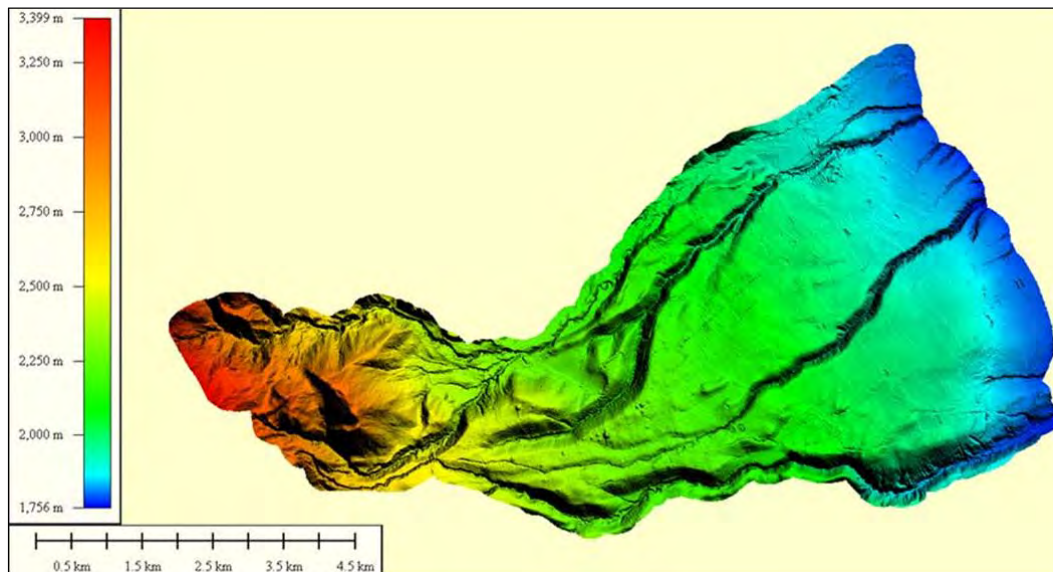


Figura 3-31: MDT por Kriging Esférico generado para Tumbabiro

- *Modelo Digital del Terreno – Kriging Exponencial*

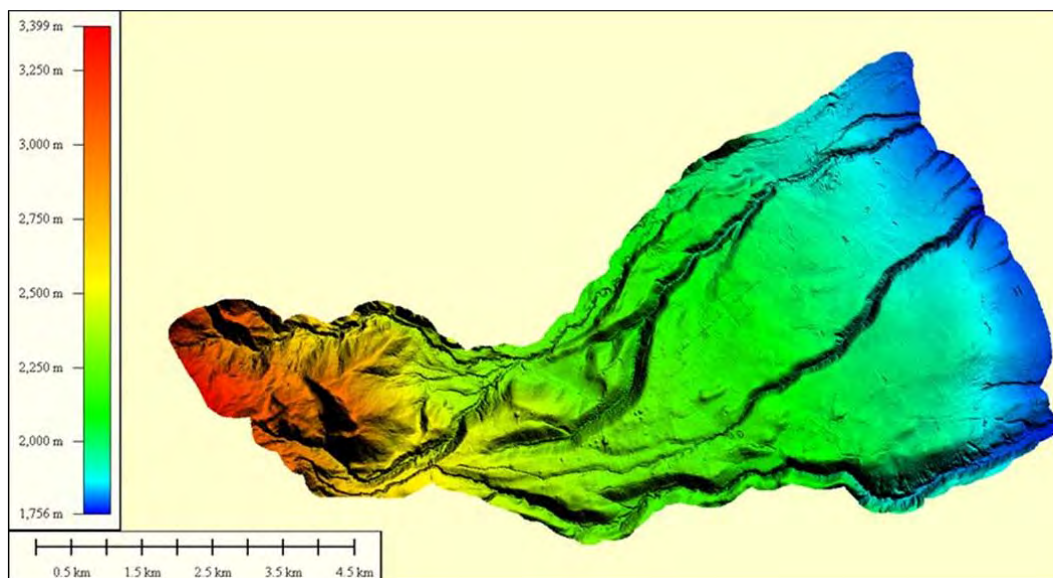


Figura 3-32: MDT por Kriging Exponencial generado para Tumbabiro

Una adecuada presentación de los productos generados se evidencia en el (ANEXO 1).



#### **4. Comparación estadística entre Modelos Digitales del Terreno generados por métodos de interpolación determinísticos y estocásticos.**

En el presente capítulo, se determina la calidad en el ajuste de los métodos de interpolación generados y su interrelación a raíz de parámetros estadísticos. Dichos parámetros se obtuvieron a partir de la utilización de puntos XYZ que no participaron en el proceso de interpolación, a fin de ser considerados como puntos de chequeo que establecen la confiabilidad y relación de los distintos Modelos Digitales del Terreno tanto Determinísticos como Estocásticos generados.

Los puntos de chequeo se extraen del universo de datos LIDAR a partir de técnicas de muestreo estandarizadas (ISO) y posteriormente son comparados con la información resultante de los MDT obtenidos en el capítulo anterior.

##### **4.1 Proceso metodológico para la comparación estadística entre los Modelos Digitales del Terreno de la parroquia Tumbabiro.**

De acuerdo a la Figura 3-2 del capítulo anterior, una vez que se encuentra filtrada la información LIDAR al terreno dentro de la **FASE 1**, se extrajeron varios puntos LIDAR correspondientes a cada uno de los archivos categorizados según la nomenclatura del IGM para la cartografía 1:5000, entonces, todo el flujo de trabajo para la extracción de puntos LIDAR de chequeo y conformación del análisis estadístico comparativo (**FASE 4**), se esquematiza en la siguiente figura:

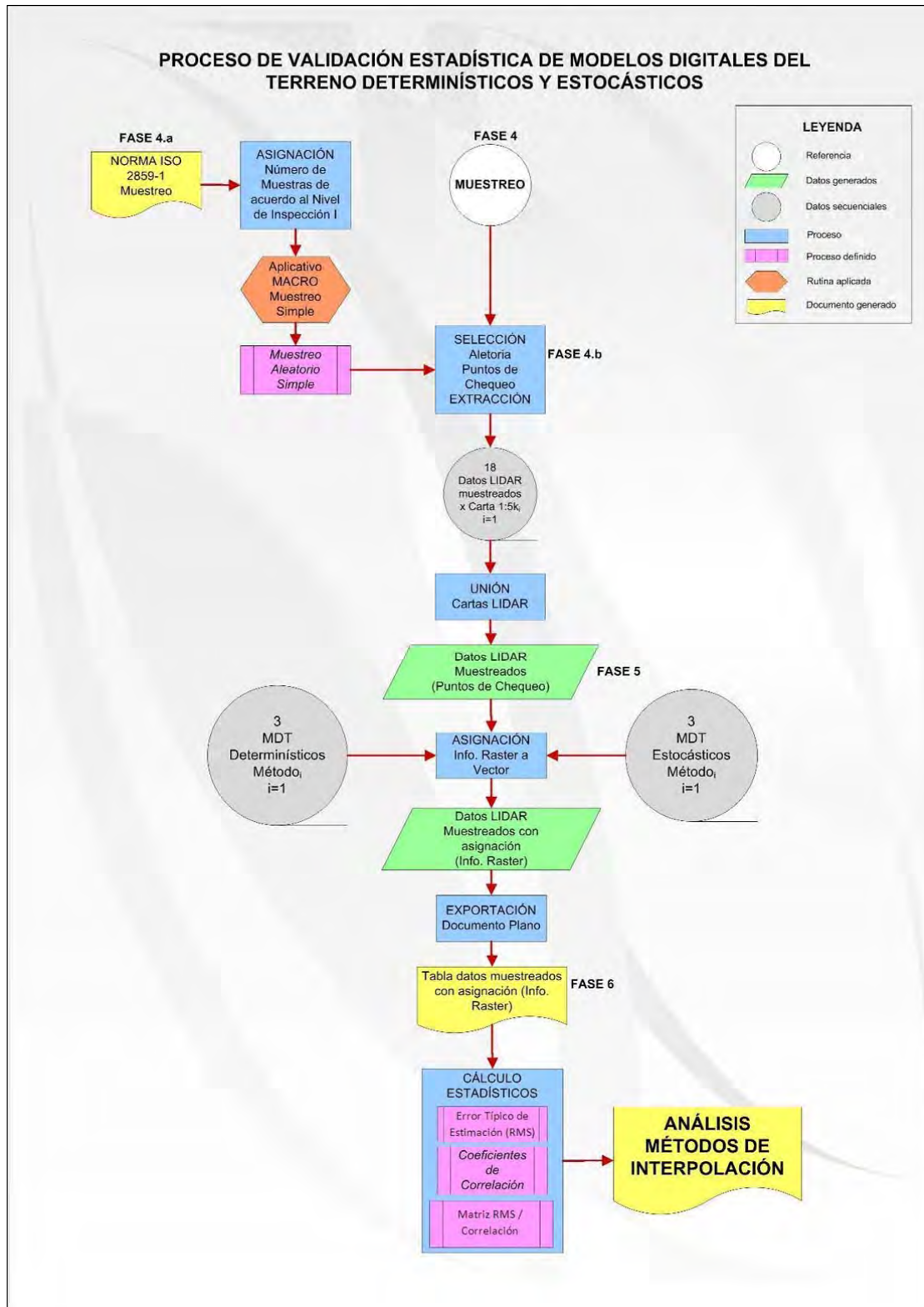


Figura 4-1: Flujo de procesos para el análisis estadístico comparativo de MDT para Tumbabiro

## 4.2 Selección del tamaño de la muestra (puntos de chequeo)

Según la Figura 4-1 en su **FASE 4.a**, la técnica para calcular el número de muestras de toda la población de puntos LIDAR en la parroquia Tumbabiro fue adoptada a partir de la norma ISO 2859-1<sup>16</sup>, norma que tiene como propósito fundamental definir criterios de aceptación de calidad de lotes<sup>17</sup> a partir de la selección, análisis y evaluación de muestras representativas de estos.

En el caso particular del presente estudio, el lote estará definido por todo el conjunto de puntos LIDAR de la parroquia Tumbabiro, y la aplicación de la norma ISO 2859-1 estará limitada a la conformación de la muestra (número de puntos de chequeo), que se va a extraer del universo como elemento de comparación. Es decir, no se van a evaluar las no conformidades<sup>18</sup> existentes en cada elemento de la muestra para calificar la aceptación de calidad del lote.

En este contexto no se va a evaluar el lote de los puntos LIDAR, sino que simplemente se van a muestrear aleatoriamente varios puntos LIDAR que servirán como puntos de chequeo para validar los Modelos Digitales del Terreno generados. Se asume de antemano que los datos LIDAR capturados para el Programa SIGTIERRAS cumplen con los estándares de calidad requeridos.

Debido a la naturaleza técnica del sistema LIDAR, en el cual se puede encontrar una gran densidad y cantidad de puntos existentes sobre el terreno con características muy comunes entre sí, como por ejemplo: fuente, captura, procesamiento, frecuencia, vuelos, entre otras;

---

<sup>16</sup> International Organization for Standardization (ISO), Technical Committee 69 (TC/69): *Sampling procedures for inspection by attributes – Part 1: Sampling schemes indexed by acceptance quality limit (AQL) for lot by lot inspection*.

<sup>17</sup> “Lote: es la cantidad de algún producto, material o servicio, colectado en conjunto” (ISO, 1999).

<sup>18</sup> “No conformidad: es el incumplimiento de un requerimiento específico” (ISO, 1999).

se optó por determinar la muestra a partir del Nivel de Inspección General I, con lo cual el lote que conforma la nube de puntos LIDAR para Tumbabiro, está conformado por 4'878.554 puntos filtrados al terreno, con ello el tamaño de muestra para una inspección normal está definido en la siguiente figura:

**Table 1 - Sample size code letters (see 10.1 and 10.2)**

Lot size	Special inspection levels				General inspection levels		
	S-1	S-2	S-3	S-4	I	II	III
2 to 8	A	A	A	A	A	A	B
9 to 15	A	A	A	A	A	B	C
16 to 25	A	A	B	B	B	C	D
26 to 50	A	B	B	C	C	D	E
51 to 90	B	B	C	C	C	E	F
91 to 150	B	B	C	D	D	F	G
151 to 280	B	C	D	E	E	G	H
281 to 500	B	C	D	E	F	H	J
501 to 1 200	C	C	E	F	G	J	K
1 201 to 3 200	C	D	E	G	H	K	L
3 201 to 10 000	C	D	F	G	J	L	M
10 001 to 35 000	C	D	F	H	K	M	N
35 001 to 150 000	D	E	G	J	L	N	P
150 001 to 500 000	D	E	G	J	M	P	Q
500 001 and over	D	E	H	K	N	Q	R

Figura 4-2: Tabla para determinar el tamaño de muestra para los puntos LIDAR de Tumbabiro  
Fuente: ISO 2859-1, 1999

Efectivamente, al estar el lote conformado por más de 500.000 puntos LIDAR y habiendo optado por un Nivel de Inspección General I, el código del tamaño de la muestra es “N”.

Sample size code letter		Acceptance quality limit, AQL, in percent nonconforming items and nonconformities per 100 items (normal inspection)																											
		0,010	0,015	0,025	0,040	0,065	0,10	0,15	0,25	0,40	0,65	1,0	1,5	2,5	4,0	6,5	10	15	25	40	65	100	150	250	400	650	1000		
		Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	
A	2																												
B	3																												
C	5																												
D	8																												
E	13																												
F	20																												
G	32																												
H	50																												
J	80																												
K	125																												
L	200																												
M	315																												
<b>N</b>	<b>500</b>																												
P	800																												
Q	1250																												
R	2000																												

Figura 4-3: Plan de muestreo y aceptación de lotes en una inspección normal  
Fuente: ISO 2859-1, 1999

En la figura anterior se refleja la tabla en la cual se hallan los códigos de tamaño de muestra y el nivel de aceptación / rechazo del lote a partir de una inspección normal. Para el caso puntual del lote de puntos LIDAR de Tumbabiro, únicamente se utilizará el código de tamaño de muestra para extraer el número de puntos de chequeo que compararán los Modelos Digitales del Terreno, en este caso se extraerán 500 puntos, correspondientes al código de tamaño de muestra N.

### 4.3 Selección de puntos LIDAR aleatorios

Continuando con el flujo de trabajo de acuerdo a la Figura 4-1 en su **FASE 4.b**, y en partiendo del hecho que la información LIDAR previamente clasificada al terreno inicialmente se encuentra almacenada en 18 archivos categorizados según la nomenclatura IGM para cartografía 1:5000 (ver Figura 3-5), estos fungirán como estratos para seleccionar los puntos aleatorios LIDAR correspondientes y obtener una distribución uniforme de puntos de chequeo a lo largo de toda la extensión de la parroquia Tumbabiro,

para lo cual el número total de muestras determinado en el ítem anterior, se reparte proporcionalmente en los 18 archivos o estratos originales, denotando así la siguiente proporción de puntos de chequeo para cada archivo:

**Tabla 4-1: Distribución de número de muestras para cada archivo LIDAR de Tumbabiro**

<b>Archivo Cod, IGM</b>	<b># Puntos</b>	<b>% Pob,</b>	<b># Muestras</b>
ÑII-D3b-C4	56.905	1,17	6
ÑII-D3b-F2	148.229	3,04	15
ÑII-D4a-A3	74.169	1,52	8
ÑII-D4a-A4	28.353	0,58	3
ÑII-D4a-B1	34.796	0,71	4
ÑII-D4a-B2	284.810	5,84	29
ÑII-D4a-B3	484.510	9,93	50
ÑII-D4a-B4	596.006	12,22	61
ÑII-D4a-C1	18.363	0,38	2
ÑII-D4a-C3	318.742	6,53	33
ÑII-D4a-D1	560.694	11,49	57
ÑII-D4a-D2	561.891	11,52	57
ÑII-D4a-D4	66.149	1,36	7
ÑII-D4a-E1	592.772	12,15	61
ÑII-D4a-E2	576.995	11,83	59
ÑII-D4a-E3	62.681	1,28	6
ÑII-D4a-E4	20.220	0,41	2
ÑII-D4a-F1	392.269	8,04	40
<b>TOTAL</b>	<b>4.878.554</b>	<b>100,00</b>	<b>500</b>

En la columna (*# Muestras*) se detalla el número de muestras que se extraerán para cada archivo LIDAR categorizado con nomenclatura 1:5000 hasta completar las 500 muestras o puntos de chequeo.

Para el proceso de selección de puntos (muestras) aleatorios, se diseñó un aplicativo macro en lenguaje Visual Basic 6.3 y bajo entorno Excel 2007 (Ver **ANEXO 2**), el cual tiene el

nombre de *Selec\_muestras.xlsm* y cuyo procedimiento de funcionalidad se detalla a continuación:

- Exportar los archivos \*.las (18 archivos las, correspondientes a las hojas topográficas con nomenclatura 1:5000 del IGM) a archivos ASCII, a fin que puedan ser tabulados.
- En cada archivo ASCII, asignar a cada registro (punto LIDAR) un campo que almacenará su correspondiente código único de tipo de dato numérico e incremental.
- Guardar cada uno de los archivos ASCII en formato xlsx, xls, csv o dbf, dependiendo de la cantidad de registros, se recomienda en formato xlsx.
- Abrir el aplicativo *Selec\_muestras.xlsm*, y limpiar íntegramente cualquier tipo de registros en las columnas (*Cod\_1*, *Cod\_2*, y *Cod\_Muestras*).
- Para cada uno de los 18 archivos tabulados, se deberá copiar la columna relacionada con el código único e irrepitable para cada punto LIDAR y pegarla dentro del archivo *Selec\_muestras.xlsm* tanto en la columna *Cod\_1* como *Cod\_2*.
- En la casilla *Población*, se debe cuantificar con precisión el número total de registros (puntos) existentes en cada archivo. De igual manera, en la casilla *No. Muestras*, se deberá incluir el número de muestras respectivas dependiendo del archivo LAS y en función de la Tabla 4-1 en su columna # *Muestras*.
- Con esto se ha conseguido preparar el aplicativo para la selección de las muestras, entonces se procede a ejecutar la Macro1 a través de Microsoft Excel 2007.

- Automáticamente, en la columna *Cod\_muestras* se agruparán los códigos aleatorios de registros seleccionados al azar de un total correspondiente al número de muestras ingresado en el casillero *No. Muestras*.
- Se debe copiar todos los registros de la columna *Cod\_muestras* y se debe pegar en un nuevo archivo (de preferencia *xlsx*), para posteriormente guardarlo con el nombre del archivo IGM 1:5000 respectivo. Allí se almacenarán los códigos muestreados aleatoriamente de los puntos pertenecientes a cada archivo LAS íntegro.
- Se plotea el archivo ASCII original con todos los puntos LIDAR y se enlaza alfanuméricamente con la tabla de códigos muestreados a fin que se puedan visualizar únicamente los puntos muestreados.
- Finalmente, se exporta en un nuevo archivo *\*.shp* los puntos muestreados.
- Se debe repetir este proceso para cada uno de los 18 archivos LAS originales, consiguiendo así 18 archivos con los puntos muestreados (puntos de chequeo), dando un total de 500 elementos.

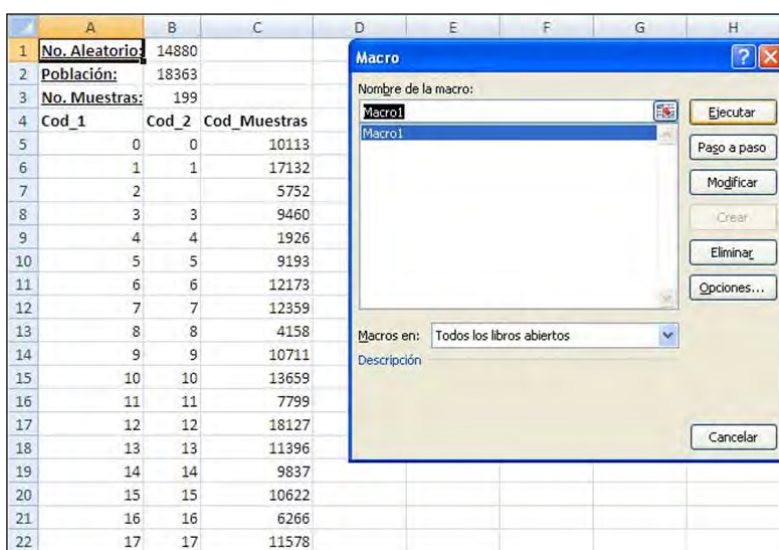


Figura 4-4: Interface macro Selec\_muestras.xlsm bajo entorno Excel 2007



Entonces se obtienen 18 archivos \*.shp con los puntos de chequeo (muestras), el muestreo es estratificado, por ende, se logra una distribución uniforme a lo largo de toda la extensión de la parroquia Tumbabiro, posteriormente, se generó un único archivo de puntos de chequeo conteniendo 500 registros en conformidad a lo determinado en el análisis de la norma ISO 2859-1.

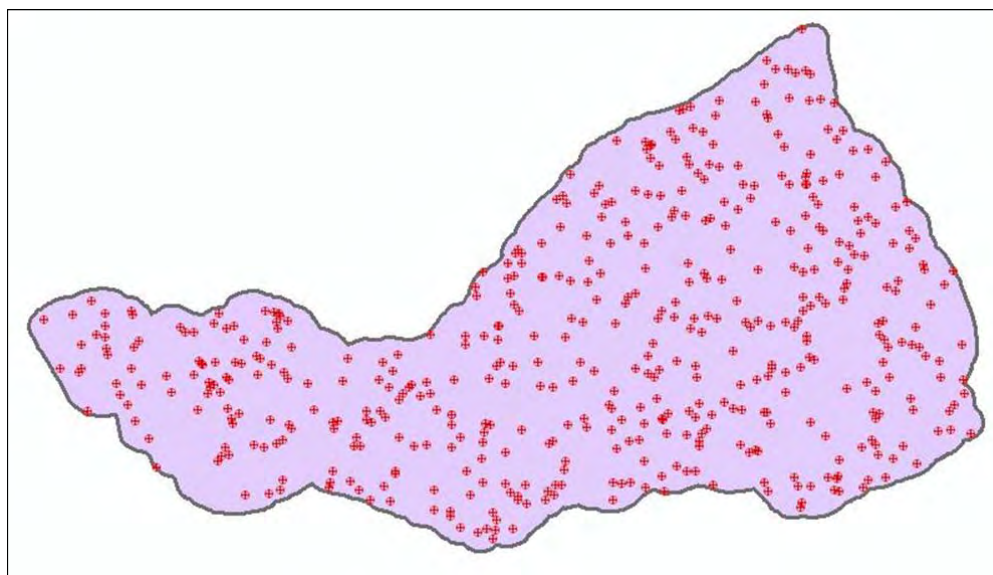


Figura 4-5: 500 Puntos de chequeo (muestras) distribuidos en la parroquia Tumbabiro

#### **4.4 Asignación de los valores interpolados de los diferentes Modelos Digitales del Terreno a los puntos de chequeo.**

Una vez determinados 500 puntos de chequeo y previamente generados 6 modelos digitales de terreno (3 determinísticos y 3 estocásticos), es necesario asignar los datos de cada modelo digital del terreno a los puntos de chequeo (ver Figura 4-1, **FASE 5**). La asignación consiste en vincular en una tabla para cada punto de chequeo el valor numérico del MDT correspondiente.

El proceso de asignación se lo realiza bajo entorno TNT Mips 6.9 a través de la herramienta *Raster Properties*

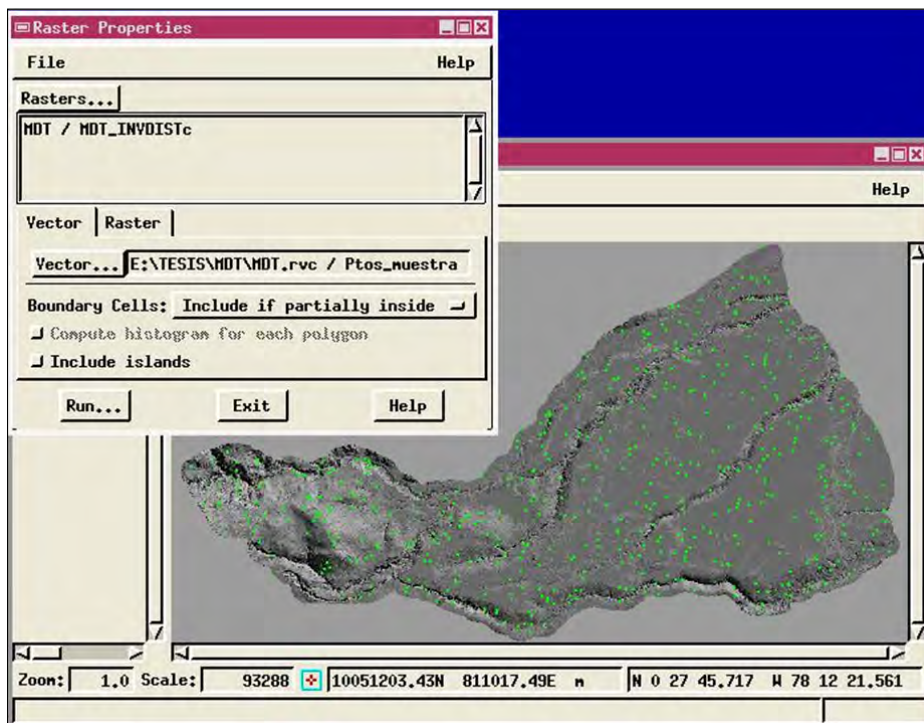


Figura 4-6: Asignación de valores raster a elementos vectoriales

Cada vez que se ha asignado los valores de un determinado MDT, se genera una tabla vinculada, en total se obtienen 6 tablas, entonces se procede a exportar dichas tablas en un solo documento plano a fin de efectuar los cálculos para la comparación estadística de los Modelos Digitales del Terreno resultantes.

#### **4.5 Análisis estadístico de los Modelos Digitales del Terreno determinísticos y estocásticos**

Mediante la utilización de los puntos de chequeo, básicamente se describirán dos análisis estadísticos de comparación de Modelos Digitales del Terreno sobre los cuales se

relacionan tanto los valores ( $Z$ ) correspondientes a los puntos de chequeo, así como, los valores ( $Z$ ) referentes a los MDT determinísticos y estocásticos.

Los parámetros a determinarse son: el error típico de estimación o  $RMS^{19}$ , y el coeficiente de correlación.

#### 4.5.1 Error Típico de Estimación o RMS

El error típico de estimación, RMS, o error medio cuadrático es un parámetro estadístico que calcula el valor promedio de las variaciones entre los valores de altura existentes en los puntos de chequeo (valores que se asumen como reales) y los valores de altura estimados para las misma ubicación (XY) de los puntos de chequeo en los diferentes Modelos Digitales del Terreno generados; entonces, mientras menor sea la variación promedio o RMS, mejor será el ajuste del Modelo Digital del Terreno respecto a la realidad, se debe tener en cuenta que los puntos de chequeo en ningún momento intervienen en los procesos de interpolación descritos en el capítulo anterior.

**Ecuación 4-1: Error Típico de Estimación (RMS)**

$$RMS_Z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_i - Z'_i)^2}{n}}$$

Donde:

$RMS_Z$ : Error Típico de Estimación (Z) – RMS

$Z_i$ : Valor de altura (Z) real, extraído del punto de chequeo i

---

<sup>19</sup> RMS (Root Mean Square) o Error Medio Cuadrático.

$Z'_i$ : Valor de altura ( $Z$ ) estimada, extraído del MDT en la posición ( $XY$ ) del punto de chequeo  $i$

$n$ : Número total de puntos de chequeo

Con esta premisa, se calcularon seis valores de error típico de estimación (RMS) relacionando los valores de altura de los puntos de chequeo, con cada uno de los valores de altura estimados en los modelos digitales del terreno tanto determinísticos como estocásticos generados, por lo tanto, los resultados fueron los siguientes:

**Tabla 4-2: Resultados del cálculo del Error Típico de Estimación ( $RMS_Z$ ) para los diferentes MDT**

Tipo de Método de Interpolación	Método de Interpolación	$RMS_Z$ (m)
Determinístico	Triangulación	0.8227
	Inversa Distancia	1.1713
	Spline	0.7842
Estocástico	Kriging Lineal	1.0220
	Kriging Esférico	1.0220
	Kriging Exponencial	1.0217

#### 4.5.2 Coeficientes de Correlación ( $r$ )

El coeficiente de correlación es una medida estadística adimensional en la cual mide la relación que existe entre dos variables cuantitativas. Para el caso particular del presente estudio, este coeficiente analiza la relación que existe entre las diferencias obtenidas con cada modelo digital del terreno respecto a las alturas reales de los puntos de chequeo, con el fin de obtener la “familiaridad” que existe entre los diferentes métodos de interpolación.

Mientras el coeficiente de correlación sea más próximo al valor de uno (1), las variables cuantitativas (métodos de interpolación), serán más similares entre sí.

Ecuación 4-2: Coeficiente de Correlación (r)

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n \Delta Z_{1i} \Delta Z_{2i} - \sum_{i=1}^n \Delta Z_{1i} \sum_{i=1}^n \Delta Z_{2i}}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n \Delta Z_{1i}^2 - \left(\sum_{i=1}^n \Delta Z_{1i}\right)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n \Delta Z_{2i}^2 - \left(\sum_{i=1}^n \Delta Z_{2i}\right)^2}}$$

$$\Delta Z_{1i} = Z_i - Z'_{1i}$$

$$\Delta Z_{2i} = Z_i - Z'_{2i}$$

Donde:

$r$ : Coeficientes de Correlación

$n$ : número total de puntos de chequeo.

$Z_i$ : Valores de altura ( $Z$ ) de los puntos de chequeo.

$Z'_{1i}$ : Valores de altura ( $Z'_1$ ) estimados en el MDT  $_1$  en la posición precisa (XY) del punto de chequeo respectivo.

$Z'_{2i}$ : Valores de altura ( $Z'_2$ ) estimados en el MDT  $_2$  en la posición precisa (XY) del punto de chequeo respectivo.

$\Delta Z'_{1i}$ : Diferencia entre el valor de altura ( $Z$ ) de un determinado punto de chequeo con el valor correspondiente a la estimación ( $Z'$ ) del Modelo Digital del Terreno No. 1.

$\Delta Z'_{2i}$ : Diferencia entre el valor de altura ( $Z$ ) de un determinado punto de chequeo con el valor correspondiente a la estimación ( $Z'$ ) del Modelo Digital del Terreno No. 2.

En el siguiente cuadro resumen, se pueden observar los diferentes coeficientes de correlación entre los métodos de interpolación utilizados, en los cuales existe similitud en algunos y en otros existe una notoria diferencia.

Tabla 4-3: Resultados de los Coeficientes de Correlación obtenidos entre los MDT generados

MDT	Coeficiente Correlación (r)					
	Determinísticos			Estocásticos		
	Triang	InvDist	Spline	KrLine	KrEsfe	KrExpo
Triang	-	0.3349	0.5390	0.5072	0.5072	0.5070
InvDist	-	-	0.6648	0.1446	0.1446	0.1445
Spline	-	-	-	0.1021	0.1021	0.1016
KrLine	-	-	-	-	1.0000	1.0000
KrEsfe	-	-	-	-	-	1.0000
KrExpo	-	-	-	-	-	-

#### 4.5.3 Matriz RMS / Correlación

La presente es una matriz que plantea en resumen los parámetros estadísticos calculados relacionándolos de una manera pedagógica:

Tabla 4-4: Matriz RMS / Correlación para los diferentes MDT generados

	RMS (m)	Coeficiente Correlación (r)					
		Determinísticos			Estocásticos		
		Triang	InvDist	Spline	KrLine	KrEsfe	KrExpo
Determinísticos	Triang	<b>0.8227</b>	0.3349	0.5390	0.5072	0.5072	0.5070
	InvDist		<b>1.1713</b>	0.6648	0.1446	0.1446	0.1445
	Spline			<b>0.7842</b>	0.1021	0.1021	0.1016
Estocásticos	KrLine				<b>1.0220</b>	1.0000	1.0000
	KrEsfe					<b>1.0220</b>	1.0000
	KrExpo						<b>1.0217</b>

RMS (m)

En definitiva, con estos resultados, es conveniente analizar y concluir varios aspectos respecto al hecho de utilizar los diferentes métodos de interpolación para los tipos de datos presentados a fin de conocer las ventajas y desventajas acaecidas y la relación existente entre todos ellos.

## 5. Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

#### 5.1.1 Sobre los Modelos Digitales del Terreno analizados

En el presente estudio se generaron a partir de datos LIDAR, 6 diferentes Modelos Digitales del Terreno, 3 modelos a partir de métodos de interpolación determinísticos como: Triangulación, Inversa Distancia y Spline o mínima curvatura; y, 3 modelos adicionales a partir de métodos de interpolación estocásticos como: Kriging Ordinario Lineal, Kriging Ordinario Esférico y Kriging Ordinario Exponencial.

Dentro del análisis estadístico respecto a los puntos de chequeo se ha podido determinar que el Modelo Digital del Terreno que mejor se ajusta a la realidad, es el MDT generado a partir del método determinístico Spline o mínima curvatura, ya que respecto a éste, se ha obtenido un error típico de estimación o RMS de *0.784 metros*, el menor de todos y por ende, el que mejor se ajusta a la realidad tomando como referencia 500 puntos de chequeo en toda el área de estudio en la parroquia Tumbabiro. Seguidamente con un RMS de *0.823 metros*, el MDT generado a partir de triangulación es el segundo mejor modelo que se ajusta a la realidad. El tercer lugar comparten los tres MDT estocásticos generados mediante el método Kriging con sus tres variantes de variogramas teóricos, obteniendo de manera similar un valor común en el RMS de *1.022 metros*. Finalmente, el MDT que respecto a los anteriores, se ajusta en menor medida a la realidad es el que generó a través del método de interpolación determinístico de la Inversa Distancia, con el cual se obtuvo un RMS total de *1.171 metros*.



Con estos valores es necesario puntualizar dos aspectos notorios respecto a los resultados de RMS calculados:

- Las tolerancias que se adoptan para la generación de cartografía básica 1:5000<sup>20</sup> en su componente vertical, usualmente se refieren numéricamente como a la mitad del intervalo de las curvas de nivel que subtiendan, es decir, 2.5 metros de tolerancia en el componente vertical, por ello, para todos los MDT generados tanto determinísticos como estocásticos que tienen como promedio un RMS de 1 metro, se puede concluir que el tipo de producto cartográfico generado con los distintos métodos es de excelente calidad y supera al menos en el doble a las precisiones requeridas para la elaboración de cartografía 1:5000.
- El valor promedio de RMS que se obtiene con los métodos estocásticos es de 1 metro, calculado a partir de la interpolación de apenas 680.000 puntos<sup>21</sup> respecto a los 4'800.000 puntos utilizados en la interpolación de métodos determinísticos, es decir, que con apenas un 14% de los puntos originales se ha obtenido un producto cartográfico de calidad análoga, lo que conlleva a la conclusión que con un número similar de puntos tanto para la generación de modelos determinísticos como estocásticos, los modelos generados a partir del método Kriging garantizarían en gran medida una mejor calidad respecto a los determinísticos. Esta afirmación evidentemente está sujeta a una comprobación a través de un estudio paralelo. Sin embargo, presenta como argumento válido la coherencia matemática que mantiene con el método determinístico (Spline o mínima curvatura), en los cuales todos éstos

---

<sup>20</sup> Consideraciones técnicas preliminares para la formulación de los productos cartográficos SIGTIERRAS dentro del proyecto para la Toma de Fotografía Aérea Digital y Elaboración Ortofotografías 1:5000 a nivel nacional.

<sup>21</sup> Los puntos se redujeron por el hecho de optimizar los rendimientos hardware para este proyecto en vista que son limitados.

reducen sus desviaciones al mínimo, sea a través de iteraciones o a través del cálculo de factores de ponderación.

En el caso de los coeficientes de correlación en cierta medida se trata de determinar el grado de relación que existe entre los diferentes Modelos Digitales del Terreno, llegando a apreciarse los siguientes aspectos:

- Los coeficientes de correlación entre todos los métodos estocásticos son idénticos, principalmente porque se tratan de modelos digitales del terreno con una metodología similar en la que solo varían los cálculos de los variogramas teóricos, que sin embargo, al existir una gran densidad de puntos conocidos, no sufren mayor variación, dando como resultado estimaciones prácticamente idénticas entre sí.
- Los métodos determinísticos que más se asemejan son el método de Inversa Distancia y el método de Spline (mínima curvatura), debido a que en su estructura o algoritmo, el método de Spline posee una fase de inicialización que propiamente utiliza el método de inversa distancia.
- El método determinístico que más se aproxima a los estocásticos, es el método de triangulación, aunque su variabilidad también es considerable teniendo en cuenta que la correlación oscila en promedio el valor de 0.5.
- Asimismo, por su “semejanza” entre los métodos determinísticos Inversa Distancia y Spline (mínima curvatura), precisamente son éstos los que más difieren respecto a los métodos Kriging estocásticos, denotando coeficientes de correlación en los rangos de 0.1 y 0.14, es decir valores muy bajos con muy poca dependencia entre sí.

En este sentido, definitivamente se puede afirmar que el método más adecuado para generar Modelos Digitales del Terreno es el método Spline o mínima curvatura ya que posee el menor error típico de estimación registrado, sin embargo, no hay que desestimar la calidad de los resultados que se obtuvieron al utilizar los métodos estocásticos Kriging ya que a pesar de su eficiencia limitada a nivel de procesamiento hardware / software, genera productos de calidad muy aceptable respecto al modelo real topográfico existente en la parroquia de Tumbabiro.

### **5.1.2 Respetto al uso y tratamiento de los datos LIDAR**

El uso de los datos LIDAR específicamente abordado en el presente proyecto estuvo ligado a la generación y validación de Modelos Digitales del Terreno, es decir, se asumieron que los datos LIDAR como insumos se encontraban dentro de las especificaciones técnicas apropiadas para la generación de cartografía 1:5000. De todas formas, esta aseveración tiene mucho fundamento puesto que los datos LIDAR utilizados se enmarcaron dentro del proyecto nacional para la Toma de Fotografía Aérea Digital y Elaboración de Ortofotos 1:5000 llevado adelante por el Programa SIGTIERRAS del MAGAP, mismo que estableció rígidos procesos de control de calidad para la obtención final de los Modelos Digitales del Terreno obtenidos únicamente mediante triangulación y que estos fueron evaluados y supervisados por el Instituto Geográfico Militar del Ecuador (IGM), como entidad rectora de la cartografía nacional.

En otro aspecto, y en relación al tratamiento de datos LIDAR, actualmente la industria de desarrollo de software geográfico se encuentra en auge, la misma que ha implementado en varias herramientas con distintos niveles de especificidad, algoritmos muy funcionales y prácticos para el tratamiento LIDAR, lastimosamente estos desarrollos todavía no son

ampliamente explotados en herramientas de código abierto u open source, sin embargo, se pudo demostrar que ante las limitantes encontradas en su funcionalidad, fue factible tratar datos LIDAR a través de la herramienta libre Dielmo Open LIDAR, bajo entorno gv SIG.

### **5.1.3 Sobre el proceso de Control de Calidad de datos geográficos y las normas ISO**

Los protocolos para el control de calidad de los datos geográficos, actualmente en el país han tenido un desarrollo limitado, sin embargo a raíz del uso de las normas ISO y su variante ISO 19138<sup>22</sup> respecto a los elementos y sub elementos de la calidad de la información geográfica, se ha podido desagregar todos los componentes y criterios a analizar previos al uso de una cartografía en especial, como por ejemplo: consistencia lógica, consistencia de formato, consistencia de dominio, completitud, exactitud espacial, exactitud temporal y exactitud temática. Para el caso particular del presente análisis estadístico, se ha optado por remitirse únicamente al análisis de la exactitud espacial vertical y en cierta forma al análisis indirecto de la exactitud temática de los MDT generados a través de los distintos métodos expuestos, quedando pendientes varios elementos y sub elementos de la calidad aplicables por definir su nivel óptimo de calidad.

De cualquier manera, hay que dejar claro que el uso de muestras (ISO 2859-1) para determinar la calidad de los datos está supeditado exclusivamente a ciertos elementos y/o subelementos de la calidad con los cuales son factibles los niveles de aprobación o rechazo a partir de muestras (exactitud posicional, temporal o temática); otros parámetros o elementos y sub elementos de la calidad deberán analizarse en todo el ámbito del producto geográfico, es decir, al todo el 100% de sus elementos que lo conforman (completitud,

---

<sup>22</sup> International Organization for Standardization (ISO), Technical Committee 211 (TC/211). (2006). *19138: Geographic information – Data quality measures*.

consistencia lógica). Con ello se obtendría un análisis integral de la Calidad en los datos geográficos (MDT) generados.

#### **5.1.4 Acerca del uso de las distintas herramientas SIG**

Si bien es cierto, el presente análisis pudo haber sido concebido bajo los estándares o reglas del negocio de un determinado paquete informático SIG, sin embargo, se ha optado por el uso de varias herramientas SIG, a fin de poder plasmar en la práctica, que el manejo de herramientas como tal es de poca relevancia respecto al manejo de conceptos geográficos que dominan en ámbito de las ciencias geomáticas. Es decir, que es preciso dejar constancia que en el tratamiento de información espacial, un técnico no debería depender de un SIG en particular sino que a través del comportamiento de los fenómenos a representar, sus estructuras, alcance y recursos, sepa enmarcar el proyecto y utilizar las herramientas SIG disponibles, dejando registro de sus bondades y limitantes dentro del proceso; solo así podrá aplicar el criterio de experto que una persona forma a lo largo de su carrera profesional.

## **5.2 Recomendaciones**

### **5.2.1 Respecto a los métodos de interpolación a aplicar**

Una de las principales recomendaciones que se puede encasillar resultado del trabajo en el presente estudio, consiste en dejar claro que cada variable que se desee representar por medio de una superficie continua (raster) y a través de un determinado método de interpolación, es absolutamente independiente de otras variables, esto quiere decir indudablemente, que los métodos de interpolación más adecuados para representar alturas y generar MDTs, son los métodos estocásticos (por su confiabilidad ante el reducido número de sus datos fuente) y el método determinístico Spline (por el menor valor de RMS), estos métodos son exclusivos para este tipo de variable. El comportamiento “tridimensional” de una variable temática estará siempre limitado por tres factores esenciales: la cantidad de datos fuente que sirven como punto de partida de la interpolación, la distribución uniforme de los mismos a lo largo de toda el área de estudio y sobretodo la autocorrelación espacial predominante.

Si es imprescindible generar otro Modelo Digital de Superficies (MDS), se recomienda efectuar procesos pilotos de interpolación (en áreas reducidas) a partir de varios métodos, y si se van a utilizar métodos estocásticos, es totalmente necesario ejecutar previamente el análisis de autocorrelación espacial de las variables, a fin de definir los parámetros intrínsecos de estos métodos como por ejemplo: anisotropía, meseta, alcance, y demás.

De igual forma, se podría excluir de los procesos de interpolación a varios puntos originales fuente, a fin que sirvan como testigos para calcular el error típico de estimación o error medio cuadrático, RMS; valores que determinarán con alto grado de objetividad el método de interpolación más adecuado.

### **5.2.2 Acerca de la calidad de los datos LIDAR**

Un nuevo estudio o estudios complementarios pueden derivarse exclusivamente para determinar el nivel de calidad geométrico de los puntos LIDAR, este tipo de estudios primeramente tienen poco desarrollo actualmente a nivel nacional, sin embargo, se pueden empezar a desarrollar varios análisis que permitan calificar la idoneidad espacial de esta información.

Es preciso mencionar, que el nivel de calidad de los datos LIDAR, dependerá de varios procesos intermedios que intervienen en su génesis, entre ellos se puede citar: la calibración de los equipos (LIDAR y GPS/IMU) previo montaje en las aeronaves, los vuelos de calibración, la configuración y parametrización de los vuelos, la orientación relativa o ajuste entre las líneas de vuelo, y finalmente la orientación absoluta o ubicación de puntos de apoyo en campo que ajusten a las coordenadas finales de los datos generados. Todas estas fases, incluido su procesamiento de gabinete generan errores y por lo tanto deberán esquematizarse ante un proceso de control de calidad que no pierda de vista todas estas aristas que inciden a la calidad integral de la geometría LIDAR.

### **5.2.3 Aspectos integrales del Control de Calidad de los datos geográficos**

Además de haber enfocado el presente estudio en el aspecto temático (“Z”) de los modelos digitales del terreno generados, existen varios elementos y sub elementos de calidad, específicamente detallados en la norma ISO 19138, que se recomienda se incluyan en los estudios de validación de la información geográfica, por ejemplo, la consistencia lógica en MDT, que se relacionaría con el análisis de la analogía planimétrica altimétrica y su consistencia con el relieve generado; para el caso de la consistencia de dominio, básicamente enfoca en que el MDT sea un archivo con el tipo de raster adecuado para

expresar las magnitudes deseadas (16 bits, 24 bits, 32 bits); la consistencia de formato, abarca el tipo de archivo raster generado y que satisfaga a las especificaciones inicialmente delineadas. Otro de los elementos de la calidad a analizarse serían la omisión y la comisión como parte de la completitud, la omisión consiste en identificar de manera macro aquellos elementos geográficos que altimétricamente no han sido considerados en la interpolación del MDT; la comisión a su vez, contempla la identificación macro de fenómenos modelados que no existen en la realidad, es decir, elementos ajenos.

Finalmente, para los MDT se podrían evaluar los componentes geométricos de la información generados, como por ejemplo la exactitud horizontal y vertical, a través de la toma de puntos de chequeo que definirán la calidad tridimensional de los datos, determinando parámetros estadísticos bajo su interpretación y relación con los términos de referencia del proyecto, que calificarán el grado de satisfacción para su uso (en el presente estudio, el componente vertical, fue el único sub elemento de calidad analizado y calificado en función de los resultados de los RMS para los MDT generados). Además de ellos, existe el sub elemento de la exactitud temática, que para el caso particular de los MDT, es idéntico al componente geométrico vertical.

Con todos estos argumentos, se pueden esbozar nuevos proyectos que centren su atención y alcance en el análisis de los elementos y sub elementos de calidad de la información geográfica de cualquier índole, dando como resultado el “estado del arte” para las técnicas de evaluación de la cartografía, que actualmente no han tenido mayor desarrollo a nivel nacional.



#### **5.2.4 Sobre el uso y manejo de los sistemas de información geográfica**

La recomendación principal que se estructuró en este estudio, es que el uso de las herramientas SIG es independiente respecto a la concepción del entorno espacial, es decir, que un profesional no debe ligar estrechamente su actividad al uso de un determinado paquete SIG, sino que a través del manejo de los conceptos espaciales el uso de un paquete geográfico específico es indiferente al resultado que se desee obtener. Por tal razón, es imprescindible conocer la teoría y los alcances de las herramientas SIG a fin de direccionar y aplicar concretamente los productos y la información espacial generada, que siempre será útil, dependiendo de su enfoque final.

## Referencias Bibliográficas

- American Society for Photogrammetry & Remote Sensing (ASPRS). (2011). *LAS Specification. Version 1.4 R11*. ASPRS. Maryland – USA.
- Ariza, F. (2002). *Calidad en la Producción Cartográfica*. 1ra ed. Ra-Ma Editorial. Madrid – España.
- Bosque, J. (1997). *Sistemas de Información Geográfica*. 2da ed. Ediciones RIALP S.A. Madrid – España.
- Comunidad LIDAR.com.es – Foro Español de Noticias LIDAR. (2012, Marzo 05). *Airborne Altimetric LIDAR: Principle, Data collection, Processing and Applications*. Accedido el 19 de marzo de 2012 en <http://lidar.com.es/2010/09/15/airborne-altimetric-lidar-principle-data-collection-processing-and-applications/>
- Consorcio Stereocarto – Aeromapa. (2010). *Metodología para el posproceso y la edición de datos LIDAR*. 1ra ed. SIGTIERRAS. Quito – Ecuador.
- Csanyi, N. (2006). *Precision LiDAR Mapping of Transportation Corridors Using LiDAR-Specific Ground Targets*. Trabajo presentado en el Simposio de Sistemas de Información Geoespacial para transporte. Columbus – EEUU.
- Dalmolin, Q. (2002). *Ajustamento por Mínimos Cuadrados*. 1ra ed. Imprensa Universitária – UFPR. Curitiba – Brasil.
- Duque, J. (2008). *Modelación cartográfica hidrológica de la cuenca hidrográfica del río La Chimba para determinar la potencialidad del aprovechamiento del recurso agua mediante herramienta SIG en la cuenca y en el área de influencia del proyecto de riego Cayambe – Tabacundo*. Tesis de grado publicada. Escuela Politécnica del Ejército (ESPE). Quito - Ecuador.
- Echeverría, J.; Molinero, H.; Serra, J.; Peña, C. (1996). *Evaluación de Recursos Naturales con Geoestadística y Kriging*. Trabajo presentado en las IV Jornadas Modelos

Ambiental (CNM)'96. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. San Luis – Argentina.

ESRI. (2014). *GIS Dictionary*. Accedido el 15 de marzo de 2014 en <http://support.esri.com/en/knowledgebase/GISDictionary/term/breakline>

Felicísimo, A. (1994). *Modelos Digitales del Terreno. Introducción y aplicación en las ciencias ambientales*. 1ra ed. Pentalfa. Oviedo – España.

García, J. (2009). *DielmoOpenLIDAR: control de calidad de datos LIDAR y generación de productos finales*. Trabajo presentado en las III Jornadas de SIG Libre. Universidad de Girona. Girona – España.

Henoa, R. (1993). *Introducción a la Geoestadística. Teoría y Aplicación*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá – Colombia.

International Organization for Standardization (ISO); Technical Committee 69 (TC/69). (1999). *2859-1: Sampling procedures for inspection by attributes – Part 1: Sampling schemes indexed by acceptance quality limit (AQL) for lot by lot inspection*. 2da edición. ISO. Ginebra – Suiza.

International Organization for Standardization (ISO); Technical Committee 211 (TC/211). (2006). *19138: Geographic information – Data quality measures*. 1ra edición. ISO. Ginebra – Suiza.

Matheron, G. (1969). *Curso de Geoestadística. Los cuadernos del centro de Morfología Matemática de Fontainebleau*. 2do fascículo. Centro de Geoestadística de la Escuela de Minas de París. París – Francia.

Microimages, Inc. (2001). *Reference Manual for the TNT products V6.50.Kriging Method*. Accedido el 12 de marzo de 2014 en <http://www.microimages.com/documentation/refman/xhtml/proce011.htm#33.2.6%20%20Kriging%20Method>

- Satellite Imaging Corporation (SIC). (2012). *Satellite Imaging Sensors*. Accedido el 16 de marzo de 2012 en <http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors.html>
- Schenk, T. (2002). *Fotogrametría Digital*. 1ra ed. Marcombo, S. A. Barcelona – España.
- Skidmore, A. (2003). *Environmental Modelling with GIS and Remote Sensing*. 2da ed. Taylor & Francis. London – UK.
- Ramos, D. (2004). *Ruteo de Grafos Geométricos*. Trabajo de fin de carrera publicado. Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Madrid - España.
- Wandinger, U. (2005). *Introduction to LIDAR*. Springer Series. New York – USA.
- Zhang, K.; Chen, S.; Whitman, D.; Shyu, M.; Yan, J.; Zhang, C. (2003). *A progressive morphological filter for removing non ground measurements from airborne LIDAR data*. IEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 4, 872 – 882.

## Glosario de Términos

**Autocorrelación espacial:** Propiedad en la cual un fenómeno particular presenta similares condiciones en las cercanías al lugar en donde fue observado, las condiciones variarán sustancialmente conforme aumente la distancia respecto al lugar de observación.

**Interpolación:** Estimación de valores a partir de datos recabados en campo y a través de métodos o algoritmos predefinidos.

**ISO:** International Organization for Standardization, Organización Internacional para la Estandarización. Organismo no gubernamental que elabora normas técnicas sobre diversos procesos y procedimientos.

**Kriging:** Método de interpolación estocástico en el cual parte del hecho de la existencia de autocorrelación espacial de las variables, mismo que estima valores a partir del cálculo exhaustivo de factores de ponderación.

**Light Detection and Ranging (LIDAR):** Sistema de sensores activos que a través de pulsos laser obtiene datos georeferenciados tridimensionales o nubes de puntos.

**Modelo Digital del Terreno (MDT):** Superficie continua raster, cuyos valores digitales expresan magnitudes de altura o cotas (Z).

**Puntos de chequeo:** Coordenadas (XY) de sitios utilizados para contrastar observaciones y modelamientos a través de métodos preconcebidos.

**Sistemas de Información Geográfica (SIG):** Paquetes informáticos que sirven para preparar, estructurar, almacenar, consultar, analizar, modelar y presentar información georeferenciada.

**Variograma:** Modelo matemático que representa en un gráfico (xy) las variaciones totales de un valor observado respecto a segmentos de distancia fijos.

## ANEXOS

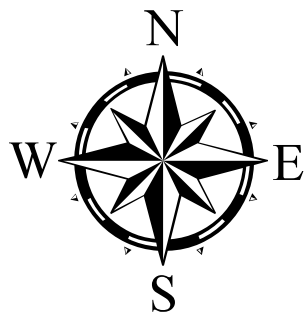
ANEXO 1. Modelos Digitales del Terreno (Determinísticos y Estocásticos) generados.

ANEXO 2. Aplicativo macro Selec\_muestras.xlsm y su código en Visual Basic 6.3.

ANEXO 3. Cálculo del Error Típico de Estimación (RMS).

ANEXO 4. Cálculo de los Coeficientes de Correlación ( $r$ )

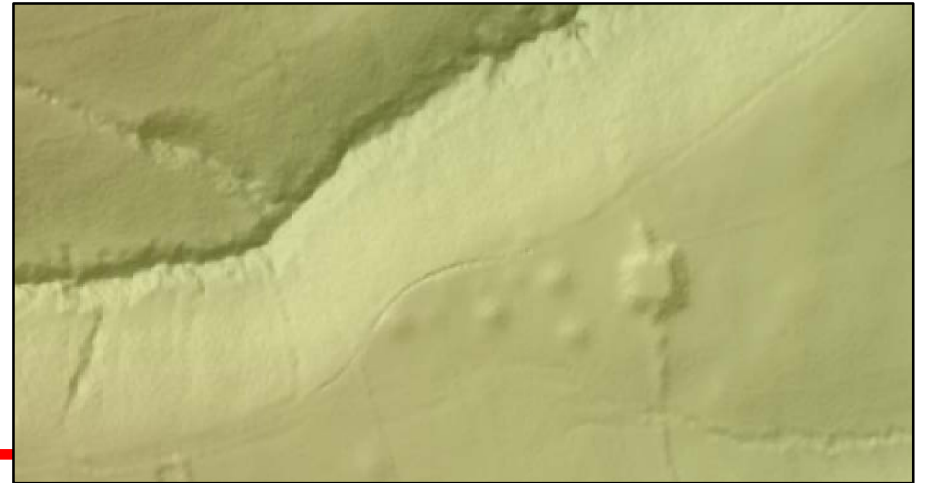
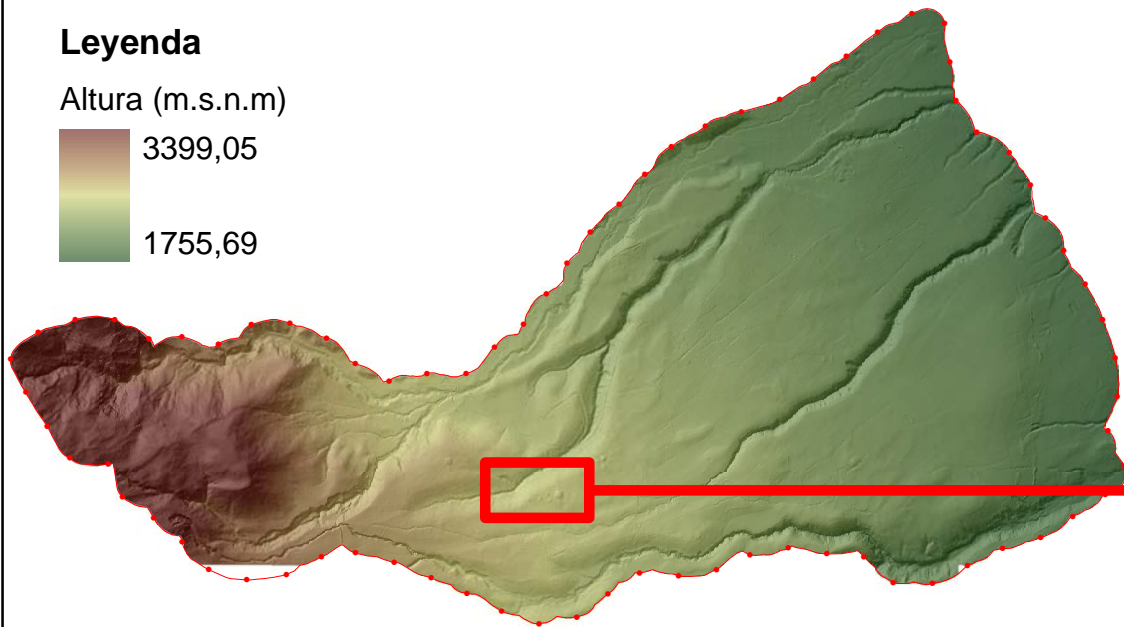
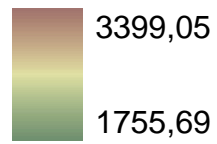
# ANEXO 1 :MODELOS DIGITALES DEL TERRENO (MÉTODOS DETERMINÍSTICOS)



## MDT Triangulación

### Leyenda

Altura (m.s.n.m)

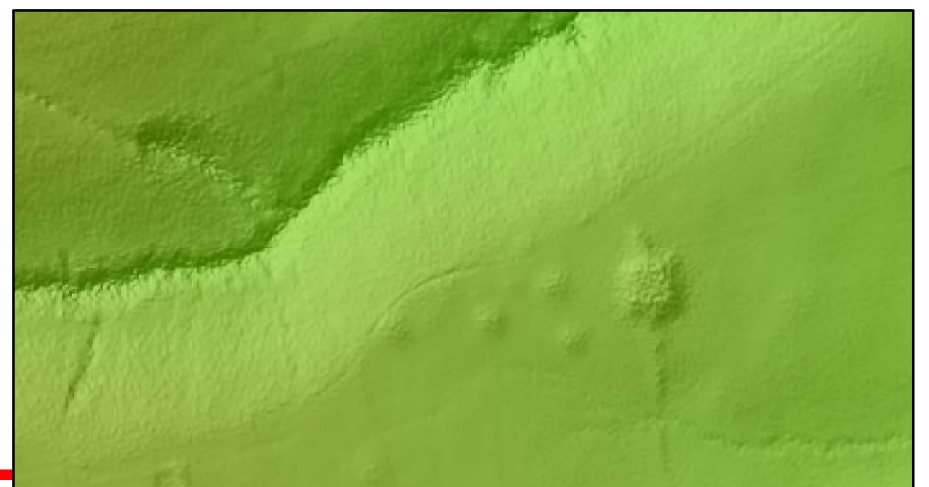
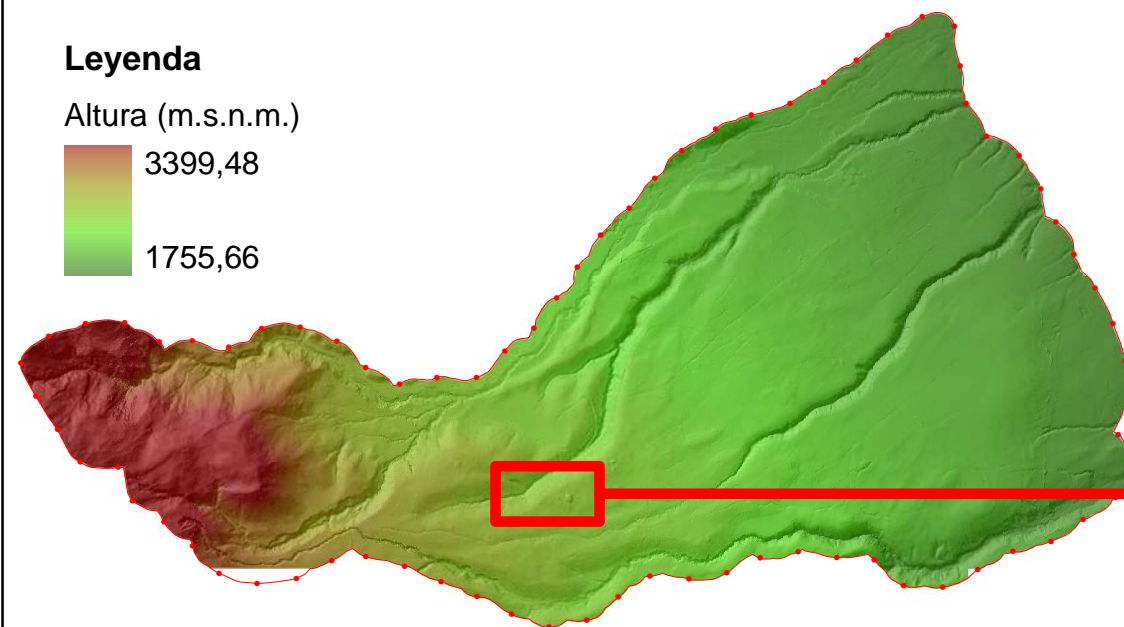
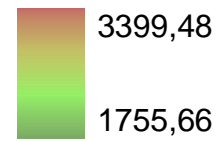


La textura que se genera en relieve del MDT, es la más nítida de entre los 3 métodos determinísticos resultantes, debido fundamentalmente a que se trata de un método directo en el cual se utilizan exactamente las posiciones altiméticas precisas de todos los puntos utilizados en el proceso de interpolación.

## MDT Inversa Distancia

### Leyenda

Altura (m.s.n.m.)

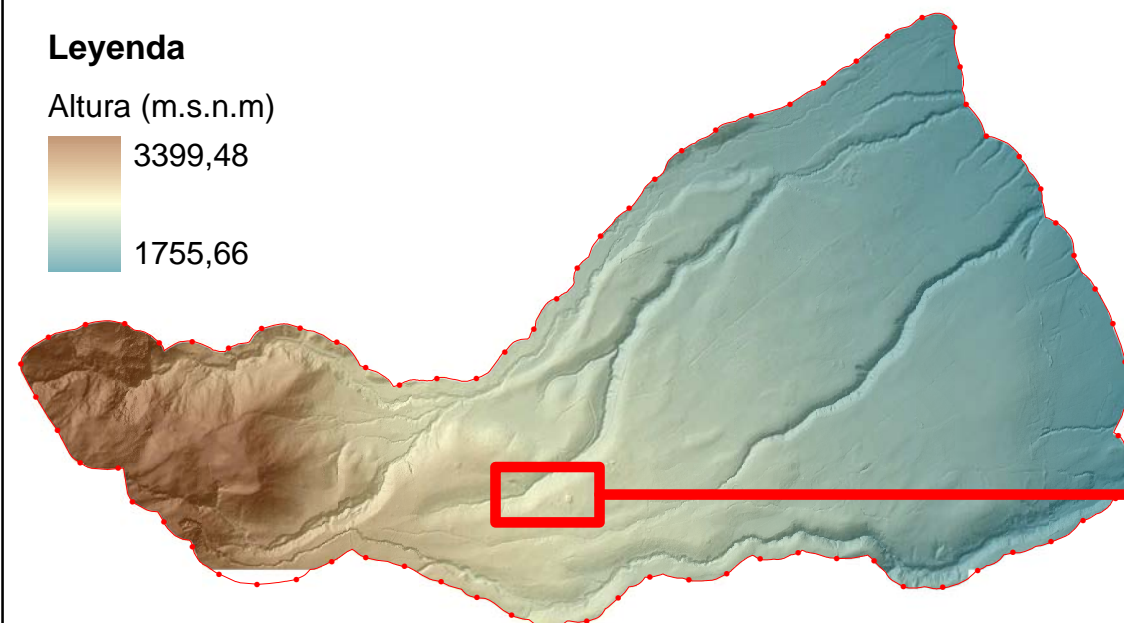
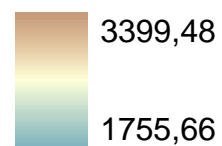


Al tratarse de un método de interpolación de poco nivel de ajuste, el MDT generado por medio del método de inversa distancia es el que menor nitidez o grado de detalle posee, se puede apreciar la superficie difuminada, como si se hubiese realizado algún proceso preliminar de suavizado o filtrado.

## MDT Spline (mínima curvatura)

### Leyenda

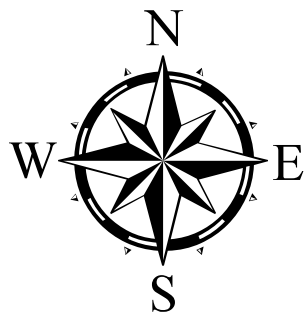
Altura (m.s.n.m)



Finalmente, el MDT generado a través del método de interpolación determinístico Spline (mínima curvatura), tiene una nitidez media en comparación a los dos productos anteriores, sin embargo, como se puede recordar, este método obtuvo el mejor parámetro de ajuste respecto a los puntos de chequeo analizados.



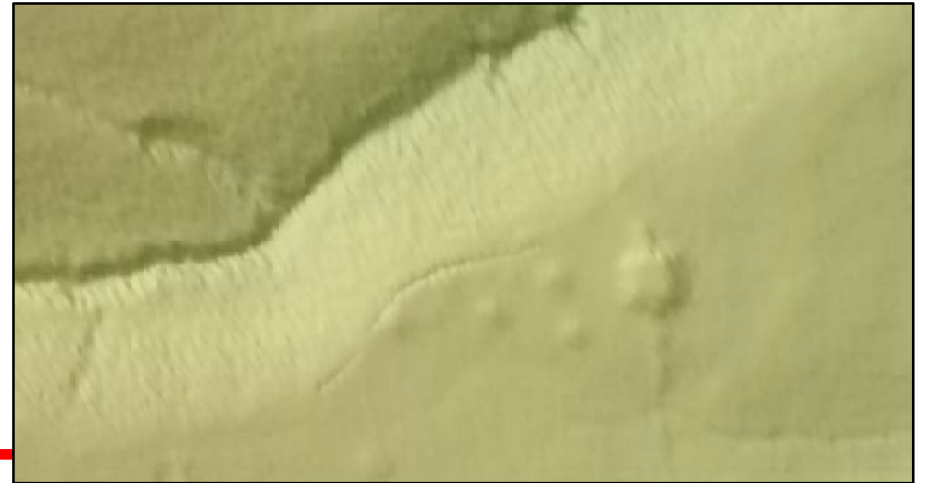
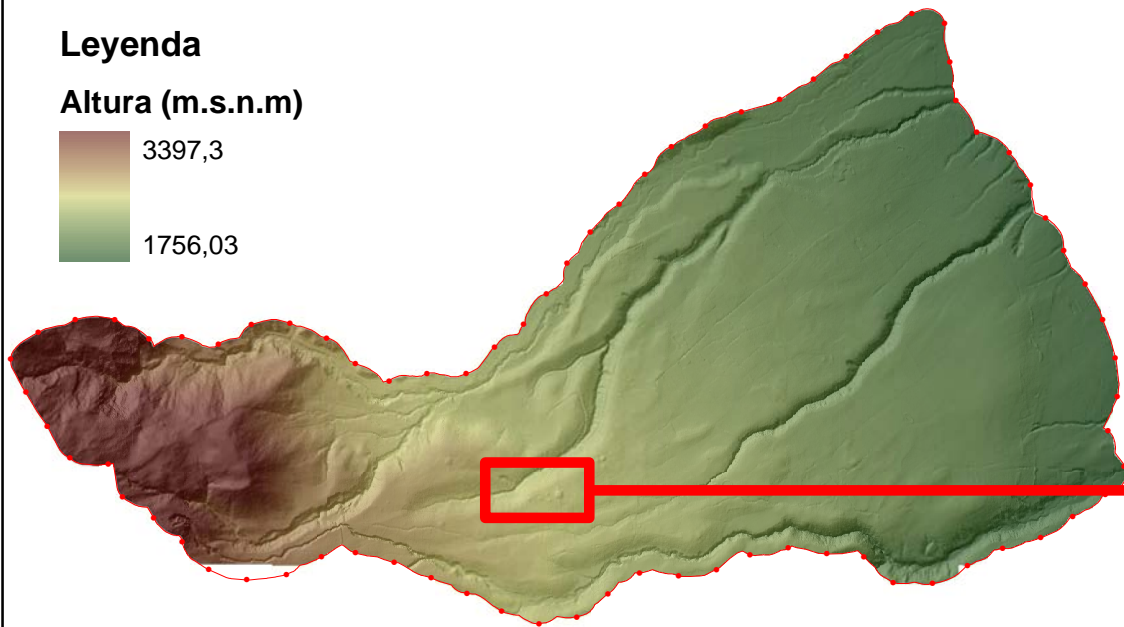
# ANEXO 1 :MODELOS DIGITALES DEL TERRENO (MÉTODOS ESTOCÁSTICOS)



## MDT Kriging Ordinario Lineal

### Leyenda

Altura (m.s.n.m)

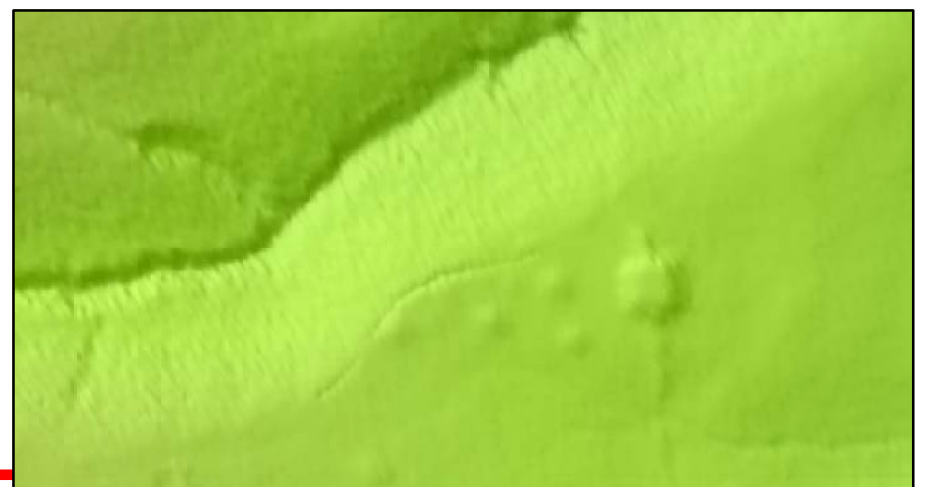
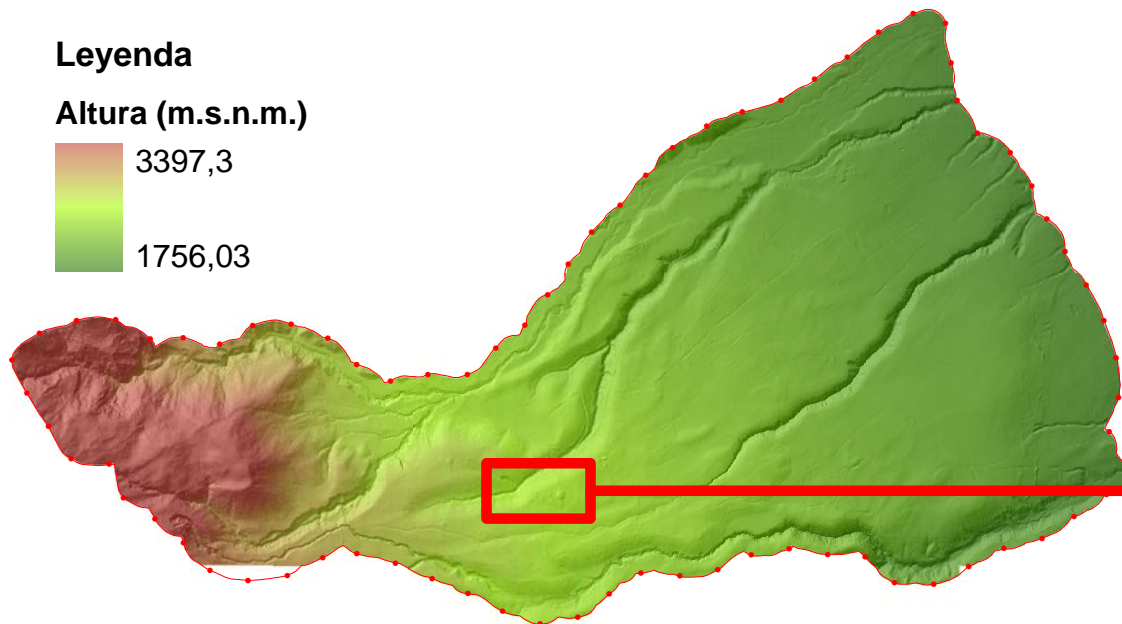
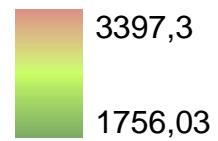


Dado que los métodos estocásticos aplicados básicamente consisten en procesos de estimación en los cuales se trata de reducir las variaciones al mínimo, se produce una especie de suavizado de la superficie a lo largo de toda el área de influencia.

## MDT Kriging Ordinario Esférico

### Leyenda

Altura (m.s.n.m.)

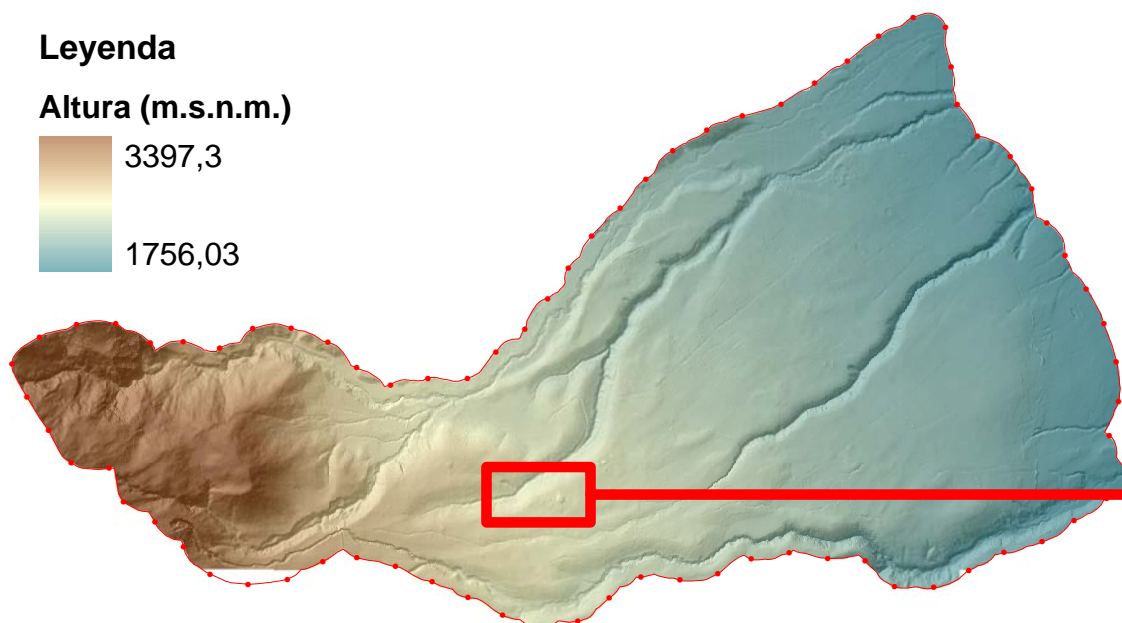
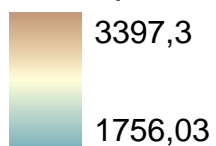


Por esta razón se puede apreciar en los tres Modelos Digitales del Terreno Kriging, dentro de sus correspondientes mapas de relieves, un ligero difuminado en su textura, similar a una especie de filtrado realizado en las superficies raster. Sin embargo, se puede visualizar todos los rasgos inherentes del terreno.

## MDT Kriging Ordinario Exponencial

### Leyenda

Altura (m.s.n.m.)



Finalmente, esta textura es idéntica en todos los MDT Kriging generados, que mínimamente varían en sus modelos teóricos de variograma, y esta analogía tiene perfecta justificación al contrastar los coeficientes de correlación entre estos modelos y cuyo valor es (1), es decir, productos iguales.

## ANEXO 2

### Aplicativo macro *Selec\_muestras.xlsm* y su código en Visual Basic 6.3

```
Sub Macro1()  
' Macro1 Macro  
Dim i As Long  
Dim j As Long  
Dim m As Long  
  
m = ActiveSheet.Cells(3, 2).Value - 1  
i = 1  
For j = 0 To m  
ActiveSheet.Cells(1, 2).Value = "=RANDBETWEEN(1,R[1]C)"  
i = ActiveSheet.Cells(1, 2).Value  
If ActiveSheet.Cells(i + 4, 1).Value = ActiveSheet.Cells(i + 4, 2).Value Then  
    i = ActiveSheet.Cells(1, 2).Value  
    ActiveSheet.Cells(i + 4, 2).Select  
    Selection.Cut  
    ActiveSheet.Cells(j + 5, 3).Select  
    ActiveSheet.Paste  
Else  
    While ActiveSheet.Cells(i + 4, 1).Value <> ActiveSheet.Cells(i + 4, 2).Value  
        ActiveSheet.Cells(1, 2).Value = "=RANDBETWEEN(1,R[1]C)"  
        i = ActiveSheet.Cells(1, 2).Value  
    Wend  
    ActiveSheet.Cells(i + 4, 2).Select  
    Selection.Cut  
    ActiveSheet.Cells(j + 5, 3).Select  
    ActiveSheet.Paste  
End If  
Next j  
End Sub
```

ANEXO 3 . Cálculo del Error Típico de Estimación (RMS)

Cod	Z_Campo	Z_Triang	ΔTriang 2	Z_InvDist	ΔInvDist 2	Z_Spline	ΔSpline 2	Z_KrLine	ΔKrLine 2	Z_KrEse	ΔKrEse 2	Z_KrExpo	ΔKrExpo 2			
1	1836.2500	1836.3213	-0.0713	0.0051	1836.3030	-0.0530	0.0028	1836.3030	-0.0530	0.0028	1836.2721	-0.0221	0.0005	1836.2721	-0.0221	0.0005
2	1861.5410	1860.3783	1.1627	1.3519	1860.7760	0.7650	0.5852	1860.7760	0.7650	0.5852	1862.3329	-0.7919	0.6271	1862.3329	-0.7919	0.6271
3	1924.0760	1923.8917	0.1843	0.0340	1923.9420	0.1340	0.0180	1923.9420	0.1340	0.0180	1923.9241	0.1519	0.0231	1923.9241	0.1519	0.0231
4	1914.7690	1914.7926	-0.0236	0.0006	1914.8767	-0.1077	0.0116	1914.8566	-0.0686	0.0059	1914.7875	-0.0185	0.0003	1914.7875	-0.0185	0.0003
5	1910.1010	1910.1243	-0.0233	0.0005	1910.1237	-0.0227	0.0005	1910.1698	-0.0768	0.0047	1909.9553	0.1457	0.0212	1909.9553	0.1457	0.0212
6	1897.5380	1897.4989	0.0391	0.0015	1897.8610	-0.3230	0.1043	1897.8610	-0.3230	0.1043	1897.2147	0.2963	0.0878	1897.2147	0.2963	0.0878
7	1873.5530	1873.5997	-0.0467	0.0022	1873.4492	0.1038	0.0108	1873.6737	-0.1207	0.0146	1873.5385	0.0145	0.0002	1873.5385	0.0145	0.0002
8	1805.8050	1806.0851	-0.2801	0.0784	1805.9200	-0.1150	0.0132	1805.9200	-0.1150	0.0132	1806.2313	-0.4263	0.1818	1806.2313	-0.4263	0.1818
9	1880.2990	1880.3524	-0.0534	0.0029	1880.4634	-0.1644	0.0270	1880.4821	-0.1831	0.0335	1880.2660	0.0330	0.0011	1880.2660	0.0330	0.0011
10	1849.7540	1849.8179	-0.0639	0.0041	1849.8680	-0.1140	0.0130	1849.8680	-0.1140	0.0130	1849.8240	-0.0700	0.0049	1849.8240	-0.0700	0.0049
11	1852.5580	1852.9510	-0.3930	0.1545	1851.7903	0.7677	0.5894	1852.6725	-0.1145	0.0131	1852.5968	-0.0388	0.0015	1852.5968	-0.0388	0.0015
12	1845.0370	1844.2144	0.8226	0.6767	1846.8250	-1.7880	3.1968	1846.8250	-1.7880	3.1968	1845.3352	-0.2982	0.0889	1845.3352	-0.2982	0.0889
13	1878.4400	1878.1981	0.2419	0.0585	1878.2788	0.1612	0.0260	1878.2871	0.1529	0.0234	1878.2799	0.1601	0.0256	1878.2799	0.1601	0.0256
14	1834.1450	1835.9993	-1.8543	3.4383	1835.3831	-1.2381	1.5328	1835.3831	-1.2381	1.5328	1835.3710	-1.2260	1.5030	1835.3710	-1.2260	1.5030
15	1816.6270	1816.7161	-0.0891	0.0079	1816.4867	0.1403	0.0197	1816.6331	-0.0661	0.0000	1816.6464	-0.0194	0.0004	1816.6464	-0.0194	0.0004
16	1815.8040	1814.2219	1.5821	2.5030	1814.9080	0.8960	0.8029	1814.9080	0.8960	0.8029	1815.9686	-0.1646	0.0271	1815.9686	-0.1646	0.0271
17	1923.4080	1923.3208	0.0872	0.0076	1923.2750	0.1300	0.0177	1923.2750	0.1300	0.0177	1923.2886	0.1194	0.0143	1923.2886	0.1194	0.0143
18	1916.6720	1916.7391	-0.0671	0.0064	1916.7388	-0.0668	0.0045	1916.6746	-0.0026	0.0000	1916.8563	-0.1843	0.0340	1916.8563	-0.1843	0.0340
19	1790.4260	1788.9878	1.4382	2.0684	1789.9814	0.4446	1.976	1790.3088	-0.1172	0.0137	1788.7445	1.6815	2.8274	1788.7445	1.6815	2.8274
20	1890.6840	1890.4575	0.2265	0.0513	1890.4200	0.2640	0.0697	1890.4200	0.2640	0.0697	1890.6057	0.0783	0.0061	1890.6057	0.0783	0.0061
21	1841.9050	1841.9591	-0.0541	0.0029	1842.0403	-0.1353	0.0183	1841.9327	-0.0270	0.0008	1842.0433	-0.1383	0.0191	1842.0433	-0.1383	0.0191
22	1879.8100	1879.6049	0.2051	0.0421	1879.4950	0.3150	0.0992	1879.4950	0.3150	0.0992	1880.0581	-0.2481	0.0616	1880.0581	-0.2481	0.0616
23	1792.4480	1792.6718	-0.2238	0.0501	1791.6282	0.8198	0.6721	1792.4786	-0.0306	0.0009	1792.7258	-0.2778	0.0772	1792.7258	-0.2778	0.0772
24	1868.5100	1868.7466	-0.2366	0.0560	1868.7469	-0.2369	0.0561	1868.7469	-0.2369	0.0561	1868.4382	0.0718	0.0052	1868.4382	0.0718	0.0052
25	1780.6390	1779.9020	0.7370	0.5432	1780.0580	0.5810	0.3376	1780.0580	0.5810	0.3376	1780.1010	0.5380	0.2895	1780.1010	0.5380	0.2895
26	1827.1940	1827.2657	-0.0717	0.0051	1827.0570	0.1370	0.0188	1827.0570	0.1370	0.0188	1827.2115	-0.0875	0.0077	1827.2115	-0.0875	0.0077
27	1819.3950	1819.5264	-0.1314	0.0173	1819.1963	0.1987	0.0395	1819.3818	0.0132	0.0002	1819.4001	-0.0051	0.0000	1819.4001	-0.0051	0.0000
28	1812.9710	1813.0253	-0.0543	0.0029	1813.1310	-0.1600	0.0256	1813.1310	-0.1600	0.0256	1813.2662	-0.2952	0.0872	1813.2662	-0.2952	0.0872
29	1818.2010	1818.2679	-0.0669	0.0045	1818.5320	-0.3100	0.1095	1818.5320	-0.3100	0.1095	1818.2186	-0.0176	0.0003	1818.2186	-0.0176	0.0003
30	1817.3070	1817.4401	-0.1331	0.0177	1817.3510	-0.0440	0.0019	1817.3510	-0.0440	0.0019	1817.2408	0.0662	0.0044	1817.2408	0.0662	0.0044
31	1825.2950	1825.5212	-0.2262	0.0512	1825.6720	-0.3770	0.1421	1825.6720	-0.3770	0.1421	1825.3802	-0.0852	0.0073	1825.3802	-0.0852	0.0073
32	1807.6930	1807.9127	-0.2197	0.0483	1807.2390	0.4540	0.2061	1807.6487	-0.0443	0.0020	1807.1661	0.5269	0.2776	1807.1661	0.5269	0.2776
33	1795.1900	1795.2445	-0.0545	0.0030	1795.4330	-0.2430	0.0590	1795.2814	-0.0914	0.0083	1795.1676	0.0224	0.0005	1795.1676	0.0224	0.0005
34	3060.9930	3061.8081	-0.8871	1.7870	3061.5383	-0.5453	0.2974	3061.0652	-0.2722	0.0052	3062.4741	-1.4811	2.1937	3062.4741	-1.4811	2.1937
35	2761.2090	2757.2156	3.9934	5.9474	2757.3506	3.8584	14.8874	2760.9905	-0.0885	0.0478	2761.0435	0.1655	0.0274	2761.0435	0.1655	0.0274
36	2992.3900	2993.0703	-0.1403	0.0197	2995.6372	-2.7072	7.3290	2993.0225	-0.0295	0.0085	2992.9856	-0.0556	0.0031	2992.9856	-0.0556	0.0031
37	2979.0850	2979.3562	-0.2712	0.0736	2980.2581	-1.1731	1.3761	2980.2581	-1.1731	1.3761	2977.6887	1.3963	1.9496	2977.6887	1.3963	1.9496
38	2988.1150	2988.2439	-0.1289	0.0166	2987.6030	0.5120	0.2621	2988.1160	-0.0010	0.0000	2988.9514	-0.8364	0.6996	2988.9514	-0.8364	0.6996
39	2926.1540	2926.4072	-0.2532	0.0641	2926.5820	-0.4280	0.1832	2926.5820	-0.4280	0.1832	2926.1069	0.0471	0.0022	2926.1069	0.0471	0.0022
40	2992.9710	2991.6299	1.3411	1.7986	2991.5840	1.3870	1.9238	2991.5840	1.3870	1.9238	2994.1636	-1.1926	1.4222	2994.1636	-1.1926	1.4222
41	2634.1350	2633.5513	0.5837	0.3407	2635.1516	-0.1066	1.0355	2634.1943	-0.5973	0.0035	2633.8684	0.2666	0.0711	2633.8684	0.2666	0.0711
42	2637.0220	2637.3562	-0.3342	0.1117	2637.7371	-0.7151	0.5113	2637.7371	-0.7151	0.5113	2638.8267	-1.8047	3.2568	2638.8267	-1.8047	3.2568
43	2594.3720	2592.4841	1.8879	3.5640	2593.2947	1.0773	1.6066	2593.0722	0.4658	0.2170	2591.6484	2.7236	7.4178	2591.6484	2.7236	7.4178
44	2965.7550	2965.2368	0.5182	0.2685	2965.7729	-0.0179	0.0003	2965.7729	-0.0179	0.0003	2965.8823	-0.1273	0.0162	2965.8823	-0.1273	0.0162
45	2948.7470	2948.0818	0.6652	0.4425	2949.0627	-0.3157	0.0997	2948.7671	-0.0201	0.0004	2948.0349	0.7121	0.5071	2948.0349	0.7121	0.5071
46	2841.2000	2839.6151	1.5845	2.5107	2840.5320	0.6680	0.4462	2841.1863	0.0137	0.0002	2839.3167	1.8833	3.5470	2839.3167	1.8833	3.5470
47	2857.5020	2856.8496	0.6524	0.4256	2856.0911	1.4109	1.9907	2857.4800	0.0220	0.0005	2854.5747	2.9273	8.5690	2854.5747	2.9273	8.5690
48	2862.4460	2862.4411	0.0029	0.0000	2862.1228	0.3232	0.1045	2862.6799	-0.2339	0.0547	2863.6147	-1.1687	1.3660	2863.6147	-1.1687	1.3660
49	3010.3310	3010.3281	0.0029	0.0000	3009.4380	0.8930	0.7975	3010.2754	-0.0556	0.0031	3010.1138	0.2172	0.0472	3010.1138	0.2172	0.0472
50	2976.5800	2976.5334	0.0466	0.0022	2976.4956	0.0844	0.0071	2976.6252	-0.0452	0.0020	2977.9888	-0.7188	0.5167	2977.9888	-0.7188	0.5167
51	3001.6960	3001.5867	0.1093	0.0120	3001.6980	-0.0012	0.0000	3001.6980	-0.0012	0.0000	3000.9992	0.7570	0.5731	3000.9992	0.7570	0.5731
52	2982.3390	2982.5938	-0.2008	0.0402	2981.3306	1.0084	1.0169	2982.4182	-0.0792	0.0063	2983.7805	-1.4415	2.0780	2983.7805	-1.4415	2.0780
53	2806.2450	2804.8118	1.4332	2.0542	2806.4539	-0.2089	0.0436	2806.1501	-0.0949	0.0090	2807.1594	-0.9144	0.8362	2807.1594	-0.9144	0.8362
54	2696.5600	2695.9883	0.5717	0.3269	2695.3640	1.1960	1.4304	2695.3640	1.1960	1.4304	2693.9541	2.6059	6.7907	2693.9541	2.6059	6.7907
55	2979.3710	2979.8928	-0.5218	0.2723	2980.6541	-1.2831	1.6462	2980.6541	-1.2831	1.6462	2981.2498	-1.8788	3.5297	2981.2498	-1.8788	3.5297
56	2751.8470	2752.8628	-1.0158	1.0318	2752.1360	-0.2890	0.0035	2752.1360	-0.2890	0.0035	2752.1118	-0.2668	0.0712	2752.1118	-0.2668	0.0712
57	2838.3600	2839.0923	-0.7323	0.5362	2838.4419	-0.0819	0.0067	2838.4419	-0.0819	0.0067	2837.6111	0.7489	0.5609	2837.6111	0.7489	0.5609
58	2871.0570	2872.2922	-1.2352	1.5258	2870.1272	0.9298	0.8645	2871.4170	-0.3600	0.1296	2870.6201	0.4549	0.2070	2870.6201	0.4549	0.2070
59	2597.2260	2596.9700	0.2560	0.0656	2596.4873	0.7387	0.5457	2597.1501	-0.0759	0.0058	2597.7039	-0.4779	0.2283	2597.7039	-0.4779	0.228

Cod	Z_Campo	Z_Triang	ΔTriang	ΔTriang 2	Z_InvDist	ΔInvDist	ΔInvDist 2	Z_Spline	ΔSpline	ΔSpline 2	Z_KrLine	ΔKrLine	ΔKrLine 2	Z_KrEsfe	ΔKrEsfe	ΔKrEsfe 2	Z_KrExpo	ΔKrExpo	ΔKrExpo 2
119	2407.8020	2409.1550	-1.5530	1.8307	2408.9021	-1.1001	1.2102	2408.9021	-1.1001	1.2102	2408.3018	-0.4998	0.2498	2408.3018	-0.4998	0.2498	2408.3018	-0.4998	0.2498
120	2427.3330	2426.7832	0.5498	0.3023	2426.9629	0.3701	0.1370	2426.9629	0.3701	0.1370	2427.0520	0.2810	0.0790	2427.0520	0.2810	0.0790	2427.0520	0.2810	0.0790
121	2404.9080	2404.9880	-0.0800	0.0009	2404.9521	-0.0441	0.0019	2405.3023	-0.4123	0.1700	2403.8538	1.0542	1.1114	2403.8535	1.0545	1.1119	2403.8538	1.0542	1.1114
122	2364.5280	2364.4374	-0.1946	0.1020	2366.0569	-1.5289	2.3375	2366.0569	-1.5289	2.3375	2365.3770	-0.8490	0.7207	2365.3770	-0.8490	0.7207	2365.3770	-0.8490	0.7207
123	2337.1750	2335.6685	1.5065	2.2697	2335.7161	1.4589	2.1285	2335.7161	1.4589	2.1285	2337.8917	-0.7237	0.5237	2337.8917	-0.7237	0.5237	2337.8917	-0.7237	0.5237
124	2347.1390	2347.2139	-0.0749	0.0056	2349.9768	-2.8378	8.0531	2346.2551	3.8589	0.7812	2347.6771	-0.5329	0.2840	2347.6771	-0.5329	0.2840	2347.6771	-0.5329	0.2840
125	2386.5240	2386.4919	0.0321	0.0010	2387.6870	-1.1630	1.3526	2387.6870	-1.1630	1.3526	2386.8999	0.1341	0.0180	2386.8999	0.1341	0.0180	2386.8999	0.1341	0.0180
126	2295.5330	2295.4375	0.0955	0.0091	2295.6069	-0.0739	0.0055	2295.6069	-0.0739	0.0055	2295.0193	0.5137	0.2639	2295.0193	0.5137	0.2639	2295.0193	0.5137	0.2639
127	2328.6380	2325.3657	3.2723	10.7078	2329.4290	-0.7910	0.6256	2327.2803	1.3577	1.8434	2324.3303	4.3077	18.5661	2324.3301	4.3079	18.5852	2324.3303	4.3077	18.5661
128	2237.8600	2237.7314	0.1286	0.0165	2237.6479	0.2121	0.0450	2237.6479	0.2121	0.0450	2327.8411	0.0189	0.0004	2237.8411	0.0189	0.0004	2237.8411	0.0189	0.0004
129	2359.6220	2358.1145	1.5075	2.2726	2358.4270	1.1950	1.4280	2358.4270	1.1950	1.4280	2359.1411	0.4809	0.2313	2359.1411	0.4809	0.2313	2359.1411	0.4809	0.2313
130	2392.8070	2392.8699	-0.0629	0.0040	2392.6111	0.1959	0.0384	2392.6111	0.1959	0.0384	2392.7610	0.0460	0.0021	2392.7610	0.0460	0.0021	2392.7610	0.0460	0.0021
131	2393.5250	2393.3149	0.2101	0.0441	2393.2100	0.3150	0.0992	2393.2100	0.3150	0.0992	2393.7046	-0.1796	0.0323	2393.7046	-0.1796	0.0323	2393.7046	-0.1796	0.0323
132	2354.7660	2355.6172	-0.8512	0.7245	2355.0591	-0.2931	0.0859	2355.0591	-0.2931	0.0859	2354.5498	0.2162	0.0467	2354.5498	0.2162	0.0467	2354.5498	0.2162	0.0467
133	2352.6580	2353.1086	-0.4506	0.2031	2352.3711	0.2869	0.0823	2352.3711	0.2869	0.0823	2352.6235	0.0345	0.0012	2352.6238	0.0342	0.0012	2352.6235	0.0345	0.0012
134	2328.8370	2328.5718	0.2652	0.0703	2325.6560	3.1810	10.1187	2325.6560	3.1810	10.1187	2329.6035	-0.7665	0.5875	2329.6035	-0.7665	0.5875	2329.6035	-0.7665	0.5875
135	2324.9860	2324.4264	0.4724	0.2232	2326.1331	-1.2371	1.5303	2326.1331	-1.2371	1.5303	2325.6008	-0.7048	0.4968	2325.6008	-0.7048	0.4968	2325.6008	-0.7048	0.4968
136	2247.6220	2247.7263	-0.1043	0.0109	2247.8523	-0.2303	0.0530	2247.8523	-0.2303	0.0530	2247.2966	0.3254	0.1059	2247.2966	0.3254	0.1059	2247.2966	0.3254	0.1059
137	2271.5910	2268.7969	2.7941	7.8071	2269.3750	2.2160	4.9107	2269.3750	2.2160	4.9107	2271.3416	0.2494	0.0622	2271.3416	0.2494	0.0622	2271.3416	0.2494	0.0622
138	2238.3180	2238.2651	0.0529	0.0028	2238.2695	0.0485	0.0023	2238.3271	-0.0291	0.0010	2238.1997	0.1183	0.0140	2238.1997	0.1183	0.0140	2238.1997	0.1183	0.0140
139	2237.0870	2237.2666	-0.1796	0.0323	2236.6060	0.4864	0.2366	2236.6060	0.4864	0.2366	2237.9558	-0.8688	0.7548	2237.9558	-0.8688	0.7548	2237.9558	-0.8688	0.7548
140	2345.1750	2345.8003	-0.6253	0.3910	2345.0000	0.1750	0.0306	2345.4910	-0.1360	0.0998	2346.2373	-1.0623	1.1285	2346.2373	-1.0623	1.1285	2346.2373	-1.0623	1.1285
141	2350.1340	2350.1951	-0.0611	0.0037	2350.0603	0.0737	0.0054	2350.1108	-0.0232	0.0005	2349.8953	0.2387	0.0570	2349.8953	0.2387	0.0570	2349.8953	0.2387	0.0570
142	2326.4020	2326.5027	-0.1007	0.0101	2326.4539	-0.0519	0.0251	2326.3928	0.0092	0.0001	2325.9434	0.5277	0.2785	2325.9434	0.5277	0.2785	2325.9434	0.5277	0.2785
143	2324.5830	2324.8333	-0.2503	0.0626	2325.0920	-0.5090	0.2591	2325.0920	-0.5090	0.2591	2325.0569	-0.4739	0.2246	2325.0569	-0.4739	0.2246	2325.0569	-0.4739	0.2246
144	2330.5230	2330.7407	-0.2177	0.0474	2330.6279	-0.1049	0.0110	2330.6279	-0.1049	0.0110	2330.4951	0.0279	0.0008	2330.4951	0.0279	0.0008	2330.4951	0.0279	0.0008
145	2194.7230	2194.9951	-0.2721	0.0740	2194.3640	0.3590	0.1289	2194.3640	0.3590	0.1289	2195.9915	-1.2685	1.6090	2195.9915	-1.2685	1.6090	2195.9915	-1.2685	1.6090
146	2308.5920	2307.5369	1.0551	1.1133	2307.7346	0.8574	0.7351	2308.2751	0.3159	0.1004	2308.2676	0.3244	0.1052	2308.2676	0.3244	0.1052	2308.2676	0.3244	0.1052
147	2263.9860	2263.8364	0.1496	0.0224	2264.7021	-0.7161	0.5129	2264.6255	-0.6395	0.4089	2263.1838	0.8022	0.6435	2263.1838	0.8022	0.6435	2263.1838	0.8022	0.6435
148	2412.9860	2413.6937	-0.6937	0.4812	2411.2336	1.7524	3.0708	2412.9966	-0.1006	0.0001	2412.9763	0.0097	0.0001	2412.9763	0.0097	0.0001	2412.9763	0.0097	0.0001
149	2327.7490	2328.0310	-0.2820	0.0795	2323.6460	0.1030	0.0344	2323.6460	0.1030	0.0344	2327.1760	0.5730	0.3283	2327.1760	0.5730	0.3283	2327.1760	0.5730	0.3283
150	2321.9830	2322.2512	-0.2682	0.0719	2321.7964	0.1866	0.0348	2321.7964	0.1866	0.0348	2322.7637	-0.7807	0.6094	2322.7637	-0.7807	0.6094	2322.7637	-0.7807	0.6094
151	2345.5650	2345.7007	-0.1857	0.0345	2344.3538	1.2112	1.4671	2345.3127	-0.2523	0.0636	2347.2090	-1.6440	2.7027	2347.2090	-1.6440	2.7027	2347.2090	-1.6440	2.7027
152	2237.8980	2237.0774	0.7949	0.0322	2237.8967	-0.9987	0.9975	2237.9688	-0.0707	0.0050	2237.1943	-0.2963	0.0878	2237.1943	-0.2963	0.0878	2237.1943	-0.2963	0.0878
153	2256.6460	2256.7080	-0.0620	0.0038	2258.0720	-1.4260	2.0335	2256.7876	-0.1416	0.0200	2257.7844	-1.1384	1.2960	2257.7844	-1.1384	1.2960	2257.7844	-1.1384	1.2960
154	2249.9540	2250.9021	-0.9481	0.8989	2250.0630	-1.1090	0.0119	2250.0630	-1.1090	0.0119	2252.8518	-2.8978	8.3973	2252.8518	-2.8978	8.3973	2252.8518	-2.8978	8.3973
155	2246.1170	2246.0259	0.0911	0.0083	2246.0181	0.0989	0.0098	2246.0181	0.0989	0.0098	2246.2993	-0.1823	0.0332	2246.2993	-0.1823	0.0332	2246.2993	-0.1823	0.0332
156	2282.5460	2282.2065	0.3395	0.1152	2283.3679	-0.8219	0.6756	2283.3679	-0.8219	0.6756	2282.3594	0.1866	0.0348	2282.3594	0.1866	0.0348	2282.3594	0.1866	0.0348
157	2244.9020	2245.0627	-0.1607	0.0258	2246.0420	-1.1400	1.2996	2246.0420	-1.1400	1.2996	2245.7466	-0.8446	0.7133	2245.7466	-0.8446	0.7133	2245.7466	-0.8446	0.7133
158	2193.1950	2192.9331	0.2619	0.0686	2192.6882	0.5068	0.2568	2193.0459	-0.1491	0.0222	2193.9021	-0.7071	0.5000	2193.9021	-0.7071	0.5000	2193.9021	-0.7071	0.5000
159	2202.8170	2203.8232	-1.0062	1.0125	2202.2310	0.5860	0.3434	2202.2310	0.5860	0.3434	2203.5959	-0.7789	0.6068	2203.5959	-0.7789	0.6068	2203.5959	-0.7789	0.6068
160	2203.6580	2204.1174	-0.4594	0.2111	2202.7390	0.9190	0.8445	2202.7390	0.9190	0.8445	2204.9312	-1.2732	1.6209	2204.9312	-1.2732	1.6209	2204.9312	-1.2732	1.6209
161	2237.9160	2237.9985	-0.0825	0.0068	2237.9165	-0.0005	0.0000	2237.9165	-0.0005	0.0000	2237.9312	-0.0152	0.0002	2237.9312	-0.0152	0.0002	2237.9312	-0.0152	0.0002
162	2257.1790	2257.3723	-0.1933	0.0374	2256.7161	0.4629	0.2143	2256.7161	0.4629	0.2143	2256.9766	0.2024	0.0410	2256.9766	0.2024	0.0410	2256.9766	0.2024	0.0410
163	2300.9320	2301.0811	-0.1491	0.0222	2301.1860	-0.2540	0.0645	2301.1860	-0.2540	0.0645	2300.8027	0.1293	0.0167	2300.8027	0.1293	0.0167	2300.8027	0.1293	0.0167
164	2295.4410	2295.8015	-0.3605	0.1300	2295.6289	-0.1879	0.0353	2295.6289	-0.1879	0.0353	2295.5742	-0.1332	0.0177	2295.5742	-0.1332	0.0177	2295.5742	-0.1332	0.0177
165	2292.6270	2292.4548	0.1722	0.0296	2292.0200	0.6070	0.3684	2292.0200	0.6070	0.3684	2292.4290	0.1980	0.0392	2292.4290	0.1980	0.0392	2292.4290	0.1980	0.0392
166	2236.3900	2236.7295	-0.3395	0.1153	2236.1150	0.2750	0.0756	2236.1150	0.2750	0.0756	2236.4004	-0.1014	0.0001	2236.4004	-0.1014	0.0001	2236.4004	-0.1014	0.0001
167	2269.2120	2269.5156	-0.3036	0.0922	2268.7209	0.4911	0.2411	2268.7209	0.4911	0.2411	2269.2883	-0.0763	0.0058	2269.2883	-0.0763	0.0058	2269.2883	-0.0763	0.0058
168	2254.0370	2255.7656	-1.7286	2.9881	2254.3928	-0.3558	1.2666	2254.6274	-0.5904	0.3486	2256.0786	-2.0416	4.1682	2256.0786	-2.0416	4.1682	2256.0786	-2.041	

Cod	Z_Campo	Z_Triang	ΔTriang	ΔTriang 2	Z_InvDist	ΔInvDist	ΔInvDist 2	Z_Spline	ΔSpline	ΔSpline 2	Z_KrLine	ΔKrLine	ΔKrLine 2	Z_KrEsf	ΔKrEsf	ΔKrEsf 2	Z_KrExpo	ΔKrExpo	ΔKrExpo 2
240	1983.2030	1985.0269	-1.8239	3.3264	1982.9626	0.2404	0.0578	1983.3340	-0.1310	0.0172	1986.9967	-3.7937	14.3922	1986.9967	-3.7937	14.3922	1986.9967	-3.7937	14.3922
241	2027.3360	2037.4114	-0.0754	0.0057	2037.4279	-0.0919	0.0084	2037.3685	-0.0220	0.0011	2027.4757	-0.1397	0.0195	2037.4757	-0.1397	0.0195	2037.4757	-0.1397	0.0195
242	2069.0230	2069.0244	-0.0014	0.0000	2069.2029	-0.1799	0.0324	2069.0386	-0.0156	0.0002	2069.1931	-0.1701	0.0289	2069.1931	-0.1701	0.0289	2069.1931	-0.1701	0.0289
243	2052.0010	2051.8923	0.1087	0.0118	2052.0068	-0.0058	0.0000	2052.0059	-0.0049	0.0000	2051.7971	0.2039	0.0416	2051.7971	0.2039	0.0416	2051.7971	0.2039	0.0416
244	2063.6960	2063.9009	-0.2049	0.4200	2063.2009	0.4951	0.2451	2063.6360	0.0600	0.0036	2063.6748	0.2192	0.0480	2063.4768	0.2192	0.0480	2063.6748	0.2192	0.0480
245	1979.0030	1980.5725	-1.5695	2.4634	1979.4508	2.5522	6.5137	1978.9843	0.0187	0.0004	1975.2916	3.7114	13.7743	1975.2916	3.7114	13.7743	1975.2916	3.7114	13.7743
246	2053.8860	2053.9312	-0.0452	0.0020	2054.0452	-0.1592	0.0253	2053.8853	-0.0007	0.0000	2054.0051	-0.1191	0.0142	2054.0051	-0.1191	0.0142	2054.0051	-0.1191	0.0142
247	2020.0820	2019.9865	0.0955	0.0091	2019.9451	0.1369	0.0188	2020.1157	-0.0337	0.0011	2020.0767	0.0053	0.0000	2020.0767	0.0053	0.0000	2020.0767	0.0053	0.0000
248	2053.3230	2053.2432	0.0798	0.0064	2053.2986	0.0244	0.0006	2053.3306	-0.0076	0.0001	2053.3352	-0.0122	0.0001	2053.3352	-0.0122	0.0001	2053.3352	-0.0122	0.0001
249	1951.4470	1947.8979	3.5491	12.5958	1948.2690	3.1780	10.0994	1948.2690	3.1780	10.0994	1951.0465	0.4005	0.1604	1951.0465	0.4005	0.1604	1951.0465	0.4005	0.1604
250	2028.5520	2028.5198	-0.0398	0.0016	2028.8167	-0.2647	0.0700	2028.5598	-0.0078	0.0001	2028.6453	-0.0933	0.0087	2028.6451	-0.0931	0.0087	2028.6453	-0.0933	0.0087
251	2027.1000	2027.0527	0.0473	0.0022	2027.1584	-0.0584	0.0034	2027.1467	-0.0467	0.0022	2027.1260	-0.0260	0.0007	2027.1260	-0.0260	0.0007	2027.1260	-0.0260	0.0007
252	1972.7040	1974.6877	-1.9837	3.9352	1969.9218	2.7822	7.7409	1972.7297	-0.0257	0.0007	1977.1368	-4.4328	19.6501	1977.1368	-4.4328	19.6501	1977.1367	-4.4327	19.6490
253	2010.3700	2010.2832	0.0868	0.0075	2010.3469	0.0231	0.0005	2010.3723	-0.0023	0.0000	2010.1573	0.2127	0.0452	2010.1573	0.2127	0.0452	2010.1573	0.2127	0.0452
254	1975.1330	1974.5317	0.6013	0.3615	1973.9456	1.1874	1.4100	1974.9976	-0.1354	0.0183	1973.6162	1.5168	2.3006	1973.6162	1.5168	2.3006	1973.6162	1.5168	2.3006
255	2027.7630	2027.8988	-0.1358	0.0184	2028.0228	-0.2598	0.0675	2027.7755	-0.0125	0.0002	2028.0972	-0.3342	0.1117	2028.0972	-0.3342	0.1117	2028.0972	-0.3342	0.1117
256	2004.5050	2004.6979	-0.1929	0.0372	2004.5775	-0.0725	0.0053	2004.4685	0.0365	0.0013	2004.7756	-0.2706	0.0732	2004.7756	-0.2706	0.0732	2004.7756	-0.2706	0.0732
257	2002.5070	2002.4628	0.0442	0.0020	2002.5034	-0.0026	0.0000	2002.5022	0.0048	0.0000	2002.6339	-0.1269	0.0161	2002.6339	-0.1269	0.0161	2002.6339	-0.1269	0.0161
258	1999.6480	1999.6199	0.0281	0.0008	1999.7020	-0.0540	0.0029	1999.7020	-0.0540	0.0029	1999.7131	-0.0651	0.0042	1999.7131	-0.0651	0.0042	1999.7131	-0.0651	0.0042
259	2003.8680	2004.0999	-0.2319	0.0538	2004.0021	-0.1341	0.0180	2003.8740	-0.0640	0.0009	2004.4347	-0.5667	0.3211	2004.4347	-0.5667	0.3211	2004.4347	-0.5667	0.3211
260	1982.4110	1982.6555	-0.2445	0.0598	1982.5134	-0.1024	0.0105	1982.4072	0.0038	0.0000	1982.9602	-0.5492	0.3016	1982.9602	-0.5492	0.3016	1982.9602	-0.5492	0.3016
261	1970.7510	1970.8320	-0.0810	0.0066	1970.8955	-0.1445	0.0209	1970.7688	-0.0178	0.0003	1971.0238	-0.0728	0.0744	1971.0238	-0.0728	0.0744	1970.9707	-0.2197	0.0483
262	1950.8900	1951.4146	-0.5246	0.2752	1950.8480	0.0420	0.0018	1950.8425	0.0475	0.0023	1952.3446	-1.5446	2.3857	1952.3446	-1.5446	2.3857	1952.3446	-1.5446	2.3857
263	1988.2960	1988.2645	0.0315	0.0010	1988.2798	0.0160	0.0003	1988.2872	0.0088	0.0001	1988.3060	-0.0100	0.0001	1988.3060	-0.0100	0.0001	1988.3060	-0.0100	0.0001
264	1967.0370	1966.8505	0.1865	0.0348	1966.8149	0.2221	0.0493	1966.8149	0.2221	0.0493	1966.8335	0.1535	0.0235	1966.8335	0.1535	0.0235	1966.8335	0.1535	0.0235
265	1969.4020	1969.4341	-0.0321	0.0010	1969.4830	-0.0210	0.0066	1969.4830	-0.0210	0.0066	1969.4104	-0.0084	0.0001	1969.4104	-0.0084	0.0001	1969.4104	-0.0084	0.0001
266	1978.8710	1978.8973	-0.0263	0.0007	1978.8546	0.0254	0.0006	1978.8938	-0.0288	0.0005	1978.8965	-0.0255	0.0006	1978.8965	-0.0255	0.0006	1978.8965	-0.0255	0.0006
267	1931.6170	1932.6921	-1.0751	1.1559	1931.4810	1.1360	0.0185	1931.7037	-0.0627	0.0075	1932.4249	-0.8079	0.6527	1932.4249	-0.8079	0.6527	1932.4249	-0.8079	0.6527
268	1996.8190	1996.7148	0.1042	0.0108	1996.7676	0.0514	0.0026	1996.8065	0.1125	0.0002	1996.9055	-0.0865	0.0075	1996.9055	-0.0865	0.0075	1996.9055	-0.0865	0.0075
269	1977.3750	1977.3097	0.0653	0.0043	1977.2629	0.1014	0.0126	1977.2629	0.1014	0.0126	1977.2052	0.1698	0.0288	1977.2052	0.1698	0.0288	1977.2052	0.1698	0.0288
270	1977.6050	1977.7728	-0.1678	0.0282	1977.8000	-0.2750	0.0756	1977.6066	-0.0016	0.0000	1977.7028	-0.0978	0.0096	1977.7028	-0.0978	0.0096	1977.7028	-0.0978	0.0096
271	1940.8950	1941.3120	-0.4170	0.1739	1940.2072	0.6878	0.4731	1940.3235	0.5155	0.3266	1941.1676	-0.2726	0.0743	1941.1676	-0.2726	0.0743	1941.1676	-0.2726	0.0743
272	1847.0480	1847.5490	-0.5010	0.2510	1846.6300	0.4180	0.1747	1846.6300	0.4180	0.1747	1847.8890	-0.8410	0.7073	1847.8890	-0.8410	0.7073	1847.8892	-0.8412	0.7076
273	1903.1970	1904.8678	-1.6708	2.7916	1903.3558	-1.5588	0.0252	1902.9460	0.2180	0.0170	1903.1008	0.0962	0.0092	1903.1008	0.0962	0.0092	1903.1008	0.0962	0.0092
274	1910.4500	1910.3110	0.1390	0.0193	1909.9020	1.3580	1.8441	1909.9020	1.3580	1.8441	1910.3146	0.1355	0.0184	1910.3146	0.1355	0.0184	1910.3145	0.1355	0.0184
275	2309.6890	2309.5261	0.1629	0.0265	2309.3228	1.3662	1.8666	2309.4612	0.2780	0.0519	2308.9519	0.7371	0.5433	2308.9519	0.7371	0.5433	2308.9519	0.7371	0.5433
276	2262.6850	2261.9434	0.7416	0.5500	2261.8989	0.7861	0.6179	2261.8989	0.7861	0.6179	2261.7432	0.9418	0.8871	2261.7432	0.9418	0.8871	2261.7432	0.9418	0.8871
277	2240.1300	2240.2747	-0.1447	0.0209	2239.7209	0.4091	0.0167	2239.7209	0.4091	0.0167	2240.7627	-0.6327	0.4003	2240.7627	-0.6327	0.4003	2240.7627	-0.6327	0.4003
278	2288.3490	2289.1309	-0.7819	0.6113	2288.3164	0.0326	0.0011	2288.7654	-0.4164	0.1734	2289.6250	-1.2760	1.6282	2289.6250	-1.2760	1.6282	2289.6250	-1.2760	1.6282
279	2227.2670	2227.5054	-0.2384	0.0568	2228.3787	-0.1187	0.0141	2227.3857	-0.1187	0.0141	2227.4150	-0.1480	0.0219	2227.4150	-0.1480	0.0219	2227.4150	-0.1480	0.0219
280	2225.7310	2225.9138	-0.1828	0.0334	2225.6111	-0.1099	0.0121	2225.6111	-0.1099	0.0121	2225.8098	-0.0788	0.0062	2225.8098	-0.0788	0.0062	2225.8098	-0.0788	0.0062
281	1911.1540	1911.3625	-0.2085	0.0435	1912.4120	-1.2590	1.5825	1912.4120	-1.2590	1.5825	1910.3523	0.8017	0.6427	1910.3523	0.8017	0.6427	1910.3523	0.8017	0.6427
282	1875.0560	1873.6394	1.4166	2.0607	1876.4391	-1.3831	1.9129	1874.1112	0.9448	0.8926	1872.3311	2.6229	6.8796	1872.3311	2.6229	6.8796	1872.3312	2.6228	6.8789
283	1974.1750	1974.4220	-0.2470	0.0610	1973.5924	0.5826	0.3394	1973.5924	0.5826	0.3394	1973.7861	0.3889	0.1512	1973.7861	0.3889	0.1512	1973.7861	0.3889	0.1512
284	1843.4920	1843.4583	0.0337	0.0011	1843.2800	0.2120	0.0449	1843.2800	0.2120	0.0449	1843.5087	-0.0167	0.0003	1843.5085	-0.0165	0.0003	1843.5087	-0.0167	0.0003
285	1959.5180	1959.6132	-0.0952	0.0091	1959.5551	-0.0310	0.0014	1959.5551	-0.0310	0.0014	1959.4600	0.0580	0.0034	1959.4600	0.0580	0.0034	1959.4600	0.0580	0.0034
286	1960.6480	1962.0876	-1.4396	2.0726	1960.7939	-0.1459	0.0213	1961.7827	-1.1447	1.2876	1961.6503	-1.0023	1.0045	1961.6503	-1.0023	1.0045	1961.6503	-1.0023	1.0045
287	1896.9580	1896.9094	0.0486	0.0024	1897.0240	-0.0660	0.0044	1897.0240	-0.0660	0.0044	1896.6686	0.2894	0.0838	1896.6686	0.2894	0.0838	1896.6686	0.2894	0.0838
288	1938.4860	1938.4905	-0.0045	0.0000	1938.1390	0.3470	0.1204	1938.1390	0.3470	0.1204	1938.3506	0.1354	0.0183	1938.3506	0.1354	0.0183	1938.3506	0.1354	0.0183
289	1877.5710	1874.8074	2.7240	7.4199	1875.2960	0.2750	0.5175	1875.2960	0.2750	0.5175	1871.2821	6.2889	39.5502	1871.2821	6.2889	39.5502	1871.2821		

Cod	Z_Campo	Z_Triang	ΔTriang	ΔTriang 2	Z_InvDist	ΔInvDist	ΔInvDist 2	Z_Spline	ΔSpline	ΔSpline 2	Z_KrLine	ΔKrLine	ΔKrLine 2	Z_KrEsf	ΔKrEsf	ΔKrEsf 2	Z_KrExpo	ΔKrExpo	ΔKrExpo 2
361	1923.4430	1923.4869	-0.0439	0.0019	1923.4390	0.0040	0.0000	1923.4390	0.0040	0.0000	1923.9374	-0.4944	0.2444	1923.9374	-0.4944	0.2444	1923.9374	-0.4944	0.2444
362	1917.0670	1917.5110	-0.4440	0.1971	1917.3268	-0.2598	0.0675	1917.3268	-0.2598	0.0675	1917.0111	0.0559	0.0031	1917.0111	0.0559	0.0031	1917.0111	0.0559	0.0031
363	1908.7030	1908.8041	-0.1011	0.0102	1908.6870	0.0160	0.0003	1908.6870	0.0160	0.0003	1908.7742	-0.0712	0.0051	1908.7742	-0.0712	0.0051	1908.7742	-0.0712	0.0051
364	1911.4500	1911.4451	0.0049	0.0000	1911.2841	0.1659	0.0275	1911.2841	0.1659	0.0275	1911.4901	-0.0401	0.0016	1911.4901	-0.0401	0.0016	1911.4901	-0.0401	0.0016
365	1905.5830	1905.4789	0.0951	0.0035	1905.4225	0.1155	0.0133	1905.4225	0.1155	0.0133	1905.3715	0.1665	0.0277	1905.3715	0.1665	0.0277	1905.3715	0.1665	0.0277
366	1908.5040	1908.3776	0.1264	0.0160	1908.6215	-0.1175	0.0138	1908.6215	-0.1175	0.0138	1908.3188	-0.1852	0.0343	1908.3188	-0.1852	0.0343	1908.3188	-0.1852	0.0343
367	1892.4670	1892.4280	0.0390	0.0015	1892.5044	-0.0374	0.0014	1892.5044	-0.0374	0.0014	1892.5795	-0.1125	0.0126	1892.5795	-0.1125	0.0126	1892.5795	-0.1125	0.0126
368	1884.4190	1884.6970	-0.2780	0.0773	1884.8142	-0.3952	0.1562	1884.5704	-0.1507	0.0228	1884.4331	-0.0141	0.0002	1884.4331	-0.0141	0.0002	1884.4331	-0.0141	0.0002
369	1860.4120	1860.4292	-0.0172	0.0003	1860.3950	0.0170	0.0003	1860.4278	-0.0608	0.0037	1860.3114	0.1006	0.0101	1860.3114	0.1006	0.0101	1860.3114	0.1006	0.0101
370	1846.8240	1846.7273	0.0967	0.0094	1846.7742	0.0498	0.0025	1846.9069	-0.0829	0.0069	1847.0121	-0.1881	0.0354	1847.0121	-0.1881	0.0354	1847.0121	-0.1881	0.0354
371	1867.1600	1867.3475	-0.1875	0.0352	1867.3800	-0.2200	0.0484	1867.3800	-0.2200	0.0484	1867.1005	0.0595	0.0035	1867.1005	0.0595	0.0035	1867.1005	0.0595	0.0035
372	1837.6350	1837.7217	-0.0867	0.0075	1837.8199	-0.1849	0.0342	1837.8199	-0.1849	0.0342	1837.8199	-0.1849	0.0342	1837.8199	-0.1849	0.0342	1837.8199	-0.1849	0.0342
373	1869.0370	1869.0083	0.0287	0.0008	1868.9659	0.0711	0.0050	1868.9659	0.0711	0.0050	1868.8108	0.2262	0.0512	1868.8108	0.2262	0.0512	1868.8108	0.2262	0.0512
374	1835.0670	1834.9906	0.0764	0.0058	1834.9530	0.1140	0.0130	1834.9530	0.1140	0.0130	1834.9268	0.1402	0.0197	1834.9268	0.1402	0.0197	1834.9268	0.1402	0.0197
375	1848.5710	1848.8384	-0.2674	0.0715	1848.8462	1.7248	2.9750	1848.7762	-0.2052	0.0421	1847.9646	0.6064	0.3677	1847.9646	0.6064	0.3677	1847.9646	0.6064	0.3677
376	1863.0710	1863.1063	-0.0353	0.0012	1863.2271	-0.1561	0.0244	1863.0413	0.0297	0.0009	1863.0021	0.0689	0.0048	1863.0021	0.0689	0.0048	1863.0021	0.0689	0.0048
377	1827.3070	1827.2518	0.0552	0.0030	1827.2440	0.0630	0.0040	1827.2440	0.0630	0.0040	1827.1636	0.1434	0.0206	1827.1636	0.1434	0.0206	1827.1636	0.1434	0.0206
378	1838.0090	1837.7280	0.2810	0.0789	1838.3270	-0.3180	0.1011	1838.3270	-0.3180	0.1011	1838.0427	-0.0337	0.0011	1838.0427	-0.0337	0.0011	1838.0427	-0.0337	0.0011
379	1824.6400	1824.8142	-0.1742	0.0303	1824.6598	-0.0558	0.0031	1824.6792	-0.0392	0.0015	1824.8527	-0.2127	0.0452	1824.8527	-0.2127	0.0452	1824.8527	-0.2127	0.0452
380	1811.2060	1811.1907	0.0153	0.0002	1811.2120	-0.0060	0.0000	1811.2120	-0.0060	0.0000	1811.1064	0.0996	0.0099	1811.1064	0.0996	0.0099	1811.1064	0.0996	0.0099
381	1814.7400	1814.7430	-0.0030	0.0000	1814.3600	0.3800	0.1444	1814.3600	0.3800	0.1444	1814.6064	0.1336	0.0178	1814.6064	0.1336	0.0178	1814.6064	0.1336	0.0178
382	1818.3450	1818.3435	0.0015	0.0000	1817.5638	0.8102	0.6102	1818.3774	-0.0324	0.0011	1818.4055	-0.0605	0.0037	1818.4055	-0.0605	0.0037	1818.4055	-0.0605	0.0037
383	1810.7940	1810.7943	-0.0003	0.0000	1810.6915	0.1025	0.0105	1810.6915	0.1025	0.0105	1810.7017	0.0923	0.0085	1810.7017	0.0923	0.0085	1810.7017	0.0923	0.0085
384	1807.3490	1807.2479	0.1011	0.0102	1807.0520	0.2970	0.0882	1807.0520	0.2970	0.0882	1807.3251	0.0239	0.0006	1807.3251	0.0239	0.0006	1807.3251	0.0239	0.0006
385	1815.1630	1815.0538	0.1092	0.0119	1815.1526	0.0104	0.0001	1815.1318	0.0312	0.0010	1815.2582	-0.0952	0.0091	1815.2582	-0.0952	0.0091	1815.2582	-0.0952	0.0091
386	1785.2110	1785.1619	0.0491	0.0024	1784.3831	0.8279	0.6855	1784.3831	0.8279	0.6855	1785.8586	-0.6476	0.4194	1785.8586	-0.6476	0.4194	1785.8586	-0.6476	0.4194
387	1812.0090	1811.9597	0.0493	0.0024	1811.7162	0.2928	0.0857	1811.8139	0.1771	0.0314	1811.9425	0.0665	0.0044	1811.9425	0.0665	0.0044	1811.9425	0.0665	0.0044
388	2128.7830	2128.7131	0.0699	0.0049	2130.5618	-1.7788	3.1640	2128.7688	0.0142	0.0012	2128.5264	0.2566	0.0659	2128.5264	0.2566	0.0659	2128.5264	0.2566	0.0659
389	2127.6350	2127.6995	-0.0645	0.0042	2127.6538	-0.0108	0.0004	2127.6450	-0.0100	0.0001	2127.5144	0.1206	0.0145	2127.5144	0.1206	0.0145	2127.5144	0.1206	0.0145
390	2199.9320	2199.6047	0.3273	0.1071	2198.7813	1.1507	1.3242	2199.9639	-0.0319	0.0010	2199.7219	0.2101	0.0441	2199.7219	0.2101	0.0441	2199.7219	0.2101	0.0441
391	2152.3420	2151.1528	1.0902	1.1885	2153.1370	-0.8940	0.7992	2152.3354	-0.0924	0.0085	2151.0361	1.2069	1.4565	2151.0361	1.2069	1.4565	2151.0361	1.2069	1.4565
392	2194.2090	2194.3552	-0.1462	0.0214	2194.5110	-0.3020	0.0912	2194.2083	0.0007	0.0000	2194.6973	-0.4883	0.2384	2194.6973	-0.4883	0.2384	2194.6973	-0.4883	0.2384
393	2110.9740	2111.7087	-0.7347	0.5398	2111.0066	-0.0326	0.0011	2111.0432	-0.0692	0.0048	2111.2102	-0.2362	0.0558	2111.2102	-0.2362	0.0558	2111.2102	-0.2362	0.0558
394	2101.5520	2101.7236	-0.1716	0.0295	2103.9570	-2.4050	5.7842	2101.6006	-0.0486	0.0024	2101.9417	-0.3897	0.1518	2101.9414	-0.3894	0.1516	2101.9417	-0.3897	0.1518
395	2183.3630	2183.9614	-0.5984	0.3581	2182.4749	0.8881	0.7888	2183.3442	0.0188	0.0004	2182.9312	0.4318	0.1865	2182.9312	0.4318	0.1865	2182.9312	0.4318	0.1865
396	2132.2600	2131.5515	0.7085	2.9189	2132.1174	1.1426	1.3055	2133.2292	0.0308	0.0009	2132.5315	0.7285	0.5307	2132.5315	0.7285	0.5307	2132.5315	0.7285	0.5307
397	2161.4320	2160.8564	0.5756	0.3313	2159.8486	1.5834	2.5071	2161.4277	0.0043	0.0000	2160.9133	0.5187	0.2690	2160.9133	0.5187	0.2690	2160.9133	0.5187	0.2690
398	2146.9830	2147.1072	-0.1242	0.0154	2147.2280	-0.2450	0.0600	2147.2280	-0.2450	0.0600	2147.0576	-0.0746	0.0056	2147.0576	-0.0746	0.0056	2147.0576	-0.0746	0.0056
399	2132.8980	2132.8894	0.0086	0.0001	2133.0095	-0.1115	0.0124	2132.9080	-0.0100	0.0001	2133.0447	-0.1367	0.0187	2133.0447	-0.1367	0.0187	2133.0447	-0.1367	0.0187
400	2145.6550	2145.7383	-0.0833	0.0069	2145.6399	0.0151	0.0002	2145.6587	-0.0307	0.0000	2145.7310	-0.0760	0.0058	2145.7310	-0.0760	0.0058	2145.7310	-0.0760	0.0058
401	2047.8410	2047.6974	0.1436	0.0206	2047.9230	-0.0820	0.0367	2047.9230	-0.0820	0.0367	2047.9241	-0.0831	0.0069	2047.9241	-0.0831	0.0069	2047.9241	-0.0831	0.0069
402	2069.5490	2072.8975	-3.3485	11.2122	2070.1174	-0.5684	0.3231	2070.1606	-0.1126	0.0141	2073.8196	-4.2706	18.2379	2073.8196	-4.2706	18.2379	2073.8196	-4.2706	18.2379
403	2118.5550	2118.5931	0.0381	0.0003	2118.6196	1.7354	3.0117	2118.5571	-0.0021	0.0000	2118.8775	0.1675	0.0281	2118.8775	0.1675	0.0281	2118.8775	0.1675	0.0281
404	2040.8490	2041.0680	-0.2190	0.0480	2040.8256	0.0234	0.0005	2040.9053	-0.0623	0.0032	2041.1891	-0.3401	0.1157	2041.1891	-0.3401	0.1157	2041.1891	-0.3401	0.1157
405	2063.3580	2061.3828	1.9752	3.9014	2062.6409	0.7171	0.5143	2063.2979	0.0601	0.0036	2060.1899	3.1681	10.0366	2060.1899	3.1681	10.0366	2060.1899	3.1681	10.0366
406	2022.8630	2023.0112	-0.1482	0.0220	2023.0107	-1.8644	3.4761	2023.0107	-1.8644	3.4761	2023.0600	-0.3970	0.1576	2023.0600	-0.3970	0.1576	2023.0600	-0.3970	0.1576
407	2112.0660	2110.8022	1.2638	1.5971	2110.7759	1.2901	1.6644	2111.8672	0.1988	0.0395	2110.8301	1.2359	1.5275	2110.8301	1.2359	1.5275	2110.8301	1.2359	1.5275
408	2146.5050	2146.5869	-0.0819	0.0067	2146.7490	-0.2440	0.0595	2146.7490	-0.2440	0.0595	2146.4751	0.0299	0.0009	2146.4751	0.0299	0.0009	2146.4751	0.0299	0.0009
409	2146.6290	2146.6597	-0.0307	0.0009	2146.6077	0.0213	0.0005	2146.6440	-0.0150	0.0002	2146.7683	-0.1393	0.0194	2146.7683	-0.1393	0.0194	2146.7683	-0.1393	0.0194
410	2059.8600	2061.0151	-1.1551	1.3343	2060.7310	-0.8710	0.7586	2060.7310	-0.8710	0.7586	2061.2815	-1.4217	2.0206	2061.2815	-1.4217	2.0206	2061.2815	-1.42	

Cod	Z_Campo	Z_Triang	ΔTriang	ΔTriang 2	Z_InvDist	ΔInvDist	ΔInvDist 2	Z_Spline	ΔSpline	ΔSpline 2	Z_KrLine	ΔKrLine	ΔKrLine 2	Z_KrEsfe	ΔKrEsfe	ΔKrEsfe 2	Z_KrExpo	ΔKrExpo	ΔKrExpo 2
482	1856.5000	1856.7648	-0.2648	0.0701	1856.5931	-0.0931	0.0087	1856.5485	-0.0485	0.0023	1856.6494	-0.1494	0.0223	1856.6494	-0.1494	0.0223	1856.6494	-0.1494	0.0223
483	1879.1900	1879.1882	0.0018	0.0000	1879.2042	-0.0142	0.0002	1879.1780	0.0120	0.0001	1879.4127	-0.2227	0.0496	1879.4127	-0.2227	0.0496	1879.4127	-0.2227	0.0496
484	1858.7330	1858.7749	-0.0419	0.0018	1858.8230	-0.0900	0.0081	1858.8230	-0.0900	0.0081	1858.6255	0.1075	0.0116	1858.6255	0.1075	0.0116	1858.6255	0.1075	0.0116
485	1858.3620	1858.4054	-0.0434	0.0019	1858.3544	0.0076	0.0001	1858.3622	-0.0002	0.0000	1858.2195	0.1425	0.0203	1858.2195	0.1425	0.0203	1858.2195	0.1425	0.0203
486	1853.4090	1853.3660	0.0430	0.0019	1853.2920	0.1170	0.0137	1853.2920	0.1170	0.0137	1853.3898	0.0192	0.0004	1853.3898	0.0192	0.0004	1853.3898	0.0192	0.0004
487	1897.9970	1898.0507	-0.0537	0.0029	1897.6403	0.3567	0.1273	1897.9794	0.0176	0.0003	1897.9464	0.0506	0.0026	1897.9464	0.0506	0.0026	1897.9464	0.0506	0.0026
488	1951.3080	1951.2258	0.0822	0.0068	1951.3077	0.0003	0.0000	1951.2998	0.0082	0.0001	1950.9486	0.3594	0.1292	1950.9486	0.3594	0.1292	1950.9486	0.3594	0.1292
489	1843.0020	1843.1047	-0.1027	0.0106	1842.9922	0.0098	0.0001	1843.0298	-0.0278	0.0008	1843.0460	-0.0440	0.0019	1843.0460	-0.0440	0.0019	1843.0460	-0.0440	0.0019
490	1861.1770	1861.3080	-0.1310	0.0172	1861.2384	-0.0614	0.0038	1861.2180	-0.0410	0.0017	1861.0730	0.1040	0.0108	1861.0730	0.1040	0.0108	1861.0730	0.1040	0.0108
491	1903.7870	1903.7814	0.0056	0.0000	1903.9397	-0.1527	0.0233	1903.7968	-0.0098	0.0001	1903.6903	0.0967	0.0093	1903.6903	0.0967	0.0093	1903.6903	0.0967	0.0093
492	1863.3220	1863.2948	0.0272	0.0007	1863.4132	-0.0912	0.0083	1863.3365	-0.0145	0.0002	1863.1499	0.1721	0.0296	1863.1499	0.1721	0.0296	1863.1499	0.1721	0.0296
493	1937.4500	1937.5404	-0.0904	0.0082	1937.2151	0.2349	0.0552	1937.4490	0.0010	0.0000	1937.1006	0.3494	0.1221	1937.1006	0.3494	0.1221	1937.1006	0.3494	0.1221
494	1878.4000	1878.4366	-0.0366	0.0013	1878.4063	-0.0062	0.0000	1878.4033	-0.0033	0.0000	1878.4391	-0.0391	0.0015	1878.4391	-0.0391	0.0015	1878.4391	-0.0391	0.0015
495	1878.7690	1878.7603	0.0087	0.0001	1878.7415	0.0275	0.0008	1878.7661	-0.0029	0.0000	1878.7047	0.0643	0.0041	1878.7047	0.0643	0.0041	1878.7047	0.0643	0.0041
496	1847.7010	1847.7146	-0.0136	0.0002	1847.6779	0.0231	0.0005	1847.7014	-0.0004	0.0000	1847.7310	-0.0300	0.0009	1847.7310	-0.0300	0.0009	1847.7310	-0.0300	0.0009
497	1936.0730	1936.0649	0.0081	0.0001	1935.9994	0.0736	0.0054	1936.0396	0.0334	0.0011	1935.7493	0.3237	0.1048	1935.7493	0.3237	0.1048	1935.7493	0.3237	0.1048
498	1890.4690	1890.3359	0.1331	0.0177	1890.4016	0.0674	0.0045	1890.5162	-0.0472	0.0022	1890.2860	0.1830	0.0335	1890.2860	0.1830	0.0335	1890.2860	0.1830	0.0335
499	1801.6960	1801.7626	-0.0666	0.0044	1801.6542	0.0418	0.0017	1801.7227	-0.0267	0.0007	1801.9120	-0.2160	0.0467	1801.9120	-0.2160	0.0467	1801.9120	-0.2160	0.0467
500	1798.2900	1798.1594	0.1306	0.0171	1798.1479	0.1421	0.0202	1798.1479	0.1421	0.0202	1798.0518	0.2382	0.0568	1798.0518	0.2382	0.0568	1798.0518	0.2382	0.0568
(Σ)			<b>-26.3803</b>	<b>338.3889</b>		<b>5.5531</b>	<b>686.0042</b>		<b>9.7750</b>	<b>307.5049</b>		<b>-25.0686</b>	<b>522.2159</b>		<b>-25.0694</b>	<b>522.2179</b>		<b>-25.2748</b>	<b>521.9066</b>
(ΣΔ2/n)				<b>0.6768</b>			<b>1.3720</b>			<b>0.6150</b>			<b>1.0444</b>			<b>1.0444</b>			<b>1.0438</b>
RMSZ (m)				<b>0.8227</b>			<b>1.1713</b>			<b>0.7842</b>			<b>1.0220</b>			<b>1.0220</b>			<b>1.0217</b>

ANEXO 4 . Cálculo de los Coeficientes de Correlación (r)

Cod	ΔDsSpl	ΔDsTrg	ΔDsKEF	ΔDsKEX	ΔDsKLn	ΔSplTrg	ΔSplKEF	ΔSplKEX	ΔSplKLn	ΔTrgKEF	ΔTrgKEX	ΔTrgKLn	ΔKEFKEK	ΔKEFKLn	ΔKEXKLn	
1	0.0028	0.0038	0.0012	0.0012	0.0012	0.0038	0.0012	0.0012	0.0012	0.0016	0.0016	0.0016	0.0005	0.0005	0.0005	
2	0.5852	0.8895	-0.6058	-0.6058	-0.6058	0.8895	-0.6058	-0.6058	-0.6058	-0.9207	-0.9207	-0.9207	0.6271	0.6271	0.6271	
3	0.0180	0.0247	0.0204	0.0204	0.0204	0.0247	0.0204	0.0204	0.0204	0.0280	0.0280	0.0280	0.0231	0.0231	0.0231	
4	0.0082	0.0025	0.0020	0.0020	0.0020	0.0018	0.0014	0.0014	0.0014	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003	
5	0.0016	0.0005	-0.0033	-0.0033	-0.0033	0.0016	-0.0100	-0.0100	-0.0100	-0.0034	-0.0034	-0.0034	0.0212	0.0212	0.0212	
6	0.1043	-0.0126	-0.0957	-0.0957	-0.0957	-0.0126	-0.0957	-0.0957	-0.0957	0.0116	0.0116	0.0116	0.0878	0.0878	0.0878	
7	-0.0125	-0.0048	0.0015	0.0015	0.0015	0.0056	-0.0018	-0.0018	-0.0018	-0.0007	-0.0007	-0.0007	0.0002	0.0002	0.0002	
8	0.0132	0.0322	0.0490	0.0490	0.0490	0.0322	0.0490	0.0490	0.0490	0.1194	0.1194	0.1194	0.1818	0.1818	0.1818	
9	0.0301	0.0088	-0.0054	-0.0054	-0.0054	0.0098	-0.0060	-0.0060	-0.0060	-0.0018	-0.0018	-0.0018	0.0011	0.0011	0.0011	
10	0.0130	0.0073	0.0080	0.0080	0.0080	0.0073	0.0080	0.0080	0.0080	0.0045	0.0045	0.0045	0.0049	0.0049	0.0049	
11	-0.0879	-0.3018	-0.0298	-0.0297	-0.0298	0.0450	0.0044	0.0044	0.0044	0.0153	0.0152	0.0153	0.0015	0.0015	0.0015	
12	3.1968	-1.4708	0.5332	0.5332	0.5332	-1.4708	0.5332	0.5332	0.5332	-0.2453	-0.2453	-0.2453	0.0889	0.0889	0.0889	
13	0.0246	0.0390	0.0258	0.0258	0.0258	0.0370	0.0245	0.0245	0.0245	0.0387	0.0387	0.0387	0.0256	0.0256	0.0256	
14	1.5328	2.2957	1.5178	1.5178	1.5178	2.2957	1.5178	1.5178	1.5178	2.2733	2.2733	2.2733	1.5030	1.5030	1.5030	
15	-0.0008	-0.0125	-0.0027	-0.0027	-0.0027	0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.0017	0.0017	0.0017	0.0004	0.0004	0.0004	
16	0.8029	1.4176	-0.1474	-0.1475	-0.1475	1.4176	-0.1475	-0.1475	-0.1475	-0.2603	-0.2605	-0.2605	0.0271	0.0271	0.0271	
17	0.0177	0.0116	0.0159	0.0159	0.0159	0.0116	0.0159	0.0159	0.0159	0.0104	0.0104	0.0104	0.0143	0.0143	0.0143	
18	0.0002	0.0045	0.0123	0.0123	0.0123	0.0002	0.0005	0.0005	0.0005	0.0124	0.0124	0.0124	0.0340	0.0340	0.0340	
19	0.0521	0.6394	0.7475	0.7475	0.7475	0.1685	0.1970	0.1970	0.1970	2.4183	2.4183	2.4183	2.8274	2.8274	2.8274	
20	0.0697	0.0598	0.0207	0.0207	0.0207	0.0598	0.0207	0.0207	0.0207	0.0177	0.0177	0.0177	0.0061	0.0061	0.0061	
21	0.0038	0.0073	0.0187	0.0187	0.0187	0.0015	0.0038	0.0038	0.0038	0.0075	0.0075	0.0075	0.0191	0.0191	0.0191	
22	0.0992	0.0646	-0.0782	-0.0782	-0.0782	0.0646	-0.0782	-0.0782	-0.0782	-0.0509	-0.0509	-0.0509	0.0616	0.0616	0.0616	
23	-0.0251	-0.1834	-0.2278	-0.2278	-0.2278	0.0069	0.0085	0.0085	0.0085	0.0622	0.0622	0.0622	0.0772	0.0772	0.0772	
24	0.0561	0.0561	-0.0170	-0.0170	-0.0170	0.0561	-0.0170	-0.0170	-0.0170	-0.0170	-0.0170	-0.0170	0.0052	0.0052	0.0052	
25	0.3376	0.4282	0.3126	0.3126	0.3126	0.4282	0.3126	0.3126	0.3126	0.3966	0.3966	0.3966	0.2895	0.2895	0.2895	
26	0.0188	-0.0098	-0.0120	-0.0120	-0.0120	-0.0098	-0.0120	-0.0120	-0.0120	0.0063	0.0063	0.0063	0.0077	0.0077	0.0077	
27	-0.0026	-0.0261	-0.0010	-0.0010	-0.0010	-0.0017	-0.0001	-0.0001	-0.0001	0.0007	0.0007	0.0007	0.0000	0.0000	0.0000	
28	0.0256	0.0087	0.0472	0.0472	0.0472	0.0087	0.0472	0.0472	0.0472	0.0160	0.0160	0.0160	0.0872	0.0872	0.0872	
29	0.1095	0.0222	0.0058	0.0058	0.0058	0.0222	0.0058	0.0058	0.0058	0.0012	0.0012	0.0012	0.0003	0.0003	0.0003	
30	0.0019	0.0058	-0.0029	-0.0029	-0.0029	0.0058	-0.0029	-0.0029	-0.0029	-0.0088	-0.0088	-0.0088	0.0044	0.0044	0.0044	
31	0.1421	0.0853	0.0321	0.0321	0.0321	0.0853	0.0321	0.0321	0.0321	0.0193	0.0193	0.0193	0.0073	0.0073	0.0073	
32	0.0201	-0.0997	0.2392	0.2392	0.2392	-0.0997	0.2392	0.2392	0.2392	-0.1158	-0.1158	-0.1158	0.2776	0.2776	0.2776	
33	0.0222	0.0132	-0.0054	-0.0054	-0.0054	0.0050	-0.0020	-0.0020	-0.0020	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0005	0.0005	0.0005	
34	0.0394	0.4838	0.8077	0.8077	0.8077	0.0640	0.1069	0.1069	0.1069	1.3139	1.3139	1.3139	2.1937	2.1937	2.1937	
35	0.8431	15.4083	0.6387	0.6387	0.6387	0.8726	0.0362	0.0362	0.0362	0.6611	0.6611	0.6611	0.0274	0.0274	0.0274	
36	0.2503	0.3799	0.1505	0.1505	0.1505	0.0130	0.0051	0.0051	0.0051	0.0078	0.0078	0.0078	0.0031	0.0031	0.0031	
37	1.3761	0.3181	-1.6379	-1.6382	-1.6379	0.3181	-1.6379	-1.6382	-1.6379	-0.3787	-0.3787	-0.3787	1.9499	1.9496	1.9499	
38	-0.0005	-0.0660	-0.4282	-0.4282	-0.4282	0.0001	0.0008	0.0008	0.0008	0.1078	0.1078	0.1078	0.6996	0.6996	0.6996	
39	0.1832	0.1084	-0.0201	-0.0201	-0.0201	0.1084	-0.0201	-0.0201	-0.0201	-0.0119	-0.0119	-0.0119	0.0022	0.0022	0.0022	
40	1.9238	1.8602	-1.6541	-1.6541	-1.6541	1.8602	-1.6541	-1.6541	-1.6541	-1.5994	-1.5994	-1.5994	1.4222	1.4222	1.4222	
41	0.0603	-0.5934	-0.2710	-0.2710	-0.2710	-0.0346	-0.0158	-0.0158	-0.0158	0.1556	0.1556	0.1556	0.0711	0.0711	0.0711	
42	0.5113	0.2390	1.2904	1.2904	1.2904	0.2390	1.2904	1.2904	1.2904	0.6031	0.6031	0.6031	3.2568	3.2568	3.2568	
43	0.0007	0.2038	2.9342	2.9342	2.9342	0.8774	1.2658	1.2658	1.2658	5.1417	5.1417	5.1417	7.4178	7.4178	7.4178	
44	0.0003	-0.0093	0.0023	0.0023	0.0023	-0.0093	0.0023	0.0023	0.0023	-0.0660	-0.0660	-0.0660	0.0162	0.0162	0.0162	
45	0.0063	-0.2100	-0.2248	-0.2248	-0.2248	-0.0134	-0.0143	-0.0143	-0.0143	0.4737	0.4737	0.4737	0.5071	0.5071	0.5071	
46	0.0092	1.0585	1.2581	1.2581	1.2581	0.0217	0.0258	0.0258	0.0258	2.9842	2.9842	2.9842	3.5470	3.5470	3.5470	
47	0.0311	0.9205	4.1302	4.1302	4.1302	0.0144	0.0645	0.0645	0.0645	1.9097	1.9097	1.9097	8.5690	8.5690	8.5690	
48	-0.0756	0.0009	-0.3777	-0.3777	-0.3777	-0.0007	0.2734	0.2734	0.2734	-0.0034	-0.0034	-0.0034	1.3660	1.3660	1.3660	
49	0.0497	0.0026	0.1940	0.1940	0.1940	0.0002	0.0121	0.0121	0.0121	0.0006	0.0006	0.0006	0.0472	0.0472	0.0472	
50	-0.0038	0.0039	-0.0607	-0.0607	-0.0607	-0.0021	0.0325	0.0325	0.0325	-0.0335	-0.0335	-0.0335	0.5167	0.5167	0.5167	
51	0.0009	0.0862	0.5964	0.5966	0.5966	0.0001	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0827	0.0828	0.0828	0.5729	0.5729	0.5731
52	-0.0799	-0.2025	-1.4537	-1.4537	-1.4537	0.0159	0.1142	0.1142	0.1142	0.2894	0.2894	0.2894	2.0780	2.0780	2.0780	
53	-0.0198	-0.2993	0.1910	0.1910	0.1910	0.1359	-0.0867	-0.0867	-0.0867	-1.3106	-1.3106	-1.3106	0.8362	0.8362	0.8362	
54	1.4304	0.6838	3.1166	3.1166	3.1166	0.6838	3.1166	3.1166	3.1166	1.4898	1.4898	1.4898	6.7907	6.7907	6.7907	
55	1.6462	0.6695	2.4105	2.4105	2.4105	0.6695	2.4105	2.4105	2.4105	0.9804	0.9804	0.9804	3.5297	3.5297	3.5297	
56	0.0835	0.2936	0.0771	0.0771	0.0771	0.2936	0.0771	0.0771	0.0771	0.2710	0.2710	0.2710	0.0712	0.0712	0.0712	
57	0.0067	0.0600	-0.0613	-0.0613	-0.0613	0.0600	-0.0613	-0.0613	-0.0613	-0.5484	-0.5484	-0.5484	0.5609	0.5609	0.5609	
58	-0.3347	-1.1485	0.4230	0.4230	0.4230	0.4447	-0.1638	-0.1638	-0.1638	-0.5620	-0.5620	-0.5620	0.2070	0.2070	0.2070	
59	0.0560	0.1891	-0.3530	-0.3530	-0.3530	0.0194	-0.0362	-0.0362	-0.0362	-0.1223	-0.1223	-0.1223	0.2283	0.2283	0.2283	
60	0.0037	-0.0695	-0.2449	-0.2449	-0.2449	-0.0131	-0.0462	-0.0462	-0.0462	0.8728	0.8728	0.8728	3.0763	3.0763	3.0763	
61	0.0099	0.3730	0.4204	0.4204	0.4204	0.0762	0.0859	0.0859	0.0859	3.2499	3.2499	3.2499	3.6634	3.6634	3.6634	
62	0.3027	1.2085	1.3881	1.3881	1.3881	0.2369	0.2721	0.2721	0.2721	1.0860	1.0860	1.0860	1.2474	1.2474	1.2474	
63	0.8574	0.1754	-0.0394	-0.0394	-0.0394	0.1754	-0.0394	-0.0394	-0.0394	-0.0081	-0.0081	-0.0081	0.0018	0.0018	0.0018	
64	0.2237	-4.3148	-1.3463	-1.3463	-1.3463	-0.1223	-0.0382	-0.0382	-0.0382	0.7360	0.7360	0.7360	0.2297	0.2297	0.2297	
65	0.0289	-0.2579	0.1782	0.1782	0.1782	-0.2579	0.1782	0.1782	0.1782	-0.1588	-0.1588	-0.1588	0.1097	0.1097	0.1097	
66	-0.0011	0.1059	0.1523	0.1523	0.1523	-0.0097	-0.0139	-0.0139	-0.0139	1.2890	1.2890	1.2890	1.8534	1.8534	1.8534	
67	-0.1580	-1.8815	-1.4291	-1.4291	-1.4291	0.0971	0.0738	0.0738	0.0738	0.8785	0.8785	0.8785	0.6673	0.6673	0.6673	
68	0.0047	0.4294	0.4156	0.4156	0.4156	0.0791	0.0765	0.0765	0.0765	6.9624	6.9624	6.9624	6.7399	6.7399	6.7399	
69	0.2157	0.4783	-0.1911	-0.1911	-0.1911	0.2532										



Cod	AIDsSpl	AIDsTrg	AIDsKEF	AIDsKEX	AIDsKLn	ΔSplTrg	ΔSplKEF	ΔSplKEX	ΔSplKLn	ΔTrgKEF	ΔTrgKEX	ΔTrgKLn	ΔKEFKEF	ΔKEFKLn	ΔKEXKLn
103	0.0193	0.0204	0.0212	0.0212	0.0212	0.0959	0.0998	0.0998	0.0998	0.1057	0.1057	0.1057	0.1100	0.1100	0.1100
104	0.1015	0.1689	0.0975	0.0975	0.0975	0.1160	0.0669	0.0669	0.0669	0.1113	0.1113	0.1113	0.0643	0.0643	0.0643
105	0.0547	-0.1967	-0.0514	-0.0514	-0.0514	-0.1967	-0.0514	-0.0514	-0.0514	0.1849	0.1849	0.1849	0.0484	0.0484	0.0484
106	2.1376	-0.5234	-2.0904	-2.0904	-2.0904	-0.5234	-2.0904	-2.0904	-2.0904	0.5119	0.5119	0.5119	2.0443	2.0443	2.0443
107	0.1490	-0.0233	-0.0888	-0.0888	-0.0887	-0.0233	-0.0888	-0.0887	-0.0887	0.0139	0.0138	0.0138	0.0528	0.0528	0.0528
108	0.2165	0.2924	0.3155	0.3155	0.3155	0.1377	0.1485	0.1485	0.1485	0.2006	0.2006	0.2006	0.2164	0.2164	0.2164
109	0.0408	0.0396	0.2455	0.2455	0.2455	0.0396	0.2455	0.2455	0.2455	0.2378	0.2378	0.2378	1.4763	1.4763	1.4763
110	-0.0223	0.0575	0.0410	0.0410	0.0410	-0.0167	-0.0119	-0.0119	-0.0119	0.0308	0.0308	0.0308	0.0219	0.0219	0.0219
111	0.1193	0.0166	0.1249	0.1249	0.1249	0.0089	0.0670	0.0670	0.0670	0.0093	0.0093	0.0093	0.0702	0.0702	0.0702
112	0.0640	0.1156	0.2151	0.2151	0.2151	0.1156	0.2151	0.2151	0.2151	0.3882	0.3882	0.3882	0.7225	0.7225	0.7225
113	-0.0133	0.0114	0.0300	0.0300	0.0300	-0.0041	-0.0109	-0.0109	-0.0109	0.0093	0.0093	0.0093	0.0245	0.0245	0.0245
114	0.3398	0.4411	0.1951	0.1951	0.1951	0.4411	0.1951	0.1951	0.1951	0.2532	0.2532	0.2532	0.1120	0.1120	0.1120
115	-0.0167	-0.0377	0.0477	0.0477	0.0477	0.0261	-0.0330	-0.0330	-0.0330	-0.0743	-0.0743	-0.0743	0.0940	0.0940	0.0940
116	0.0149	-0.0037	0.0158	0.0158	0.0158	-0.0037	0.0158	0.0158	0.0158	-0.0039	-0.0039	-0.0039	0.0167	0.0167	0.0167
117	-0.2232	-0.2036	-0.1746	-0.1746	-0.1746	0.3698	0.3171	0.3171	0.3171	0.2893	0.2893	0.2893	0.2481	0.2481	0.2481
118	0.5729	0.5552	0.2183	0.2183	0.2183	0.5552	0.2183	0.2183	0.2183	0.2116	0.2116	0.2116	0.0832	0.0832	0.0832
119	1.2102	1.4885	0.5498	0.5498	0.5498	1.4885	0.5498	0.5498	0.5498	0.6762	0.6762	0.6762	0.2498	0.2498	0.2498
120	0.1370	0.2035	0.1040	0.1040	0.1040	0.2035	0.1040	0.1040	0.1040	0.1545	0.1545	0.1545	0.0790	0.0790	0.0790
121	0.0182	0.0013	-0.0466	-0.0466	-0.0465	0.0124	-0.4348	-0.4347	-0.4347	-0.0316	-0.0316	-0.0316	1.1117	1.1117	1.1114
122	2.3375	0.4883	1.2980	1.2980	1.2980	0.4883	1.2980	1.2980	1.2980	0.2712	0.2712	0.2712	0.7207	0.7207	0.7207
123	2.1285	2.1979	-1.0558	-1.0558	-1.0558	2.1979	-1.0558	-1.0558	-1.0558	-1.0903	-1.0903	-1.0903	0.5237	0.5237	0.5237
124	-2.5083	0.2125	1.5122	1.5122	1.5122	-0.0662	-0.4710	-0.4710	-0.4710	0.0399	0.0399	0.0399	0.2840	0.2840	0.2840
125	1.3526	-0.0373	-0.1560	-0.1560	-0.1560	-0.0373	-0.1560	-0.1560	-0.1560	0.0043	0.0043	0.0043	0.0180	0.0180	0.0180
126	0.0055	-0.0071	-0.0380	-0.0380	-0.0380	-0.0071	-0.0380	-0.0380	-0.0380	0.0491	0.0491	0.0491	0.1787	0.1787	0.1787
127	-1.0739	-2.5882	-3.4074	-3.4074	-3.4072	4.4429	5.8490	5.7800	5.8486	14.0967	13.9305	14.0959	18.3394	18.5571	18.3384
128	0.0450	0.0273	0.0040	0.0040	0.0040	0.0273	0.0040	0.0040	0.0040	0.0024	0.0024	0.0024	0.0004	0.0004	0.0004
129	1.4280	1.8015	0.5747	0.5747	0.5747	1.8015	0.5747	0.5747	0.5747	0.7249	0.7249	0.7249	0.2313	0.2313	0.2313
130	0.0384	-0.0123	0.0090	0.0090	0.0090	-0.0123	0.0090	0.0090	0.0090	-0.0029	-0.0029	-0.0029	0.0021	0.0021	0.0021
131	0.0992	0.0662	-0.0566	-0.0566	-0.0566	0.0662	-0.0566	-0.0566	-0.0566	-0.0377	-0.0377	-0.0377	0.0323	0.0323	0.0323
132	0.0859	0.2495	-0.0634	-0.0634	-0.0634	0.2495	-0.0634	-0.0634	-0.0634	-0.1840	-0.1840	-0.1840	0.0467	0.0467	0.0467
133	-0.0823	-0.1293	0.0098	0.0098	0.0099	-0.1293	0.0098	0.0099	0.0099	-0.0154	-0.0155	-0.0155	0.0012	0.0012	0.0012
134	10.1187	0.8437	-2.4383	-2.4375	-2.4383	0.8437	-2.4383	-2.4375	-2.4383	-0.2033	-0.2032	-0.2033	0.5874	0.5875	0.5874
135	1.5303	-0.5844	0.8719	0.8719	0.8719	-0.5844	0.8719	0.8719	0.8719	-0.3330	-0.3330	-0.3330	0.4968	0.4968	0.4968
136	0.0426	0.0240	-0.0749	-0.0749	-0.0749	0.0193	-0.0602	-0.0602	-0.0602	-0.0339	-0.0339	-0.0339	0.1059	0.1059	0.1059
137	4.9107	6.1918	0.5528	0.5522	0.5528	6.1918	0.5528	0.5522	0.5528	0.6970	0.6963	0.6970	0.0622	0.0622	0.0622
138	-0.0004	0.0026	0.0057	0.0057	0.0057	-0.0005	-0.0011	-0.0011	-0.0011	0.0063	0.0063	0.0063	0.0140	0.0140	0.0140
139	0.2366	-0.0874	-0.4226	-0.4226	-0.4226	-0.0874	-0.4226	-0.4226	-0.4226	0.1560	0.1560	0.1560	0.7548	0.7548	0.7548
140	-0.0553	-0.1094	-0.1859	-0.1859	-0.1859	0.1976	0.3357	0.3357	0.3357	0.6643	0.6643	0.6643	1.1285	1.1285	1.1285
141	0.0017	-0.0045	0.0176	0.0176	0.0176	-0.0014	0.0055	0.0055	0.0055	-0.0146	-0.0146	-0.0146	0.0570	0.0570	0.0570
142	-0.0005	0.0052	-0.0274	-0.0274	-0.0274	-0.0009	0.0048	0.0048	0.0048	-0.0531	-0.0531	-0.0531	0.2785	0.2785	0.2785
143	0.2591	0.1274	0.2412	0.2412	0.2412	0.1274	0.2412	0.2412	0.2412	0.1186	0.1186	0.1186	0.2246	0.2246	0.2246
144	0.0110	0.0228	-0.0029	-0.0029	-0.0029	0.0228	-0.0029	-0.0029	-0.0029	-0.0061	-0.0061	-0.0061	0.0008	0.0008	0.0008
145	0.1289	-0.0977	-0.4554	-0.4554	-0.4554	-0.0977	-0.4554	-0.4554	-0.4554	0.3452	0.3452	0.3452	1.6090	1.6090	1.6090
146	0.2717	0.9047	0.2782	0.2782	0.2782	0.3343	0.1028	0.1028	0.1028	0.3423	0.3423	0.3423	0.1052	0.1052	0.1052
147	0.4580	-0.1071	-0.5745	-0.5745	-0.5745	-0.0957	-0.5130	-0.5130	-0.5130	0.1200	0.1200	0.1200	0.6435	0.6435	0.6435
148	-0.0185	-1.2156	0.0170	0.0170	0.0170	0.0073	-0.0001	-0.0001	-0.0001	-0.0067	-0.0067	-0.0067	0.0001	0.0001	0.0001
149	16.8346	-1.1571	2.3509	2.3509	2.3509	-1.1571	2.3509	2.3509	2.3509	-0.1616	-0.1616	-0.1616	0.3283	0.3283	0.3283
150	0.0348	-0.0501	-0.1457	-0.1457	-0.1457	-0.0501	-0.1457	-0.1457	-0.1457	0.2094	0.2094	0.2094	0.6094	0.6094	0.6094
151	0.3055	-0.2250	-1.9913	-1.9913	-1.9913	-0.0469	-0.4147	-0.4147	-0.4147	0.3053	0.3053	0.3053	2.7027	2.7027	2.7027
152	0.0707	0.1792	0.2960	0.2960	0.2960	0.0127	0.0210	0.0210	0.0210	0.0532	0.0532	0.0532	0.0878	0.0878	0.0878
153	0.2019	0.0884	1.6234	1.6234	1.6234	0.0088	0.1612	0.1612	0.1612	0.0706	0.0706	0.0706	1.2960	1.2960	1.2960
154	0.0119	0.1033	0.3158	0.3158	0.3158	0.1033	0.3158	0.3158	0.3158	2.7474	2.7474	2.7474	8.3973	8.3973	8.3973
155	0.0098	0.0090	-0.0180	-0.0180	-0.0180	0.0090	-0.0180	-0.0180	-0.0180	-0.0166	-0.0166	-0.0166	0.0332	0.0332	0.0332
156	0.6756	-0.2790	-0.1534	-0.1534	-0.1534	-0.2790	-0.1534	-0.1534	-0.1534	0.0634	0.0634	0.0634	0.0348	0.0348	0.0348
157	1.2996	0.1832	0.9628	0.9631	0.9628	0.1832	0.9628	0.9631	0.9628	0.1358	0.1358	0.1358	0.7135	0.7133	0.7135
158	0.0756	0.1327	-0.3583	-0.3583	-0.3583	0.0390	-0.1054	-0.1054	-0.1054	-0.1852	-0.1852	-0.1852	0.5000	0.5000	0.5000
159	0.3434	-0.5897	-0.4565	-0.4565	-0.4565	-0.5897	-0.4565	-0.4565	-0.4565	0.7838	0.7838	0.7838	0.6068	0.6068	0.6068
160	0.8445	-0.4222	-1.1700	-1.1700	-1.1700	-0.4222	-1.1700	-1.1700	-1.1700	0.5849	0.5849	0.5849	1.6209	1.6209	1.6209
161	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0013	0.0013	0.0013	0.0002	0.0002	0.0002
162	0.2143	-0.0895	0.0937	0.0937	0.0937	-0.0895	0.0937	0.0937	0.0937	-0.0391	-0.0391	-0.0391	0.0410	0.0410	0.0410
163	0.0645	0.0379	-0.0328	-0.0328	-0.0328	0.0379	-0.0328	-0.0328	-0.0328	-0.0193	-0.0193	-0.0193	0.0167	0.0167	0.0167
164	0.0353	0.0677	0.0250	0.0250	0.0250	0.0677	0.0250	0.0250	0.0250	0.0480	0.0480	0.0480	0.0177	0.0177	0.0177
165	0.3684	0.1045	0.1202	0.1202	0.1202	0.1045	0.1202	0.1202	0.1202	0.0341	0.0341	0.0341	0.0392	0.0392	0.0392
166	0.0756	-0.0934	-0.0029	-0.0029	-0.0029	-0.0934	-0.0029	-0.0029	-0.0029	0.0035	0.0035	0.0035	0.0001	0.0001	0.0001
167	0.2411	-0.1491	-0.0375	-0.0375	-0.0375	-0.1491	-0.0375	-0.0375	-0.0375	0.0232	0.0232	0.0232	0.0058	0.0058	0.0058
168	0.2101	0.6151	0.7265	0.7265	0.7265	1.2077	1.2055	1.2055	1.2055	3.5292	3.5292	3.5292	4.1682	4.1682	4.1682
169	0.3522	0.0696	0.0062	0.0062	0.0062	0.0576	0.0051	0.0051	0.0051	0.0010	0.0010	0.0010	0.0001	0.0001	0.0001
170	0.1536	-0.2774	-0.1158	-0.1158	-0.1158	-0.2774	-0.1158	-0.1158	-0.1158	0.2093	0.2093	0.2093	0.0874	0.0874	0.0874
171	1.6710	2.6247	3.9603	3.9603	3.										

Cod	AIDsSpl	AIDsTrg	AIDsKEF	AIDsKEX	AIDsKLn	ΔSplTrg	ΔSplKEF	ΔSplKEX	ΔSplKLn	ΔTrgKEF	ΔTrgKEX	ΔTrgKLn	ΔKEFKEX	ΔKEFKLn	ΔKEXKLn
207	0.0004	0.0010	-0.0043	-0.0043	-0.0043	0.0010	-0.0043	-0.0043	-0.0043	-0.0112	-0.0112	-0.0112	0.0499	0.0499	0.0499
208	0.0035	0.0065	0.0105	0.0105	0.0105	0.0038	0.0061	0.0061	0.0061	0.0116	0.0116	0.0116	0.0185	0.0185	0.0185
209	0.0328	0.0452	0.0061	0.0061	0.0061	0.0452	0.0061	0.0061	0.0061	0.0085	0.0085	0.0085	0.0011	0.0011	0.0011
210	-0.0032	0.0137	-0.0065	-0.0065	-0.0065	-0.0043	0.0021	0.0021	0.0021	-0.0087	-0.0087	-0.0087	0.0041	0.0041	0.0041
211	-0.0011	-0.0009	0.0005	0.0005	0.0005	-0.0009	0.0005	0.0005	0.0005	-0.0004	-0.0004	-0.0004	0.0002	0.0002	0.0002
212	6.2301	7.5446	1.9334	1.9340	1.9334	7.5446	1.9334	1.9340	1.9334	2.3413	2.3420	2.3413	0.6002	0.6000	0.6002
213	0.0045	0.0020	-0.0031	-0.0031	-0.0031	0.0020	-0.0031	-0.0031	-0.0031	-0.0014	-0.0014	-0.0014	0.0022	0.0022	0.0022
214	58.1846	29.4627	-14.3808	-14.3808	-14.3808	29.4627	-14.3808	-14.3808	-14.3808	-7.2820	-7.2820	-7.2820	3.5544	3.5544	3.5544
215	0.0045	0.0030	0.0042	0.0042	0.0042	0.0030	0.0042	0.0042	0.0042	0.0028	0.0028	0.0028	0.0039	0.0039	0.0039
216	0.0015	-0.0136	0.0154	0.0154	0.0154	-0.0010	0.0012	0.0012	0.0012	-0.0106	-0.0106	-0.0106	0.0121	0.0121	0.0121
217	0.0015	0.0031	0.0129	0.0129	0.0129	0.0006	0.0024	0.0024	0.0024	0.0051	0.0051	0.0051	0.0209	0.0209	0.0209
218	-0.0005	-0.0113	-0.0093	-0.0093	-0.0093	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005	0.0127	0.0127	0.0127	0.0105	0.0105	0.0105
219	0.0004	-0.0029	-0.0037	-0.0037	-0.0037	-0.0002	-0.0002	-0.0002	-0.0002	0.0017	0.0017	0.0017	0.0022	0.0022	0.0022
220	0.0008	0.0023	-0.0126	-0.0126	-0.0126	0.0001	-0.0006	-0.0006	-0.0006	-0.0018	-0.0018	-0.0018	0.0096	0.0096	0.0096
221	0.0079	0.0019	-0.0003	-0.0003	-0.0003	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
222	-0.0153	1.3277	2.8273	2.8273	2.8273	-0.0889	-0.1892	-0.1892	-0.1892	16.4436	16.4436	16.4436	35.0167	35.0167	35.0167
223	-0.0005	0.0407	-0.0049	-0.0049	-0.0049	-0.0007	0.0001	0.0001	0.0001	-0.0077	-0.0077	-0.0077	0.0009	0.0009	0.0009
224	0.0034	-0.2437	-0.1036	-0.1036	-0.1036	-0.0045	-0.0019	-0.0019	-0.0019	0.1367	0.1367	0.1367	0.0581	0.0581	0.0581
225	-0.0021	0.0182	0.0175	0.0175	0.0175	-0.0014	-0.0014	-0.0014	-0.0014	0.0118	0.0118	0.0118	0.0114	0.0114	0.0114
226	0.0244	-0.3927	-0.3676	-0.3676	-0.3676	-0.0116	-0.0109	-0.0109	-0.0109	0.1750	0.1750	0.1750	0.1638	0.1638	0.1638
227	0.0679	0.3215	0.5345	0.5345	0.5345	0.0285	0.0474	0.0474	0.0474	0.2244	0.2244	0.2244	0.3731	0.3731	0.3731
228	0.9961	3.5123	10.0615	10.0615	10.0615	0.5186	1.4856	1.4856	1.4856	5.2383	5.2383	5.2383	15.0058	15.0058	15.0058
229	0.0497	-5.3617	-2.9346	-2.9346	-2.9346	-0.0342	-0.0187	-0.0187	-0.0187	2.0183	2.0181	2.0183	1.1046	1.1047	1.1046
230	-0.0004	0.0070	0.0008	0.0008	0.0008	-0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0005	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000
231	-0.0034	-0.0180	-0.0322	-0.0322	-0.0322	0.0034	0.0061	0.0061	0.0061	0.0325	0.0325	0.0325	0.0581	0.0581	0.0581
232	0.0012	0.0046	-0.0237	-0.0237	-0.0237	0.0003	-0.0014	-0.0014	-0.0014	-0.0053	-0.0053	-0.0053	0.0272	0.0272	0.0272
233	-0.0001	0.0073	-0.0007	-0.0007	-0.0007	-0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0027	-0.0027	-0.0027	0.0003	0.0003	0.0003
234	-0.0051	-0.0102	-0.0828	-0.0828	-0.0828	0.0006	0.0050	0.0050	0.0050	0.0100	0.0100	0.0100	0.0817	0.0817	0.0817
235	-0.0032	0.0798	-0.0931	-0.0931	-0.0931	-0.0015	0.0017	0.0017	0.0017	-0.0427	-0.0427	-0.0427	0.0498	0.0498	0.0498
236	0.0010	0.0010	-0.0046	-0.0046	-0.0046	0.0005	-0.0023	-0.0023	-0.0023	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0111	0.0111	0.0111
237	0.0125	-0.0511	0.0523	0.0523	0.0523	-0.0071	0.0072	0.0072	0.0072	-0.0295	-0.0295	-0.0295	0.0302	0.0302	0.0302
238	0.0003	0.0040	-0.0092	-0.0092	-0.0092	0.0001	-0.0002	-0.0002	-0.0002	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0055	0.0055	0.0055
239	-0.0027	0.0014	-0.0014	-0.0014	-0.0014	-0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
240	-0.0315	-0.4384	-0.9118	-0.9118	-0.9118	0.2389	0.4969	0.4969	0.4969	6.9192	6.9192	6.9192	14.3922	14.3922	14.3922
241	0.0030	0.0069	0.0128	0.0128	0.0128	0.0025	0.0045	0.0045	0.0045	0.0105	0.0105	0.0105	0.0195	0.0195	0.0195
242	0.0028	0.0003	0.0306	0.0306	0.0306	0.0000	0.0026	0.0026	0.0026	0.0002	0.0002	0.0002	0.0289	0.0289	0.0289
243	0.0000	-0.0006	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0005	-0.0010	-0.0010	-0.0010	0.0222	0.0222	0.0222	0.0416	0.0416	0.0416
244	0.0297	-0.1014	0.1085	0.1085	0.1085	-0.0123	0.0132	0.0132	0.0132	-0.0449	-0.0449	-0.0449	0.0480	0.0480	0.0480
245	0.0478	-4.0057	9.4721	9.4721	9.4721	-0.0294	0.0696	0.0696	0.0696	-5.8250	-5.8250	-5.8250	13.7743	13.7743	13.7743
246	-0.0001	0.0072	0.0190	0.0190	0.0190	0.0000	-0.0001	-0.0001	-0.0001	0.0054	0.0054	0.0054	0.0142	0.0142	0.0142
247	-0.0046	0.0131	0.0007	0.0007	0.0007	-0.0032	-0.0002	-0.0002	-0.0002	0.0005	0.0005	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000
248	-0.0002	0.0019	-0.0003	-0.0003	-0.0003	-0.0006	0.0001	0.0001	0.0001	-0.0010	-0.0010	-0.0010	0.0001	0.0001	0.0001
249	10.0994	11.2787	1.2727	1.2727	1.2727	11.2787	1.2727	1.2727	1.2727	1.4214	1.4214	1.4214	0.1604	0.1604	0.1604
250	0.0021	0.0105	0.0246	0.0247	0.0247	0.0003	0.0007	0.0007	0.0007	0.0037	0.0037	0.0037	0.0087	0.0087	0.0087
251	0.0027	-0.0028	0.0015	0.0015	0.0015	-0.0022	0.0012	0.0012	0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0007	0.0007	0.0007
252	-0.0716	-5.5193	-12.3333	-12.3329	-12.3333	0.0511	0.1141	0.1141	0.1141	8.7936	8.7934	8.7936	19.6495	19.6501	19.6495
253	-0.0001	0.0020	0.0049	0.0049	0.0049	-0.0002	-0.0005	-0.0005	-0.0005	0.0185	0.0185	0.0185	0.0452	0.0452	0.0452
254	0.1608	0.7140	1.8011	1.8011	1.8011	0.0814	0.2054	0.2054	0.2054	0.9120	0.9120	0.9120	2.3006	2.3006	2.3006
255	0.0033	0.0353	0.0868	0.0868	0.0868	0.0017	0.0042	0.0042	0.0042	0.0454	0.0454	0.0454	0.1117	0.1117	0.1117
256	-0.0026	0.0140	0.0196	0.0196	0.0196	-0.0070	-0.0099	-0.0099	-0.0099	0.0522	0.0522	0.0522	0.0732	0.0732	0.0732
257	0.0000	0.0002	-0.0005	-0.0005	-0.0005	0.0002	-0.0006	-0.0006	-0.0006	-0.0056	-0.0056	-0.0056	0.0161	0.0161	0.0161
258	0.0029	-0.0015	0.0035	0.0035	0.0035	-0.0015	0.0035	0.0035	0.0035	-0.0018	-0.0018	-0.0018	0.0042	0.0042	0.0042
259	0.0008	0.0311	0.0760	0.0760	0.0760	0.0014	0.0034	0.0034	0.0034	0.1314	0.1314	0.1314	0.3211	0.3211	0.3211
260	-0.0004	0.0250	0.0563	0.0563	0.0563	-0.0009	-0.0021	-0.0021	-0.0021	0.1343	0.1343	0.1343	0.3016	0.3016	0.3016
261	0.0026	0.0117	0.0394	0.0317	0.0394	0.0014	0.0049	0.0039	0.0049	0.0221	0.0178	0.0221	0.0599	0.0744	0.0599
262	0.0020	-0.0220	-0.0648	-0.0648	-0.0648	-0.0249	-0.0733	-0.0733	-0.0733	0.8102	0.8102	0.8102	2.3857	2.3857	2.3857
263	0.0001	0.0005	-0.0002	-0.0002	-0.0002	0.0003	-0.0001	-0.0001	-0.0001	-0.0003	-0.0003	-0.0003	0.0001	0.0001	0.0001
264	0.0493	0.0414	0.0341	0.0341	0.0341	0.0414	0.0341	0.0341	0.0341	0.0286	0.0286	0.0286	0.0235	0.0235	0.0235
265	0.0066	0.0026	0.0007	0.0007	0.0007	0.0026	0.0007	0.0007	0.0007	0.0003	0.0003	0.0003	0.0001	0.0001	0.0001
266	-0.0006	-0.0007	-0.0006	-0.0006	-0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0007	0.0007	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006
267	-0.0118	-0.1463	-0.1099	-0.1099	-0.1099	0.0933	0.0701	0.0701	0.0701	0.8686	0.8686	0.8686	0.6527	0.6527	0.6527
268	0.0006	0.0054	-0.0044	-0.0044	-0.0044	0.0013	-0.0011	-0.0011	-0.0011	-0.0090	-0.0090	-0.0090	0.0075	0.0075	0.0075
269	0.0126	0.0073	0.0190	0.0190	0.0190	0.0073	0.0190	0.0190	0.0190	0.0111	0.0111	0.0111	0.0288	0.0288	0.0288
270	0.0004	0.0462	0.0269	0.0269	0.0269	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002	0.0164	0.0164	0.0164	0.0096	0.0096	0.0096
271	0.3931	-0.2868	-0.1875	-0.1875	-0.1875	-0.2383	-0.1558	-0.1558	-0.1558	0.1137	0.1137	0.1137	0.0743	0.0743	0.0743
272	0.1747	-0.2094	-0.3515	-0.3515	-0.3515	-0.2094	-0.3515	-0.3515	-0.3515	0.4213	0.4213	0.4213	0.7074	0.7074	0.7074
273	-0.0399	0.2654	-0.0153	-0.0153	-0.0153	-0.4193	0.0241	0.0241	0.0241	-0.1607	-0.1607	-0.1607	0.0092	0.0092	0.0092
274	1.8441	0.1887	0.1839	0.1841	0.1841	0.1887	0.1839	0.1841	0.1841	0.0188	0.0188	0.0188	0.0184	0.0184	0.0184
275	0.3113	0.2225													

Cod	AID5Spl	AID5Trg	AID5Kef	AID5Kex	AID5Kln	ΔSplTrg	ΔSplKef	ΔSplKex	ΔSplKln	ΔTrgKef	ΔTrgKex	ΔTrgKln	ΔKEFKex	ΔKEFKln	ΔKEXKln
311	0.0224	0.0502	0.0988	0.0988	0.0988	0.0564	0.1111	0.1111	0.1111	0.2486	0.2486	0.2486	0.4894	0.4894	0.4894
312	0.1017	-0.0403	-0.0341	-0.0341	-0.0341	-0.0403	-0.0341	-0.0341	-0.0341	0.0135	0.0135	0.0135	0.0114	0.0114	0.0114
313	-0.0263	-0.0545	-0.0421	-0.0421	-0.0421	0.3325	0.2573	0.2572	0.2572	0.5328	0.5327	0.5327	0.4121	0.4121	0.4120
314	0.0456	0.0487	0.0832	0.0832	0.0832	0.0542	0.0926	0.0926	0.0926	0.0990	0.0990	0.0990	0.1689	0.1689	0.1689
315	0.1149	0.1286	0.0424	0.0423	0.0423	0.1286	0.0424	0.0423	0.0423	0.0474	0.0474	0.0474	0.0156	0.0156	0.0156
316	0.0172	0.0233	0.0344	0.0344	0.0344	0.0233	0.0344	0.0344	0.0344	0.0466	0.0466	0.0466	0.0688	0.0688	0.0688
317	0.0724	0.0784	0.1610	0.1610	0.1610	0.0784	0.1610	0.1610	0.1610	0.1744	0.1744	0.1744	0.3583	0.3583	0.3583
318	0.0032	0.0070	0.0084	0.0084	0.0084	0.0070	0.0084	0.0084	0.0084	0.0181	0.0181	0.0181	0.0219	0.0219	0.0219
319	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0004	0.0004
320	-2.0665	-3.8318	1.3737	1.3741	1.3741	0.9181	-0.3291	-0.3292	-0.3292	-0.6103	-0.6104	-0.6104	0.2188	0.2188	0.2189
321	0.3125	0.3923	0.3088	0.3088	0.3088	0.3923	0.3088	0.3088	0.3088	0.3877	0.3877	0.3877	0.3052	0.3052	0.3052
322	-0.0017	-0.0005	0.0012	0.0012	0.0012	0.0057	-0.0151	-0.0151	-0.0151	-0.0041	-0.0041	-0.0041	0.0110	0.0110	0.0110
323	0.0087	-0.0187	0.0169	0.0169	0.0169	-0.3189	0.2894	0.2894	0.2894	-0.6191	-0.6191	-0.6191	0.5620	0.5620	0.5620
324	9.2421	9.6593	7.5284	7.5284	7.5284	9.6593	7.5284	7.5284	7.5284	7.8681	7.8681	7.8681	6.1324	6.1324	6.1324
325	1.2103	-0.1619	-0.5766	-0.5766	-0.5766	-0.1619	-0.5766	-0.5766	-0.5766	0.0772	0.0772	0.0772	0.2747	0.2747	0.2747
326	1.5623	1.7204	-0.0379	-0.0379	-0.0379	1.7204	-0.0379	-0.0379	-0.0379	-0.0418	-0.0418	-0.0418	0.0009	0.0009	0.0009
327	9.6926	8.4528	10.8886	10.8886	10.8886	0.8264	1.0645	1.0645	1.0645	0.9284	0.9284	0.9284	1.1959	1.1959	1.1959
328	9.9222	12.3262	-8.6538	-8.6538	-8.6538	12.3262	-8.6538	-8.6538	-8.6538	-10.7504	-10.7504	-10.7504	7.5475	7.5475	7.5475
329	0.1936	0.1576	0.4091	0.4091	0.4091	0.1576	0.4091	0.4091	0.4091	0.4187	0.4187	0.4187	0.1086	0.1086	0.1086
330	1.9044	1.5594	0.9402	0.9402	0.9402	1.5594	0.9402	0.9402	0.9402	0.7698	0.7698	0.7698	0.4641	0.4641	0.4641
331	0.7268	0.7323	0.4461	0.4461	0.4461	1.8943	1.1539	1.1539	1.1539	1.1627	1.1627	1.1627	0.7082	0.7082	0.7082
332	0.2210	-0.0177	0.4515	0.4515	0.4515	-0.0177	0.4515	0.4515	0.4515	-0.0363	-0.0363	-0.0363	0.9227	0.9227	0.9227
333	0.3608	0.2006	0.4775	0.4775	0.4775	0.1095	0.2607	0.2607	0.2607	0.1450	0.1450	0.1450	0.3450	0.3450	0.3450
334	-0.2232	-0.0399	-1.0287	-1.0287	-1.0287	0.0023	0.0585	0.0585	0.0585	0.0105	0.0105	0.0105	0.2698	0.2698	0.2698
335	0.7190	3.4124	9.3024	9.3024	9.3024	0.2164	0.5898	0.5898	0.5898	2.7991	2.7991	2.7991	7.6305	7.6305	7.6305
336	-1.8691	-0.0656	-0.2876	-0.2876	-0.2876	0.0278	0.1219	0.1219	0.1219	0.0043	0.0043	0.0043	0.0188	0.0188	0.0188
337	0.0196	-0.0516	-0.1570	-0.1570	-0.1570	-0.0516	-0.1570	-0.1570	-0.1570	0.4135	0.4135	0.4135	1.2584	1.2584	1.2584
338	30.4699	7.6960	7.1947	7.1947	7.1947	7.6960	7.1947	7.1947	7.1947	1.8172	1.8172	1.8172	1.6988	1.6988	1.6988
339	0.1763	0.2256	0.1075	0.1075	0.1075	0.2256	0.1075	0.1075	0.1075	0.1376	0.1376	0.1376	0.0656	0.0656	0.0656
340	0.0473	0.1078	-0.0425	-0.0425	-0.0425	0.1078	-0.0425	-0.0425	-0.0425	-0.0970	-0.0970	-0.0970	0.0383	0.0383	0.0383
341	0.3896	1.2610	1.3413	1.3413	1.3413	0.4772	0.5076	0.5076	0.5076	1.6430	1.6430	1.6430	1.7476	1.7476	1.7476
342	3.7246	-0.4125	-2.5976	-2.5976	-2.5976	-0.4125	-2.5976	-2.5976	-2.5976	2.7984	2.7984	2.7984	1.8116	1.8116	1.8116
343	3.8418	-1.9604	-2.6939	-2.6939	-2.6939	-1.9604	-2.6939	-2.6939	-2.6939	1.3747	1.3747	1.3747	1.8887	1.8887	1.8887
344	2.1046	-10.6291	10.0160	10.0160	10.0160	-0.2999	0.2826	0.2826	0.2826	-1.4272	-1.4272	-1.4272	1.3449	1.3449	1.3449
345	0.2027	-0.0498	-0.2576	-0.2576	-0.2576	-0.0498	-0.2576	-0.2576	-0.2576	0.1027	0.1027	0.1027	0.5311	0.5311	0.5311
346	1.7611	1.3295	-1.1772	-1.1772	-1.1772	1.3295	-1.1772	-1.1772	-1.1772	-0.8887	-0.8887	-0.8887	0.7869	0.7869	0.7869
347	0.1568	-0.0732	-0.2756	-0.2756	-0.2756	-0.0732	-0.2756	-0.2756	-0.2756	0.1287	0.1287	0.1287	0.4846	0.4846	0.4846
348	7.1554	-0.1054	-0.2014	-0.2014	-0.2014	-0.1054	-0.2014	-0.2014	-0.2014	0.0030	0.0030	0.0030	0.0057	0.0057	0.0057
349	0.9292	2.4942	-1.0639	-1.0639	-1.0639	0.3263	-0.1392	-0.1392	-0.1392	-0.3735	-0.3735	-0.3735	0.1593	0.1593	0.1593
350	0.2992	0.3851	0.1483	0.1483	0.1483	0.3851	0.1483	0.1483	0.1483	0.1909	0.1909	0.1909	0.0735	0.0735	0.0735
351	-2.2823	-5.8976	0.5483	0.5483	0.5483	1.4444	-0.1343	-0.1343	-0.1343	-0.3470	-0.3470	-0.3470	0.0323	0.0323	0.0323
352	0.0159	0.0025	0.0054	0.0054	0.0054	0.0025	0.0054	0.0054	0.0054	0.0008	0.0008	0.0008	0.0018	0.0018	0.0018
353	-0.0032	0.0589	-0.0058	-0.0058	-0.0058	-0.0058	-0.0058	-0.0058	-0.0058	-0.0083	-0.0083	-0.0083	0.0008	0.0008	0.0008
354	0.0009	0.0013	0.0073	0.0073	0.0073	0.0013	0.0073	0.0073	0.0073	0.0102	0.0102	0.0102	0.0587	0.0587	0.0587
355	0.0615	-0.0469	-0.0636	-0.0636	-0.0636	-0.0469	-0.0636	-0.0636	-0.0636	0.0485	0.0485	0.0485	0.0658	0.0658	0.0658
356	0.0002	-0.0007	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0007	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0001	-0.0001	-0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
357	0.0045	-0.0127	0.0378	0.0378	0.0378	-0.0032	0.0095	0.0095	0.0095	-0.0265	-0.0265	-0.0265	0.0790	0.0790	0.0790
358	0.0924	0.1054	0.0592	0.0592	0.0592	0.1054	0.0592	0.0592	0.0592	0.0675	0.0675	0.0675	0.0379	0.0379	0.0379
359	0.0006	-0.0012	0.0007	0.0007	0.0007	-0.0012	0.0007	0.0007	0.0007	-0.0031	-0.0031	-0.0031	0.0019	0.0019	0.0019
360	0.0001	0.0189	0.0315	0.0315	0.0315	0.0001	0.0315	0.0315	0.0315	0.0162	0.0162	0.0162	0.0270	0.0270	0.0270
361	0.0000	-0.0002	-0.0020	-0.0020	-0.0020	-0.0002	-0.0020	-0.0020	-0.0020	0.0217	0.0217	0.0217	0.2444	0.2444	0.2444
362	0.0701	0.1153	-0.0145	-0.0145	-0.0145	0.1153	-0.0145	-0.0145	-0.0145	-0.0248	-0.0248	-0.0248	0.0031	0.0031	0.0031
363	0.0003	-0.0016	-0.0011	-0.0011	-0.0011	-0.0016	-0.0011	-0.0011	-0.0011	0.0072	0.0072	0.0072	0.0051	0.0051	0.0051
364	0.0275	0.0008	-0.0067	-0.0067	-0.0067	0.0008	-0.0067	-0.0067	-0.0067	-0.0002	-0.0002	-0.0002	0.0016	0.0016	0.0016
365	0.0133	0.0068	0.0192	0.0192	0.0192	0.0068	0.0192	0.0192	0.0192	0.0098	0.0098	0.0098	0.0277	0.0277	0.0277
366	0.0138	-0.0149	-0.0217	-0.0217	-0.0217	-0.0149	-0.0217	-0.0217	-0.0217	0.0234	0.0234	0.0234	0.0343	0.0343	0.0343
367	-0.0060	-0.0015	0.0042	0.0042	0.0042	0.0063	-0.0181	-0.0181	-0.0181	-0.0044	-0.0044	-0.0044	0.0126	0.0126	0.0126
368	0.0598	0.1099	0.0056	0.0056	0.0056	0.0421	0.0021	0.0021	0.0021	0.0039	0.0039	0.0039	0.0002	0.0002	0.0002
369	-0.0010	-0.0003	0.0017	0.0017	0.0017	0.0010	-0.0061	-0.0061	-0.0061	-0.0017	-0.0017	-0.0017	0.0101	0.0101	0.0101
370	-0.0041	0.0048	-0.0094	-0.0094	-0.0094	-0.0080	0.0156	0.0156	0.0156	-0.0182	-0.0182	-0.0182	0.0354	0.0354	0.0354
371	0.0484	0.0413	-0.0131	-0.0131	-0.0131	0.0413	-0.0131	-0.0131	-0.0131	-0.0112	-0.0112	-0.0112	0.0035	0.0035	0.0035
372	0.0342	0.0160	0.0326	0.0326	0.0326	0.0160	0.0326	0.0326	0.0326	0.0153	0.0153	0.0153	0.0310	0.0310	0.0310
373	0.0050	0.0020	0.0161	0.0161	0.0161	0.0020	0.0161	0.0161	0.0161	0.0065	0.0065	0.0065	0.0512	0.0512	0.0512
374	0.0130	0.0087	0.0160	0.0160	0.0160	0.0087	0.0160	0.0160	0.0160	0.0107	0.0107	0.0107	0.0197	0.0197	0.0197
375	-0.3540	-0.4612	1.0459	1.0459	1.0459	0.0549	-0.1245	-0.1245	-0.1245	-0.1621	-0.1621	-0.1621	0.3677	0.3677	0.3677
376	-0.0046	0.0055	-0.0108	-0.0108	-0.0108	-0.0046	0.0055	0.0055	0.0055	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0048	0.0048	0.0048
377	0.0040	0.0035	0.0090	0.0090	0.0090	0.0035	0.0090	0.0090	0.0090	0.0079	0.0079	0.0079	0.0206	0.0206	0.0206
378	0.1011	-0.0894	0.0108	0.0107	0.0107	-0.0894	0.0108	0.0107	0.0107	-0.0095	-0.0095	-0.0095	0.0011	0.0011	0.0011
379	0.0022	0.0097	0.0119	0.0119											

Cod	ΔDsSpl	ΔDsTrg	ΔDsKEF	ΔDsKEX	ΔDsKLn	ΔSplTrg	ΔSplKEF	ΔSplKEX	ΔSplKLn	ΔTrgKEF	ΔTrgKEX	ΔTrgKLn	ΔKEFKEX	ΔKEFKLn	ΔKEXKLn
415	0.0016	0.0098	0.0115	0.0115	0.0115	0.0098	0.0115	0.0115	0.0115	0.0704	0.0704	0.0704	0.0826	0.0826	0.0826
416	0.0005	0.0025	0.0067	0.0067	0.0067	0.0036	0.0096	0.0096	0.0096	0.0441	0.0441	0.0441	0.1195	0.1195	0.1195
417	-0.0017	-0.0028	-0.0030	-0.0030	-0.0030	0.0013	0.0014	0.0014	0.0014	0.0022	0.0022	0.0022	0.0024	0.0024	0.0024
418	0.0042	0.0634	0.0272	0.0272	0.0272	0.0114	0.0049	0.0049	0.0049	0.0748	0.0748	0.0748	0.0321	0.0321	0.0321
419	0.3285	0.8493	0.9304	0.9307	0.9307	0.0367	0.0402	0.0403	0.0403	0.1040	0.1041	0.1041	0.1140	0.1140	0.1140
420	0.0534	-0.0105	0.0161	0.0161	0.0161	-0.0105	0.0161	0.0161	0.0161	-0.0032	-0.0032	-0.0032	0.0049	0.0049	0.0049
421	0.0144	0.0098	-0.0192	-0.0192	-0.0192	0.0098	-0.0192	-0.0192	-0.0192	-0.0131	-0.0131	-0.0131	0.0256	0.0256	0.0256
422	0.0650	-0.2436	-0.0572	-0.0572	-0.0572	-0.2436	-0.0572	-0.0572	-0.0572	0.2143	0.2143	0.2143	0.0503	0.0503	0.0503
423	0.0026	-0.0243	-0.0223	-0.0223	-0.0223	-0.0044	-0.0040	-0.0040	-0.0040	0.0378	0.0378	0.0378	0.0345	0.0345	0.0345
424	0.0014	0.0098	0.0115	0.0112	0.0115	0.0019	0.0022	0.0021	0.0022	0.0151	0.0147	0.0151	0.0173	0.0178	0.0173
425	0.0050	0.0048	-0.0070	-0.0112	-0.0070	0.0042	-0.0061	-0.0098	-0.0061	-0.0058	-0.0093	-0.0058	0.0136	0.0085	0.0136
426	0.0065	0.0250	-0.0043	-0.0043	-0.0043	0.0100	-0.0017	-0.0017	-0.0017	-0.0066	-0.0066	-0.0066	0.0011	0.0011	0.0011
427	0.5750	0.1538	0.9840	0.9840	0.9840	0.1538	0.9840	0.9840	0.9840	0.2633	0.2633	0.2633	1.6838	1.6838	1.6838
428	0.0025	0.0012	0.0040	0.0040	0.0040	0.0008	0.0027	0.0027	0.0027	0.0014	0.0014	0.0014	0.0043	0.0043	0.0043
429	0.0745	0.0429	-0.0275	-0.0275	-0.0275	0.0429	-0.0275	-0.0275	-0.0275	-0.0158	-0.0158	-0.0158	0.0102	0.0102	0.0102
430	0.0124	0.0270	0.0178	0.0178	0.0178	0.0387	0.0255	0.0255	0.0255	0.0556	0.0556	0.0556	0.0366	0.0366	0.0366
431	5.6833	5.9706	3.0284	3.0281	3.0281	5.9706	3.0284	3.0281	3.0281	3.1815	3.1812	3.1812	1.6136	1.6136	1.6134
432	0.5171	1.3551	1.6151	1.6151	1.6151	1.1072	1.3197	1.3197	1.3197	3.4586	3.4586	3.4586	4.1224	4.1224	4.1224
433	0.0368	0.0165	0.0012	0.0012	0.0012	0.0165	0.0012	0.0012	0.0012	0.0005	0.0005	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000
434	0.0458	0.0415	0.0175	0.0175	0.0175	0.0415	0.0175	0.0175	0.0175	0.0158	0.0158	0.0158	0.0067	0.0067	0.0067
435	0.0538	-0.0687	-0.2823	-0.2824	-0.2823	-0.0687	-0.2823	-0.2823	-0.2824	-0.2823	0.3605	0.3605	1.4803	1.4803	1.4805
436	0.4999	-0.6735	-1.9168	-1.9168	-1.9168	-0.6735	-1.9168	-1.9168	-1.9168	2.5824	2.5824	2.5824	7.3499	7.3499	7.3499
437	0.0550	0.0283	-0.0159	0.0129	-0.0159	0.0124	-0.0070	0.0057	-0.0070	-0.0036	0.0029	-0.0036	-0.0016	0.0020	-0.0016
438	0.5431	0.7373	0.8273	0.8273	0.8273	0.7373	0.8273	0.8273	0.8273	1.1231	1.1231	1.1231	1.2602	1.2602	1.2602
439	0.0458	0.0531	0.0650	0.0650	0.0650	0.0531	0.0650	0.0650	0.0650	0.0754	0.0754	0.0754	0.0924	0.0924	0.0924
440	0.0918	0.0075	0.0087	0.0087	0.0087	0.0075	0.0087	0.0087	0.0087	0.0007	0.0007	0.0007	0.0008	0.0008	0.0008
441	0.0237	0.0559	0.0970	0.0970	0.0970	0.0247	0.0428	0.0428	0.0428	0.1009	0.1009	0.1009	0.1750	0.1750	0.1750
442	0.0017	-0.0011	0.0166	0.0166	0.0166	-0.0008	0.0119	0.0119	0.0119	-0.0077	-0.0077	-0.0077	0.1152	0.1152	0.1152
443	-0.0002	0.0007	-0.0002	-0.0002	-0.0002	-0.0003	0.0001	0.0001	0.0001	-0.0003	-0.0003	-0.0003	0.0001	0.0001	0.0001
444	0.0016	0.0044	0.0285	0.0285	0.0285	0.0005	0.0032	0.0032	0.0032	0.0084	0.0084	0.0084	0.0552	0.0552	0.0552
445	-0.0002	-0.0102	-0.0162	-0.0162	-0.0162	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0106	0.0106	0.0106	0.0170	0.0170	0.0170
446	0.0032	-0.0066	0.0053	0.0053	0.0053	-0.0025	0.0020	0.0020	0.0020	-0.0042	-0.0042	-0.0042	0.0034	0.0034	0.0034
447	0.2581	0.3192	0.7105	0.7105	0.7105	0.3192	0.7105	0.7105	0.7105	0.8787	0.8787	0.8787	1.9559	1.9559	1.9559
448	-0.0040	0.0052	0.0285	0.0285	0.0285	-0.0013	-0.0072	-0.0072	-0.0072	0.0093	0.0093	0.0093	0.0509	0.0509	0.0509
449	0.1474	0.2333	0.2553	0.2553	0.2553	0.2333	0.2553	0.2553	0.2553	0.4041	0.4041	0.4041	0.4423	0.4423	0.4423
450	0.0036	0.0003	-0.0120	-0.0120	-0.0120	0.0003	-0.0120	-0.0120	-0.0120	-0.0009	-0.0009	-0.0009	0.0040	0.0040	0.0040
451	0.7346	0.5713	-0.0936	-0.0936	-0.0936	0.4021	-0.0659	-0.0659	-0.0659	-0.0513	-0.0513	-0.0513	0.0084	0.0084	0.0084
452	0.0310	0.0156	0.0099	0.0099	0.0099	0.0156	0.0099	0.0099	0.0099	0.0050	0.0050	0.0050	0.0032	0.0032	0.0032
453	0.0029	0.0207	0.1019	0.1019	0.1019	0.0009	0.0043	0.0043	0.0043	0.0308	0.0308	0.0308	0.1513	0.1513	0.1513
454	0.0000	0.0008	0.0029	0.0029	0.0029	0.0000	-0.0001	-0.0001	-0.0001	0.0049	0.0049	0.0049	0.0178	0.0178	0.0178
455	0.0327	-0.0015	-0.0235	-0.0235	-0.0235	-0.0015	-0.0235	-0.0235	-0.0235	0.0011	0.0011	0.0011	0.0169	0.0169	0.0169
456	0.0013	-0.0038	0.0125	0.0125	0.0125	-0.0038	0.0125	0.0125	0.0125	-0.0360	-0.0360	-0.0360	0.1174	0.1174	0.1174
457	0.0428	-0.0116	-0.0458	-0.0458	-0.0458	-0.0116	-0.0458	-0.0458	-0.0458	0.0123	0.0123	0.0123	0.0489	0.0489	0.0489
458	2.7159	3.3858	3.8223	3.8223	3.8223	3.3858	3.8223	3.8223	3.8223	4.7651	4.7651	4.7651	5.3795	5.3795	5.3795
459	0.0010	-0.0135	-0.0313	-0.0313	-0.0313	-0.0010	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0326	0.0326	0.0326	0.0754	0.0754	0.0754
460	0.0081	0.0070	0.0089	0.0089	0.0089	0.0070	0.0089	0.0089	0.0089	0.0077	0.0077	0.0077	0.0098	0.0098	0.0098
461	-0.0135	-0.0114	0.0146	0.0146	0.0146	0.0027	-0.0035	-0.0035	-0.0035	-0.0030	-0.0030	-0.0030	0.0038	0.0038	0.0038
462	-0.0009	0.0022	0.0026	0.0026	0.0026	-0.0038	-0.0046	-0.0046	-0.0046	0.0115	0.0115	0.0115	0.0138	0.0138	0.0138
463	0.0031	-0.0001	0.0132	0.0132	0.0132	-0.0001	0.0191	0.0191	0.0191	-0.0006	-0.0006	-0.0006	0.0804	0.0804	0.0804
464	0.0035	0.0000	-0.0046	-0.0046	-0.0046	0.0000	-0.0018	-0.0018	-0.0018	0.0000	0.0000	0.0000	0.0024	0.0024	0.0024
465	-0.0004	0.0013	0.0014	0.0014	0.0014	-0.0005	-0.0005	-0.0005	-0.0005	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016
466	-0.0043	0.0053	0.0206	0.0206	0.0206	-0.0027	-0.0106	-0.0106	-0.0106	0.0132	0.0132	0.0132	0.0511	0.0511	0.0511
467	0.0046	-0.0215	0.0289	0.0289	0.0289	-0.0005	0.0006	0.0006	0.0006	-0.0030	-0.0030	-0.0030	0.0040	0.0040	0.0040
468	-0.0001	-0.0011	0.0016	0.0016	0.0016	0.0004	-0.0006	-0.0006	-0.0006	-0.0091	-0.0091	-0.0091	0.0126	0.0126	0.0126
469	0.0005	0.0027	-0.0055	-0.0055	-0.0055	0.0007	-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0087	-0.0087	-0.0087	0.0179	0.0179	0.0179
470	0.0246	-0.2949	-0.2944	-0.2944	-0.2944	-0.503	-0.502	-0.502	-0.502	0.6026	0.6026	0.6026	0.6017	0.6017	0.6017
471	0.0025	-0.0164	0.0136	0.0136	0.0136	-0.0022	0.0018	0.0018	0.0018	-0.0116	-0.0116	-0.0116	0.0096	0.0096	0.0096
472	-0.0005	0.0005	-0.0017	-0.0017	-0.0017	-0.0003	0.0012	0.0012	0.0012	-0.0011	-0.0011	-0.0011	0.0039	0.0039	0.0039
473	0.0001	-0.0002	-0.0001	-0.0001	-0.0001	-0.0001	-0.0002	-0.0001	-0.0001	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003
474	-0.0001	0.0000	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0000	0.0018	0.0018	0.0018	0.0002	0.0002	0.0002	0.0179	0.0179	0.0179
475	-0.0008	-0.0015	0.0079	0.0079	0.0079	0.0004	-0.0022	-0.0022	-0.0022	-0.0043	-0.0043	-0.0043	0.0232	0.0232	0.0232
476	-0.0026	-0.0041	-0.0038	-0.0038	-0.0038	0.0019	0.0018	0.0018	0.0018	0.0027	0.0027	0.0027	0.0025	0.0025	0.0025
477	0.0389	-0.6785	-0.6367	-0.6367	-0.6367	-0.0147	-0.0138	-0.0138	-0.0138	0.2413	0.2413	0.2413	0.2264	0.2264	0.2264
478	-0.0007	-0.0028	0.0003	0.0003	0.0003	0.0006	-0.0001	-0.0001	-0.0001	-0.0003	-0.0003	-0.0003	0.0000	0.0000	0.0000
479	-0.0053	-0.0004	0.0034	0.0034	0.0034	0.0002	-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0001	-0.0001	-0.0001	0.0009	0.0009	0.0009
480	-0.0526	1.8743	1.5023	1.5023	1.5023	-0.0629	-0.0504	-0.0504	-0.0504	1.7972	1.7972	1.7972	1.4404	1.4404	1.4404
481	-0.0005	-0.0027	-0.0008	-0.0018	-0.0008	0.0009	0.0003	0.0006	0.0003	0.0016	0.0034	0.0016	0.0011	0.0005	0.0011
482	0.0045	0.0247	0.0139	0.0139	0.0139	0.0128	0.0072	0.0072	0.0072	0.0396	0.0396	0.0396	0.0223	0.0223	0.0223
483	-0.0002	0.0000	0.0032	0.0032	0.0032	0.00									