



**Universidad Autónoma de San Luis Potosí**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Centro de Investigación y Estudios de Posgrado**

**Desarrollo de una metodología estadística para el análisis sedimentológico de depósitos de flujos de escombros: aplicaciones en el área de San Luis Potosí.**

Que para obtener el grado de:

**Maestría en Ciencias en Geología Aplicada**

Presenta:

**Mayra Angélica Bárcenas Castro**

Asesor:

**Dr. Lorenzo Borselli**

San Luis Potosí, S. L. P.

Abril 2015



# Índice general

	<b>Página</b>
<b>Introducción</b>	1
Flujos de escombros	3
Depositación de flujos de escombros	
Caracterización de la Geología de los flujos de escombros	5
Monitoreo de flujos de escombros	6
Hipótesis central	
Objetivo general	
Objetivos específicos	7
<b>CAPITULO I</b>	
<b>Marco geológico del municipio de San Luis Potosí</b>	
1.1 Ubicación geográfica y geológica del área de estudio	
1.1.1 Localización de vías de acceso	8
1.2 Fisiografía general	9
1.3 Fisiografía del área de estudio	10
1.4 Reconocimiento geológico del Santuario del Desierto de San Luis Potosí	11
<b>CAPITULO II</b>	
<b>Metodología para el modelado del Riesgo geológico</b>	13
2.1 Prueba de gabinete	
2.1.1 Muestras en Campo	
2.1.2 Actividades de laboratorio	
2.2 Análisis de Rosiwal	
2.3 Método del Tamizado	16
2.4 Método de las pipetas	17
2.5 Metodología para la aplicación del análisis de datos a través de la distribución de densidad de suavización Kernel	18
2.6 Metodología para el cálculo de la entropía de Shannon; teoría de información; su interpretación en la distribución de datos.	22
2.7 Desarrollo de optimización de ancho de bin para los datos del histograma de frecuencias y la distribución de densidad de suavización Kernel aplicado a la obtención de granulometría para depósitos de flujos de escombros.	25
2.8 Diagrama de flujo para la obtención del ancho de bin óptimo	30
2.9 Granulometría total	32
2.10 Metodología para la aplicación del programa TopRunDf y su aplicación en posibles zonas de peligro en un flujo de escombros.	33

## **CAPITULO III**

### **Resultados**

3.1	Ubicación de las muestras en el arroyo del Santuario del Desierto	35
3.2	Resultado de las medidas de Intersección del Análisis de Rosiwal	
3.3	Pruebas y análisis de distribución de datos utilizando DECOLOG 5.1 (2014)	42
3.4	Análisis de prueba de la distribución de suavización Kernel en DECOLOG 5.1 (2014)	46
3.5	Código de Matlab 9.0 para calcular el ancho de bin óptimo propuesto	49
3.6	Resultados del cálculo propuesto del ancho de bin óptimo	50
3.7	Resultados del cálculo del ancho de bin óptimo en DECOLOG 5.1 (2014)	51
3.1.		
1	Resultado de la entropía de Shannon	59
3.1.		
2	Resultado del Método de las pipetas para el análisis de finos de las 18 muestras obtenidas en el Santuario del Desierto, S.L.P.	65
3.1.		
3	Calculo de la granulometría total	
3.1.		
4	Resultados de la granulometría total por muestra	69
3.1.		
5	Simulación TopRunDf en el flujo de escombros del área de estudio	125

## **CAPITULO IV**

<b>Discusión</b>	129
<b>Conclusiones</b>	132
<b>Bibliografía</b>	134

## Índice de Figuras

Figura 1. Se muestra el poder destructivo de los flujos de escombros a la infraestructura humana. Fuente Atlas de Riesgo ZMSLP, 2012

Figura 2. Cómo identificar qué ocurrió en un flujo de escombros. Fuente Jaime Suarez, 2009.

Figura 3.- Se puede observar debajo de la línea negra la Latita Portezuelo en la parte basal a lo largo del cauce del arroyo del área de estudio.

Figuras 4 y 5. Se observa a lo largo del arroyo sedimentos con características físicas y litológicas muy parecidas, las líneas anaranjadas indican parte del flujo de escombros que se caracterizó para este estudio.

Figura 6.- Método de intersección de Rosiwal a escala 1m. con 281 mediciones, foto tomada en la parte central de área de estudio en el Santuario del Desierto, S.L.P. Elaboración propia.

Figura 7.- Ejemplo del procedimiento que se usó con el método de las pipetas para el análisis de finos a las 18 muestras.

Figura 8. Primera parte del diagrama de flujo que muestra los cálculos del código de Matlab 9.0 propuesto en este trabajo.

Figura 9. Segunda parte del diagrama de flujo que muestra los cálculos del código de Matlab 9.0 propuesto en este trabajo.

Figura 10, Perfil de elevación del área proximal del arroyo del Santuario del Desierto, S.L.P. El perfil de elevación se realizó con Global Mapper 15.

Figura 11. Perfil de elevación del área primera parte central arroyo del Santuario del Desierto, S.L.P. El perfil de elevación se realizó con Global Mapper 15.

Figura 12. Perfil de elevación del área segunda parte central arroyo del Santuario del Desierto, S.L.P. El perfil de elevación se realizó con Global Mapper 15.

Figura 13. Perfil de elevación del área distal arroyo del Santuario del Desierto, S.L.P. El perfil de elevación se realizó con Global Mapper 15.

Figura 14.- Pantalla de Decolog 5.1 (2014) para realizar el cálculo de función de distribución de probabilidad.

Figura 15, Perfil de elevación del área proximal del arroyo del Santuario del Desierto, S.L.P. con los resultados obtenidos con el óptimo de bin propuesto.

Figura 16. Perfil de elevación del área primera parte central arroyo del Santuario del Desierto, S.L.P. con los resultados obtenidos con el óptimo de bin propuesto.

Figura 17. Perfil de elevación del área segunda parte central arroyo del Santuario del Desierto, S.L.P. con los resultados obtenidos con el óptimo de bin propuesto.

Figura 18. Perfil de elevación del área distal arroyo del Santuario del Desierto, S.L.P. con los resultados obtenidos con el óptimo de bin propuesto.

Figura 19. Frecuencia acumulada del histograma de frecuencias, distribución de suavización kernel y la entropía de Shannon, parte proximal del arroyo en estudio.

Figura 20. Frecuencia acumulada del histograma de frecuencias, distribución de suavización kernel y la entropía de Shannon, parte central del arroyo en estudio.

Figura 21. Frecuencia acumulada del histograma de frecuencias, distribución de suavización kernel y la entropía de Shannon, parte distal del arroyo en estudio.

Figura 22. Gráficas de granulometría total del área proximal y primera proximal del arroyo del

Figura 23. Gráficas de granulometría total segunda parte central y distal del arroyo del Santuario del Desierto.

Figura 24. Deposición observada del flujo de escombros en estudio, para calcular área y volumen. Elaboración propia

Figura 25. Datos de entrada finales para el modelado del Santuario del Desierto. Elaboración propia

Figura 26. Valores calculados por TopRunDf 2.0

## Índice de tablas

Tabla 1.- Escala granulométrica utilizada en sedimentología propuesta por Blair y McPherson (1999). Fuente. Rediseñada Sarocchi (2006).

Tabla 2.- Número de medidas obtenidas por muestra en mm. del Santuario de Desierto, San Luis Potosí. Elaboración propia.

Tabla 3. Resultados de la muestra M0003 perteneciente al arroyo del Santuario del Desierto.

Tabla 4. Resultados para la M0003 de la diferencia de Kolmogorov-Smirnov.

Tabla 5. Resultados de óptimo de ancho de bin y Test de Kolmogorov-Smirnov Elaboración propia.

Tabla 6. Resultado de diferencias de Test de Kolmogorov-Smirnov con datos reales y con datos procesados con densidad de suavización Kernel. Elaboración propia.

Tabla 7. Resultado estadístico de la gráfica de distribución acumulada del área proximal de arroyo del Santuario del Desierto.

Tabla 8. Resultado estadístico de la gráfica de distribución acumulada del área primera proximal de arroyo del Santuario del Desierto.

Tabla 9. Resultado estadístico de la gráfica de distribución acumulada del área segunda central del arroyo del Santuario del Desierto.

Tabla 10. Resultado estadístico de la gráfica de distribución acumulada del área distal del arroyo del Santuario del Desierto.

Tabla 11. Resultado de la diferencia en distancia de la frecuencia acumulada de la entropía de Shannon con respecto al histograma sin Kernel.

Tabla 12. Resultado del porcentaje de limos, arcillas de las 18 muestras obtenidas del Santuario del Desierto, Mexquitic de Carmona, S.L.P. Elaboración propia.

Tabla 13. Resultado del porcentaje total de limos, arcillas de las 18 muestras obtenidas del Santuario del Desierto, Mexquitic de Carmona, S.L.P. Elaboración propia.

Tabla 14. Tamiz pasante de arenas, limos y arcillas, para realizar la conversión se utilizó la ecuación 1.

Tabla 15. Resultado de la granulometría total de la muestra 3. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.

Tabla 16. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.

Tabla 17. Resultado de la granulometría total de la muestra 25. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.

Tabla 18. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.

Tabla 19. Resultado de la granulometría total de la muestra 24. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.

Tabla 20. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.

Tabla 21. Resultado de la granulometría total de la muestra 19. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.

Tabla 22. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.

Tabla 23. Resultado de la granulometría total de la muestra 18. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.

Tabla 24. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.

Tabla 25. Resultado de la granulometría total de la muestra 11. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.

Tabla 26. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.

Tabla 27. Resultado de la granulometría total de la muestra 15. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.

Tabla 28. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.

Tabla 29. Resultado de la granulometría total de la muestra 15. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.

Tabla 30. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.

Tabla 31. Resultado de la granulometría total de la muestra 04. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.

Tabla 32. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.

Tabla 33. Resultado de la granulometría total de la muestra 52. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.

Tabla 34. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.

Tabla 35. Resultado de la granulometría total de la muestra 50. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.

Tabla 36. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.

Tabla 37. Resultado de la granulometría total de la muestra 47. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.

Tabla 38. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.

Tabla 39. Resultado de la granulometría total de la muestra 46. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.

Tabla 40. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.

Tabla 41. Resultado de la granulometría total de la muestra 41. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.

Tabla 42. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.

Tabla 43. Resultado de la granulometría total de la muestra 44. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.

Tabla 44. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.

Tabla 45. Resultado de la granulometría total de la muestra 37. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.

Tabla 46. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.

Tabla 47. Resultado de la granulometría total de la muestra 32. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.

Tabla 48. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.

Tabla 49. Resultado de la granulometría total de la muestra 32. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.

Tabla 50. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.

## Índice de gráficas

Gráfica 1. Estimación de densidad Kernel (KDE) con diferentes anchos de banda de una muestra aleatoria de 100 puntos de una distribución normal estándar. Gris: densidad real (estándar normal). Rojo: KDE con  $h = 0.05$ . Negro: KDE con  $h = 0.337$ . Verde: KDE con  $h = 2$ . Fuente Wikipedia (Consultado el 27 de noviembre del 2014).

Gráfica 2. Diferentes tipos de función Kernel en un sistema de coordenadas en común. Fuente Kernel (statistics) Wikipedia consultado el 17 de diciembre del 2014

Gráfica 3. Muestra M0003 a 1 ancho de banda con los datos que se encuentran en un rango de 0 a -10. Elaboración propia.

Gráfica 4. Muestra M0003 a 1 ancho de bin con los datos que se encuentran en un rango de -2 a -8.5. Elaboración propia.

Gráfica 5. Muestra M0003 a 0.25 ancho de bin con los datos que se encuentran en un rango de 0 a -10. Elaboración propia

Gráfica 6. Muestra M0003 a 0.25 ancho de banda con Densidad de suavización Kernel, los datos que se encuentran en un rango de 0 a -10. Elaboración propia

Gráfica 7. El histograma de frecuencias primero corresponde al ancho de bin 0.25, la segunda a 0.50 la tercera a 0.75, la cuarta a 1 y la quinta se calculó un ancho de bin óptimo de 0.5240.

Gráfica 8. Muestra M0003 a 0.5240 ancho de bin sin Densidad de suavización Kernel, los datos que se encuentran en un rango de -9 a -1.664. Elaboración propia.

Gráfica 9. Muestra M0003 a 0.5240 ancho de bin con Densidad de suavización Kernel, los datos que se encuentran en un rango de -9 a -1.664. Elaboración propia.

Gráfica 10. La media de cada muestra del histograma con kernel con respecto a la distancia que tiene cada una en el arroyo del área de estudio en metros.

Gráfica 11. Asimetría de cada muestra Kernel con Kernel con respecto a la distancia que tiene cada una en el arroyo del área de estudio en metros.

Gráfica 12. Comparación de frecuencias acumuladas del histograma sin kernel, entropía de Shannon y la distribución de densidad de suavización Kernel.

Gráfica 13. Entropía total por muestra y línea de tendencia con respecto a la distancia del arroyo. Elaboración propia.

Gráfica 14. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia.

Gráfica 15. Resultado de los valores de la tabla 9. Elaboración propia.

Gráfica 16. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia.

Gráfica 17. Resultado de los valores de la tabla 11. Elaboración propia.

Gráfica 18. Resultado de los valores de la tabla 12. Elaboración propia.

Gráfica 19. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia.

Gráfica 20. Resultado de los valores de la tabla 13. Elaboración propia

Gráfica 21. Resultado de los valores de la tabla 14. Elaboración propia.

Gráfica 22. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia.

Gráfica 23. Resultado de los valores de la tabla 15. Elaboración propia

Gráfica 24. Resultado de los valores de la tabla 16. Elaboración propia.

Gráfica 25. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia.

Gráfica 26. Resultado de los valores de la tabla 17. Elaboración propia

Gráfica 27. Resultado de los valores de la tabla 18. Elaboración propia.

Gráfica 28. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia.

Gráfica 29. Resultado de los valores de la tabla 19. Elaboración propia

Gráfica 30. Resultado de los valores de la tabla 20. Elaboración propia.

Gráfica 31. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia.

Gráfica 32. Resultado de los valores de la tabla 21. Elaboración propia

Gráfica 33. Resultado de los valores de la tabla 22. Elaboración propia.

Gráfica 34. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia.

Gráfica 35. Resultado de los valores de la tabla 23. Elaboración propia

Gráfica 36. Resultado de los valores de la tabla 24. Elaboración propia.

Gráfica 37. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia.

Gráfica 38. Resultado de los valores de la tabla 25. Elaboración propia

Gráfica 39. Resultado de los valores de la tabla 26. Elaboración propia.

Gráfica 40. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia.

Gráfica 41. Resultado de los valores de la tabla 27. Elaboración propia

Gráfica 42. Resultado de los valores de la tabla 28. Elaboración propia.

Gráfica 43. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia.

Gráfica 44. Resultado de los valores de la tabla 29. Elaboración propia

Gráfica 45. Resultado de los valores de la tabla 30. Elaboración propia.

Gráfica 46. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia.

Gráfica 47. Resultado de los valores de la tabla 31. Elaboración propia

Gráfica 48. Resultado de los valores de la tabla 32. Elaboración propia.

Gráfica 49. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia.

Gráfica 50. Resultado de los valores de la tabla 33. Elaboración propia

Gráfica 51. Resultado de los valores de la tabla 34. Elaboración propia.

Gráfica 52. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia.

Gráfica 53. Resultado de los valores de la tabla 35. Elaboración propia

Gráfica 54. Resultado de los valores de la tabla 36. Elaboración propia.

Gráfica 55. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia.

Gráfica 56. Resultado de los valores de la tabla 37. Elaboración propia

Gráfica 57. Resultado de los valores de la tabla 38. Elaboración propia.

Gráfica 58. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia

Gráfica 59. Resultado de los valores de la tabla 39. Elaboración propia

Gráfica 60. Resultado de los valores de la tabla 38. Elaboración propia.

Gráfica 61. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia

Gráfica 62. Resultado de los valores de la tabla 39. Elaboración propia

Gráfica 63. Resultado de los valores de la tabla 42. Elaboración propia.

Gráfica 64. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia

Gráfica 65. Resultado de los valores de la tabla 39. Elaboración propia

Gráfica 66. Resultado de los valores de la tabla 44. Elaboración propia.

Gráfica 67. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia

Gráfica 68. Porcentaje de material grueso y línea de tendencia a partir de la granulometría total a lo largo del arroyo de estudio.

Gráfica 69. Porcentaje de arena y línea de tendencia a partir de la granulometría total a lo largo del arroyo de estudio.

Gráfica 70. Porcentaje de limos y línea de tendencia a partir de la granulometría total a lo largo del arroyo de estudio.

Gráfica 71. Porcentaje de arcillas y línea de tendencia a partir de la granulometría total a lo largo del arroyo de estudio.

## **Índice de Mapas**

Mapa 1. Ubicación del área de estudio que se encuentra en el Santuario de la Desierto, San Luis Potosí. Elaboración Propia.

Mapa 2. Vías de acceso para llegar el Santuario de la Desierto, San Luis Potosí. Elaboración Propia.

Mapa 3.- Mapa fisiográfico de México de la dirección general de cartas fisiográficas escala 1:1 000,000. Fuente INEGI 2010. Elaboración propia.

Mapa 4. Ubicación del área de estudio, recortado del Plano Geológico de la hoja del Tepetate F14-A83 actualizada al 2014, San Luis Potosí, México.

Mapa 5. Ubicación de las 18 muestras obtenidas en el Santuario del Desierto, San Luis Potosí. Elaboración propia

Mapa 6. Resultado de la simulación del depósito observado en TopRunDF 2.0. Elaboración propia

Mapa 7. Resultado de simulación con el método Montecarlo en TopRunDF 2.0 Elaboración propia

## Índice de Ecuaciones

- (1) Ecuación de Delesse.
- (2) Conversión de  $m$  a  $\phi$ .
- (3) Ecuación de relación del histograma de frecuencias y densidad.
- (4) Estimador de Kernel.
- (5) Función de densidad de la distribución normal.
- (6) Entropía de Shannon (Teoría de Información).
- (7) Ecuación para obtener el Histograma de Herbert Sturges.
- (8) Ecuación para construcción de intervalos de igual amplitud en Histogramas de Scott .
- (9) Ecuación para construcción de intervalos en histogramas de Diaconis.
- (10) Índice de diversidad de Shannon-Weaver.
- (11) Coeficiente de movilidad para el programa TopRunDf.

## RESUMEN

El siguiente trabajo pretende desarrollar una metodología eficiente y rigurosa en sus resultados del estudio de la deposición y riesgo de los flujos de escombros en áreas no volcánicas que han sido pocos o escasamente documentados. Recientemente bajo el proyecto que lleva por nombre **“Modelado de procesos hidrológicos, dinámica de hidrofobicidad e infiltración, para su aplicación en las evaluaciones del riesgo debido a inundaciones y lahares: aplicación en la ciudad de San Luis Potosí y en el Volcán de Colima (2013-2015), CONACYT Ciencia básica 2012-01-184060”** se ha venido trabajando este tema a detalle debido a que existen numerosas herramientas que están en desarrollo y aún no ha habido alguna que cumpla con un análisis más exhaustivo referente a depósitos de flujos de escombros con estas características.

Este trabajo aquí descrito desarrolla una posible forma de analizar y caracterizar los depósitos de flujos de escombros en el área de San Luis Potosí. El Dr. Lorenzo Borselli realizó el software **DECOLOG 5.1 (2014)** para el análisis de tamaño de partículas utilizando diferentes distribuciones, entre ellas la más estudiada la distribución normal, sin embargo existe poca literatura del pre-procesamiento de los datos para ser evaluados. Debido a que se presentó este problema este trabajo se realizó con el fin de darle una respuesta que fuera evaluada duramente para que los resultados sean más confiables.

Se utilizó tanto las herramientas estadísticas paramétricas y no paramétricas para comenzar a evaluar los datos. No obstante estas herramientas contienen un cierto grado de sesgo, por lo que fue importante añadir pruebas que fueran trabajadas en el ámbito para reducir la incertidumbre. Además se adicionó la Teoría de Información con el fin de conocer que tanto se pierde o ganan datos al momento de transitar del histograma de frecuencias a la distribución de suavización Kernel. No obstante teniendo esta información es posible utilizar esta técnica para el cálculo de diversidad de clastos que desde hace 20 años se ha estado estudiando pero existe poca literatura respecto al tema en flujos de escombros, el tema principalmente aporta información acerca del orden entrópico de los sedimentos con respecto a la diversidad de tamaños de clastos. En otras disciplinas se ha venido aplicando con mayor frecuencia como es el área de biología, ecología, electrónica y física. Quizá no se le dio gran interés debido a que el procesamiento de estos datos requería de hardware de mayor capacidad.

Se ha incluido el modelado del flujo de escombros con el programa TopRunDf que por primera vez se implementa en México, este programa ha sido muy aplicado en países como Italia, Alemania, Austria y Suiza entre otros.

Se evalúa los peligros geológicos asociados. El programa TopRunDf ha sido estudiado en flujos de escombros con características similares a este trabajo, con el fin de prevenir posibles peligros que puedan suscitarse en áreas susceptibles, pues en los últimos 5 años según datos del INEGI (Censo 2010) a unos cuantos metros del arroyo del Santuario del Desierto se ha dado un gran crecimiento habitacional.

Se logró realizar una metodología en donde el 94.44% fue de éxito con respecto a las que se venían trabajando, además de realizar un código en Matlab 9.0 para que pueda ser utilizado y se realicen pruebas en estudios similares y así diversificar la utilidad de esta metodología, no obstante también se espera realizar las modificaciones para implementarlo en el programa DECOLOG 5.1 (2014) y así poder tomar decisiones y evaluaciones de los depósitos de flujos de escombros en áreas similares y caracterización de peligro.

## Introducción

Debido a la gran dinámica de nuestro planeta tierra, se ha venido generando y observando fenómenos naturales que gracias al avance científico-técnico se ha podido lograr evaluar, planear y mitigar la cuestión de riesgo así como la gestión de emergencias. Ante esta situación los científicos buscan caracterizar el porqué del balance energético de la Tierra, la meteorización física, los planes de regadío, modificaciones del relieve, velocidades de erosión, perfiles de equilibrio de los ríos, modificación de las líneas de costa, síntesis de materiales, movimiento de la tierra, condiciones hidrogeológicas, dinámica de flujos de escombros entre otras características importantes que han cambiado la superficie del planeta de una manera más rápida que en cualquier periodo anterior (Ayala et. al. 2006).

En México actualmente existe una evidente necesidad de evaluar la posible interacción de flujos derivados de edificios volcánicos con morfología circundante y las áreas inestables que con frecuencia crean flujos de escombros que afectan a los asentamientos humanos (Aceves et. al. 2014).

Tal es el caso de las áreas adyacentes al municipio de San Luis Potosí en el estado de San Luis Potosí, México, en el cuál se han observado posibles flujos de escombros debido a sus características físicas.

En el año 2012 se realizó el Atlas de Riesgo para los municipios de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez que conforman la zona metropolitana de San Luis Potosí (ZMSLP), este documento hace referencia de la afectación que han tenido los flujos de escombros en dicha zona. En 1933 una lluvia anómala originó el desbordamiento de la presa de San José que se tradujo en la destrucción de un represamiento secundario en tierra y la formación de un flujo de agua rico de carga sólida que bajó por el Río Santiago (ahora acceso vehicular).

En 1955 en tiempos de huracanes del Golfo de México se originaron lluvias intensas en el municipio de San Luis Potosí y se tradujeron en flujos de agua ricos de carga sólida que bajaron por el Río Santiago y destruyeron un puente cerca del cruce con la carretera estatal 57.

En el 2005 un flujo de escombros transportó bloques de más de un metro de tamaño bajando por el arroyo que corre paralelo al anillo periférico en la zona suroeste en la localidad de Villa Magna, creando un abanico de material muy grueso y afectando la calle Cordillera Occidental.

Debido a la serie de eventos históricos descrita anteriormente el cuadrante oeste de la ZMSLP está expuesta a este tipo de peligros, además la expansión poblacional que se ha registrado en los últimos años cada vez más se necesita la construcción de asentamientos humanos por lo que lo hace un área vulnerable (Atlas de riesgo ZMSLP, 2012).

Un depósito de flujos de escombros observado para realizar un estudio a profundidad es el que se encuentra en el Santuario del Desierto ubicado entre los municipios de San Luis Potosí y Mexquitic de Carmona en donde Puente Castillo (2014) hace una atenta recomendación para realizar a detalle un estudio de peligro de dicha área.



Figura 1. Se muestra el poder destructivo de los flujos de escombros a la infraestructura humana. Fuente Atlas de Riesgo ZMSLP, 2012

## **Flujos de escombros**

En la literatura se encuentran a diferentes autores definiendo los flujos de escombros de acuerdo al porcentaje de sedimentos mientras que otros lo definen de acuerdo a las características físicas.

Costa (1988) define a los flujos de escombros con un 50 a 80% en volumen de sedimentos con respecto a la masa total a diferencia de los flujos hiperconcentrados que van de 35 a 60% en volumen de sedimento. Un flujo de escombros está constituido por un sedimento extremadamente mal clasificado, saturado en agua, con porcentaje elevado de material sólido, que fluye con una consistencia que se parece mucho a aquella de una colada de concreto.

Para Pierson y Scott (1998) definen los flujos de escombros como masas coherentes que contienen agua saturada (slurries) de rocas fragmentadas de escombros que contienen materia orgánica y otros, que fluyen pendiente abajo por la fuerza de gravedad.

Tamotsu Takahashi (2007) lo define como un flujo de sedimentos y mezcla de agua como si fuera un flujo de fluido continuo impulsado por la gravedad y alcanza una movilidad de amplio espacio vacío saturado con agua o suspensión.

Jaime Suarez (2009) caracteriza los flujos de escombros para definirlos. Al aumentar la concentración de sedimentos, la mezcla de agua-material se convierte en un "Slurry" (pasta aguada) que es similar a un concreto húmedo. Un Slurry puede ser capaz de sostener en suspensión partículas del tamaño de gravas a bajas velocidades o también en condiciones estáticas. Estos flujos pueden causar grandes impactos catastróficos. Las gravas pueden ser angulares o subangulares, el material no es estratificado y son pobremente clasificados. Pueden presentarse en gradaciones normales e inversas en donde los materiales gruesos se encuentran encima de los materiales finos. La distribución de los cantos es al azar en las superficies.

La proporción de sedimentos finos (arcillas y limos) afecta en forma determinante el tipo de flujo. Los flujos de escombros pueden resistir a esfuerzos de corte permaneciendo estáticos, sin embargo el fluido de los poros es altamente viscoso y casi incomprensible ya que está compuesto por agua con partículas de limos y arcillas en suspensión. Además pueden ocurrir colisiones entre los granos.

La masa viscosa se mueve en pulsos u ondas en donde la onda transporta los materiales más gruesos y el cuerpo del flujo del material más fino.

En la parte de enfrente en los pulsos predomina las fuerzas de los sólidos y en el cuerpo las fuerzas del fluido. En este tipo de flujo es difícil simularlo mediante ecuaciones ya que es muy dinámico. En la figura 1 se muestra identificar cómo ocurrió un flujo de escombros, mientras que la figura 2 muestra las partes que tiene un flujo.

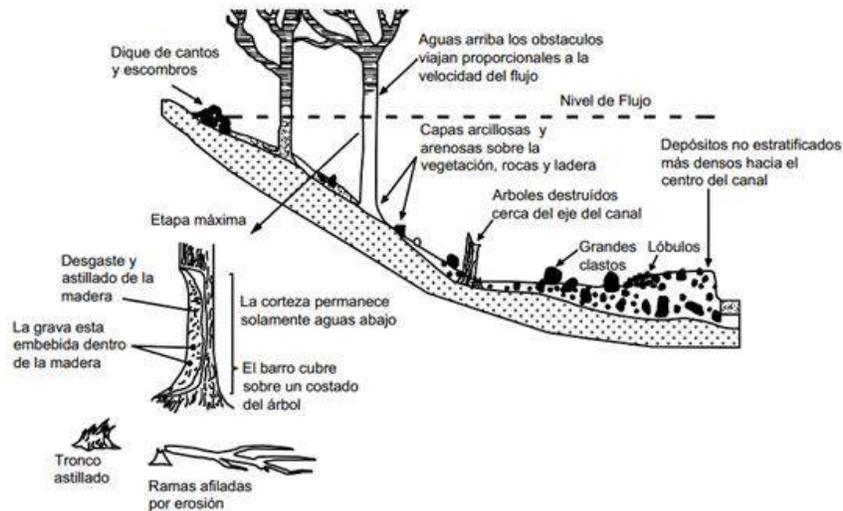


Figura 2. Cómo identificar qué ocurrió en un flujo de escombros. Fuente Jaime Suarez, 2009.

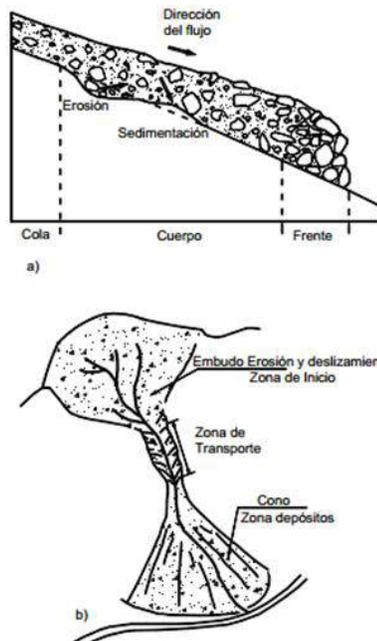


Figura 3. Partes básicas de un flujo. Fuente Jaime Suarez, 2009.

Aunque los flujos de escombros contienen partículas más gruesas, con mayores concentraciones, mayor peso específico y menores cantidades de agua, la mecánica del movimiento en algunos aspectos es similar a los flujos hiperconcentrados, ya que la amplitud de la onda es relativamente pequeña (20 a 50 cm) y en general el flujo no es completamente interrumpido por ondas (Suarez 2009).

### **Deposición de los flujos de escombros**

La deposición de flujos de escombros puede ocurrir de varias maneras. Primero por el tamaño o densidad preferencial de clastos segregados con la deposición localizada, segundo por la acreción basal de material y tercero relativa a solidificación en masa. Estos procesos pueden ocurrir de manera simultánea durante toda la deposición en un flujo único. (Pierson y Scott, 1998)

Cuando ocurren cambios significativos en el cauce, se puede producir una deposición de las partículas más gruesas. A medida que se deposita más material se forma una especie de diques que hacen levantar el flujo aumentando el proceso de deposición. Cuando el cambio del ancho del cauce es muy dinámico se presenta una disminución fuerte de la pendiente y la velocidad disminuye abruptamente por lo que la mayoría del material sólido forma abanicos o barras de grandes bloques. El comportamiento sería entonces, primero se depositan las partículas de mayor tamaño, mientras que las partículas finas tratan de recorrer mayor distancia antes de producirse la sedimentación y puede ocurrir que las partículas en suspensión recorran caminos de muchos kilómetros después de que las grandes partículas se hayan depositado. Conforme corren los flujos de escombros a lo largo de áreas amplias tratan de detenerse, formando abanicos de deposición, los cuales pueden sepultar áreas relativamente extensas (Suarez, 2009).

Pierson y Scott (1985) realizaron una subdivisión empírica entre los flujos de escombros cohesivos y los flujos de escombros no cohesivos que está basado en el contenido de arcilla presente en matriz y que se refleja en su comportamiento reológico. Un flujo de escombros no cohesivo contiene menos del 3 al 5% de arcilla, mientras que un flujo de escombros cohesivo tiene más del 5% de arcilla.

### **Características de la Geología de los flujos de escombros**

Los flujos más frecuentes se dan en los materiales volcánicos y en suelos residuales de rocas ígneas y metamórficas. De las rocas metamórficas las que son comunes son los esquistos y los neises, las sedimentarias las lutitas y limolitas. También ocurren en terrazas aluviales, coluviones, conglomerados, etc.

Jaime Suarez (2009) determino que los factores geológicos importantes son:

- 1.- Disponibilidad de una capa de suelo suelto de espesor pequeño a mediano sobre una ladera de pendiente alta.
- 2.- Condiciones geológicas de grandes pendientes. Porosidad alta de los materiales.
- 3.- Geomorfología de pendientes fuertes y cauces angostos

### **Monitoreo de flujos de escombros**

Realizar mediciones precisas sobre los flujos de escombros es muy complejo, debido a que su dinámica puede destruir lecturas en tiempo real, sin embargo existe literatura en donde se realizan algunas observaciones en campo como por ejemplo con equipos de ultrasonidos (ecosondas), los aparatos de radar, geófonos y medidores de lluvia entre otros, los cuales permiten medir la profundidad de un flujo en un tiempo. Sin embargo estos equipos tienen limitaciones ya que su medición depende de la calidad del sustrato en que se encuentre instalado. Otra herramienta muy utilizada son las imágenes de video que son empleadas para analizar el comportamiento de los fluidos, pero su limitante es que los videos no permiten medir los parámetros básicos del flujo.

Actualmente se utiliza el modelado de este tipo de fenómeno en donde se busca predecir el comportamiento o las características del movimiento de los flujos utilizando modelos del computador o programas de Software con eventos ocurridos en la misma región, en cuencas con condiciones morfológicas similares.

Se han venido simulando varios escenarios de magnitud o intensidad de los flujos de escombros pudiendo identificar el recorrido máximo, las velocidades y la distribución del flujo.

Es importante calibrar el modelo pues si la calibración no es consistente, se requiere repetir el proceso para determinar las imprecisiones y corregirlas. El modelamiento solamente es una herramienta cuyos resultados dependen en gran parte de los criterios utilizados para determinar los parámetros o datos para correr los programas matemáticos.

Algunos de los programas para la modelación son RAMMS, FLO-2D, FLDWAV, DAN-W, TITAN 2D, LAHARZ, DBF-1D, TopRunDF, entre otros.

### **Hipótesis central**

- En el Santuario del Desierto de San Luis Potosí, se han venido a través del tiempo generando flujos de escombros los cuales no han sido estudiados. Debido al crecimiento y desarrollo que ha adoptado la población, este tipo de fenómeno debe de ser caracterizado para mitigar posibles peligros.

### **Objetivo general**

- Buscar una metodología eficiente y rigurosa para medir datos relevantes de un flujo de escombros e intentar de una manera diferente la modelación.

### **Objetivos específicos**

- Encontrar el tratamiento adecuado a las muestras para obtener datos representativos.
- Determinar herramientas rigurosas para el tratamiento de los datos.
- Caracterizar el flujo de escombros para relacionar el peligro asociado.
- Proponer esta metodología para flujos de escombros con características y rasgos similares.

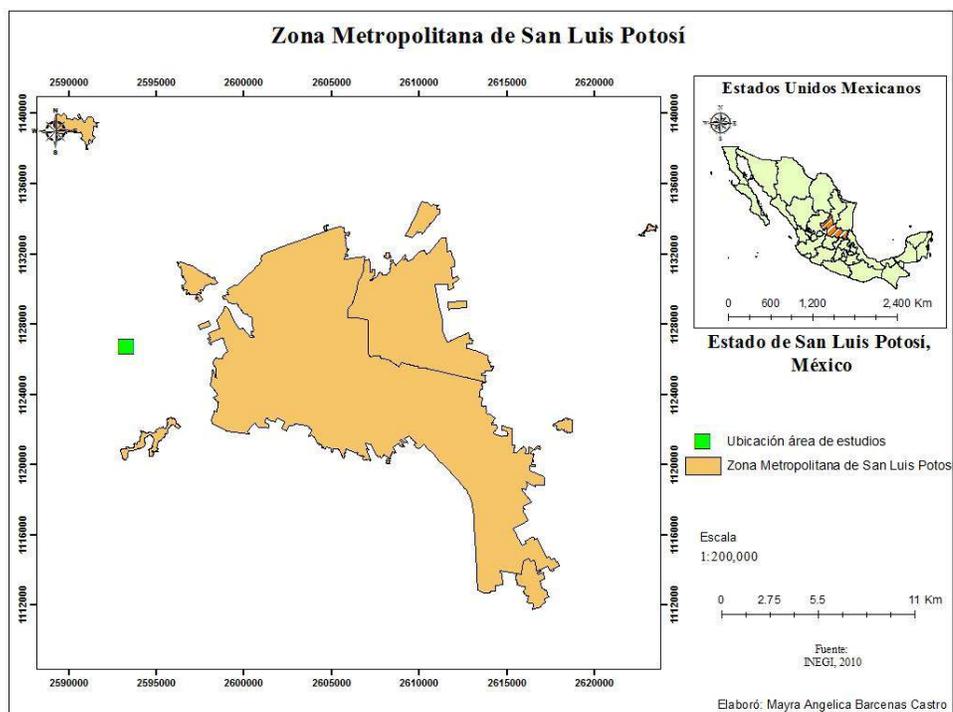
# CAPITULO I

## Marco geológico del municipio de San Luis Potosí.

### 1.1 Ubicación geográfica y geológica del área de estudio

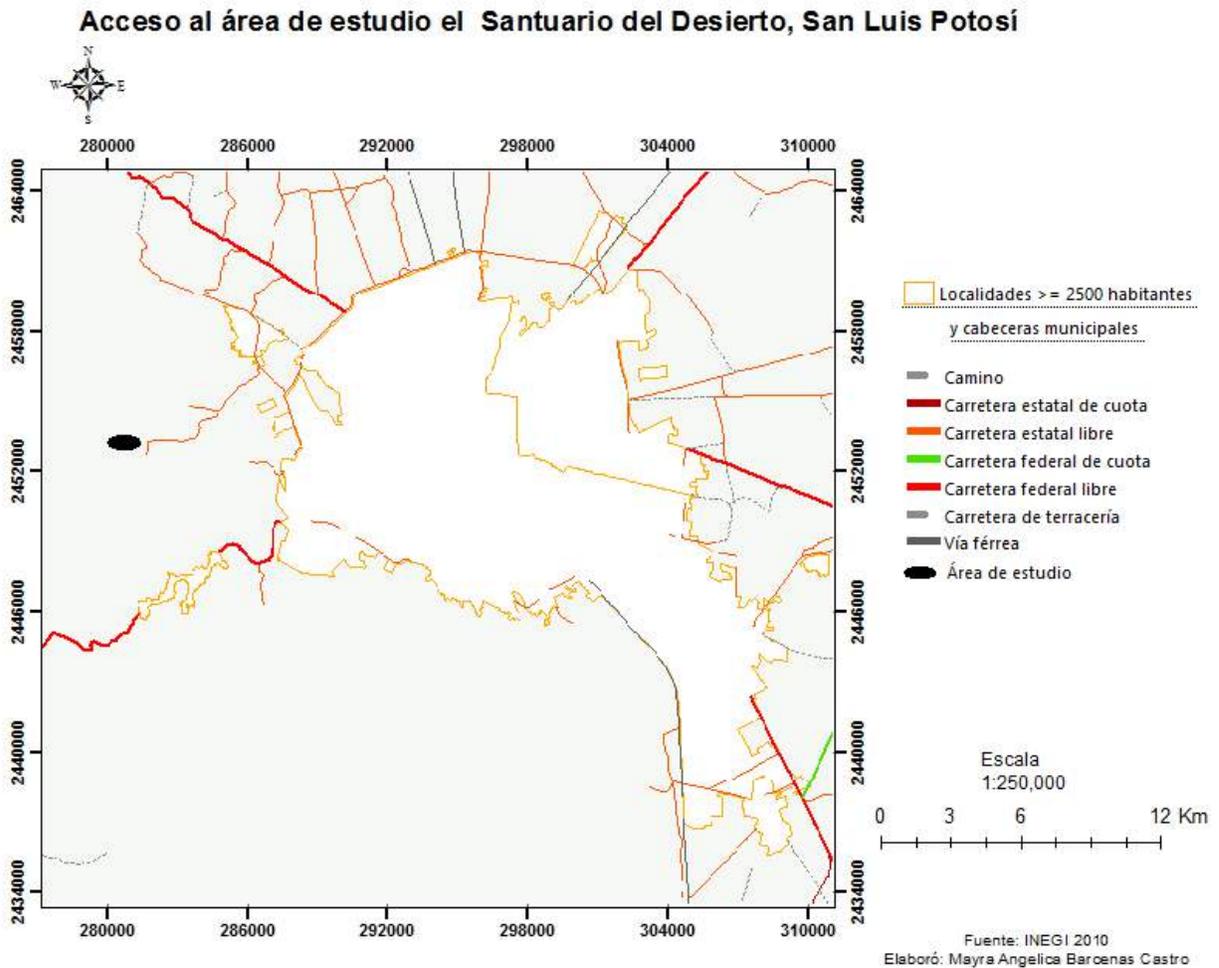
#### 1.1.1 Localización y vías de acceso

El área de estudio que se puede ver en el Mapa 1 se encuentra en las coordenadas geográficas 22° 09'26.02" Latitud Norte y 101°05'27.1 Longitud Oeste.



Mapa 1. Ubicación del área de estudio que se encuentra en el Santuario de la Desierto, San Luis Potosí. Elaboración Propia.

La iglesia del desierto se encuentra a 10 km aproximadamente de la ZMSLP. Se toma la carretera del anillo periférico rumbo a los poblados de Capulines y la Cruz siguiendo la dirección de camino hacia el poblado de Guadalupe Victoria (ver Mapa 2), pues no hay señaléticas y tomar el camino hacia el panteón que son aproximadamente 8 km (Lugares de Mexico, 2009).



Mapa 2. Vías de acceso para llegar el Santuario de la Desierto, San Luis Potosí. Elaboración Propia.

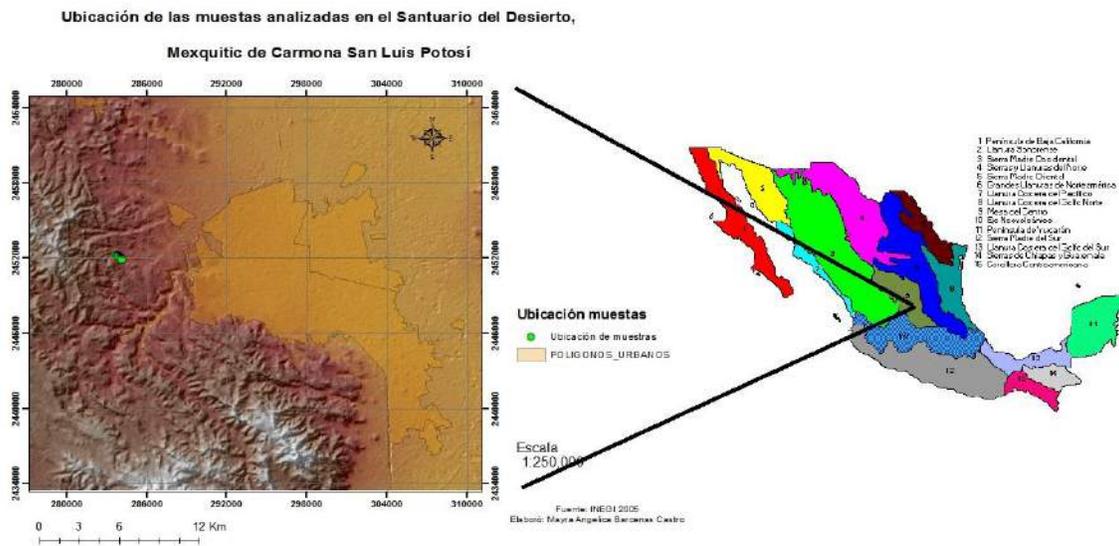
## 1.2 Fisiografía General

El área de estudio se ubica en la zona conocida como la Mesa Central la cual es una provincia que se encuentra bordeada por tres unidades fisiográficas, al norte se encuentra la Sierra Madre Oriental formada principalmente por sedimentos marinos mesozoicos plegados, en la parte oeste se observa la Sierra Madre Occidental que es la provincia ignimbrita más extensa del mundo.

En la parte sur está la cadena volcánica activa llamada Faja Volcánica Transmexicana (Carta Geologica-Minera Tepetate F14-A83 San Luis Potosí, 2007).

### 1.3 Fisiografía del área de estudio

La zona conocida como Campo Volcánico de San Luis Potosí pertenece a la Faja Ignimbrítica Mexicana o Sierra Madre Occidental que es considerada la provincia Ignimbrítica más grande del mundo las cuales corresponden a las facies de rocas calcoalcalinas con alto contenido en potasio (K) de la provincia magmática de la Sierra Madre Occidental (Carta Geologica-Minera Tepetate F14-A83 San Luis Potosí, 2007).



Mapa 3.- Mapa fisiográfico de México de la dirección general de cartas fisiográficas escala 1:1 000,000. Fuente INEGI 2010. Elaboración propia.

## 1.4 Reconocimiento Geológico del Santuario del Desierto de San Luis Potosí.



Fuente: Servicios Geológico Mexicano

Mapa 4. Ubicación del área de estudio, recortado del Plano Geológico de la hoja del Tepetate F14-A83 actualizada al 2014, San Luis Potosí, México.

En el mapa 4 se puede apreciar que el área de estudio constituye depósitos del terciario y cuaternario, además se encuentra una falla en dirección NW importante mostrando rumbo hacia el área de estudio. El arroyo del Santuario del Desierto se encuentra al norte de la iglesia, limitado al norte por las unidades de la Ignimbrita cantera y Latita portezuelo y al sur por la Riolita san miguelito, siendo la base del lecho la Latita portezuelo. El lecho se encuentra en contacto discordante sobre rocas volcánicas de la latita Portezuelo por el derrame de la Riolita san miguelito y la Ignimbrita cantera (ver Figura 4).



Figura 3.- Se puede observar debajo de la línea negra la Latita Portezuelo en la parte basal a lo largo del cauce del arroyo del área de estudio.

El principal constituyente de este arroyo está formado hacia la base por un conglomerado de fragmentos de tamaño de grava subredondeados y mal clasificados soportados en una matriz arenosa y de rocas volcánicas. Encima de estos conglomerados se encuentra una secuencia de ceniza de grano grueso con un espesor de 4 metros con algunas intercalaciones de gravas mal clasificadas y poco consolidadas. Sobreyaciendo a este conglomerado se encuentra ceniza volcánica de grano fino a muy fino, observándose en algunas ocasiones material muy reciente (aluvión). Estos sedimentos se encuentran a lo largo de todo el arroyo en el cual se conservan las mismas características físicas y litológicas de esta unidad (Ver figuras 4 y 5) .



4



5

Figuras 4 y 5. Se observa a lo largo del arroyo sedimentos con características físicas y litológicas muy parecidas, las líneas anaranjadas indican parte del flujo de escombros que se caracterizó para este estudio

## Capítulo II

### Metodología para el modelado del Riesgo geológico

#### 2.1 Prueba de gabinete

Recopilación de información del área de estudio.

##### 2.1.2 Muestras en Campo

Se visitó el área del lugar identificando el flujo de escombros observado en la parte basal. Se tomaron 18 fotos de puntos distribuidos a través de ancho del cauce con una escala de 1m. Además se tomó las coordenadas y ángulo de la imagen.

##### 2.1.3 Actividades de laboratorio

A las 18 fotos se les realizó para la obtención de la granulometría el método de las intersecciones de Rosiwal propuesto por Sarocchi et. al. (2011), quienes comprobaron la misma validez y eficiencia del método de conteo de puntos (análisis modal) y aquellos obtenidos por el tamizado. También se realizó el método de las pipetas para obtener el porcentaje de limos y arcillas del área de estudio (Puente,2014). A continuación se detallan cada una de ellas.

#### 2.2 ANALISIS DE ROSIWAL

Los métodos ópticos de Rosiwal consiste en tomar fotografías con una perspectiva conocida para cuantificar las variaciones granulométricas del material grueso ( $\leq 6\phi$ ) en una pared vertical de un depósito determinado. Esta información es muy importante pues ayuda a comprender mecanismos de transporte y emplazamiento de algunos tipos de depósitos como aquellos originados por flujos granulares. Esta técnica consiste en sobreponer una rejilla de líneas espaciadas y paralelas a las superficies de discontinuidad de las unidades internas del depósito o a superficies de deslizamiento (Sarocchi et. al 2005).

Rosiwal (1898) descubrió que sobreponiendo líneas rectas a un corte al azar del material y midiendo las intersecciones a lo largo de estas líneas, la relación entre la longitud total de las intersecciones y la longitud total de las líneas utilizadas era igual a la relación entre la superficie ocupada por los rasgos y la superficie total medida.

Esta relación se puede extender a la relación de áreas y volúmenes por medio de la ecuación de Delesse (1847).

$$\frac{Ll}{Lt} = \frac{Aa}{At} = \frac{Va}{Vt} \quad (1)$$

Dónde

$Ll$  es la longitud de las intersecciones sobresalientes de los rasgos.

$Lt$  es la longitud total de la línea analizada.

$Aa$  es el área ocupada por los rasgos de las partículas.

$At$  área total analizada.

$Va$  es el volumen ocupado por las partículas.

$Vt$  volumen total analizado.

Es importante destacar que para obtener resultados confiables se tiene que realizar un número suficiente de mediciones.

Los métodos ópticos pueden ser aplicados a cualquier escala sin embargo una de sus limitaciones es de orden práctico como por ejemplo si la resolución de la imagen se tomó con sombra o contraste de tonos, así como las deformaciones entre otras características.

A continuación se muestra en la Figura 6 un ejemplo del análisis que se realizó para este trabajo.

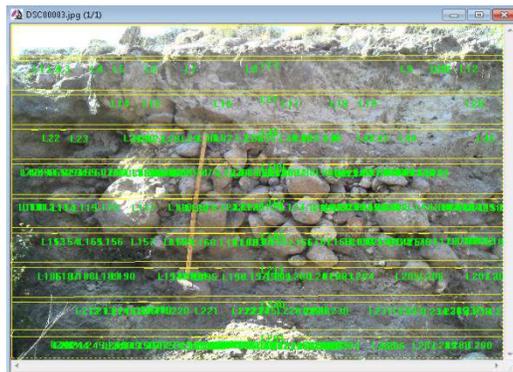


Figura 6.- Método de intersección de Rosiwal a escala 1m. con 281 mediciones, foto tomada en la parte central de área de estudio en el Santuario del Desierto, S.L.P. Elaboración propia.

En la figura 6 se observa que se está midiendo el tamaño de las partículas las cuales son fundamentales para las propiedades físicas de los sedimentos. Las técnicas para analizar el tamaño de partícula depende del tipo de material el cual está determinado directamente por su medición (Basil et. al. 2010) en el caso de las intersecciones de Rosiwal las medidas se dan en milímetros y se tiene que realizar una conversión para poder clasificarlos y saber a qué tipo de sedimento corresponde. Se utiliza la siguiente ecuación (2) para convertirlas a phi  $\phi$ .

$$\phi = -\log_2 D(mm) = -3.3219 \log_{10} D(mm) \quad (2)$$

En donde  $\phi$  es la escala del tamaño de la partícula y  $D$  es el diámetro de la partícula.

Una vez que se tiene esta conversión procedemos a realizar un histograma para poder observar la distribución de frecuencia de nuestras partículas. Sin embargo al ver el resultado se formuló la siguiente cuestión ¿Cuál es la mejor forma de representar los datos de tal manera que se pueda facilitar su análisis, comprensión e interpretación? En los siguientes apartados se propone realizar diferentes tratamientos a los datos para poder contestar dicha pregunta.

## 2.3 Método del Tamizado

El método del tamizado consiste en usar tamices o cedazos, reteniendo cada tamiz aquellas partículas cuyo tamaño es superior a la luz de la malla correspondiente. El peso de estos rechazos se relaciona al peso total del suelo tamizado. Los resultados se llevan a una curva granulométrica sobre la cual se lleva en abscisas las dimensiones de las luces del tamiz según la escala logarítmica y en ordenadas los porcentajes de sedimento que pasa por dicho tamiz.

La utilización de una escala logarítmica en abscisas tiene por finalidad la interpretación de la curva y su trazado sobre todo en la parte de los finos, ya que este contenido es muy importante.

Los tamices son de mallas cuadradas, mientras que los cedazos son de agujero redondo. Cada tamiz tiene una malla cuadrada con diámetros específico que este a su vez clasifica a las partículas de acuerdo a su tamaño (Sanz, 1975).

La escala clasificada para este trabajo fue propuesta por Blair y McPherson (1999) para depósitos sedimentarios.

Depósitos sedimentarios		
Tamaño	Phi	Blair y McPherson (1999)
32.8 m.	-15	muy grueso
16.4	-14	grueso
8.2	-13	mediano
4.1	-12	fino
2	-11	muy grueso
1	-10	grueso
0.5 m	-9	mediano
256 mm	-8	fino
128	-7	grueso
64	-6	fino
32	-5	muy grueso
16	-4	grueso
8	-3	mediano
4	-2	fino
2	-1	
1	0	muy grueso
0.500 mm	1	grueso
250 $\mu$ m	2	mediano
125	3	fino
63	4	muy fino
31	5	grueso
15	6	mediano
8	7	fino
4	8	muy fino
2	9	
1	10	
0.5	11	
0.2	12	
0.1 $\mu$ m	13	

Tabla 1.- Escala granulométrica utilizada en sedimentología propuesta por Blair y McPherson (1999). Fuente. Rediseñada Sarocchi (2006).

## 2.4 Método de las pipetas

El método de las pipetas es ampliamente usado por varias razones, entre las principales son:

- Es un método simple.
- Es el método más exacto
- Para su realización se requiere de aparatos simples

Consiste en la determinación de la densidad de partículas en suspensión a profundidades fijas como función de tiempo. Para obtener buenos resultados y minimizar los errores, las partículas analizadas deben ser independientes unas de otras es decir no deben de tener agregados de partículas, por lo tanto requiere de un tratamiento dispersivo previo al análisis granulométrico (Nuñez, 2006).

Para el caso de este estudio a la muestra se le realizó método del tamizado que fue de  $4\phi$  a  $-4\phi$ , posteriormente la muestra recolectada pasante de  $4\phi$  fue la que se uso para realizar el método de la pipeta.

Cabe señalar que el instructivo viene descrito paso a paso en Puente Castillo (2014) en las páginas 176-178 que fue el procedimiento que utilice para este estudio.

Este método se utilizó para determinar el porcentaje de arcillas y de limos a las 18 muestras.



Figura 7.- Ejemplo del procedimiento que se usó con el método de las pipetas par el análisis de finos a las 18 muestras.

## 2.5 Metodología para la aplicación del análisis de datos a través de la distribución de densidad de suavización Kernel.

La estadística clásica depende fuertemente de modelos paramétricos sobre la distribución de la variable que genera los datos. Sin embargo en muchas situaciones para efectos prácticos un sencillo análisis exploratorio de los datos muestran claramente la suposición de una normalidad inadecuada (Cuevas, 2004). La pregunta es ¿si la variable observada no tiene una distribución normal, entonces cuál es su distribución?

He aquí la introducción de métodos no paramétricos que tienen especial utilidad y ventajas sobre los métodos paramétricos clásicos. A continuación se mencionan las características más importantes de herramientas no paramétricas:

- El histograma es no paramétrico en el sentido de que su uso no requiere ninguna suposición del tipo de que la distribución de una variable bajo estudio esté confinada en ninguna distribución paramétrica (como por ejemplo la normal, la logarítmica, etc.)
- Cuando los datos tienen problemas con observaciones extremas, el efecto sobre los rangos es menor.
- Los estimadores no paramétricos requieren muestras grandes (al menos 100 datos) ya que los métodos de estimación no paramétrica son locales para estimar la **densidad de la probabilidad**  $f(t_o)$  en un **punto**  $(t_o)$  donde se utiliza principalmente los puntos muestrales cercanos a  $(t_o)$  y la motivación teórica para los métodos no paramétricos que son de carácter asintótico, es decir se basan en propiedades relativas al comportamiento de los estimadores cuando el **tamaño muestral**  $n$  tiende a **infinito**  $(\infty)$ .
- Desde el punto de vista matemático-formal, la estadística no paramétrica es una extensión de la estadística clásica en la que el parámetro de interés es una función, es decir, un elemento de espacio de dimensión finita en lugar de un número real o un vector de números reales (Cuevas, 2004).

La vertiente más conocida como herramienta para visualizar datos y de análisis es el histograma. Para efectos de este trabajo comencemos por definir de manera formal el histograma que es un estimador no paramétricos de la función de la densidad que puede utilizarse para reemplazar a los modelos paramétricos usuales. Los estimadores paramétricos depende de un parámetro llamado “parámetro de suavizado” cuya elección es hasta cierto punto arbitraria.

Los histogramas son por naturaleza funciones discontinuas; sin embargo en algunos casos es razonable suponer que la función de densidad de la variable que se está estimando es continua.

En este sentido los histogramas son viables, además los histogramas son funciones constantes a trozos, su primera derivada es cero en casi todo punto, esto lo caracteriza como inadecuado para la derivada de la función de densidad y para estimar modas en donde se requiere mayor precisión (Cuevas, 2004).

Dada la sucesión  $\dots < a_i^{(n)} < a_{i+1}^{(n)} < \dots$ , con  $h_n = a_{i+1}^{(n)} - a_i^{(n)}$  y dada la muestra  $x_1 \dots \dots x_n$ , se define que siendo el número  $c$  el cardinal del conjunto  $C$ :

$$\hat{f}(t; x_1 \dots x_n) \equiv \hat{f}(t) = \frac{\text{num}\{X_i \in (a_j^{(n)}, a_{j+1}^{(n)})\}}{nh_n} \quad (3)$$

Para  $t \in (a_j^{(n)}, a_{j+1}^{(n)}], j = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots \dots$

En donde:

- $x_1 \dots x_n$  son los datos observados.
- $\dots < a_i^{(n)} < a_{i+1}^{(n)} < \dots$  y  $h_n = a_{i+1}^{(n)} - a_i^{(n)}$  son los extremos de los intervalos considerados para obtener el histograma y la amplitud de los intervalos.
- $(a_j^{(n)}, a_{j+1}^{(n)})$  intervalo de los datos de densidad.
- $t \in (a_j^{(n)}, a_{j+1}^{(n)})$  y  $\hat{f}(t)$  representa la densidad de los datos.
- $h_n$  la longitud del intervalo de los datos de densidad.

Si  $h_n$  (la longitud) de  $(a_j^{(n)}, a_{j+1}^{(n)})$  de este intervalo tiende a cero cuando el número de datos tiende a  $\infty$ , cabe esperar que  $\hat{f}(t)$  tienda hacia la densidad instantánea en el punto  $t$  que es la función de densidad.

Para  $h_n$  no debe tender a cero demasiado rápido para evitar quedarnos sin datos en muchos intervalos. La amplitud de  $h_n$  de los intervalos es elegida por el usuario y en cierto modo es arbitraria por lo que el histograma podría cambiar considerablemente si cambia este valor.

La ecuación (3) aclara la relación entre el histograma de frecuencias y la densidad.

Sin embargo los histogramas pueden ser inadecuados bajo otros puntos de vista, primero porque los histogramas son funciones discontinuas y es razonable suponer que la función densidad está estimada como continua, por lo tanto los estimadores son erróneos, segunda los histogramas son funciones constantes, su primera derivada es cero en casi todos los puntos, sería erróneo estimar la derivada de la función de densidad y tercero los histogramas no son adecuados para estimar modas (moda en el sentido de máximo relativo de la función densidad) y puede dar resultados erróneos si se requiere de una mayor precisión.

Una forma viable para la resolución a este problema son los estimadores de tipo Kernel (o núcleo), que fue introducido Rosenblatt (1956) y Parzen (1962) que han recibido una considerable atención a los estimadores no paramétricos de densidad de probabilidad para series de tiempo (El Machkouri, 2011).

El estimado de Kernel se define con la siguiente ecuación:

$$\hat{f}_n(t) = \frac{1}{nh_n} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{t-x_i}{h_n}\right) \quad (4)$$

Donde:

$k$  es la probabilidad de Kernel.

$h_n$  amplitud de la banda que es un parámetro el cuál converge lentamente hacia cero tan que  $nh_n$  tiende a  $\infty$ , (el ancho de bin determina la cantidad de suavización de el estimador).

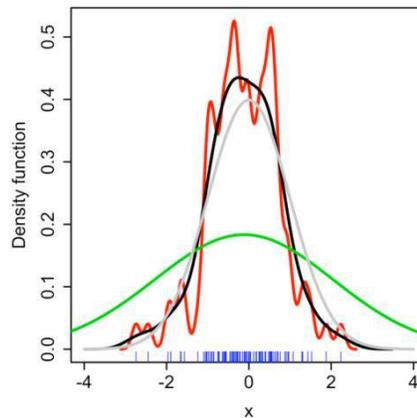
Frecuentemente se toma  $K$  como la función de densidad de la distribución normal estándar.

$$K(x) = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{-x^2}{2}\right)\right) \quad (5)$$

Es decir cuando el núcleo es suave (derivable) el correspondiente estimador también lo es y su derivada se utiliza para estimar la verdadera densidad  $f$ .

Actualmente existen procedimientos para asignar  $h$  sin embargo para cada análisis de estudio este amplitud de bin no siempre es el adecuado. Si el parámetro de suavizado es demasiado pequeño el estimador aparece infrasuavisados y refleja demasiado "ruido" es decir la presencia de muchas modas. Por el contrario si  $h$  es demasiado grande se da el fenómeno contrario de sobresuavisación y el estimador es casi insensible a los datos

Un ejemplo se puede ver en la Gráfica 1.



Gráfica 1. Estimación de densidad Kernel (KDE) con diferentes anchos de banda de una muestra aleatoria de 100 puntos de una distribución normal estándar. Gris: densidad real (estándar normal). Rojo: KDE con  $h = 0.05$ . Negro: KDE con  $h = 0.337$ . Verde: KDE con  $h = 2$ . Fuente Wikipedia (Consultado el 27 de noviembre del 2014).

Una de las principales aplicaciones de los estimadores de núcleo es su utilidad para estimar las modas y el número de modas. Los estimadores de la densidad no fijan el número de modas como ocurre con los métodos paramétricos. Los enfoques no paramétricos tienen como ya se había mencionado antes la ventaja de que “los datos hablen” y así no prejuzgar algunas características importantes como ocurre con los modelos paramétricos. Un software que permite realizar dicho cálculo es Matlab con la función KSDENSITY referenciada por Bowman y Azzalini en 1997 (Lake, 2009).

Los diferentes anchos de bin muestran dependiendo de los valores, diferentes distribuciones por lo que nos topamos con este problema. Si bien es cierto Silverman (1986) realizó diferentes experimentos con datos tratando de encontrar el mejor de ancho de bin y es la fórmula que más se utiliza, se llegó a la conclusión que todavía no se ha podido generalizar una fórmula para tratar este punto.

En cada caso de estudio se deberá ajustar a aproximaciones para encontrar la mejor forma para el análisis de datos en el histograma.

## **2.6 Metodología para el cálculo de la entropía de Shannon; teoría de información; su interpretación en la distribución de datos.**

Otra herramienta que se propone para medir la eficiencia del modelo de suavización de kernel y el histograma de frecuencias es la entropía de Shannon llamada así en honor al matemático Claude E. Shannon que en 1948 en los laboratorios Bell en Estados Unidos de Norteamérica basándose en una fórmula muy general para modelar lo que él llamo como un canal de comunicaciones, en donde por un lado un transmisor envía bits uno a la vez y por otro lado hay un receptor recibiendo esos datos, pero el canal puede modificar introduciendo algunos errores de unos por ceros o viceversa al azar, la probabilidad con que ocurren estas alteraciones depende del fenómeno físico que se está modelando, lo importante es que el mismo tipo de modelo sirve para modelar errores de lecturas en un cd, errores de comunicaciones en celulares cuando hay interferencia por nombrar algunos ejemplos, de esta forma Shannon obtuvo resultados fundamentales con una gama de aplicaciones y fundo las bases teóricas que utilizamos hasta el día de hoy (Shannon, 1948).

La entropía es un concepto que surge a partir de los estudios de la física, específicamente dentro de la termodinámica, en los cuales se indicaba una medida estadística de pérdida de energía. En este sentido la medida estadística de los estados del sistema es la entropía. La entropía puede considerarse como lo opuesto o la contraparte de la información, esto es la entropía es la medida de la desorganización y del desorden que puede imperar en un sistema y la información es al contrario, un patrón de medida de la organización de un sistema. Es interesante observar que mientras más complejos son los sistemas (entendiéndose por complejidad el número de posibles estados que pueden presentar cada parte y el número de las posibles relaciones entre esas partes) mayor es la energía que dichos sistemas destinaron tanto a la obtención de la información como a su procesamiento, decisión, almacenaje y/o comunicación (De la Mora, 1997).

Por otra parte cuando una variable aleatoria se presenta de forma gráfica es posible identificar su distribución de probabilidad de esa variable que puede ser empírica o teórica. La distribución empírica se representa usando distribuciones de frecuencia de datos agrupados. La distribución teórica ya sea discreta o continua ha sido ampliamente estudiada y definida por lo que es un excelente medio de ajustar el comportamiento de una variable. Las distribuciones de variables aleatorias discretas comunes son la binomial, uniforme discreta, Poisson, multinomial e hipergeométrica.

Las distribuciones de variable aleatoria continua más comunes son la normal, lognormal Weibull, Beta, uniforme continua, Gamma, Erlang-k, triangular y exponencial.

Para saber si un conjunto de datos se distribuye por algunas de las distribuciones teóricas se utilizan también el test de Kolmogorov-Smirnov entre otros. (Acuña, 2003).

La entropía de la teoría de información está estrechamente relacionada con la entropía termodinámica, el concepto básico de la entropía es la teoría de la información que tiene que ver con la incertidumbre que existe en cualquier experimento o señal aleatoria.

Por ejemplo si tenemos un texto en español que esta codificado por una cadena de letras, espacios y signos de puntuación, en esta cadena algunos caracteres no comunes por ejemplo la “w” y otros que sí como por ejemplo la “a” entonces la cadena es aparentemente no aleatoria sin embargo con estos dos caracteres no podemos predecir con exactitud cuál sería el siguiente carácter en la cadena y esto la haría aparentemente aleatoria. La entropía que mide precisamente esa aleatoriedad fue presentada por Shannon en 1948 “A Mathematical Theory of Communication “ ( en español “Una teoría matemática de la comunicación”).

Shannon define la entropía de acuerdo a lo siguiente:

- La medida de información debe ser proporcional (lineal continua). Es decir el cambio pequeño en una de las probabilidades de aparición de uno de los elementos de la señal debe cambiar poco la entropía.
- Si todos los elementos de una señal son equiprobables a la hora de aparecer, entonces la entropía será máxima.

Por lo tanto la entropía de un mensaje  $X$ , denotado por  $H(X)$ , el valor medio ponderado de la cantidad de información de los diversos estados del mensaje esta dado por la siguiente ecuación (Shannon, 1948):

$$H(X) = - \sum_i p(x_i) \log_2 p(x_i) \quad (6)$$

Donde:

$H(X)$  es la entropía medida en bits.

$p$  es la probabilidad de ocurrencias de  $x_i$

$\log_2$  La elección de una base logarítmica corresponde a la unidad para medir la información, si la base es 2 se utiliza en unidades llamadas dígitos binarios.

Cuando se trabaja con datos y se asume un determinado modelo estadístico, existen procedimientos para aceptar o rechazar el modelo, con cierto grado de incertidumbre. La construcción de una distancia o una divergencia en el sentido de medir el modelo, se puede realizar de muchas maneras y es posible decidir mediante un test estadístico si la elegida es correcta. En este punto podemos recurrir a criterios lógicos o simplemente pragmáticos. Siguiendo un criterio puramente lógico, cuando se define una distancia entre los parámetros de un modelo estadístico cumpliendo ciertas condiciones razonables aparece de forma natural la entropía de Shannon (Pardo Llorente, 1993).

## 2.7 Desarrollo de optimización de ancho de bin para los datos del histograma de frecuencias y la distribución de densidad de suavización Kernel aplicado a la obtención de granulometría para depósitos de flujos de escombros.

El histograma de frecuencias juega un papel muy importante para proporcionar estimaciones consistentes de la densidad real subyacente y es una de las herramientas estadísticas populares y clásicas del análisis y síntesis de datos. Por otra parte en las últimas décadas se han propuesto estudios algunos novedosos métodos estimativos no paramétricos. Tal es el caso del estimador de distribución de densidad de suavización Kernel o también conocido como distribuidor de suavización de Kernel. El método Kernel tiene una mejora sobre el histograma para estimar la densidad subyacente real. Sin embargo aunque se tiene esta gran ventaja se sigue utilizando el histograma de frecuencias porque es fácil de calcular y fácil comprensión. En realidad un estimador de densidad de suavización Kernel puede ser pensado como una forma suavizada del histograma, el problema surge cuando se tiene que elegir el ancho de bin para no ser demasiado grande en donde se pierde mucha información de los datos o si es pequeño se produzcan muchas modas (Xiu-xiang et. al., 2012).

Herbert Sturges (1926) propuso una regla práctica acerca del número de clases que deben de considerarse en un histograma utilizando la siguiente ecuación:

$$k = 1 + 3.322 \log_{10} (n) \quad (7)$$

En donde  $n$  es el tamaño de la muestra.

Sin embargo esta regla ha sido fuertemente criticada debido a la falta de argumentos estadísticos sólidos en su construcción.

Algunos autores como Scott y Diaconis han propuesto reglas para la construcción de intervalos.

Scott (1979) sugirió construir los intervalos de igual amplitud, donde la amplitud de cada clase se calcula como  $(Max/Min)/k$ , siendo que  $k$  es el número de intervalos que se calcula reemplazando el tamaño de la muestra  $n$  en la siguiente expresión:

$$h = (3.5)s(n)^{-1/3} \quad (8)$$

Donde  $s$  es la desviación estándar y  $n$  el tamaño de la muestra.

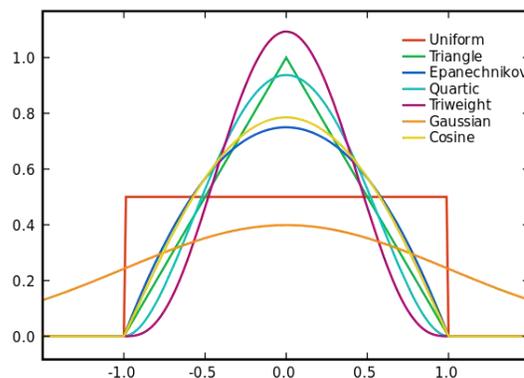
Diaconis utiliza este criterio de Scott en 1981, en donde la amplitud está dada por la siguiente expresión

$$h = 2(RI)(n)^{-1/3} \quad (9)$$

Donde  $RI$  y  $n$  son el rango intercuartílico y el tamaño de la muestra.

No obstante las fortalezas y debilidades de estas metodologías para la categorización de variables continuas son solamente una guía, la última palabra acerca de este tema lo tiene el investigador, basado en los objetivos de estudio (Ruiz et. al. 2009).

Con el transcurso del tiempo se han propuesto mejoras y se ha retomado el concepto de suavización de Kernel, sin embargo se han trabajado diferentes tipos de Kernel ya que como se mencionaba ha sido una gran ventaja para el análisis del histograma de frecuencias, ejemplo de ello se puede observar en la gráfica 3 las diferentes funciones Kernel con un sistema de coordenadas común.



Gráfica 2. Diferentes tipos de función Kernel en un sistema de coordenadas en común. Fuente Kernel (statistics) Wikipedia consultado el 17 de diciembre del 2014

Algunos programas de Software han avanzado en este aspecto como por ejemplo en Matlab con la función *hist* y la función *Ksdensity* Esta última función basada por los estudios de Bowman y Azzalini (1997) en donde realizan un algoritmo para obtener formulaciones de matriz eficientes en métodos suavizados no paramétricos y mediante la descripción de las modificaciones más simples a los mismos para el uso de datos con tamaños de muestras grandes, cabe destacar que esta función solo funciona con datos mayor a 100.

Otro programa que ha hecho modificaciones para moledar los datos de distribución de suavización de Kernel es STATA, la función *Histograms* y la función *kdensity*, basado en el mejor ancho de bin Kernel Epanechnikov (mejor en el sentido del error cuadrático medio) y también funciona con datos mayor a 100 (Salgado et. al. 2014).

Entonces ¿cómo construir el desarrollo de optimización de ancho de bin para un histograma?

He realizado un breve resumen de cómo se ha venido trabajando el tema de ancho de bin mejorado en donde los objetivos de estudio son el principal aporte para saber cómo y cuál utilizar. El ancho de bin optimizado fue calculado para la distribución de suavización de Kernel, en este sentido de acuerdo a pruebas que se han venido desarrollando como la de Silverman (1986), se busca obtener la mejor información y distribución de datos. En este trabajo se propone el ancho de bin óptimo para la distribución del histograma y la distribución de suavización de Kernel en la distribución de datos para el cálculo de la granulometría total para el estudio de flujos de escombros en donde se adiciona un test riguroso para estas dos distribuciones de tal manera que sean comparadas y obtener un dato cuantitativo de pérdida o ganancia de información. La palabra utilizada optimizar es empleada en este trabajo de acuerdo a la definición de la Real Academia Española como buscar la mejor manera de realizar una actividad. Una prueba usada para estimaciones no paramétricas es la conocida Test de Kolmogorov-Smirnov que detecta diferencias no solo en la tendencia central, sino también en la dispersión y simetría de las muestras.

El test de Kolmogorov - Smirnov es usado para constatar la  $H_0$  (Hipótesis nula) en dos muestras que procede de una misma especie, por lo tanto exige comparar dos funciones de distribución muestral observando la diferencia máxima entre ellas (Guisande et. al. 2006).

Una vez obtenido el óptimo ancho de bin del histograma de frecuencias y la distribución densidad de suavización de Kernel es importante obtener el error de pérdida o ganancia de información. Este parte se refiere a que si tenemos el histograma de frecuencias ¿qué tanto pierde o gana información al aplicar la suavización de Kernel?, en el sentido de la probabilidad de transmitir al azar algún dato mal clasificado dentro del bin de suavización de Kernel.

Una manera de calcular cuantitativamente este error es usando la entropía de Shannon también conocida como la teoría de información. La entropía se calcula al histograma de frecuencias ya que es la que contiene los datos reales con el óptimo de bin propuesto en este trabajo, después será comparada con la

distribución de frecuencia acumulada del histograma, la distribución de suavización de Kernel y la misma entropía.

En este trabajo la entropía no solo calcula la pérdida o ganancia de información, también se analiza el índice de Shannon-Weaver (1949). ¿A que se refiere este índice?

En la naturaleza podemos encontrar muestras con un gran número de especies y una distribución equilibrada, muestras con muy pocas especies en donde sobresalen algunas más que el resto. Partiendo de esta premisa se define la diversidad como el número y variedad de especies presentes en un área (Guisande et. al. 2006). De esta forma la diversidad en cada muestra o ámbito va a ser condicionada por:

1.- Número de especies.

2.- Proporción de cada especie

Así es como se han venido desarrollando índices de diversidad, el más utilizado el índice de diversidad de Shannon- Weaver, también conocido como entropía informática que mide la diversidad, en si es la misma fórmula que se utilizará para medir la pérdida o ganancia de datos solo la hace diferente en cuanto a la aplicación (Aguilera et. al., 2014)

Brieva y Montes (1995) del Departamento de Geociencias en Bogotá Colombia realizaron una primera aproximación para relacionar en geología el grado de selección (“sorting”) de sedimentos según el tamaño de grano utilizando la entropía de la teoría de información para interpretar diferentes procesos de transporte y sedimentación debido a las corrientes , al oleaje predominante, al intercambio de masas de agua entre la Ciénega Grande y el mar y a la influencia de corrientes menores de agua dulce que desembocan en la zona.

Para el análisis de la entropía relativa, Brieva y Montes (1995) utilizaron valores en un rango de 0 a 1 en donde 0 es una selección perfecta (todos los eventos tienen lugar en una sola clase) y 1 que es una selección pobre (todas las clases poseen la misma frecuencia) siendo estos valores adimensionales.

Los resultados fueron mapeados y pudieron distinguir zonas sometidas a procesos de diferentes transportes y sedimentación de las rocas.

En este trabajo se realizará una aproximación calculando el grado de selección con la siguiente ecuación, se modificó el índice para obtener números positivos y evitar la multiplicación por -1.

$$H(ID) = \sum \sum_{i=1}^n p_i \log_2 \left( \frac{1}{p_i} \right) \quad (10)$$

Donde se calcula la suma de las entropías calculadas para la pérdida y ganancia de información.

A continuación se muestra el diagrama de flujo que explica brevemente los pasos del cálculo del óptimo ancho de bin propuesto en este trabajo el software que se utilizó para elaborarlo es el programa Dia 0.97.2 el cual se puede descargar gratuitamente de la web. Cada paso corresponderá a la realización del código de programa en Matlab 9.0.

## 2.8 Diagrama de flujo para la obtención del ancho de bin óptimo

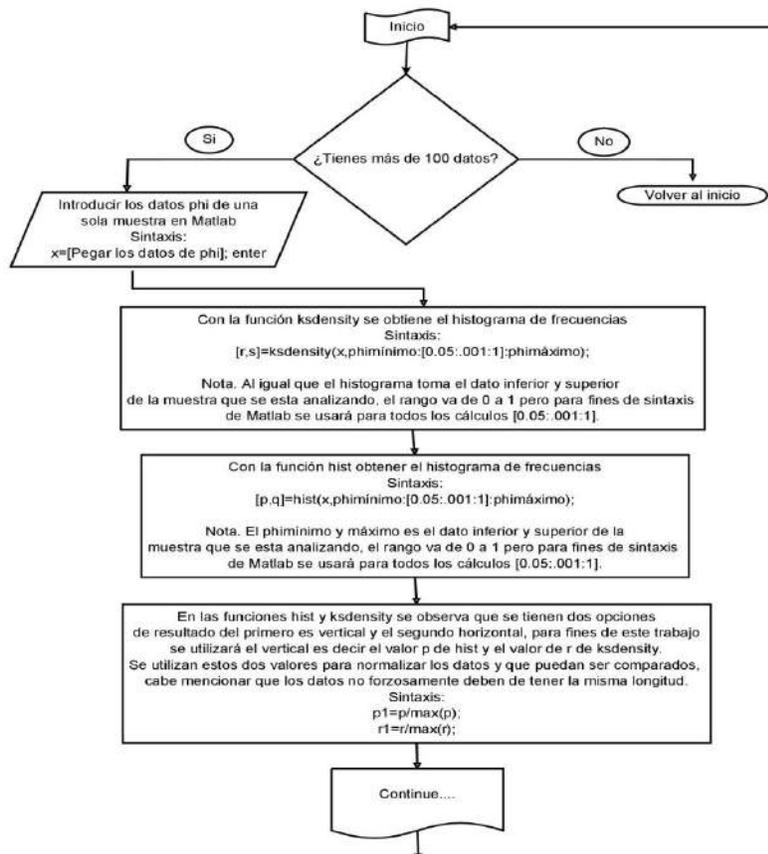


Figura 8. Primera parte del diagrama de flujo que muestra los cálculos del código de Matlab 9.0 propuesto en este trabajo.

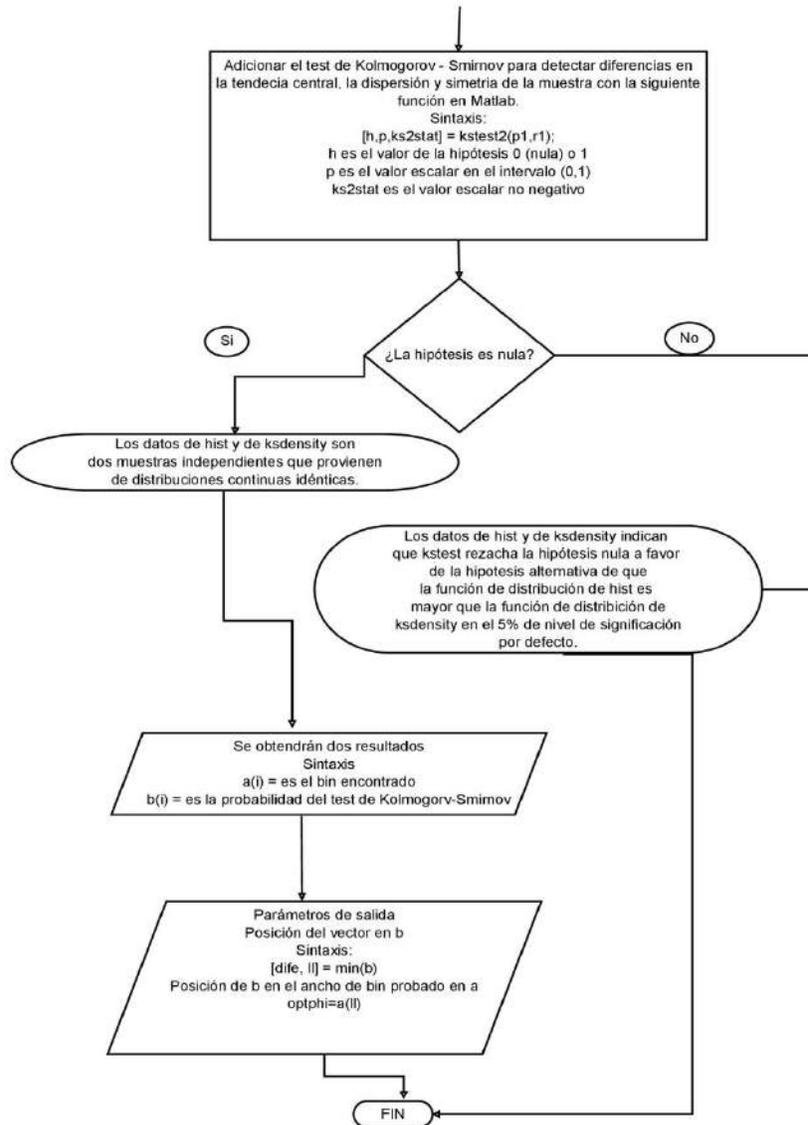


Figura 9. Segunda parte del diagrama de flujo que muestra los cálculos del código de Matlab 9.0 propuesto en este trabajo.

## 2.9 Granulometría total

Una vez obtenido estos datos se realiza la granulometría total en donde los diferentes métodos para la obtención de clasificación sedimentológico se junten. El método óptico para dimensiones grandes (análisis de Rosiwal), el método del tamizado y el método de las pipetas proporcionan datos volumétricos comparables (Sarocchi, 2006).

Una vez juntado los datos de los tres métodos se calcula la frecuencia relativa y la frecuencia acumulada.

Las distribuciones granulométricas totales fueron analizadas en el programa Decolog 5.1 (2014) elaborado por el Dr. Lorenzo Borselli y Dr. Damiano Sarocchi el cual decodifica la información en distribuciones hasta con tres curvas log normales. En el caso de la distribución granulométrica se aproxime con 3 curvas lognormales el programa debe optimizar 11 componentes, por esta razón es importante contar con un número suficiente de clases granulométricas ( $\geq 11$ ) (Sarocchi, 2006).

## 2.10 Metodología para la aplicación del programa TopRunDf y su aplicación en posibles zonas de peligro en un flujo de escombros.

Actualmente existen diferentes programas que han ayudado a modelar en diferentes lugares el peligro que sufren algunas zonas por flujos de escombros. Tal es el caso del programa TopRunDf que fue introducido en 2009 por Christian Scheidl y Dieter Rickenmann, el programa se desarrollo utilizando como ejemplo el estudio de compilar y clasificar datos de flujos de escombros de eventos en Austria, Suiza y Tirol Sur de Italia. El programa se aplica en base a la parte empírica o enfoques dinámicos para delinear posibles inundaciones por flujo de escombros con fines cartográficos de peligro. Este trabajo se baso en diferentes estudios que indicaba la relación empírica en situaciones similares representadas por los datos. En este sentido se propuso utilizar la topografía de una zona potencial de deposición y gran influencia de flujo de escombros. Introducen una relación entre la deposición planimétrica, la deposición de área del evento y su volumen, que son a su vez comparados con otros estudios. Las ecuaciones empíricas propuestas para este proceso son implementadas en sistemas de información geográfica (SIG) basados en la simulación combinados con un algoritmo el cuál determina el potencial recorrido del área de un depósito de flujo de escombros. Dado un volumen y a partir de un punto se utiliza la técnica Montecarlo para producir el caudal simulado y el efecto de un flujo de escombros. Entendiéndose que la técnica de Montecarlo es un método numérico para resolver problemas matemáticos mediante el muestreo aleatorio de variables aleatoria (Otamendi, 2006). El área simula bajo una posible dirección de propagación pendiente hacia abajo con el área de deposición planimétrica determinada empíricamente. El volumen de flujo de escombros se distribuye sobre la zona de acuerdo con la probabilidad calculada de salida de cada célula. Este programa además está adaptado para funcionar con modelos de elevación digital de alta resolución (Imágenes Lidar). En el 2014 se lanzó el programa TopRunDf 2.0 el cual solo tiene algunas opciones sobre la imagen. Para fines de este trabajo se utilizará este último para el cálculo del modelo.

Para realizar el modelo se necesitan los siguientes parámetros

- 1.- El volumen observado de evento de flujo de escombros para ser simulado en  $m^3$
- 2.- Coeficiente de movilidad que son parámetros dimensionales. Se utilizará la siguiente ecuación:

$$k_{Bobs} = B_{obs} V_{obs}^{-2/3} \quad (11)$$

Donde:

$B_{obs}$  es la deposición planimétrica observada en  $m^2$  y  $V_{obs}^{-2/3}$  es el volumen observado en  $m^3$  del flujo de escombros simulado.

Se eleva a  $-2/3$  debido a que se encontró una relación similar entre el área planimétrica y el volumen de eventos. Se aplica la proporcionalidad geométrica mediante la fijación de un exponente de al menos dos tercios (Scheild & Rickenmann, 2011).

3.- Punto de la simulación de inicio. Son las coordenadas que se toman del modelo digital del terreno y que debe tener la misma proyección. El usuario quizá tenga que realizar varias simulaciones para lograr resultados plausibles.

4.- Modelo digital del terreno o mejor conocido como DEM. Esta capa debe estar en formato ASCII y se puede adquirir desde un programa SIG. Para mejores resultados se puede utilizar imágenes Lidar con detalle de 2.5 a 2.5 m.

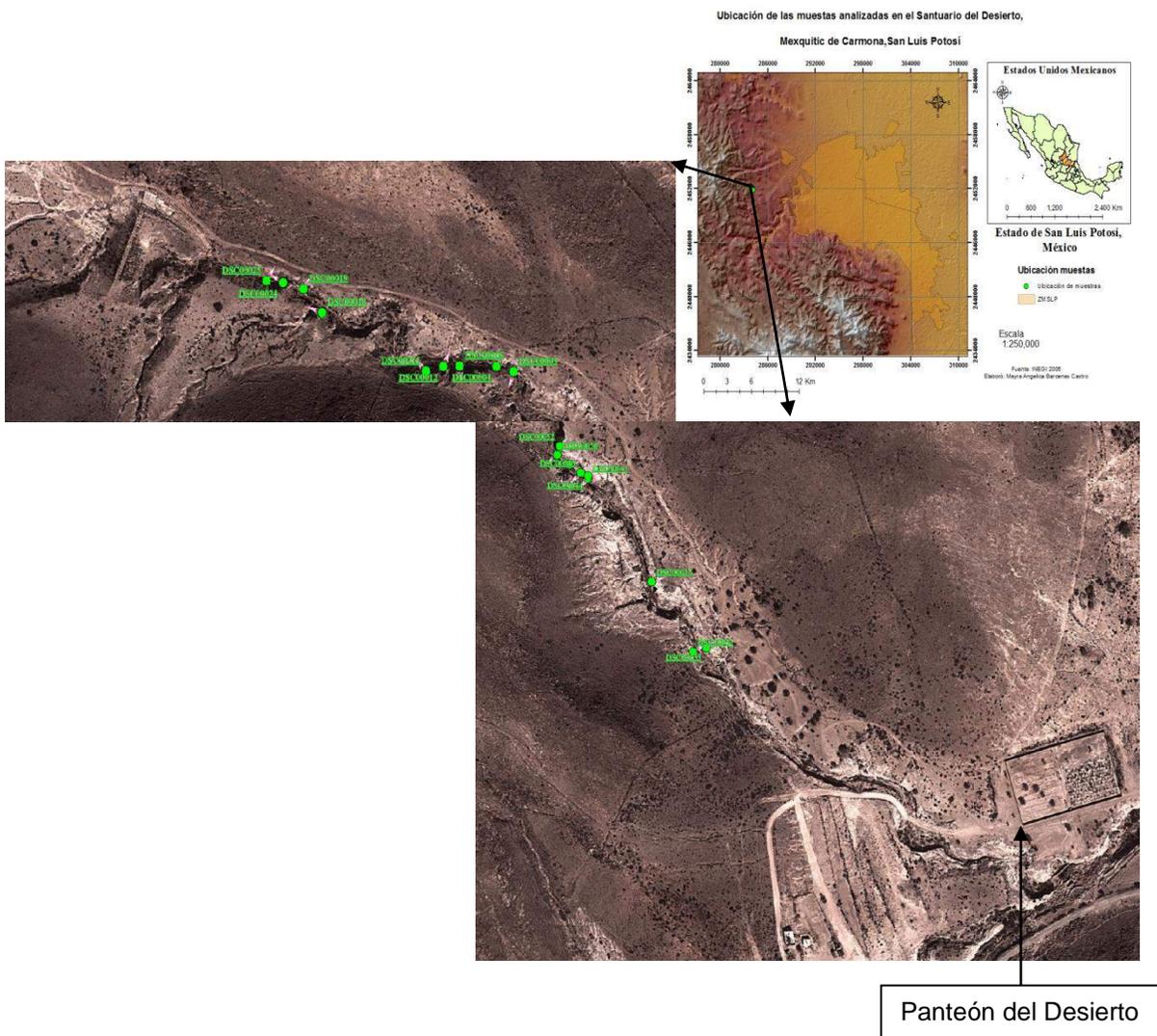
5.- Por último se definen los parámetros de entrada en el programa. Por default se establece 10,000 máximos caminos que puede tener un individuo, en este caso el recorrido del flujo. En la segunda fila se define el método Montecarlo con el número de iteraciones para simular la difusión del área de flujo. Scheild y Rickenmann encontraron un MCI optimizado en 50 basado en 14 simulaciones de flujos de escombros en Suiza. Los demás parámetros son los puntos anteriores.

# CAPÍTULO III

## Resultados

### 3.1 Ubicación de las muestras en arroyo del Santuario del Desierto

A continuación se muestra la ubicación de las 18 muestras a lo largo del cauce del arroyo del Santuario del Desierto, S.L.P.



Mapa 5. Ubicación de las 18 muestras obtenidas en el Santuario del Desierto, San Luis Potosí. Elaboración propia El arroyo tiene un longitud de aproximadamente 1 km. dentro del arroyo a partir de la primera muestra en el norte hacia la parte inicial del Panteón del Desierto (Ver la flecha negra que apunta el sitio del Panteón del Desierto).

## Ubicación de las muestras con respecto al perfil de elevación

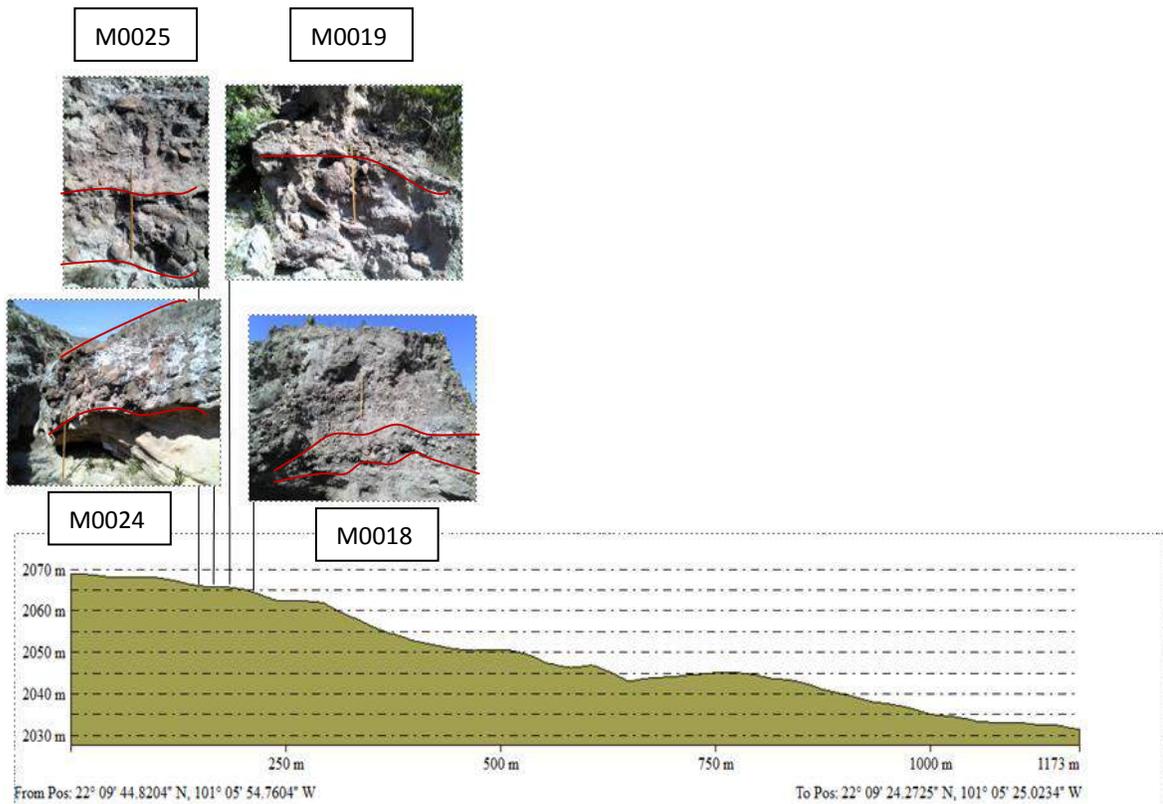


Figura 10. Perfil de elevación del área proximal del arroyo del Santuario del Desierto, S.L.P. El perfil de elevación se realizó con Global Mapper 15.

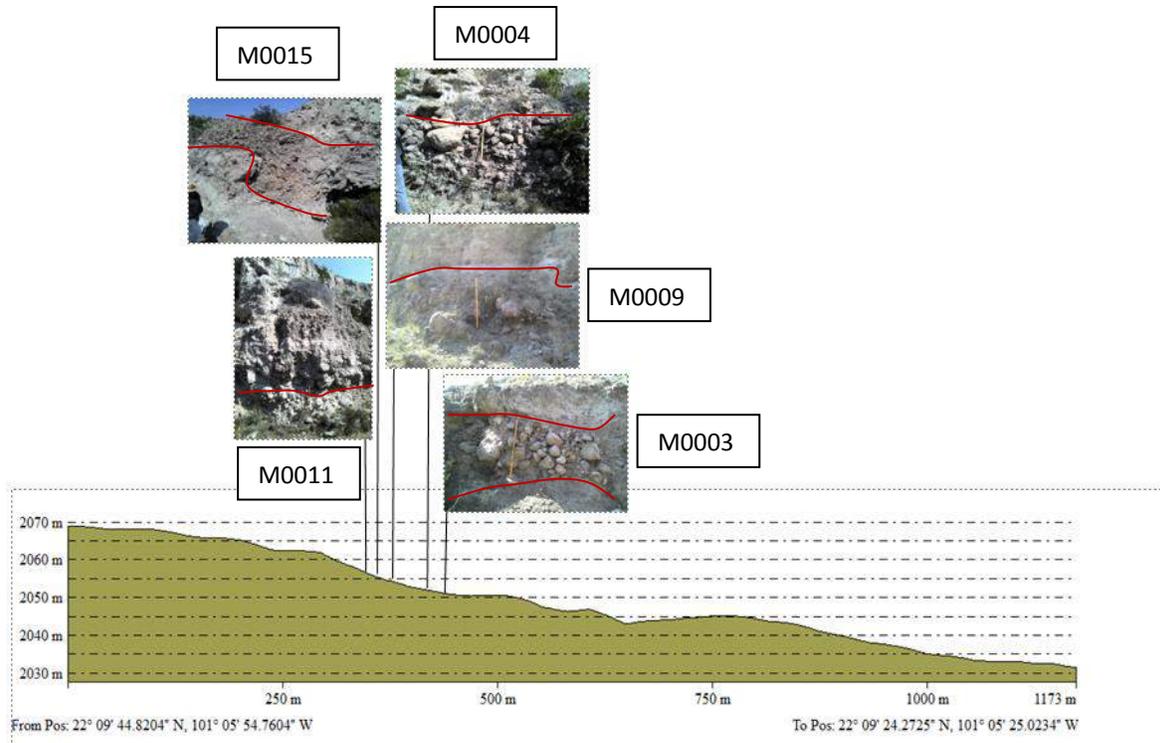


Figura 11. Perfil de elevación del área primera parte central arroyo del Santuario del Desierto, S.L.P. El perfil de elevación se realizó con Global Mapper 15.

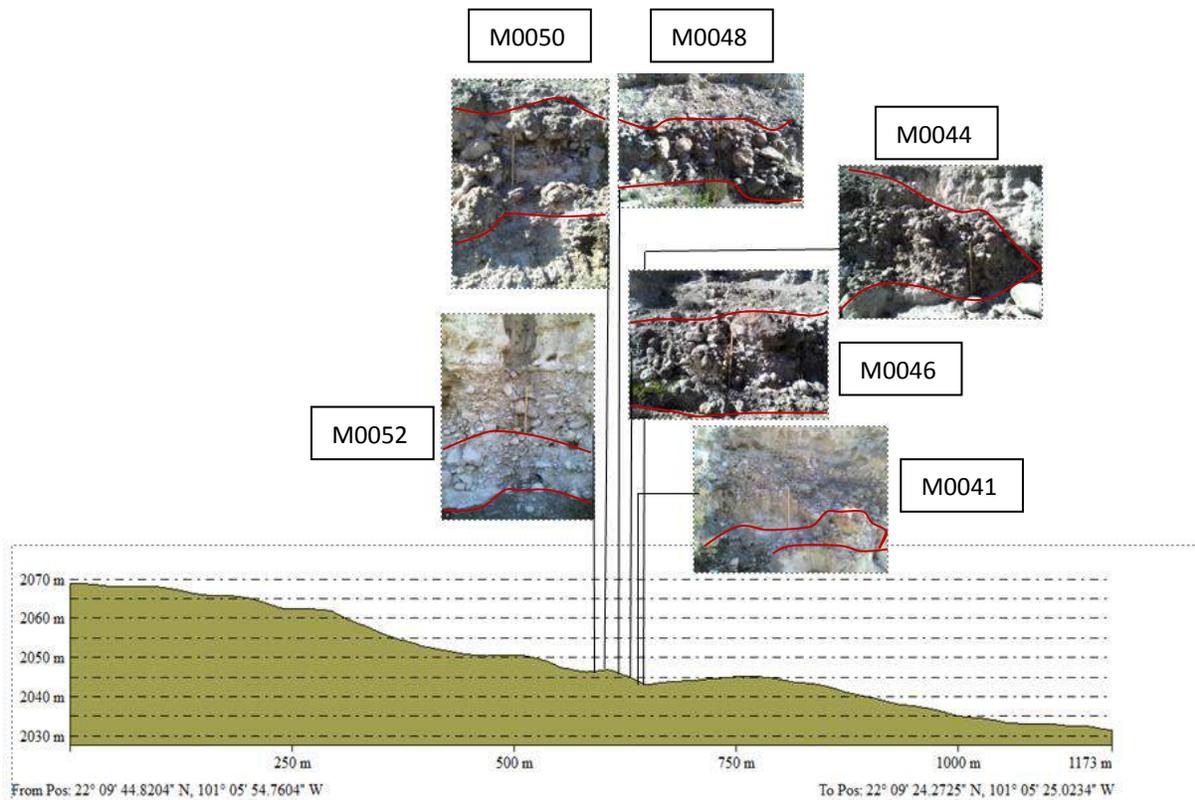


Figura 12. Perfil de elevación del área segunda parte central arroyo del Santuario del Desierto, S.L.P. El perfil de elevación se realizó con Global Mapper 15.

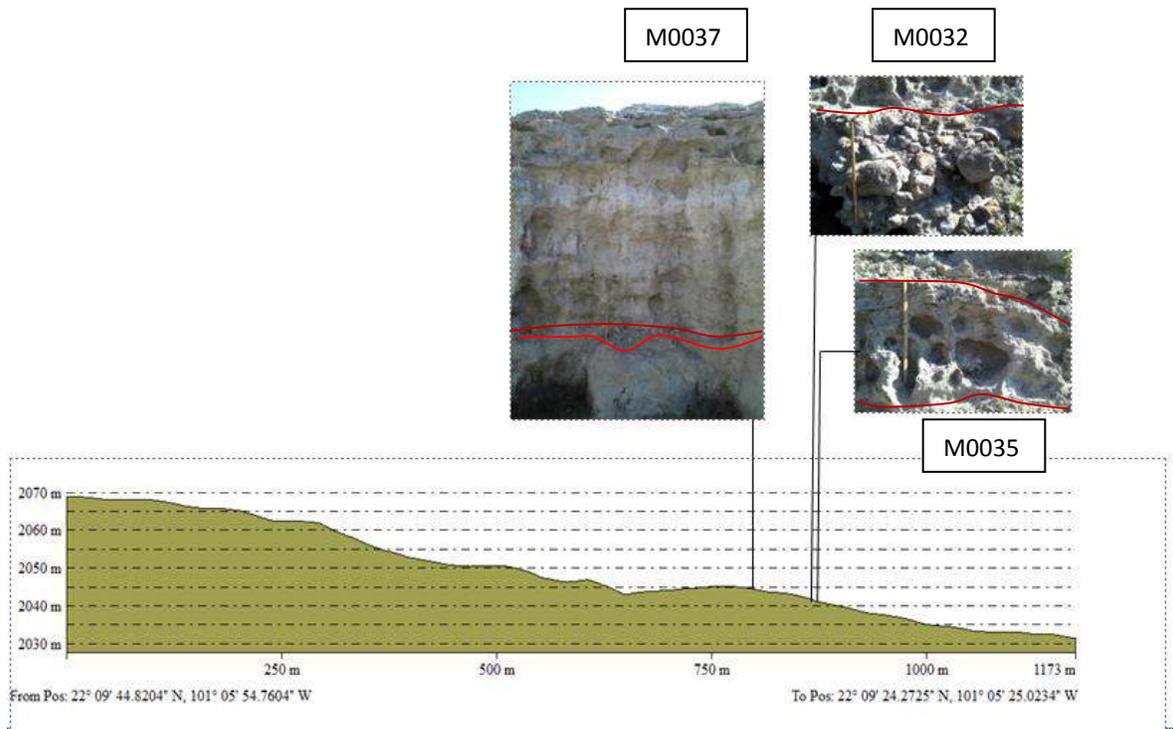


Figura 13. Perfil de elevación del área distal arroyo del Santuario del Desierto, S.L.P. El perfil de elevación se realizó con Global Mapper 15.

### 3.2 Resultado de las medidas de Intersección del Análisis de Rosiwal

En la siguiente tabla se muestra el resultado que obtuvieron las 18 muestras realizando las medidas de intersección de Rosiwal.

Número de Muestra	Total medidas de intersecciones de Rosiwal
M0003	281
M0004	180
M0009	303
M0011	614
M0015	309
M0018	261
M0019	440
M0024	326
M0025	259
M0032	258
M0035	267
M0037	205
M0041	277
M0044	449
M0046	281
M0047	303
M0050	354
M0052	441

Tabla 2.- Número de medidas obtenidas por muestra en mm. del Santuario de Desierto, San Luis Potosí. Elaboración propia.

Se observa en la tabla 2 que las medidas obtenidas fueron de 205 a 614 datos.

Para comenzar a analizar estos datos se realizó el histograma de frecuencias que se tomara como ejemplo la muestra M0003 que pertenece a la primera parte central del arroyo que se está estudiando, el software utilizado para comenzar fue Matlab 2009 con las siguientes instrucciones:

$x = [\text{Pegar los datos de phi}];$  Enter

$[p, q] = \text{hist}(x, [-10: 1: 0]);$  Enter

$p'$  Enter

$q'$  Enter

Nota: en donde está 1, se puede sustituir por 0.75, 0.5 y 0.25 para obtener el histograma de frecuencias, además hay que tomar en cuenta que los límites del rango del dato para este trabajo no fueron igual para todas las muestras. Por ejemplo una base de datos que van de -2.05678 a -8.67894 el rango de datos será de -9 a -2.

$p'$  devuelve los datos de frecuencia absoluta es decir la suma de mis datos reales.

$q'$  devuelve la longitud de ancho de bin del histograma.

Estos últimos dos se copian directamente y se pegan a una hoja de Excel para calcular la frecuencia relativa en forma decimal y frecuencia acumulada como a continuación se muestra en el siguiente ejemplo:

**M0003**

Ancho de Banda	Frecuencia Absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia Acumulada
-9	0	0	0
-8.476	1	0.00355872	0.00355872
-7.952	7	0.02491103	0.02846975
-7.428	10	0.03558719	0.06405694
-6.904	12	0.04270463	0.10676157
-6.38	22	0.07829181	0.18505338
-5.856	29	0.10320285	0.28825623
-5.332	43	0.15302491	0.44128114
-4.808	53	0.1886121	0.62989324
-4.284	45	0.16014235	0.79003559
-3.76	32	0.113879	0.90391459
-3.236	18	0.06405694	0.96797153
-2.712	6	0.02135231	0.98932384
-2.188	3	0.01067616	1
	<b>281</b>	<b>1</b>	<b>2</b>

Tabla 3. Resultados de la muestra M0003 perteneciente al arroyo del Santuario del Desierto.

Una vez obtenido estos datos se copia (Ancho de bin, frecuencia relativa y frecuencia acumulada) y se pegan a un lado de los datos originales pero como datos de valores para volverlos a copiar y pegarlos en *Bloc de Notas* el cual se va a guardar con extensión **.dat**

### 3.3 Pruebas y análisis de distribución de datos utilizando DECOLOG 5.1 (2014)

Abrimos el DECOLOG 5.1, (2014) desarrollado por Borselli y Sarocchi (2014).



Figura 14.- Pantalla de Decolog 5.1 (2014) para realizar el cálculo de función de distribución de probabilidad.

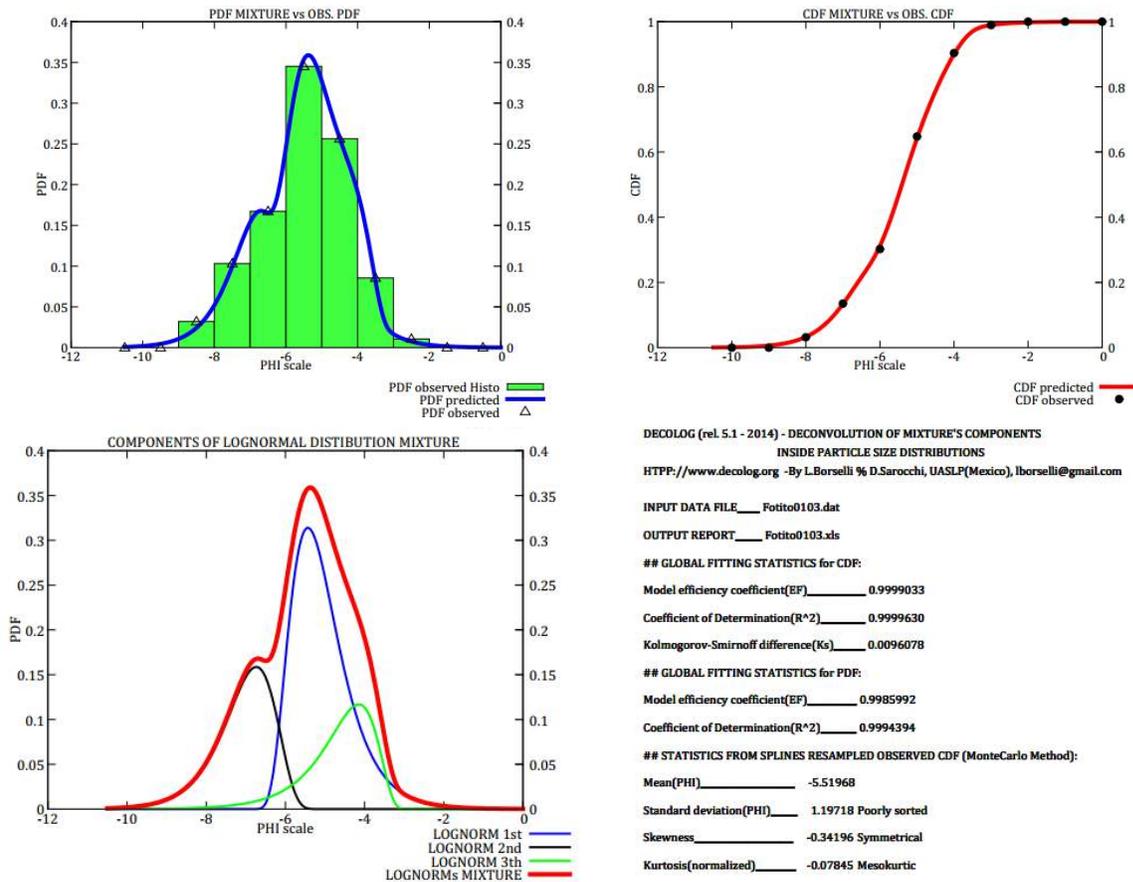
El archivo nuevo que se ha creado en Bloc de Notas con extensión .dat es el que se abre en Decolog 5.1 (2014). Para el caso de este trabajo se utilizará la selección de distribución Log-Normal.

El rango de los extremos de los datos que se utilizó para realizar el cálculo de la muestra M0003 en el programa Decolog 5.1 (2014) fueron de -2 con -8.5.

Algunos autores utilizan el ancho de bin  $1\ \phi$  como por ejemplo Polanco et. al. (2006) para analizar datos de depósito de avalancha de escombros en el volcán Parinacota, Guevara et. al. (1998) para analizar sedimentos de la laguna de Boca de Palo, Isla de Margarita Venezuela y  $\frac{1}{2}$  de  $\phi$  como Giró y Maldonado (1985) para el análisis granulométrico empleada en la Unidad de Geología Marina del Instituto de Ciencias del Mar y Vericat et.al. (2006) para la características granulométricas del lecho del tramo bajo del río Ebro en el periodo 2002-2004.

Estas son los anchos de bin más usados para el cálculo de la granulometría, sin embargo se puede observar que los estudios se han realizado en diferentes tiempos, edades y sobre todo las características de cada área son diferentes.

En el siguiente ejemplo se muestra utilizando ancho de bin 1 en el resultado de la granulometría obtenida por el análisis de Rosiwal para la muestra M0003.



Grafica 3. Muestra M0003 a 1 ancho de banda con los datos que se encuentran en un rango de 0 a -10. Elaboración propia.

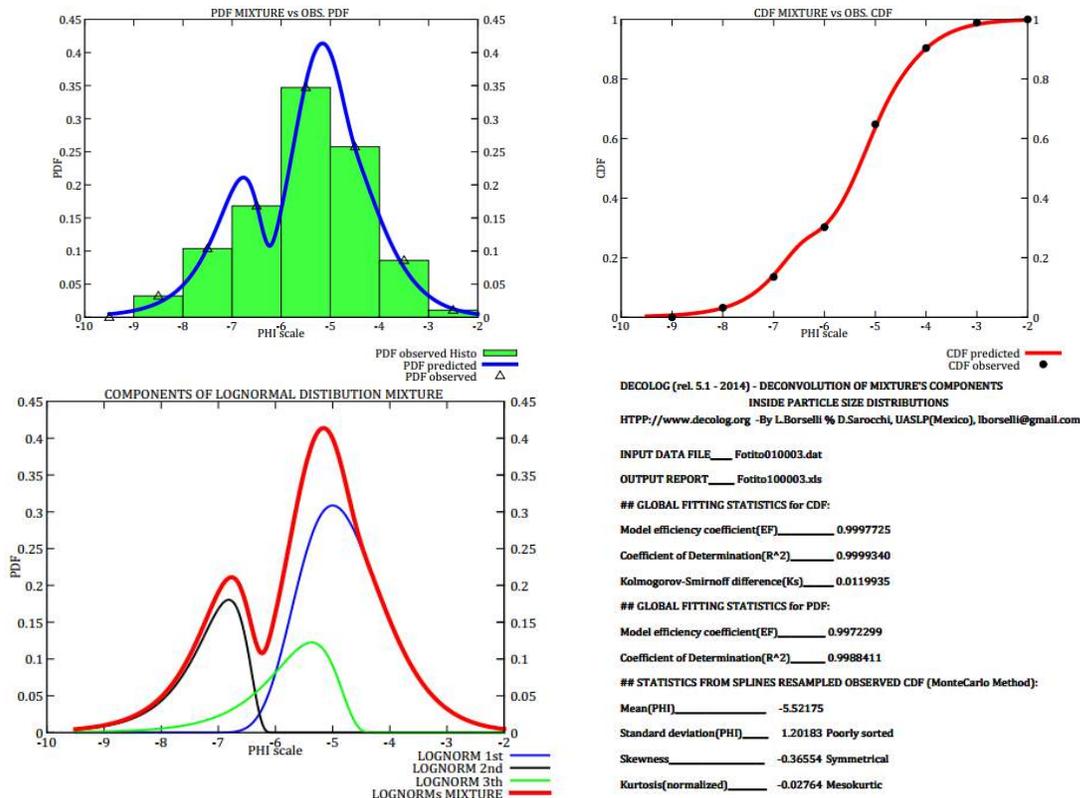
En la grafica 4 se observa que la diferencia de Kolmogorov-Srminoff es de 0.0096078 es una diferencia pequeña, se realizo a los anchos de bin 0.75, 0.50 y 0.25 para observar la diferencia observada.

Ancho de banda	Diferencia Kolmogorov- Smirnov
1	0.0096078
0.75	0.0214376
0.50	0.0290390
0.25	0.0649403

Tabla 4. Resultados para la M0003 de la diferencia de Kolmogorov-Smirnov.

Se puede observar que la curva log normal se ajusta de buena manera debido que a los lados se le adicionaron phi. Estos phi no corresponden a los resultados obtenidos en el Análisis de Rosin, sin embargo se adicionaron para modelar, ¿qué pasaría si solo limitamos a realizar el cálculo con los phi que se obtuvieron?

Para M0003 el rango es de -2 con -8.5, si realizamos el mismo tratamiento que el anterior comenzando con 1 ancho de banda, el resultado es el siguiente:



Gráfica 4. Muestra M0003 a 1 ancho de bin con los datos que se encuentran en un rango de -2 a -8.5. Elaboración propia

Se puede observar que el error aumento considerablemente hasta un 80% pues la diferencia de Kolmogov-Smirnov es de 0.0119935, algo similar sucede si le realizamos calculo de ancho de banda a 0.75, 0.5 y 0.25.

La elaboración de una distribución de frecuencias depende de tres pasos esenciales:

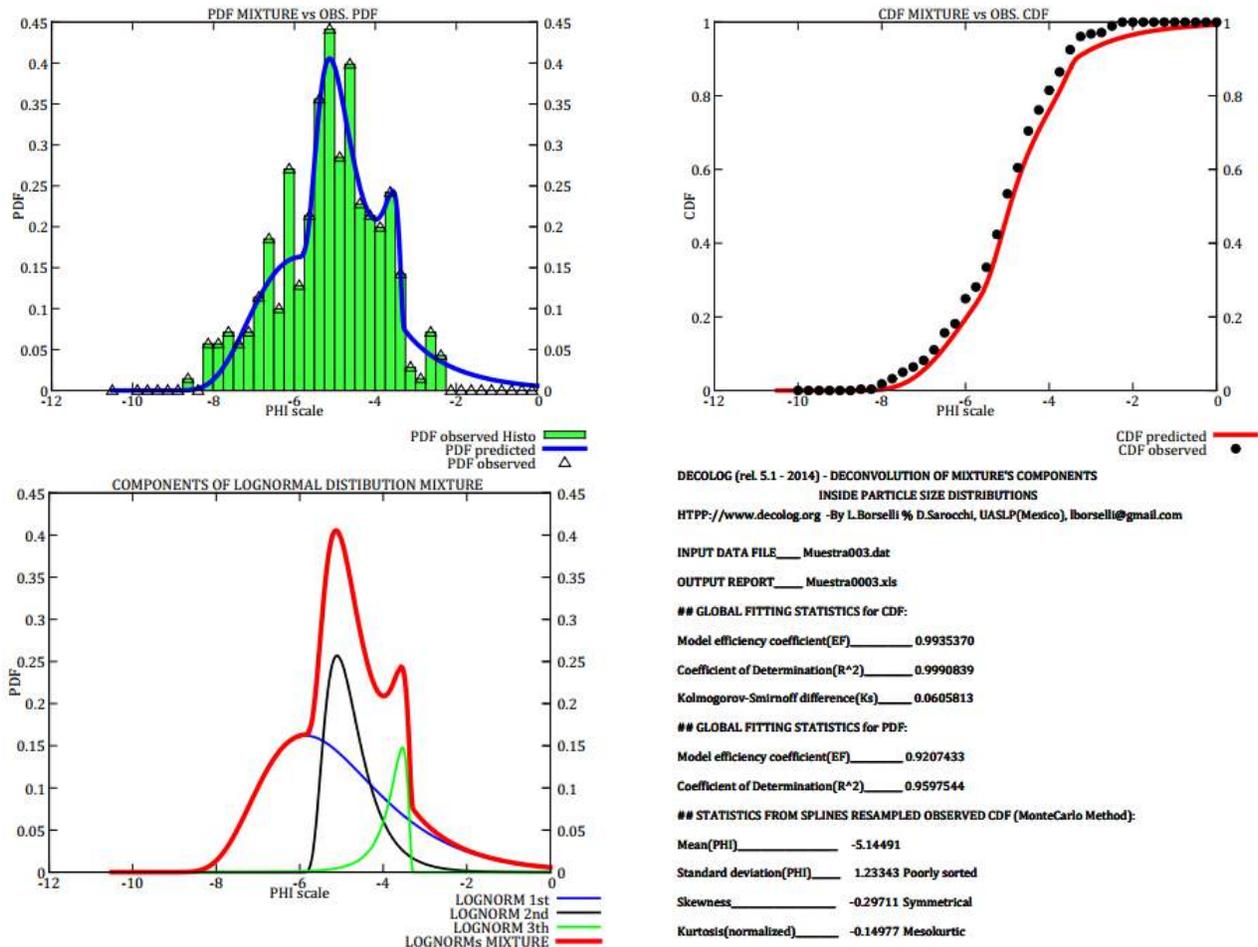
- 1.- La selección de las clases (intervalos o categorías).
- 2.- La selección o clasificación de los datos en estas clases.
- 3.- El conteo del número de factores en cada clase.

Dado que el segundo y tercer paso son meramente mecánicos en este caso debemos concentrarnos en saber cuál es la selección para una clasificación ideal. Es importante decidir el número de clases que se usarán y de qué clase a que clase se debe de ir.

Por ejemplo si tenemos un determinado número de datos y agrupáramos estos datos en pocas clases perderíamos información, lo mismo ocurre que si las agrupamos en muchas clases quedarían la mayor parte vacía y descartaríamos mucha información (Freund et.al.,1994).

### 3.4 Análisis de prueba de la distribución de suavización Kernel en DECOLOG 5.1 (2014)

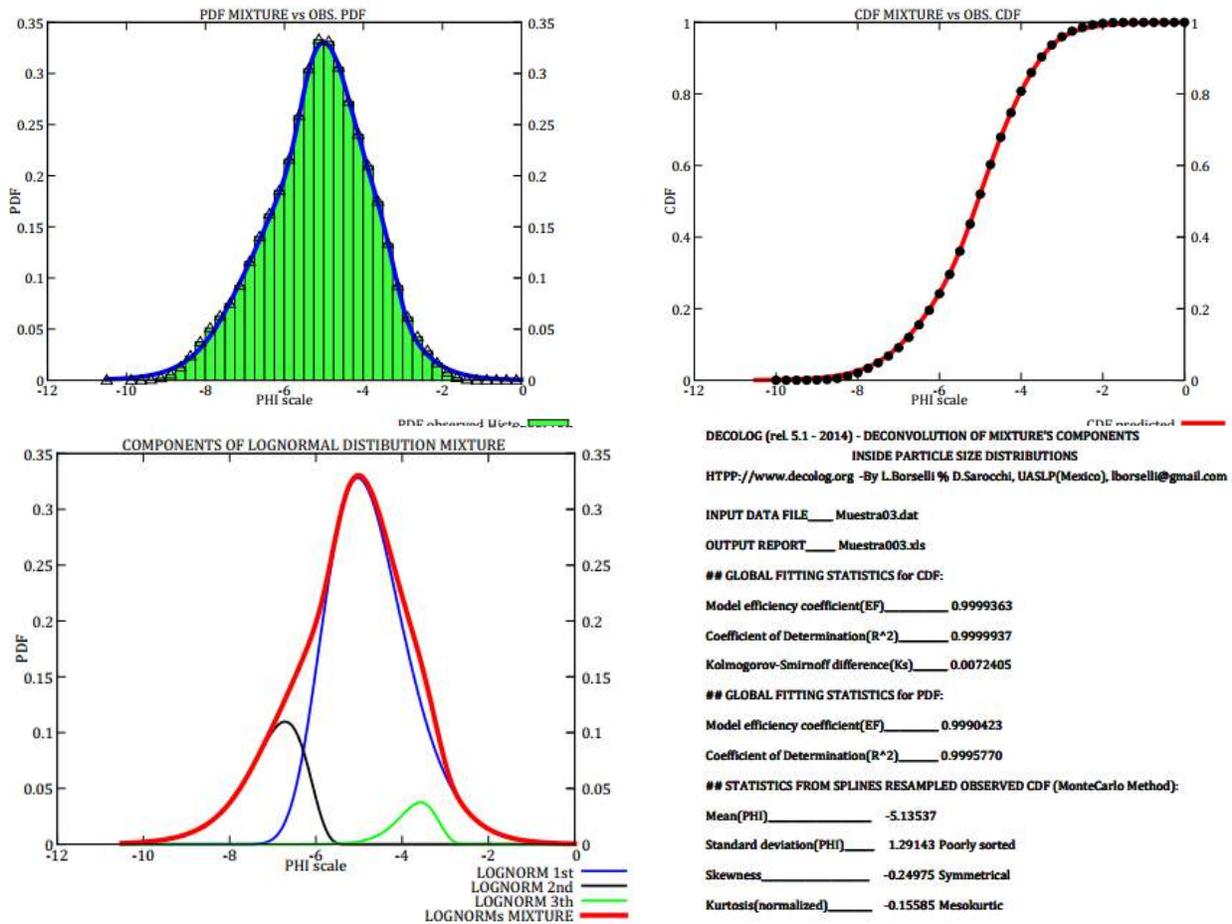
Dado un histograma de frecuencias seguiremos con el ejemplo M0003 con un ancho de bin de 0.25 obtenemos el siguiente resultado:



Gráfica 5. Muestra M0003 a 0.25 ancho de bin con los datos que se encuentran en un rango de 0 a -10. Elaboración propia

Aunque se le adicionaron phi la diferencia Kolmogorov-Smirnoff es de 0.0605813 este ejemplo comprueba lo que Freud et. al. (1994) reitera acerca de tener muchas clases.

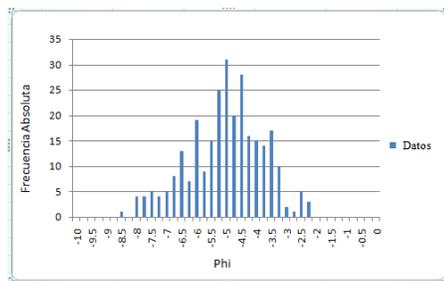
Aplicando la distribución de suavización de densidad de Kernel se obtiene lo siguiente:



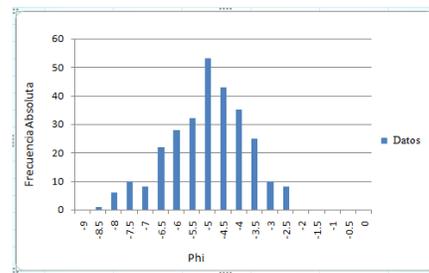
Gráfica 6. Muestra M0003 a 0.25 ancho de banda con Densidad de suavización Kernel, los datos que se encuentran en un rango de 0 a -10. Elaboración propia

Se observa que la diferencia de Kolmogov-Smirnoff es de 0.0072405, sin embargo se perdieron los picos, esto es la pérdida de información.

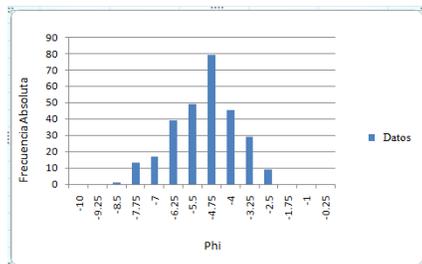
Después de varias pruebas con diferentes anchos de bin se encontró que la mejor manera de analizar los datos y su interpretación es encontrar el equilibrio entre la precisión y manejo de datos (Garriga et. al. 2010). Es decir encontrar en qué punto los datos se comportan en equilibrio logrando una distribución uniforme en el sentido de la distribución más estudiada que es la gaussiana, esta distribución en forma de campana puede ser inclinada de forma positiva o negativa, todo va a depender que tipo de distribución tomaron los datos. A continuación se muestra el ejemplo de la muestra M0003 con anchos de banda a 0.75, 0.50, 0.25 y 1 y ancho de bin óptimo propuesto en este trabajo para hacer una comparativa del tipo de análisis e interpretación que se le puede realizar.



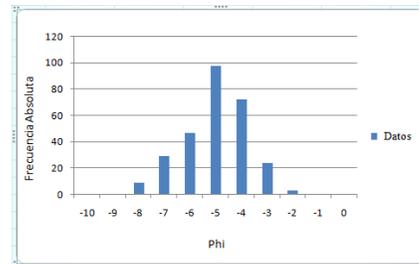
1



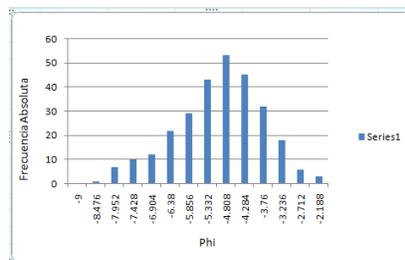
2



3



4



5

Gráfica 7. El histograma de frecuencias primero corresponde al ancho de bin 0.25, la segunda a 0.50 la tercera a 0.75, la cuarta a 1 y la quinta se calculó un ancho de bin óptimo de 0.5240.

Se puede observar que los diferentes anchos de bin la distribución de los datos es diferente y la simetría también con respecto de la medida central. Los histogramas de frecuencia 2 y 5 tienen el mismo número de bin, sin embargo para el histograma de frecuencias 5 el ancho de bin varía solo por 0.0240, aunque la cantidad es muy pequeña la distribución cambia considerablemente, pues se puede observar que los bins del lado izquierdo del histograma de frecuencias 2 se aprecian inconsistentes en el sentido que los datos en esa parte no son significativos, sin embargo el ancho de bin óptimo propuesto se observa la importancia que tiene esta información para nuestro análisis, además la simetría del histograma de frecuencia se ve mejor definida, para esta muestra es negativa. Cabe mencionar que no se realizó ningún tratamiento adicional a los datos, solo se ha calculado el ancho de bin óptimo para 281 datos.

### 3.5 Código de Matlab 9.0 para calcular el ancho de bin óptimo propuesto.

A continuación se muestra el código de programa con el que se calcula el ancho de bin óptimo:

```
function [a,b,optphi,dife]=ancho_bin_optimo(x,phimin,phimax,steps)
%%% variables de entrada
%%% x--datos en phi  %% phimin-- phi inferior
%% phimax-- phi superior  %% step-- vector con anchos de bin
%%%%%%%%%%%%%% Ejemplo %%%%%%%%%%%%%%%
[a,b,optphi,dife]=anchodebin(x,-10,0,[0.05:.001:1]);

for i=1:length(steps)
[histx,pt]=hist(x,phimin:steps(i):phimax); %Histograma
[histk,r]=ksdensity(x,phimin:steps(i):phimax); %ksdensity
histx=histx/max(histx); % normalización
histk=histk/max(histk);% normalización
[h,p,ks2stat] = kstest2(histx,histk);
a(i)=steps(i);
b(i)=ks2stat;
% title(['error max.=' ,num2str(ks2stat), ' hipotesis=' ,num2str(h)] )
% pause
% close
end
%encontrando el ancho óptimo
[dife,ll]=min(b);
optphi=a(ll);
%% óptimo
[histk,r]=ksdensity(x,phimin:optphi:phimax);%ksdensity
histk=histk/max(histk);%normalización
[histx,pt]=hist(x,phimin:optphi:phimax); %Histograma
histx=histx/max(histx); %normalización
%% graficas
bar(pt,histx) %grafica del histograma
hold on
plot(pt,histk)%grafica del kernel
```

### 3.6 Resultados del cálculo propuesto del ancho de bin óptimo

Con este programa a cada muestra se obtuvo el ancho de bin óptimo obteniendo los siguientes resultados:

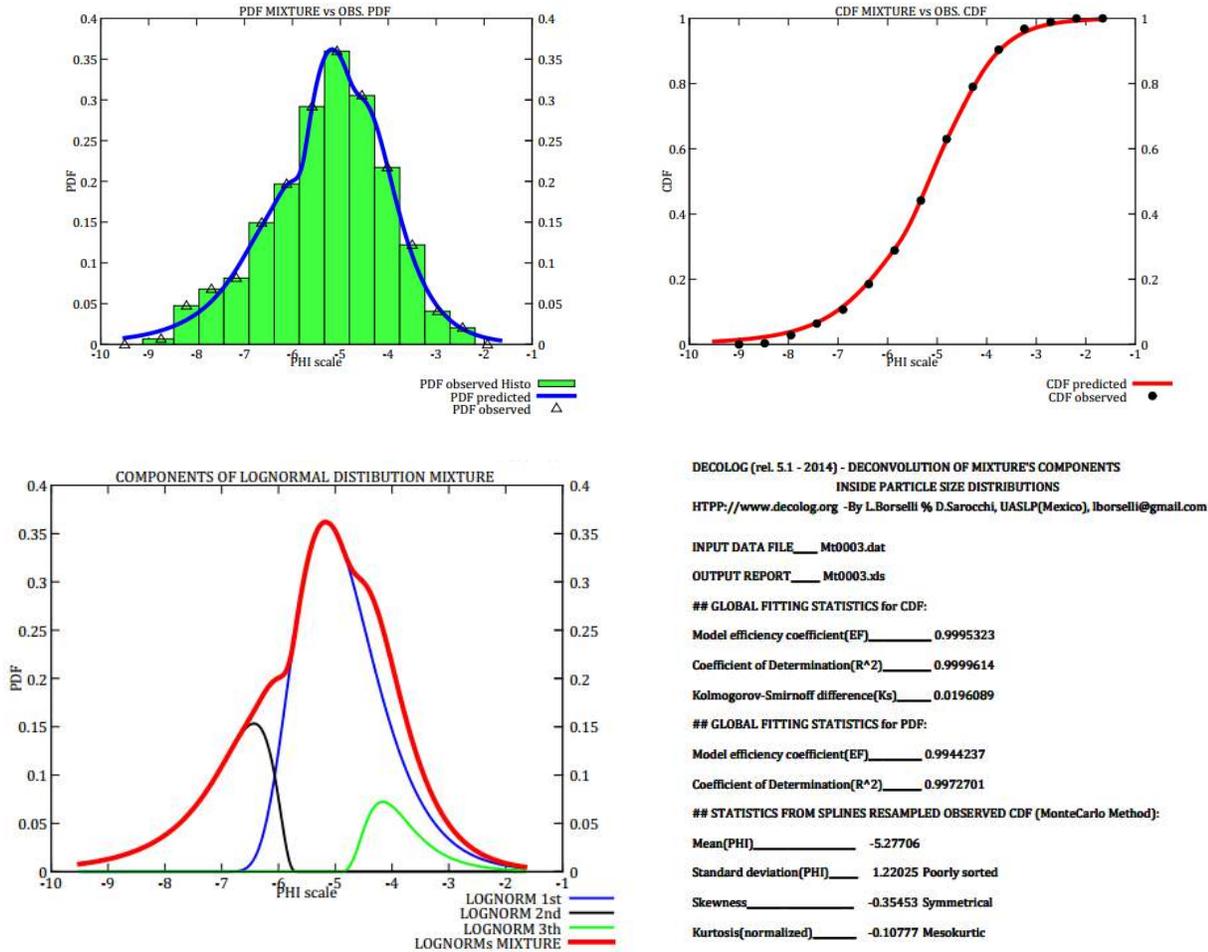
Numero de Muestra	$[a,b,optphi,dife]=\text{ancho\_bin\_optimo}(x,phimin,phimax,steps)$	Ancho de bin óptimo	Resultado Test de Kolmogórov-Smirnov
M0003	$\text{ancho\_bin\_optimo}(x,-9,-2,[0.05:.001:1])$	0.5240	0.0714
M0004	$\text{ancho\_bin\_optimo}(x,-10,-3,[0.05:.001:1])$	0.3360	0.0952
M0009	$\text{ancho\_bin\_optimo}(x,-9,0,[0.05:.001:1])$	0.6870	0.0769
M0011	$\text{ancho\_bin\_optimo}(x,-9.5,-2,[0.05:.001:1])$	0.5160	0.0667
M0015	$\text{ancho\_bin\_optimo}(x,-9,-3,[0.05:.001:1])$	0.4780	0.0667
M0018	$\text{ancho\_bin\_optimo}(x,-10,-2,[0.05:.001:1])$	0.7210	0.1000
M0019	$\text{ancho\_bin\_optimo}(x,-9,-2,[0.05:.001:1])$	0.5710	0.0769
M0024	$\text{ancho\_bin\_optimo}(x,-9,-2.5,[0.05:.001:1])$	0.4630	0.0667
M0025	$\text{ancho\_bin\_optimo}(x,-9,-2.5,[0.05:.001:1])$	0.4710	0.0714
M0032	$\text{ancho\_bin\_optimo}(x,-9.5,-1.5,[0.05:.001:1])$	0.7720	0.0909
M0035	$\text{ancho\_bin\_optimo}(x,-8.5,-1,[0.05:.001:1])$	0.6260	0.0833
M0037	$\text{ancho\_bin\_optimo}(x,-11,-2,[0.05:.001:1])$	0.6250	0.0833
M0041	$\text{ancho\_bin\_optimo}(x,-9.5,-3,[0.05:.001:1])$	0.6070	0.0909
M0044	$\text{ancho\_bin\_optimo}(x,-10,-0,[0.05:.001:1])$	0.8250	0.0769
M0046	$\text{ancho\_bin\_optimo}(x,-10,-2,[0.05:.001:1])$	0.8080	0.1000
M0047	$\text{ancho\_bin\_optimo}(x,-9.5,-3,[0.05:.001:1])$	0.5500	0.0833
M0050	$\text{ancho\_bin\_optimo}(x,-9,-2,[0.05:.001:1])$	0.6000	0.0833
M0052	$\text{ancho\_bin\_optimo}(x,-9,-1.5,[0.05:.001:1])$	0.0909	0.0787

Tabla 5. Resultados de óptimo de ancho de bin y Test de Kolmogorov-Smirnov  
Elaboración propia.

Con este ancho de bin óptimo se calcula de nuevo el histograma de frecuencia y la distribución de densidad de suavización Kernel, y posteriormente con la frecuencia relativa y acumulada del histograma y la densidad de suavización se introduce a Decolog 5.1 (2014).

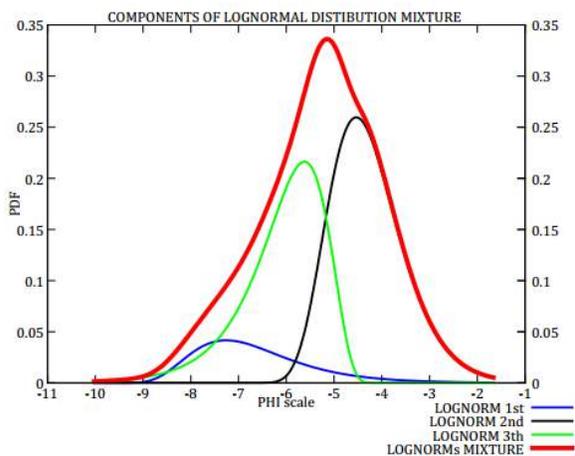
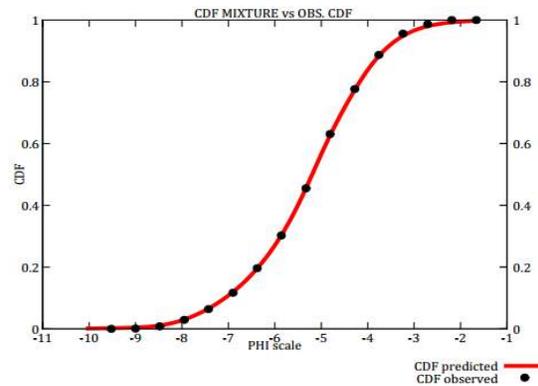
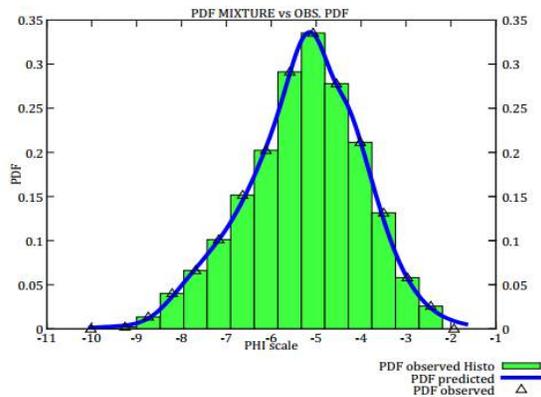
### 3.7 Resultados del cálculo del ancho de bin óptimo en DECOLOG 5.1 (2014)

A continuación se muestra el resultado del ejemplo de la muestra M0003.



Gráfica 8. Muestra M0003 a 0.5240 ancho de bin sin Densidad de suavización Kernel, los datos que se encuentran en un rango de -9 a -1.664. Elaboración propia.

¿Qué sucede si le aplico al ancho de bin óptimo 0.5240 a la distribución densidad de suavización de kernel?



DECOLOG (rel. 5.1 - 2014) - DECONVOLUTION OF MIXTURE'S COMPONENTS  
INSIDE PARTICLE SIZE DISTRIBUTIONS  
HTTP://www.decolog.org -By L.Borselli % D.Sarocchi, UASLP(Mexico), lborselli@gmail.com

INPUT DATA FILE \_\_\_ Mtk0003.dat  
OUTPUT REPORT \_\_\_ Mtk0003.xls

## GLOBAL FITTING STATISTICS for CDF:  
Model efficiency coefficient(EF) \_\_\_ 0.9999068  
Coefficient of Determination(R^2) \_\_\_ 0.9999944  
Kolmogorov-Smirnoff difference(Ks) \_\_\_ 0.0074954

## GLOBAL FITTING STATISTICS for PDF:  
Model efficiency coefficient(EF) \_\_\_ 0.9987464  
Coefficient of Determination(R^2) \_\_\_ 0.9994041

## STATISTICS FROM SPLINES RESAMPLED OBSERVED CDF (MonteCarlo Method):  
Mean(PHI) \_\_\_ -5.28270  
Standard deviation(PHI) \_\_\_ 1.27538 Poorly sorted  
Skewness \_\_\_ -0.28860 Symmetrical  
Kurtosis(normalized) \_\_\_ -0.17718 Mesokurtic

Gráfica 9. Muestra M0003 a 0.5240 ancho de bin con Densidad de suavización Kernel, los datos que se encuentran en un rango de -9 a -1.664. Elaboración propia.

Se puede observar que la comparación del histograma de frecuencias con respecto del histograma de densidad de suavización Kernel la diferencia del test de Kolmogorov-Smirnov es de 0.0196089 versus 0.0074954. Además se forma una distribución continua sin perder la estructura de nuestros datos.

Se realizó a las 17 muestra restantes el mismo procedimiento y se obtuvieron los siguientes resultados:

Muestra	Número de datos	Test de Kolmogórov-Smirnov del histograma con ancho de bin óptimo	Test de Kolmogórov-Smirnov del histograma de densidad de Kernel con ancho de bin óptimo
M0003	281	0.0196089	0.0074954
M0004	180	0.0508785	0.0131471
M0009	303	0.0267919	0.0111684
M0011	614	0.0114390	0.0022671
M0015	309	0.0070604	0.0027111
M0018	261	0.0584591	0.0064221
M0019	440	0.0179237	0.0061904
M0024	326	0.0231141	0.0078664
M0025	259	0.0354217	0.0099706
M0032	258	0.0105814	0.0143452
M0035	267	0.0078935	0.0053063
M0037	205	0.0144139	0.0022295
M0041	277	0.0147551	0.0108268
M0044	449	0.0161349	0.0021035
M0046	281	0.0095966	0.0150991
M0047	303	0.0136268	0.0129752
M0050	354	0.0139128	0.0038347
M0052	441	0.0143547	0.0071734

Tabla 6. Resultado de diferencias de Test de Kolmogorov-Smirnov con datos reales y con datos procesados con densidad de suavización Kernel. Elaboración propia.

Se puede observar en la Tabla 5 que la muestra M0032 tuvo mejor resultado que realizando la densidad de suavización Kernel. Las demás muestras tuvieron sin embargo mejor resultado en cuanto a la diferencia del Test de Kolmogorov-Smirnov.

A continuación se muestra los resultados gráficos a lo ancho de arroyo del desierto en el área de estudio.

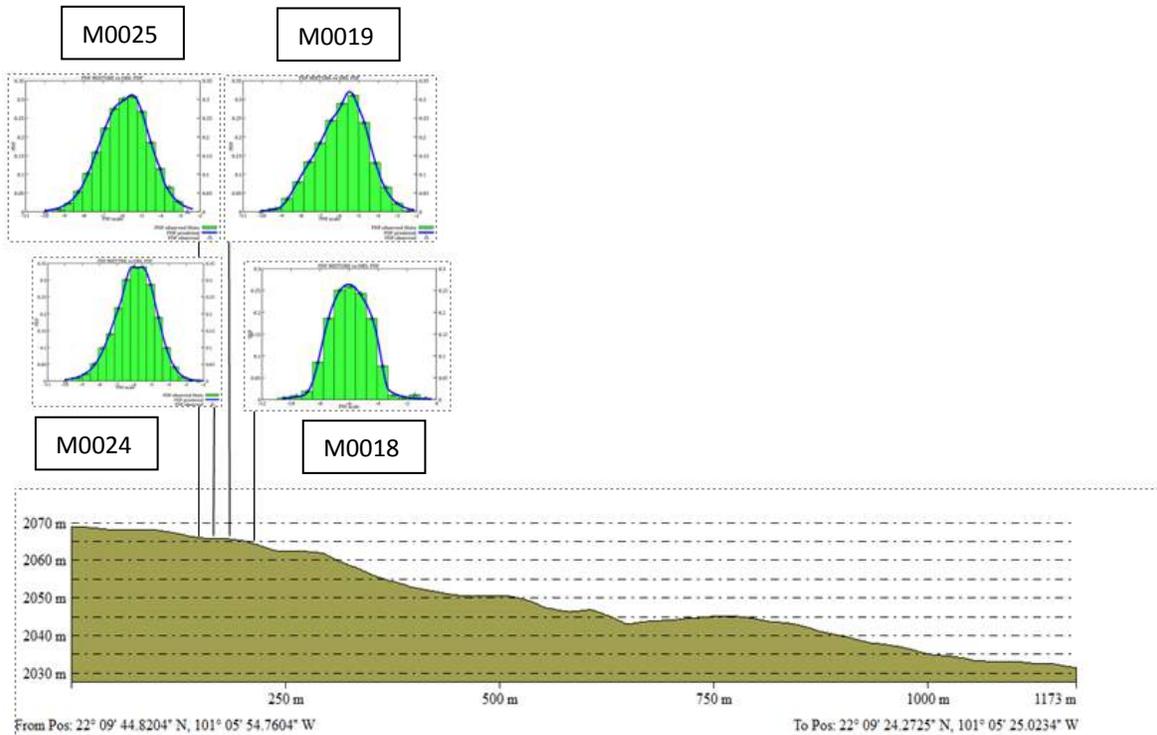


Figura 15. Perfil de elevación del área proximal del arroyo del Santuario del Desierto, S.L.P. con los resultados obtenidos con el óptimo de bin propuesto.

<p><b>## STATISTICS FROM SPLINES RESAMPLED OBSERVED CDF (MonteCarlo Method):</b></p> <p>Mean(PHI)_____ -5.87395</p> <p>Standard deviation(PHI)___ 1.21190 Poorly sorted</p> <p>Skewness_____ -0.09235 Symmetrical</p> <p>Kurtosis_____ -0.39743 Mesokurtic</p> <p style="text-align: center;"><b>M0025</b></p>	<p><b>## STATISTICS FROM SPLINES RESAMPLED OBSERVED CDF (MonteCarlo Method):</b></p> <p>Mean(PHI)_____ -5.85643</p> <p>Standard deviation(PHI)___ 1.27058 Poorly sorted</p> <p>Skewness_____ -0.17668 Symmetrical</p> <p>Kurtosis(normalized)_____ 0.934 Mesokurtic</p> <p style="text-align: center;"><b>M0019</b></p>
<p><b>## STATISTICS FROM SPLINES RESAMPLED OBSERVED CDF (MonteCarlo Method):</b></p> <p>Mean(PHI)_____ -5.95293</p> <p>Standard deviation(PHI)___ 1.12325 Poorly sorted</p> <p>Skewness_____ -0.21847 Symmetrical</p> <p>Kurtosis(normalized)_____ -0.16128 Mesokurtic</p> <p style="text-align: center;"><b>M0024</b></p>	<p><b>## STATISTICS FROM SPLINES RESAMPLED OBSERVED CDF (MonteCarlo Method):</b></p> <p>Mean(PHI)_____ -5.92251</p> <p>Standard deviation(PHI)___ 1.36990 Poorly sorted</p> <p>Skewness_____ 0.24035 Symmetrical</p> <p>Kurtosis(normalized)_____ 0.39754 Mesokurtic</p> <p style="text-align: center;"><b>M0018</b></p>

Tabla 7. Resultado estadístico de la gráfica de distribución acumulada del área proximal de arroyo del Santuario del Desierto.

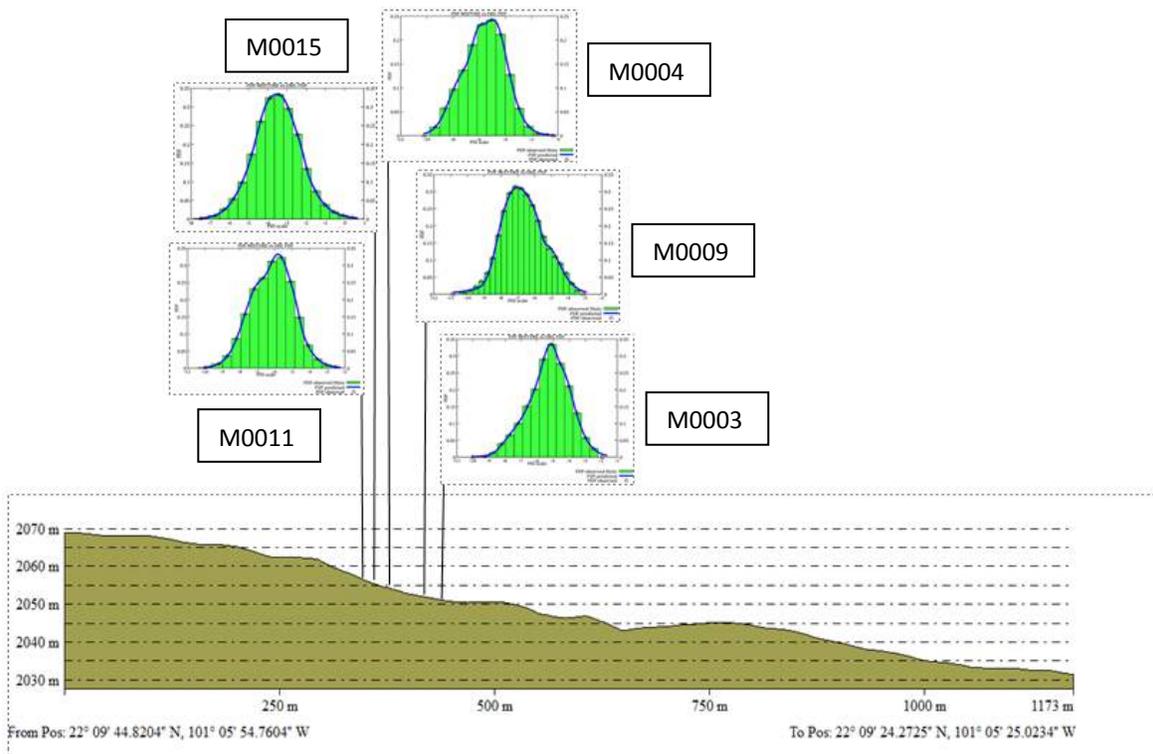


Figura 16. Perfil de elevación del área primera parte central arroyo del Santuario del Desierto, S.L.P. con los resultados obtenidos con el óptimo de bin propuesto.

<p>## STATISTICS FROM SPLINES RESAMPLED OBSERVED CDF (MonteCarlo Method):</p> <p>Mean(PHI)_____ -6.15614</p> <p>Standard deviation(PHI)___ 1.18152 Poorly sorted</p> <p>Skewness_____ -0.03661 Symmetrical</p> <p>Kurtosis(normalized)_____ -0.25138 Mesokurtic</p> <p style="text-align: center;">M0011</p>	<p>## STATISTICS FROM SPLINES RESAMPLED OBSERVED CDF (MonteCarlo Method):</p> <p>Mean(PHI)_____ -5.62062</p> <p>Standard deviation(PHI)___ 1.55655 Poorly sorted</p> <p>Skewness_____ -0.09891 Symmetrical</p> <p>Kurtosis(normalized)_____ -0.35377 Mesokurtic</p> <p style="text-align: center;">M0004</p>
<p>## STATISTICS FROM SPLINES RESAMPLED OBSERVED CDF (MonteCarlo Method):</p> <p>Mean(PHI)_____ -3.50541</p> <p>Standard deviation(PHI)___ 1.19292 Poorly sorted</p> <p>Skewness_____ 0.09781 Symmetrical</p> <p>Kurtosis(normalized)_____ 0.06964 Mesokurtic</p> <p style="text-align: center;">M0015</p>	<p>## STATISTICS FROM SPLINES RESAMPLED OBSERVED CDF (MonteCarlo Method):</p> <p>Mean(PHI)_____ -6.67310</p> <p>Standard deviation(PHI)___ 1.24845 Poorly sorted</p> <p>Skewness_____ 0.16520 Symmetrical</p> <p>Kurtosis(normalized)_____ -0.30894 Mesokurtic</p> <p style="text-align: center;">M0009</p>
<p>## STATISTICS FROM SPLINES RESAMPLED OBSERVED CDF (MonteCarlo Method):</p> <p>Mean(PHI)_____ -5.28270</p> <p>Standard deviation(PHI)___ 1.27538 Poorly sorted</p> <p>Skewness_____ -0.28860 Symmetrical</p> <p>Kurtosis(normalized)_____ -0.17718 Mesokurtic</p> <p style="text-align: center;">M0003</p>	

Tabla 8. Resultado estadístico de la gráfica de distribución acumulada del área primera proximal de arroyo del Santuario del Desierto.

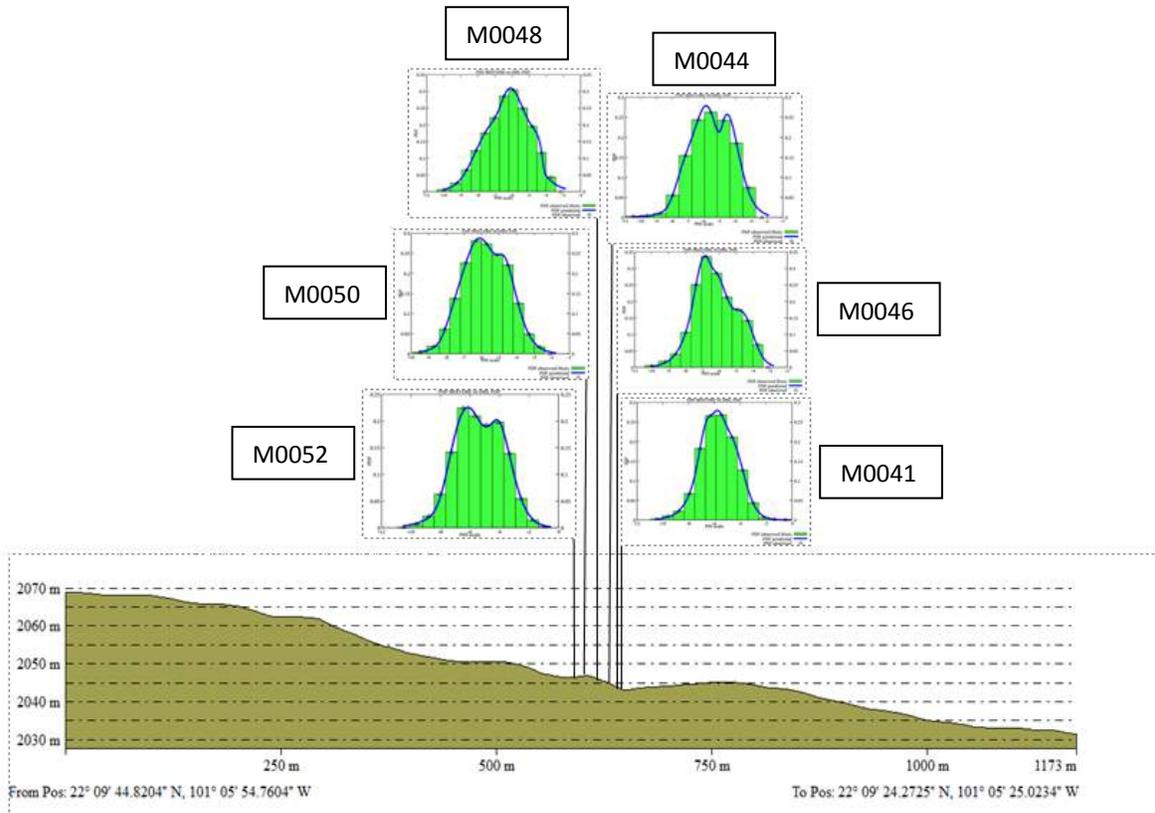


Figura 17. Perfil de elevación del área segunda parte central arroyo del Santuario del Desierto, S.L.P. con los resultados obtenidos con el óptimo de bin propuesto.

```
## STATISTICS FROM SPLINES RESAMPLED OBSERVED CDF (MonteCarlo Method):
Mean(PHI)_____ -5.36668
Standard deviation(PHI)___ 1.57568 Poorly sorted
Skewness_____ -0.01620 Symmetrical
Kurtosis(normalized)___ -0.51749 Platykurtic
```

M0052

```
## STATISTICS FROM SPLINES RESAMPLED OBSERVED CDF (MonteCarlo Method):
Mean(PHI)_____ -5.52240
Standard deviation(PHI)___ 1.28909 Poorly sorted
Skewness_____ -0.18790 Symmetrical
Kurtosis(normalized)___ -0.43733 Mesokurtic
```

M0044

```
## STATISTICS FROM SPLINES RESAMPLED OBSERVED CDF (MonteCarlo Method):
Mean(PHI)_____ -5.74863
Standard deviation(PHI)___ 1.24765 Poorly sorted
Skewness_____ 0.04006 Symmetrical
Kurtosis(normalized)___ -0.54736 Platykurtic
```

M0050

```
## STATISTICS FROM SPLINES RESAMPLED OBSERVED CDF (MonteCarlo Method):
Mean(PHI)_____ -6.21247
Standard deviation(PHI)___ 1.21181 Poorly sorted
Skewness_____ 0.11691 Symmetrical
Kurtosis(normalized)___ -0.53650 Platykurtic
```

M0046

```
## STATISTICS FROM SPLINES RESAMPLED OBSERVED CDF (MonteCarlo Method):
Mean(PHI)_____ -6.24685
Standard deviation(PHI)___ 1.24445 Poorly sorted
Skewness_____ -0.16024 Symmetrical
Kurtosis(normalized)___ -0.57180 Platykurtic
```

M0048

```
## STATISTICS FROM SPLINES RESAMPLED OBSERVED CDF (MonteCarlo Method):
Mean(PHI)_____ -5.68915
Standard deviation(PHI)___ 1.36409 Poorly sorted
Skewness_____ -0.02094 Symmetrical
Kurtosis(normalized)___ 0.05475 Mesokurtic
```

M0041

Tabla 9. Resultado estadístico de la gráfica de distribución acumulada del área segunda central del arroyo del Santuario del Desierto.

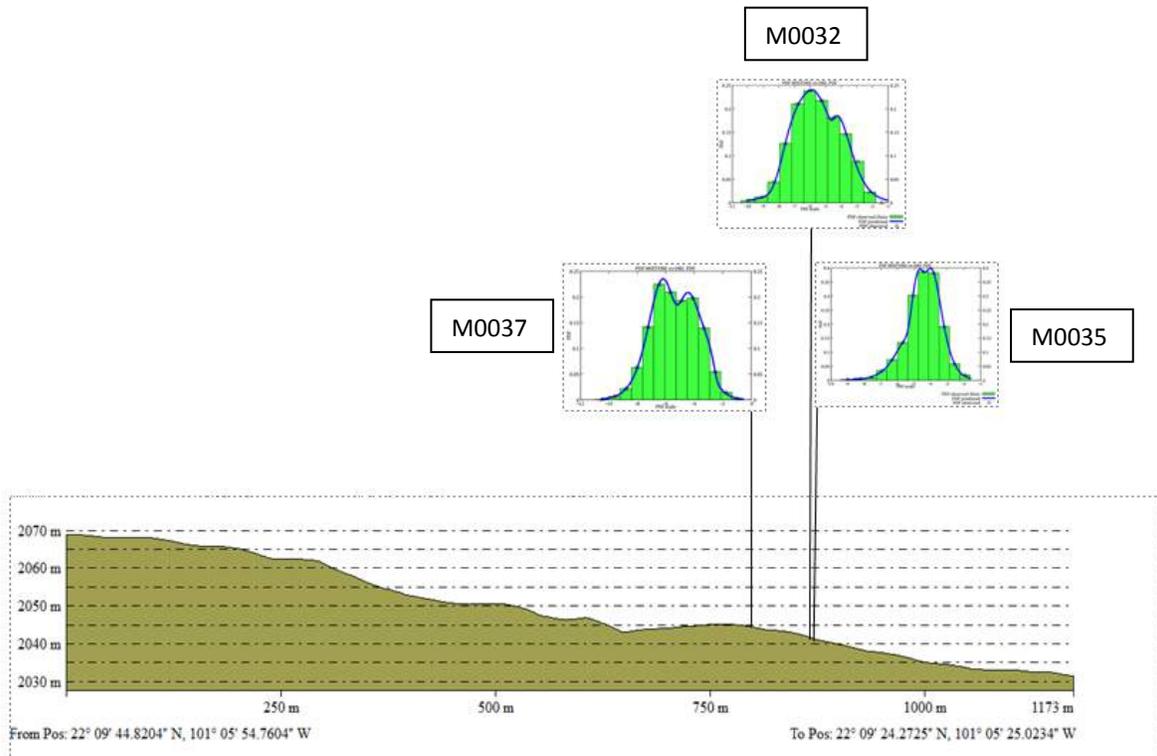


Figura 18. Perfil de elevación del área distal arroyo del Santuario del Desierto, S.L.P. con los resultados obtenidos con el óptimo de bin propuesto.

## STATISTICS FROM SPLINES RESAMPLED OBSERVED CDF (MonteCarlo Method):  
 Mean(PHI)\_\_\_\_\_ -5.36668  
 Standard deviation(PHI)\_\_\_ 1.57568 Poorly sorted  
 Skewness\_\_\_\_\_ -0.01620 Symmetrical  
 Kurtosis(normalized)\_\_\_\_\_ -0.51749 Platykurtic

M0037

## STATISTICS FROM SPLINES RESAMPLED OBSERVED CDF (MonteCarlo Method):  
 Mean(PHI)\_\_\_\_\_ -4.92637  
 Standard deviation(PHI)\_\_\_ 1.13797 Poorly sorted  
 Skewness\_\_\_\_\_ -1.64739 Very negative skewed  
 Kurtosis(normalized)\_\_\_\_\_ 4.03374 Leptokurtic

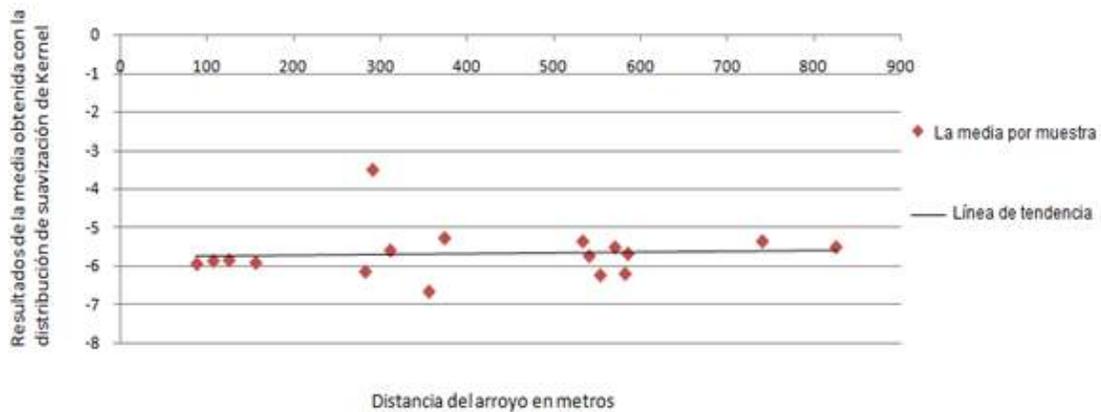
M0035

## STATISTICS FROM SPLINES RESAMPLED OBSERVED CDF (MonteCarlo Method):  
 Mean(PHI)\_\_\_\_\_ -4.43523  
 Standard deviation(PHI)\_\_\_ 1.03953 Poorly sorted  
 Skewness\_\_\_\_\_ -0.49859 Negative skewed  
 Kurtosis(normalized)\_\_\_\_\_ 0.70924 Leptokurtic

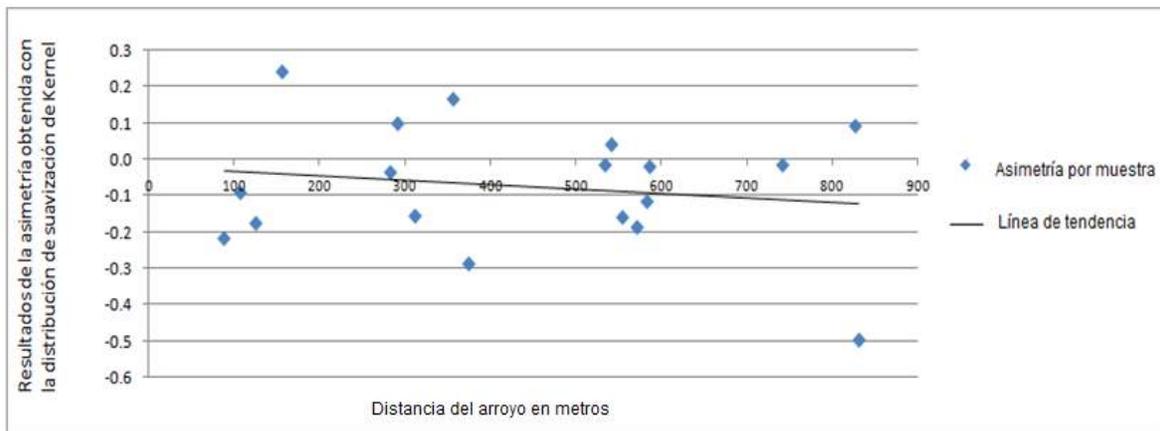
M0032

Tabla 10. Resultado estadístico de la gráfica de distribución acumulada del área distal del arroyo del Santuario del Desierto.

A continuación se muestra la media de cada cálculo con la distribución de densidad de suavización Kernel, realizada en Decolog 5.1 (2014) y la asimetría con respecto a la distancia que ocupa en el arroyo en metros del área de estudio.



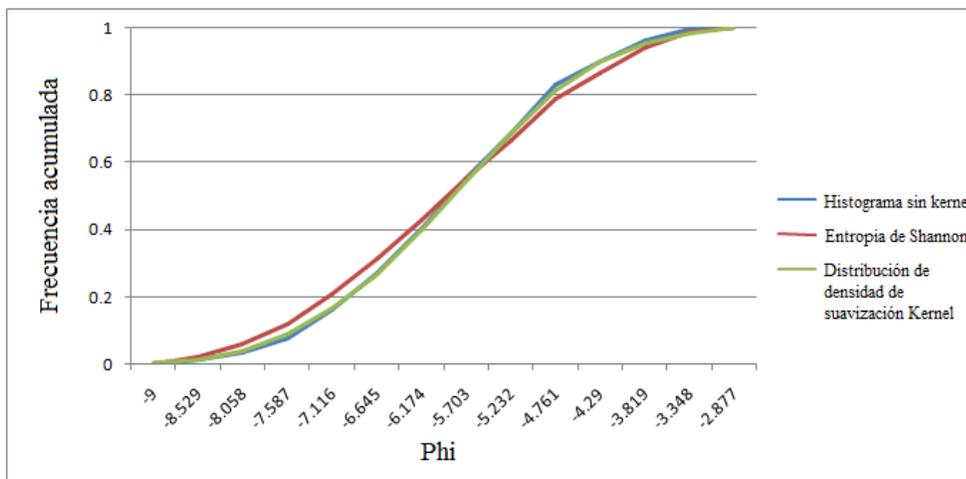
Gráfica 10. La media de cada muestra del histograma con kernel con respecto a la distancia que tiene cada una en el arroyo del área de estudio en metros.



Gráfica 11. Asimetría de cada muestra Kernel con Kernel con respecto a la distancia que tiene cada una en el arroyo del área de estudio en metros.

### 3.1.1 Resultado de entropía de Shannon

Cuando obtenemos la frecuencia acumulada del histograma sin kernel con el ancho de bin óptimo y la distribución de densidad de suavización kernel la entropía juega un papel muy importante. La entropía fue calculada con respecto a los datos del histograma sin kernel, los resultados obtenidos se encuentran en el rango de 0 a 1, las frecuencias acumuladas de estas dos operaciones son comparadas, en donde si la entropía tiende a tener similitud y la distancia entre ellas es pequeña, la robustez del modelo se fortalece en el sentido en que es factible utilizar la distribución de densidad de suavización kernel en este proceso. A continuación se muestra el resultado del ejemplo de la muestra M0003 con el fin de darle seguimiento y se obtuvo lo siguiente:



Gráfica 12. Comparación de frecuencias acumuladas del histograma sin kernel, entropía de Shannon y la distribución de densidad de suavización Kernel.

La máxima diferencia entre la frecuencia acumulada de la entropía y del histograma sin kernel fue de 0.06720.

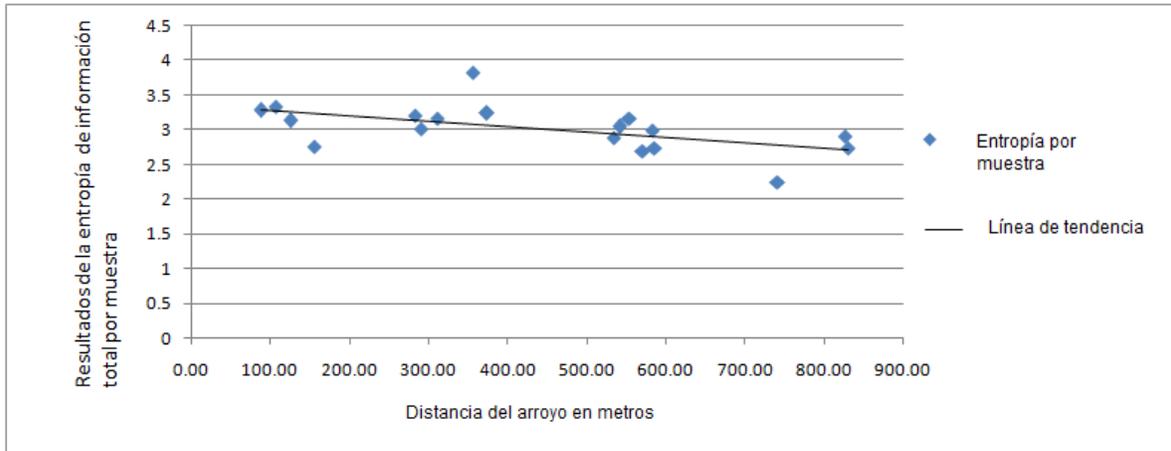
La entropía se calculó a las 17 muestras restantes, la siguiente tabla se muestran los resultados de la diferencia máxima.

<b>Muestra</b>	<b>Diferencia máxima entre la entropía y el histograma sin Kernel</b>
M0003	0.06720
M0004	0.04872
M0009	0.05347
M0011	0.05283
M0015	0.05872
M0018	0.06792
M0019	0.05964
M0024	0.06245
M0025	0.04642
M0032	0.04889
M0035	0.04480
M0037	0.08251
M0041	0.05185
M0044	0.06243
M0046	0.06685
M0047	0.05280
M0050	0.05146
M0052	0.04427

Tabla 11. Resultado de la diferencia en distancia de la frecuencia acumulada de la entropía de Shannon con respecto al histograma sin Kernel.

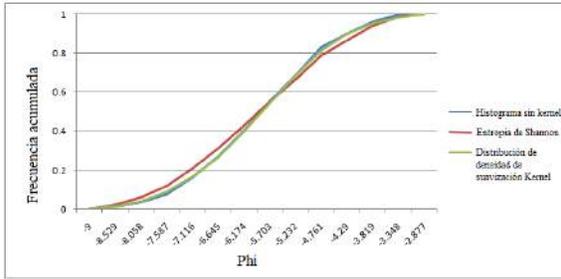
La entropía también determina la diversidad o proporción de la variable estudiada en un área determinada, en este contexto supongamos que las fotos son el área de estudio de nuestras variables, las variables son nuestras diferentes medidas calculadas en las intersecciones de Rosiwal, en este sentido tenemos que cada medida corresponde a una partícula clasificada en la escala granulométrica, para fines de este trabajo se utilizará la tabla de la escala granulométrica sedimentológica propuesta por Blair y McPherson (1999). Si se tienen medidas de clastos diversas tendremos entonces una entropía alta porque entonces tenemos heterogeneidad de tamaños de clastos, por el contrario si tenemos clastos con medidas similares la entropía entonces será baja porque tendemos a tener homogeneidad.

Este paso sería una alternativa cuando se tiene una gran cantidad de fotos y se quiera llevar un seguimiento en función de la medida de clastos.

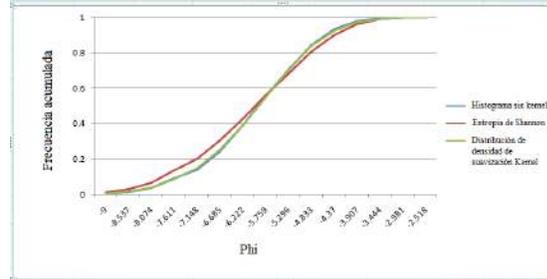


Gráfica 13. Entropía total por muestra y línea de tendencia con respecto a la distancia del arroyo. Elaboración propia.

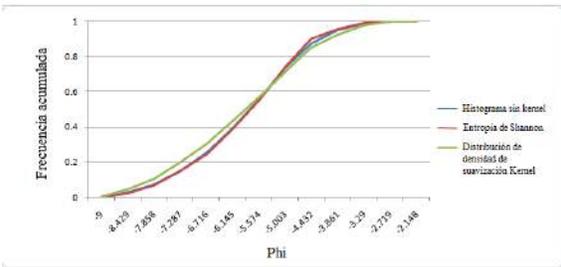
En la gráfica 14 se observa el valor de la entropía total por muestra, además de adicionarle una línea de tendencia a estos resultados, esta línea de tendencia muestra claramente que en la parte primera proximal las medidas de clastos son más heterogéneas, mientras que en la parte distal tienden a ser más homogéneas, en este sentido encontramos en la parte distal los sedimentos más finos y en la parte proximal encontramos diferentes clastos pero la probabilidad de encontrar sedimentos como cantos es mayor.



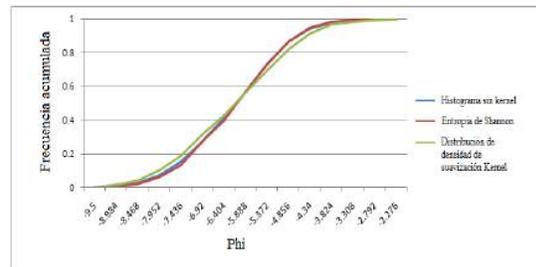
M0025



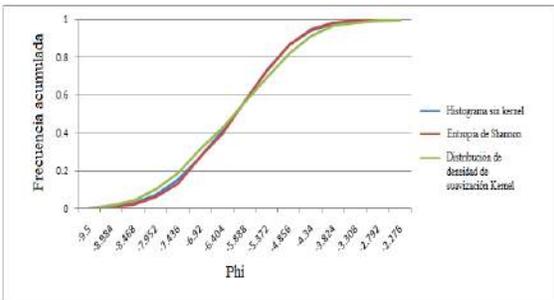
M0024



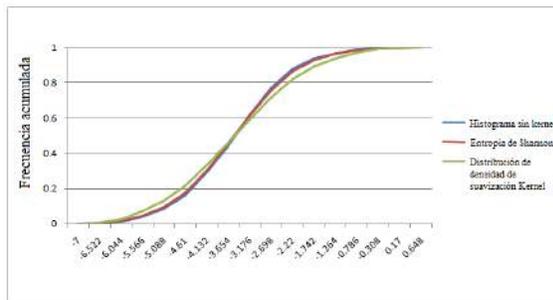
M0019



M0018

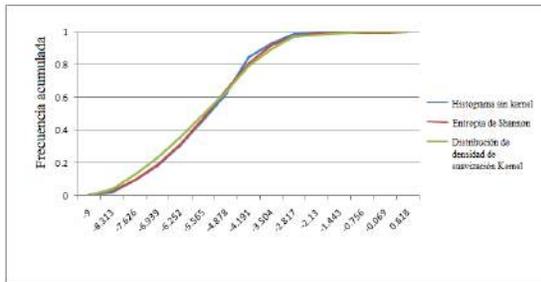


M0011

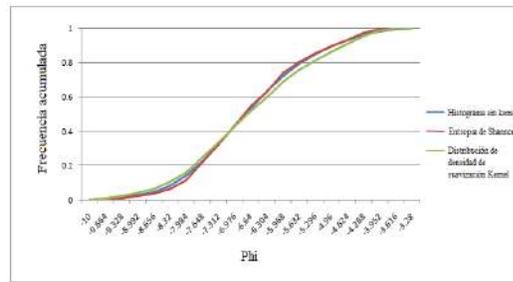


M0015

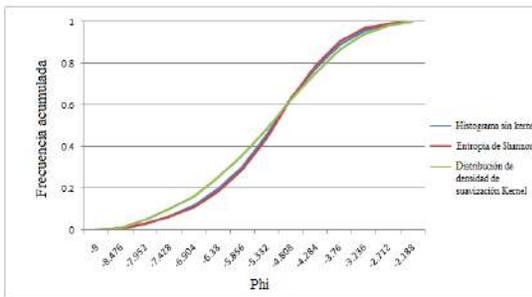
Figura 19. Frecuencia acumulada del histograma de frecuencias, distribución de suavización kernel y la entropía de Shannon, parte proximal del arroyo en estudio.



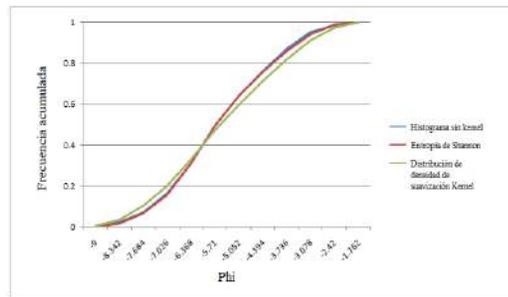
M0009



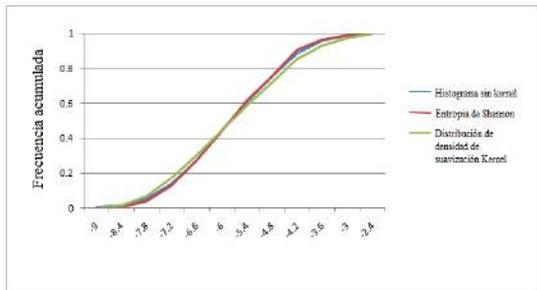
M0004



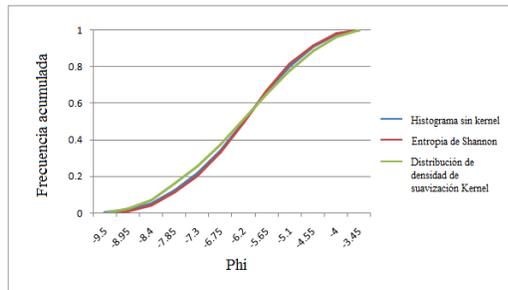
M0003



M0052

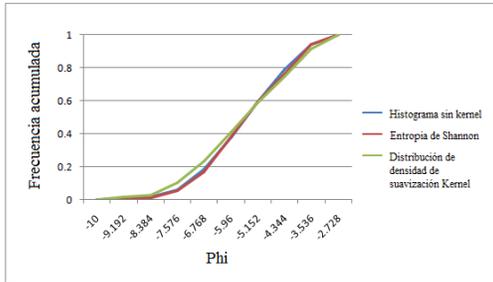


M0050

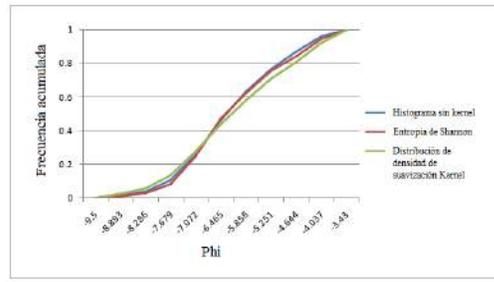


M0047

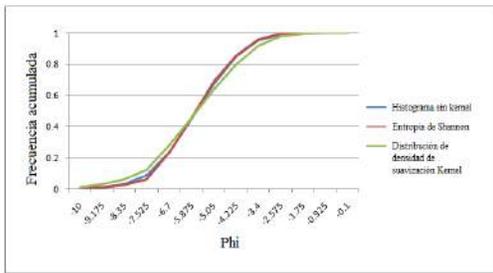
Figura 20. Frecuencia acumulada del histograma de frecuencias, distribución de suavización kernel y la entropía de Shannon, parte central del arroyo en estudio.



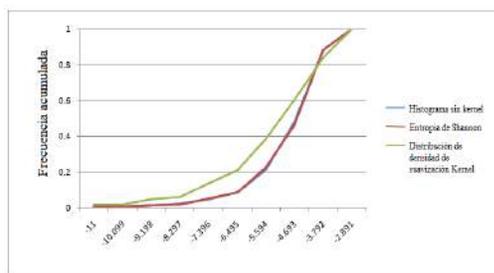
M0046



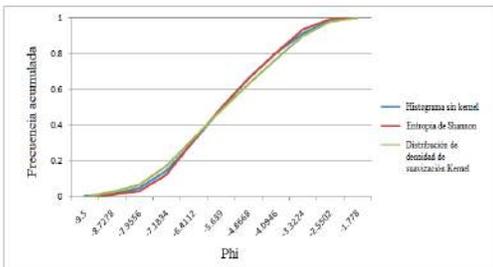
M0041



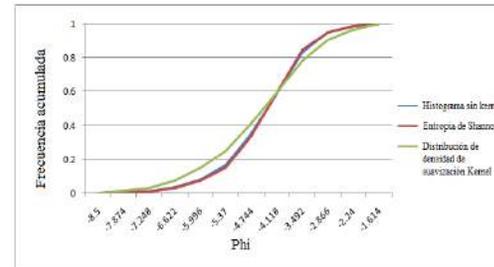
M0044



M0037



M0032



M0035

Figura 21. Frecuencia acumulada del histograma de frecuencias, distribución de suavización kernel y la entropía de Shannon, parte distal del arroyo en estudio.

### 3.1.2 Resultado del Método de las pipetas para el análisis de finos de las 18 muestras obtenidas en el Santuario del Desierto, S.L.P.

Muestra	Limos (%)	Arcillas (%)
3	18.69056787	1.50723522
4	33.06009196	4.96749643
9	15.29925800	2.04831933
11	27.75889604	1.94115886
15	25.65837364	2.15984444
18	25.69517557	3.61986747
19	9.96742587	1.70238618
24	48.53881279	4.34991589
25	24.21302833	2.29078415
32	24.97848103	3.03446516
35	11.00339226	0.42974627
37	18.36383151	3.33556491
41	14.33122340	0.29197614
44	9.88781955	0.77530038
46	7.31176247	0.84836950
47	16.13406290	1.10477105
50	18.26837743	3.03369032
52	8.75764378	0.97995201

Tabla 12. Resultado del porcentaje de limos, arcillas de las 18 muestras obtenidas del Santuario del Desierto, Mexquitic de Carmona, S.L.P. Elaboración propia.

### 3.1.3 Cálculo de la granulometría total

Para realizar la granulometría total de cada una de las muestras se obtuvieron tres diferentes datos, el primero fue el análisis de Rosiwal en el cual se obtuvieron medidas en phi, el segundo es el tamizado que se realizó con mallas de 4 phi a -4 phi siendo el 4 phi la obtención de finos para realizar el método de las pipetas, y por último el método de las pipetas. En este trabajo se juntaron los tres resultados, que en total suman un 100 %. En el caso del análisis de Rosiwal y el tamizado tenemos medidas phi, si se observa en el caso de los limos y las arcillas no es así, sin embargo se dio el siguiente tratamiento.

De acuerdo a la tabla 6 obtenemos el resultado de los limos y las arcillas, el total de limos será restando las arcillas, quedando una nueva tabla como a continuación se muestra:

Muestra	Limos (%)	Arcillas (%)
3	17.18333266	1.50723522
4	28.09259553	4.96749643
9	13.25093867	2.04831933
11	25.81773719	1.94115886
15	23.49852919	2.15984444
18	22.07530811	3.61986747
19	8.26503968	1.70238618
24	44.18889690	4.34991589
25	21.92224419	2.29078415
32	21.94401587	3.03446516
35	10.57364599	0.42974627
37	15.02826660	3.33556491
41	14.03924725	0.29197614
44	9.11251918	0.77530038
46	6.46339297	0.84836950
47	15.02929184	1.10477105
50	15.23468711	3.03369032
52	7.77769177	0.97995201

Tabla 13. Resultado del porcentaje total de limos, arcillas de las 18 muestras obtenidas del Santuario del Desierto, Mexquitic de Carmona, S.L.P. Elaboración propia.

mm de tamiz	conversión a phi
63	4.000
0.02	5.644
0.002	8.966

Tabla 14. Tamiz pasante de arenas, limos y arcillas, para realizar la conversión se utilizó la ecuación 1.

El phi 5.644 y 8.966 se utilizarán para realizar la granulometría total, para fines de este trabajo se redondeó estos datos como 5.5 y 9 en la escala de phi.

Para que quede más claro este paso sigamos el siguiente ejemplo. Supongamos que tenemos los limos y las arcillas de la muestra 3.

Limos (%)	Arcillas (%)
17.18333266	1.50723522

Ahora dividimos entre 100 cada uno obteniendo los siguientes valores

limo	arcilla
0.17183333	0.01507235

Estos valores se ocuparan para el cálculo de la granulometría total con su respectiva phi calculado en la tabla 8.

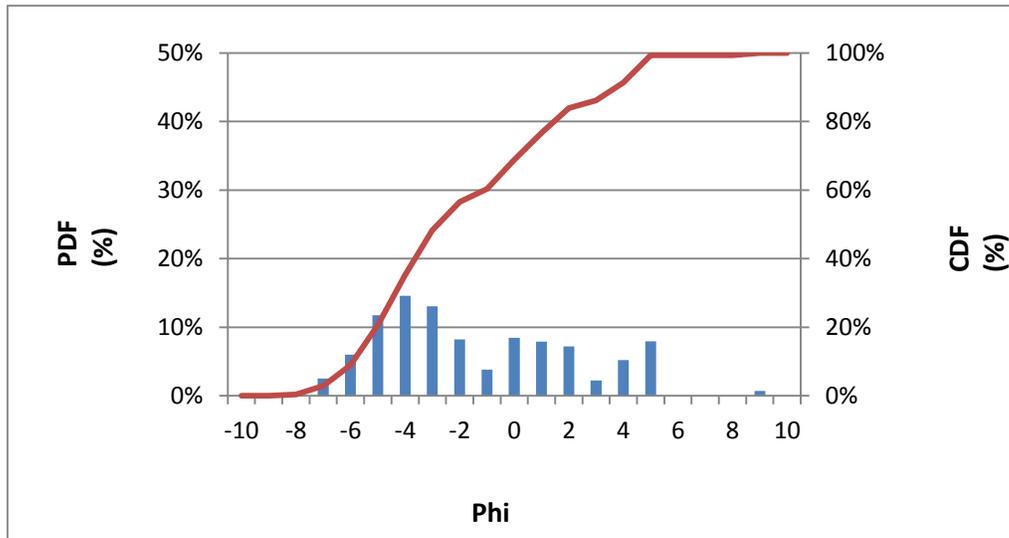
También será necesaria la frecuencia relativa de la distribución de suavización Kernel de cada una de las muestras a las cuales se les sumará la frecuencia relativa de los datos obtenidos del tamizado y por ultimo adicionar los valores del limo y arcilla.

A continuación se muestra un ejemplo del resultado de la muestra M0003

PHI	PDF	CDF
	PESO	% CUMUL.
-10	0.00000	0.0%
-9	0.00050	0.1%
-8	0.00322	0.4%
-7	0.02529	2.9%
-6	0.06013	8.9%
-5	0.11742	20.7%
-4	0.14589	35.2%
-3	0.13048	48.3%
-2	0.08242	56.5%
-1	0.03815	60.4%
0	0.08459	68.8%
1	0.07913	76.7%
2	0.07211	83.9%
3	0.02229	86.2%
4	0.05209	91.4%
5.5	0.07932	99.3%
6	0.00000	99.3%
7	0.00000	99.3%
8	0.00000	99.3%
9	0.00696	100.0%
10	0.00000	100.0%

Tabla 15. Resultado de la granulometría total de la muestra 3. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.

Dependiendo de los valores máximos y mínimos de cada muestra será el rango de phi, para esta muestra fue de -10 a 10 phi.



Gráfica 15. Resultado de los valores de la tabla 9. Elaboración propia.

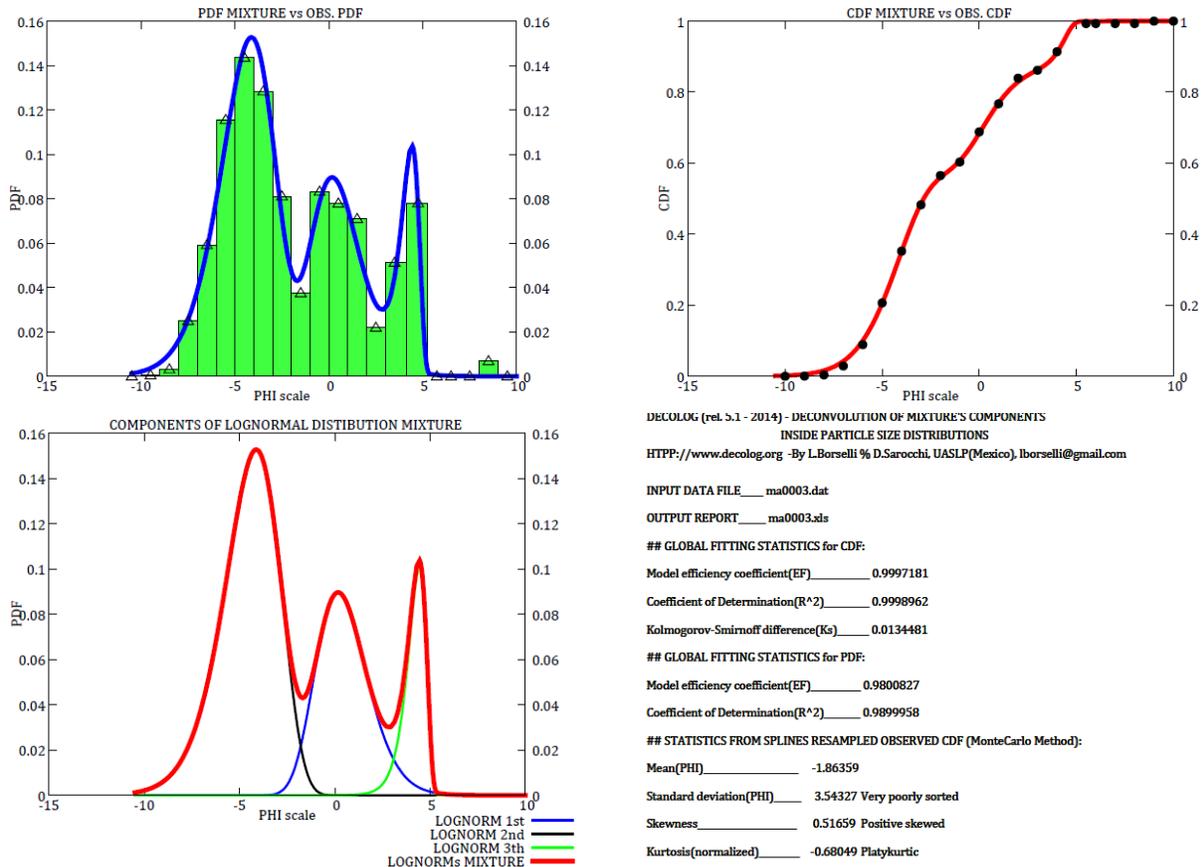
<b>Matrix</b>	(mat. < 2 mm)	<b>43.46%</b>	<b>% Ricalc.</b>
<b>Arena</b>	(2 mm - 64 mic.)	<b>34.84%</b>	<b>80.15%</b>
<b>Limo</b>	(64 mic. 3.9 mic.)	<b>7.93%</b>	<b>18.25%</b>
<b>Arcilla</b>	(inf. a 3.9 mic.)	<b>0.70%</b>	<b>1.60%</b>
			100.00%

Tabla 16. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.

La muestra M0003 indica que el flujo de escombros es no-cohesivo.

### 3.1.4 Resultados de la granulometría total por muestra

Para modelar en DECOLOG 5.1 (2014) la granulometría total se tiene que calcular la frecuencia relativa y acumulada al PDF de la tabla 9. Los resultados se muestran a continuación:



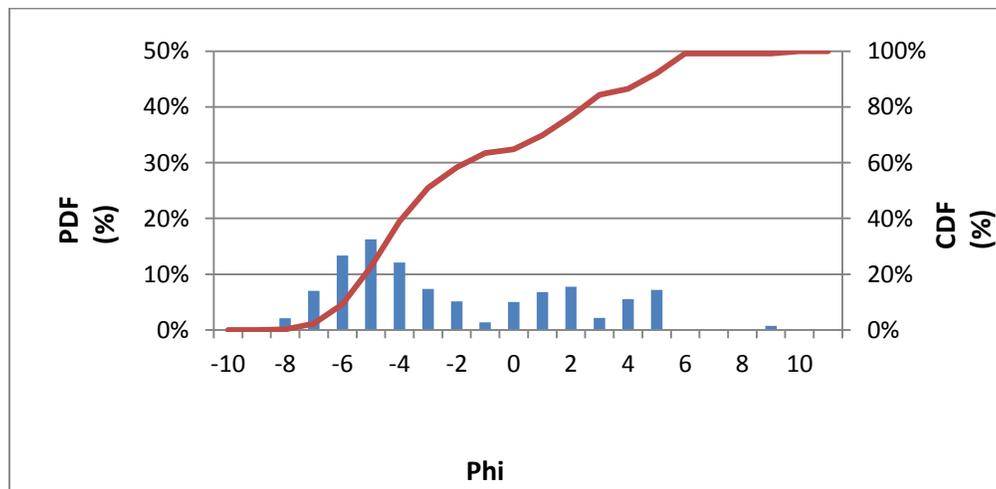
Gráfica 16. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia.

Se puede observar que se modeló con tres gaussianas en donde los picos máximos indican la media de los clastos grandes, la media de las arenas y la media de los finos. La media de los clastos grandes se calculó con la distribución de suavización Kernel, la de las arenas indica el pico cerca de phi 1 y para los finos en phi 5.5 aproximadamente, además que presenta un crecimiento en los limos.

## Resultados de la granulometría total de la muestra M0025

PHI	PDF	CDF
	PESO	% CUMUL.
-10	0.00000	0.0%
-9	0.00176	0.2%
-8	0.02085	2.3%
-7	0.07003	9.3%
-6	0.13335	22.6%
-5	0.16283	38.9%
-4	0.12103	51.0%
-3	0.07334	58.3%
-2	0.05140	63.5%
-1	0.01373	64.8%
0	0.04995	69.8%
1	0.06803	76.6%
2	0.07762	84.4%
3	0.02162	86.6%
4	0.05545	92.1%
5.5	0.07152	99.3%
6	0.00000	99.3%
7	0.00000	99.3%
8	0.00000	99.3%
9	0.00747	100.0%
10	0.00000	100.0%

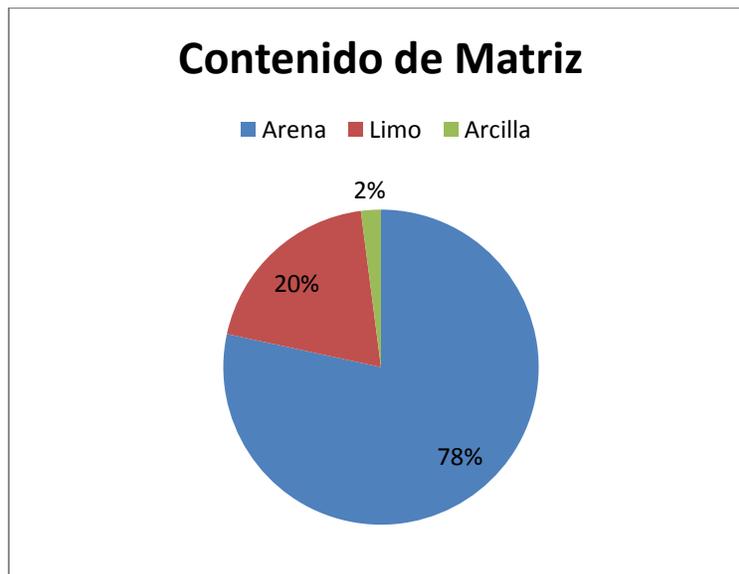
Tabla 17. Resultado de la granulometría total de la muestra 25. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.



Gráfica 17. Resultado de los valores de la tabla 11. Elaboración propia.

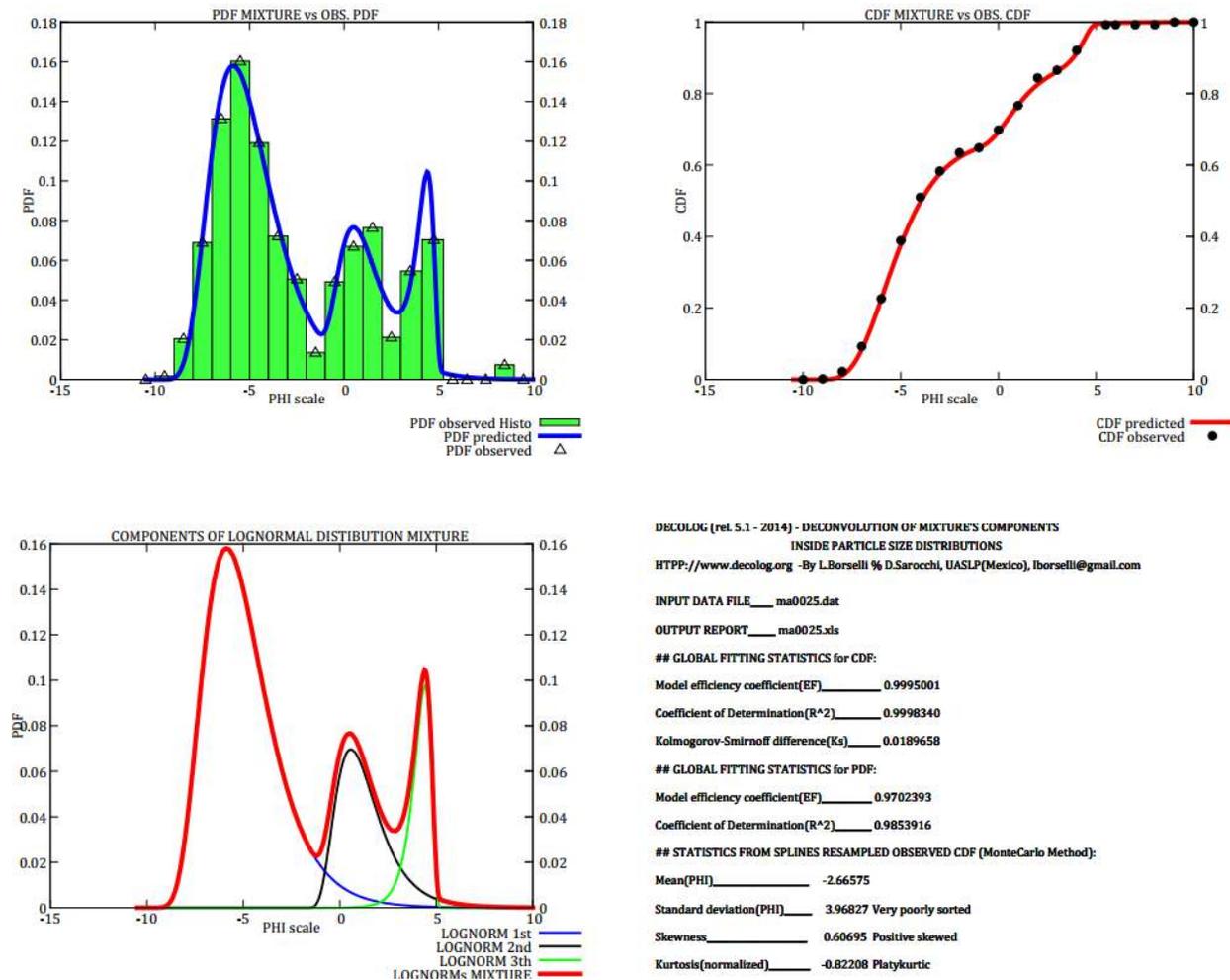
<b>Matrix</b>	(mat. < 2 mm)	<b>36.54%</b>	<b>% Ricalc.</b>
<b>Arena</b>	(2 mm - 64 mic.)	<b>28.64%</b>	<b>78.38%</b>
<b>Limo</b>	(64 mic. 3.9 mic.)	<b>7.15%</b>	<b>19.57%</b>
<b>Arcilla</b>	(inf. a 3.9 mic.)	<b>0.75%</b>	<b>2.05%</b>
			100.00%

Tabla 18. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.



Gráfica 18. Resultado de los valores de la tabla 12. Elaboración propia.

La muestra M0025 indica que el flujo de escombro es no-cohesivo.

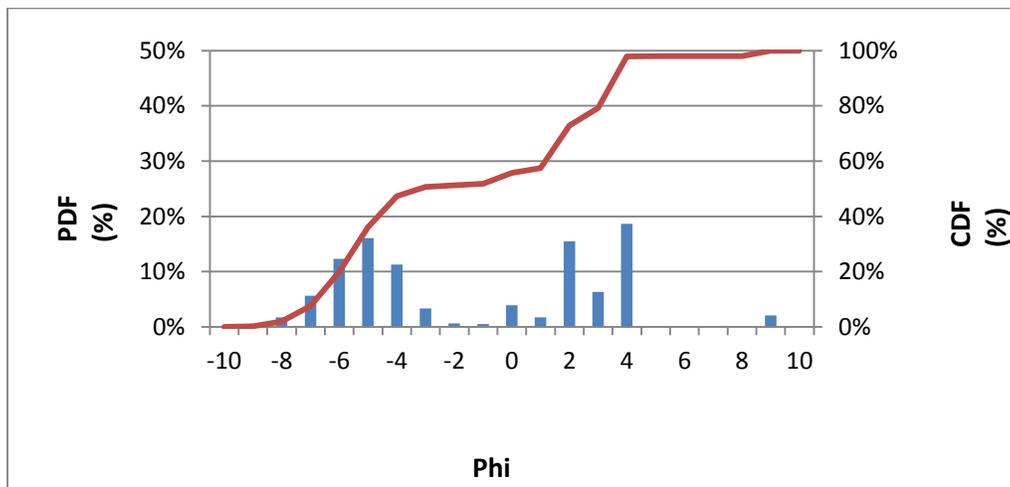


Gráfica 19. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia.

## Resultados de la granulometría total de la muestra M0024

PHI	PDF	CDF
	PESO	% CUMUL.
-10	0.00000	0.0%
-9	0.00239	0.2%
-8	0.01741	2.0%
-7	0.05650	7.6%
-6	0.12290	19.9%
-5	0.16080	36.0%
-4	0.11295	47.3%
-3	0.03339	50.6%
-2	0.00653	51.3%
-1	0.00484	51.8%
0	0.03915	55.7%
1	0.01740	57.4%
2	0.15479	72.9%
3	0.06332	79.2%
4	0.18662	97.9%
5	0.00063	98.0%
6	0.00000	98.0%
7	0.00000	98.0%
8	0.00000	98.0%
9	0.02040	100.0%
10	0.00000	100.0%

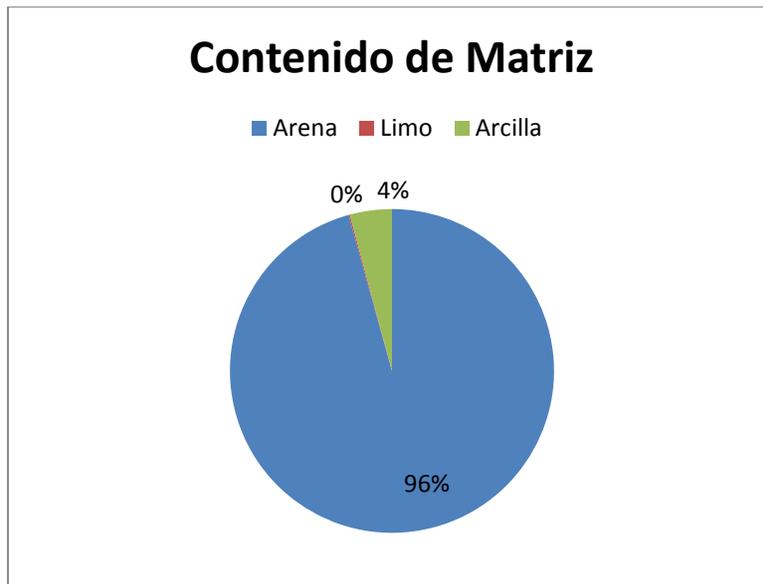
Tabla 19. Resultado de la granulometría total de la muestra 24. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.



Gráfica 20. Resultado de los valores de la tabla 13. Elaboración propia

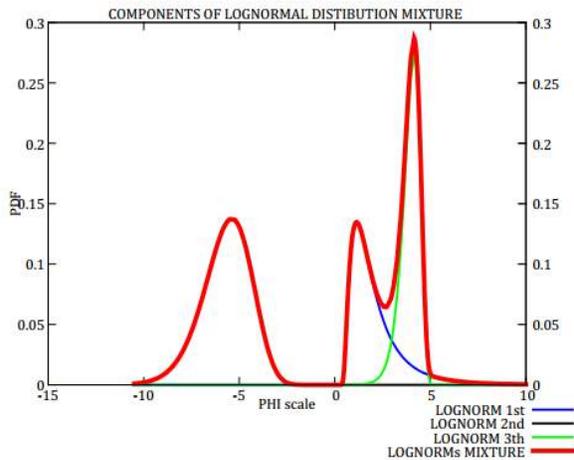
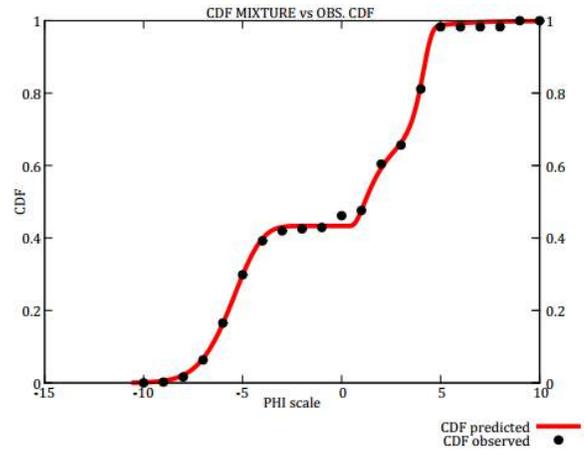
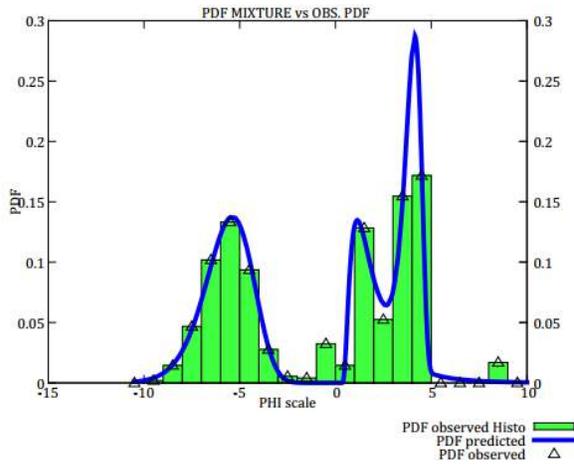
<b>Matrix</b>	(mat. < 2 mm)	<b>48.71%</b>	<b>% Ricalc.</b>
<b>Arena</b>	(2 mm - 64 mic.)	<b>46.61%</b>	<b>95.68%</b>
<b>Limo</b>	(64 mic. 3.9 mic.)	<b>0.06%</b>	<b>0.13%</b>
<b>Arcilla</b>	(inf. a 3.9 mic.)	<b>2.04%</b>	<b>4.19%</b>
			100.00%

Tabla 20. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.



Gráfica 21. Resultado de los valores de la tabla 14. Elaboración propia.

La muestra M0024 indica que el flujo de escombro es cohesivo.



DECOLOG (rel. 5.1 - 2014) - DECONVOLUTION OF MIXTURE'S COMPONENTS  
 INSIDE PARTICLE SIZE DISTRIBUTIONS  
 HTTP://www.decolog.org -By L.Borselli % D.Sarocchi, UASLP(Mexico), lborselli@gmail.com

INPUT DATA FILE\_\_\_ma0024.dat  
 OUTPUT REPORT\_\_\_ma0024.xls

## GLOBAL FITTING STATISTICS for CDF:  
 Model efficiency coefficient(EF)\_\_\_\_\_0.9992851  
 Coefficient of Determination(R^2)\_\_\_\_\_0.9996879  
 Kolmogorov-Smirnov difference(Ks)\_\_\_\_\_0.0283640

## GLOBAL FITTING STATISTICS for PDF:  
 Model efficiency coefficient(EF)\_\_\_\_\_0.9715638  
 Coefficient of Determination(R^2)\_\_\_\_\_0.9867106

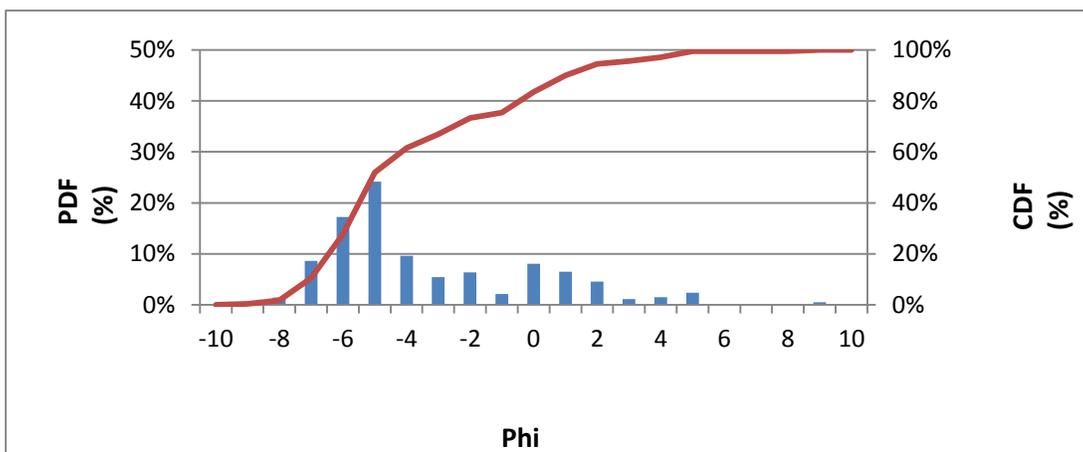
## STATISTICS FROM SPLINES RESAMPLED OBSERVED CDF (MonteCarlo Method):  
 Mean[PHI]\_\_\_\_\_ -0.69339  
 Standard deviation(PHI)\_\_\_\_\_ 4.56891 Extremely poorly sorted  
 Skewness\_\_\_\_\_ -0.15153 Symmetrical  
 Kurtosis(normalized)\_\_\_\_\_ -1.52428 Very platykurtic

Gráfica 22. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia.

## Resultados de la granulometría total de la muestra M0019

PHI	PDF	CDF
	PESO	% CUMUL.
-10	0.00000	0.0%
-9	0.00362	0.4%
-8	0.01445	1.8%
-7	0.08633	10.4%
-6	0.17251	27.7%
-5	0.24185	51.9%
-4	0.09611	61.5%
-3	0.05412	66.9%
-2	0.06376	73.3%
-1	0.02136	75.4%
0	0.08044	83.5%
1	0.06517	90.0%
2	0.04544	94.5%
3	0.01131	95.6%
4	0.01495	97.1%
5	0.02369	99.5%
6	0.00000	99.5%
7	0.00000	99.5%
8	0.00000	99.5%
9	0.00488	100.0%
10	0.00000	100.0%

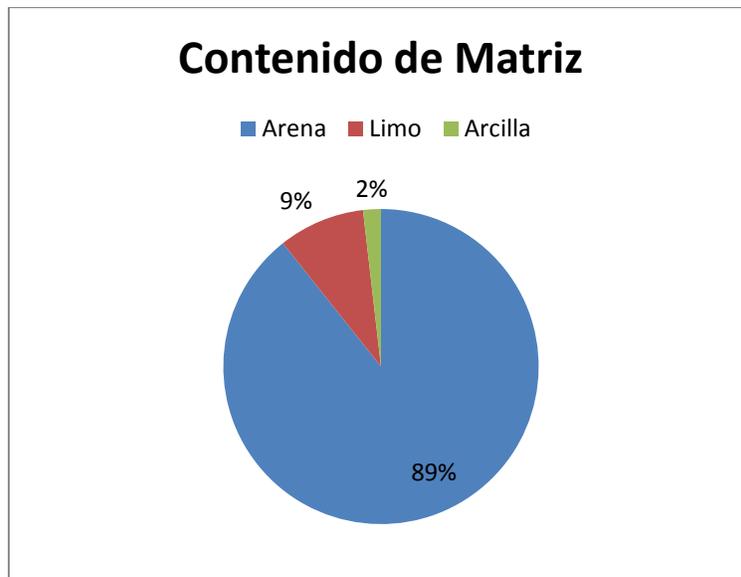
Tabla 21. Resultado de la granulometría total de la muestra 19. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.



Gráfica 23. Resultado de los valores de la tabla 15. Elaboración propia

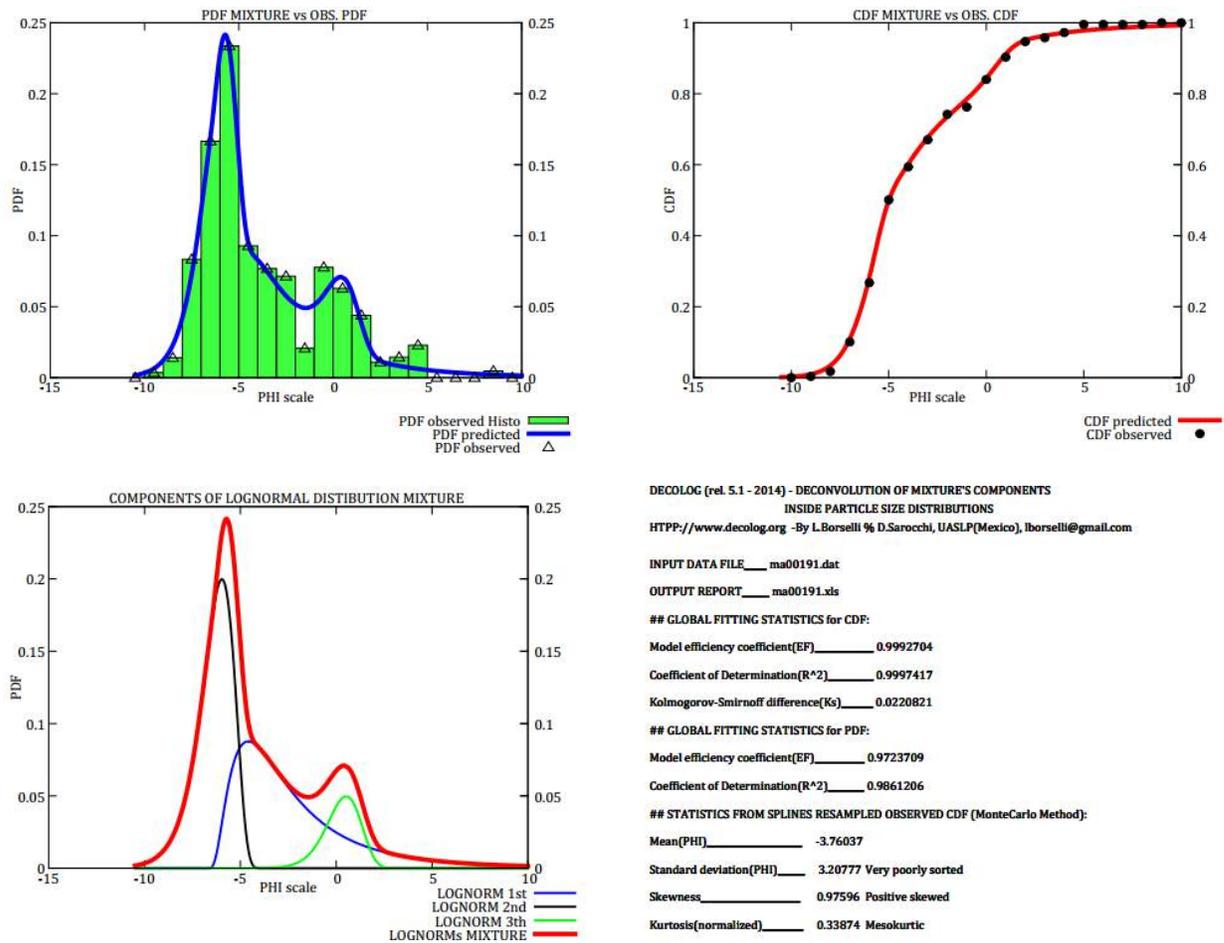
<b>Matrix</b>	(mat. < 2 mm)	<b>26.72%</b>	<b>% Ricalc.</b>
<b>Arena</b>	(2 mm - 64 mic.)	<b>23.87%</b>	<b>89.31%</b>
<b>Limo</b>	(64 mic. 3.9 mic.)	<b>2.37%</b>	<b>8.86%</b>
<b>Arcilla</b>	(inf. a 3.9 mic.)	<b>0.49%</b>	<b>1.83%</b>
			100.00%

Tabla 22. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.



Gráfica 24. Resultado de los valores de la tabla 16. Elaboración propia.

La muestra M0019 indica que el flujo de escombro es no-cohesivo

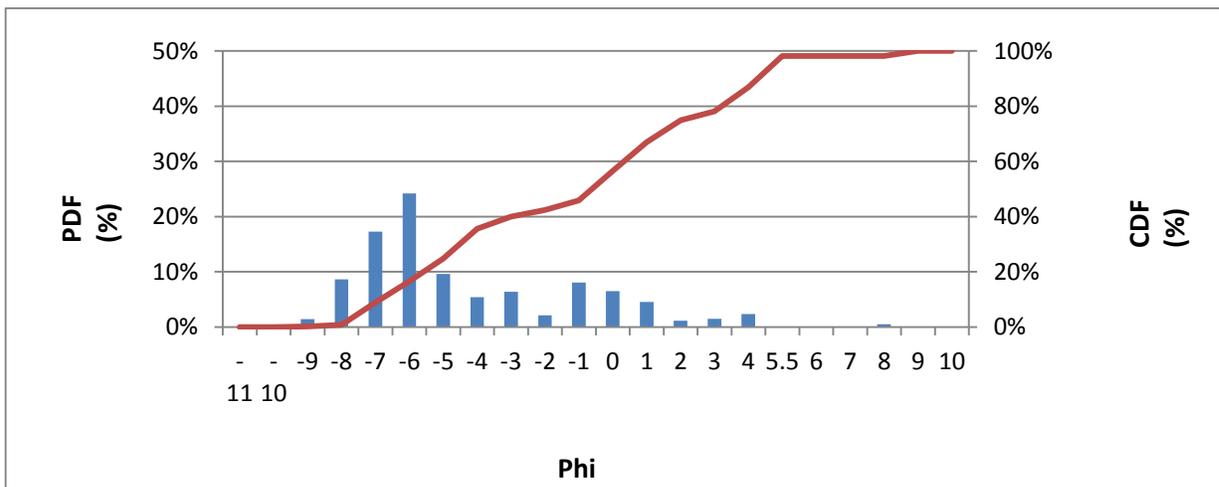


Gráfica 25. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia.

## Resultados de la granulometría total de la muestra M0018

PHI	PDF	CDF
	PESO	% CUMUL.
-11	0.00000	0.0%
-10	0.00008	0.0%
-9	0.00149	0.2%
-8	0.00656	0.8%
-7	0.07977	8.8%
-6	0.07716	16.5%
-5	0.08280	24.8%
-4	0.10834	35.6%
-3	0.04394	40.0%
-2	0.02375	42.4%
-1	0.03396	45.8%
0	0.10783	56.6%
1	0.10396	67.0%
2	0.07869	74.8%
3	0.03239	78.1%
4	0.08837	86.9%
5.5	0.11246	98.2%
6	0.00000	98.2%
7	0.00000	98.2%
8	0.00000	98.2%
9	0.01844	100.0%
10	0.00000	100.0%

Tabla 17. Resultado de la granulometría total de la muestra 18. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.

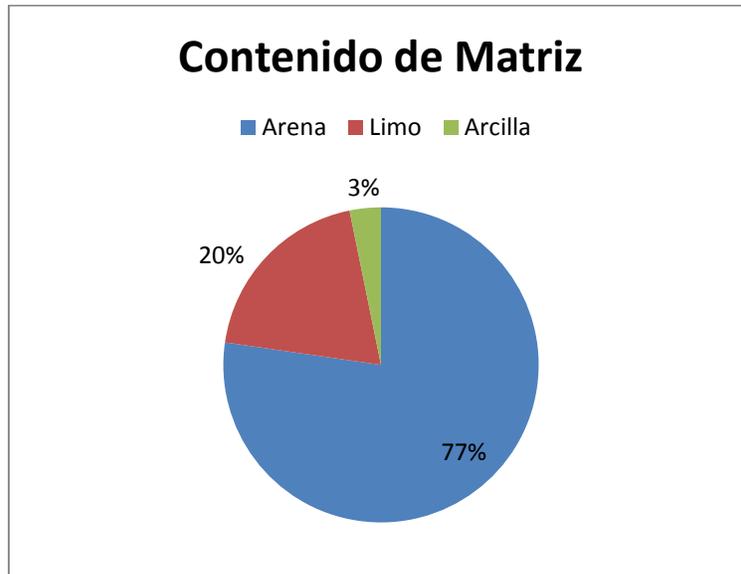


Gráfica 26. Resultado de los valores de la tabla 17. Elaboración propia

<b>Matrix</b>	(mat. < 2 mm)	<b>57.61%</b>	<b>% Ricalc.</b>
<b>Arena</b>	(2 mm - 64 mic.)	<b>44.52%</b>	<b>77.28%</b>
<b>Limo</b>	(64 mic. 3.9 mic.)	<b>11.25%</b>	<b>19.52%</b>
<b>Arcilla</b>	(inf. a 3.9 mic.)	<b>1.84%</b>	<b>3.20%</b>

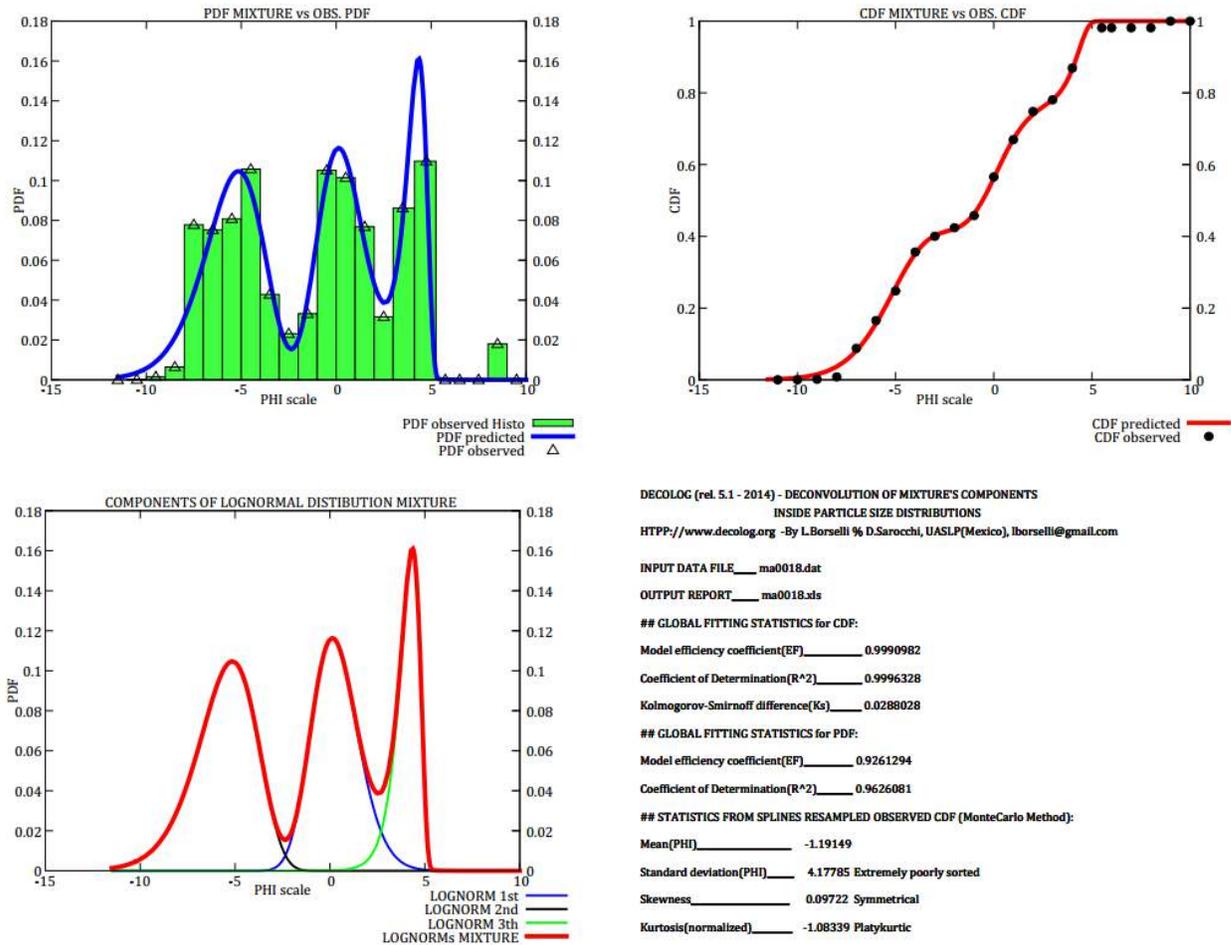
100.00%

Tabla 24. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.



Gráfica 27. Resultado de los valores de la tabla 18. Elaboración propia.

La muestra M0018 indica que el flujo de escombro es cohesivo

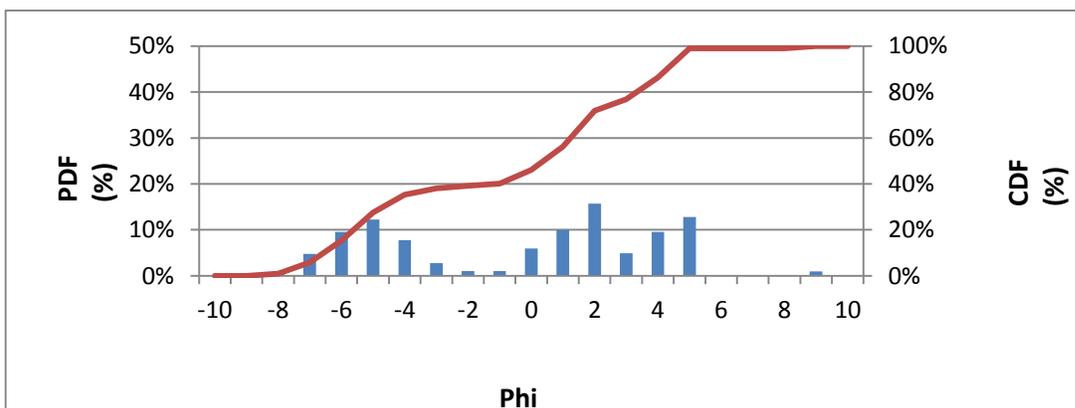


Gráfica 28. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia.

## Resultados de la granulometría total de la muestra M0011

PHI	PDF	CDF
	PESO	% CUMUL.
-10	0.00000	0.0%
-9	0.00039	0.0%
-8	0.00943	1.0%
-7	0.04742	5.7%
-6	0.09558	15.3%
-5	0.12260	27.5%
-4	0.07768	35.3%
-3	0.02763	38.1%
-2	0.01046	39.1%
-1	0.01057	40.2%
0	0.05973	46.1%
1	0.09983	56.1%
2	0.15721	71.9%
3	0.04911	76.8%
4	0.09515	86.3%
5.5	0.12762	99.0%
6	0.00000	99.0%
7	0.00000	99.0%
8	0.00000	99.0%
9	0.00960	100.0%
10	0.00000	100.0%

Tabla 25. Resultado de la granulometría total de la muestra 11. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.

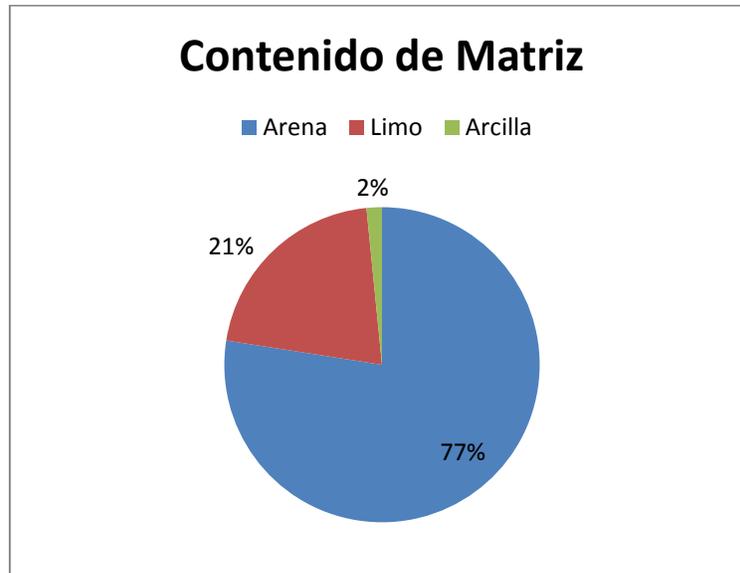


Gráfica 29. Resultado de los valores de la tabla 19. Elaboración propia

<b>Matrix</b>	(mat. < 2 mm)	<b>60.88%</b>	<b>% Ricalc.</b>
<b>Arena</b>	(2 mm - 64 mic.)	<b>47.16%</b>	<b>77.46%</b>
<b>Limo</b>	(64 mic. 3.9 mic.)	<b>12.76%</b>	<b>20.96%</b>
<b>Arcilla</b>	(inf. a 3.9 mic.)	<b>0.96%</b>	<b>1.58%</b>

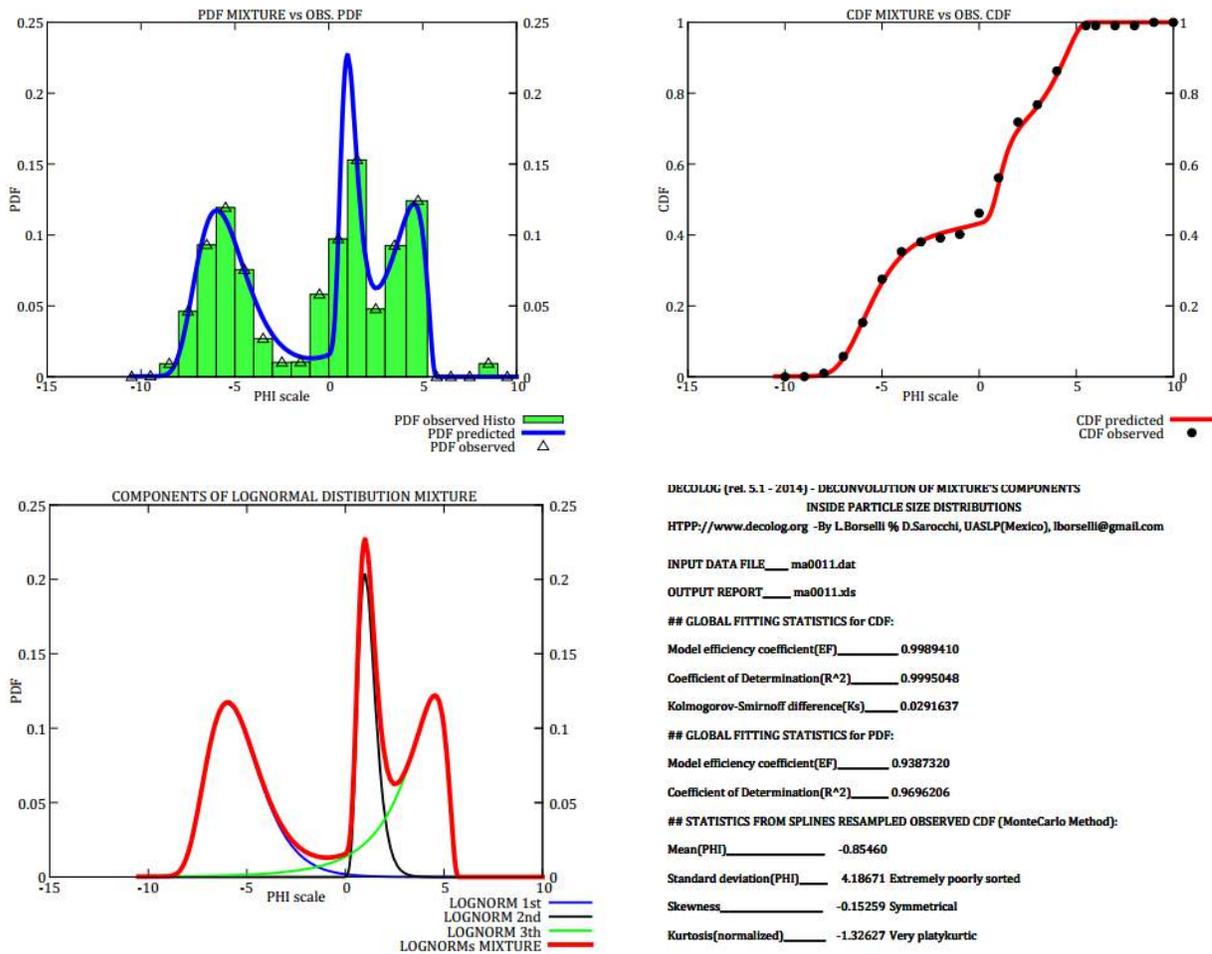
100.00%

Tabla 26. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.



Gráfica 30. Resultado de los valores de la tabla 20. Elaboración propia.

La muestra M0011 indica que el flujo de escombro es no-cohesivo

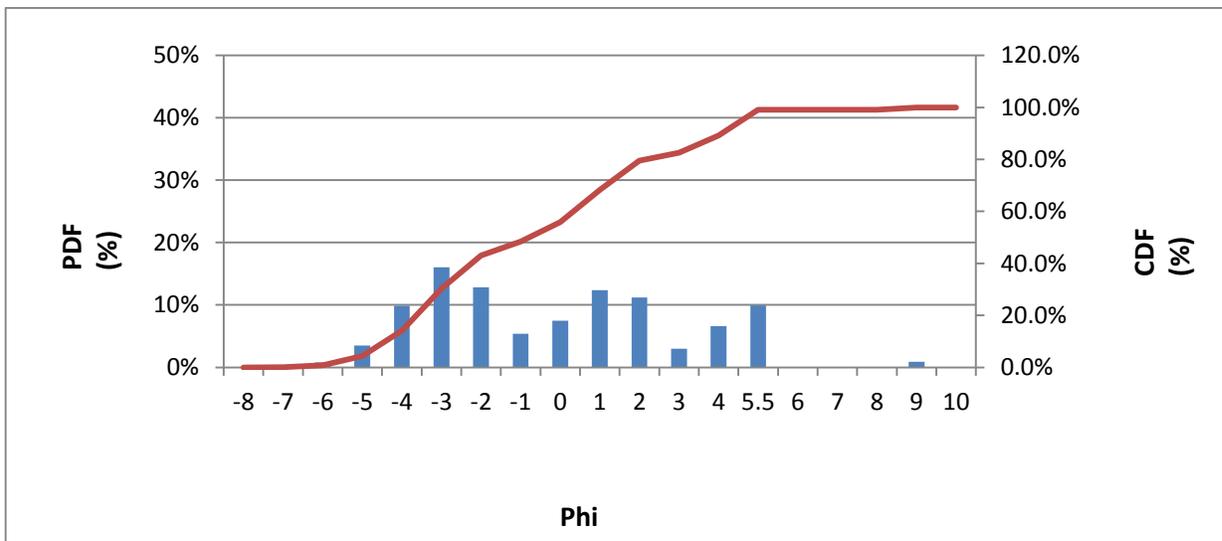


Gráfica 31. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia.

## Resultados de la granulometría total de la muestra M0015

PHI	PDF	CDF
	PESO	% CUMUL.
-8	0.00000	0.0%
-7	0.00041	0.0%
-6	0.00819	0.9%
-5	0.03474	4.3%
-4	0.09855	14.2%
-3	0.16057	30.2%
-2	0.12809	43.1%
-1	0.05377	48.4%
0	0.07478	55.9%
1	0.12374	68.3%
2	0.11222	79.5%
3	0.03013	82.5%
4	0.06630	89.1%
5.5	0.09938	99.1%
6	0.00000	99.1%
7	0.00000	99.1%
8	0.00000	99.1%
9	0.00913	100.0%
10	0.00000	100.0%

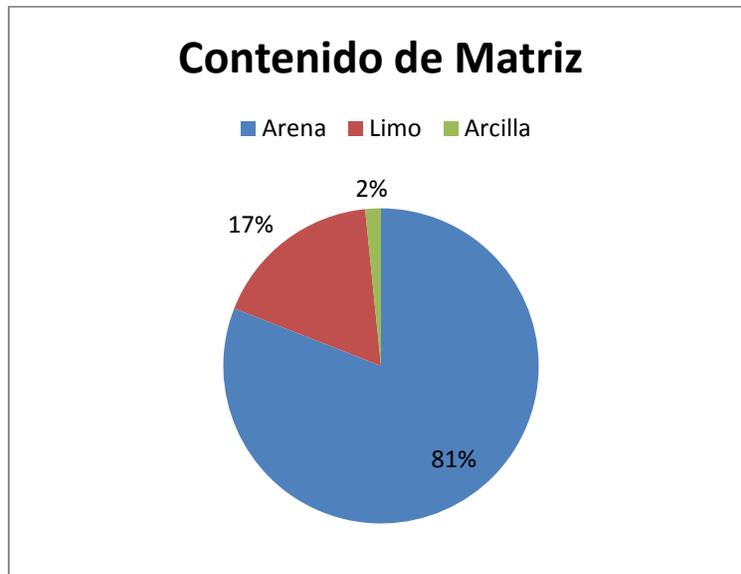
Tabla 27. Resultado de la granulometría total de la muestra 15. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.



Gráfica 32. Resultado de los valores de la tabla 21. Elaboración propia

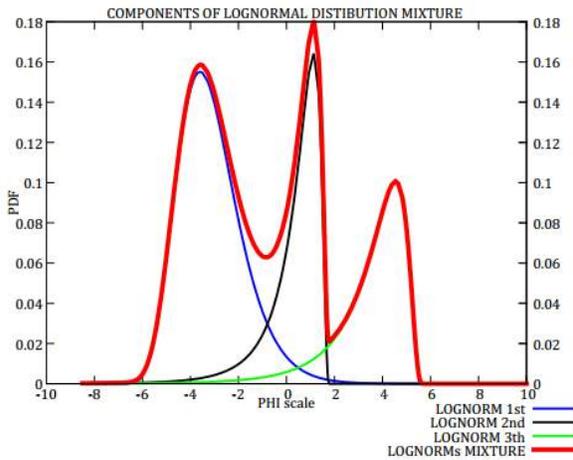
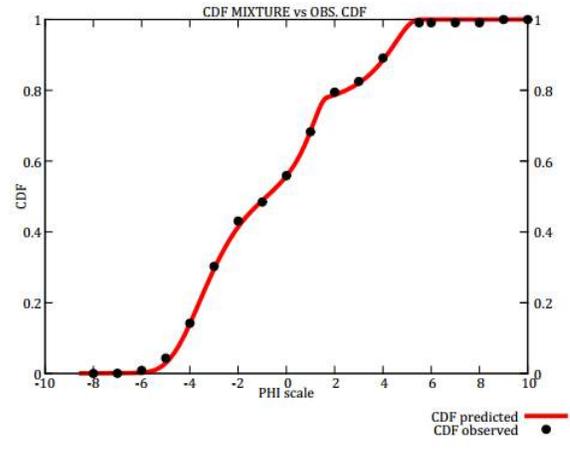
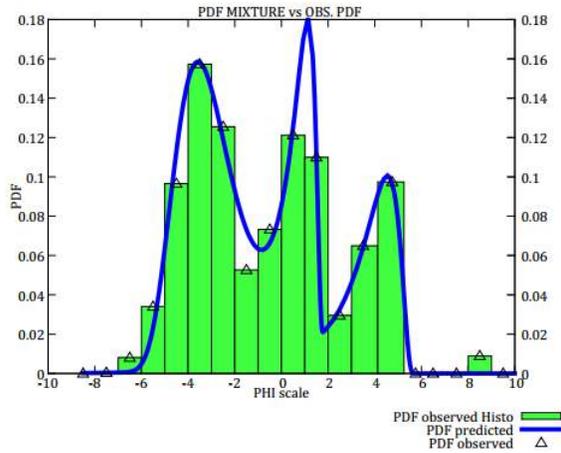
<b>Matrix</b>	(mat. < 2 mm)	<b>56.94%</b>	<b>% Ricalc.</b>
<b>Arena</b>	(2 mm - 64 mic.)	<b>46.09%</b>	<b>80.94%</b>
<b>Limo</b>	(64 mic. 3.9 mic.)	<b>9.94%</b>	<b>17.45%</b>
<b>Arcilla</b>	(inf. a 3.9 mic.)	<b>0.91%</b>	<b>1.60%</b>
			100.00%

Tabla 28. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.



Gráfica 33. Resultado de los valores de la tabla 22. Elaboración propia.

La muestra M0015 indica que el flujo de escombro es no-cohesivo



```

DECOLOG (rel. 5.1 - 2014) - DECONVOLUTION OF MIXTURE'S COMPONENTS
INSIDE PARTICLE SIZE DISTRIBUTIONS
HTTP://www.decolog.org -By L.Borselli % D.Sarocchi, UASLP(Mexico), lborselli@gmail.com

INPUT DATA FILE___GT0015.dat
OUTPUT REPORT___Gtotal0015.xls

## GLOBAL FITTING STATISTICS for CDF:
Model efficiency coefficient(EF)_____0.9996262
Coefficient of Determination(R^2)_____0.9998616
Kolmogorov-Smirnoff difference(Ks)_____0.0168226

## GLOBAL FITTING STATISTICS for PDF:
Model efficiency coefficient(EF)_____0.9788908
Coefficient of Determination(R^2)_____0.9904759

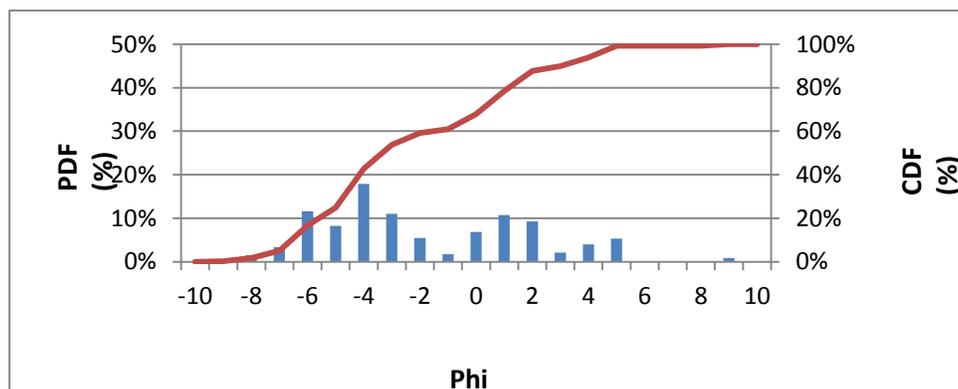
## STATISTICS FROM SPLINES RESAMPLED OBSERVED CDF (MonteCarlo Method):
Mean(PHI)_____ -0.61889
Standard deviation(PHI)___ 3.14854 Very poorly sorted
Skewness_____ 0.38415 Symmetrical
Kurtosis(normalized)_____ -0.73608 Platykurtic
    
```

Gráfica 34. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia.

## Resultados de la granulometría total de la muestra M0009

PHI	PDF	CDF
	PESO	% CUMUL.
-10	0.00000	0.0%
-9	0.00214	0.2%
-8	0.01480	1.7%
-7	0.03312	5.0%
-6	0.11597	16.6%
-5	0.08219	24.8%
-4	0.17915	42.7%
-3	0.10994	53.7%
-2	0.05429	59.2%
-1	0.01758	60.9%
0	0.06852	67.8%
1	0.10714	78.5%
2	0.09249	87.7%
3	0.02126	89.9%
4	0.04002	93.9%
5.5	0.05318	99.2%
6	0.00000	99.2%
7	0.00000	99.2%
8	0.00000	99.2%
9	0.00822	100.0%
10	0.00000	100.0%

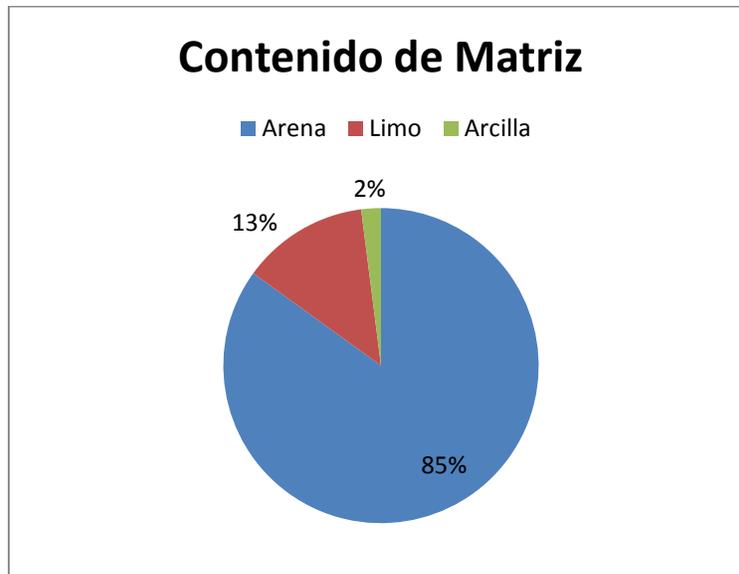
Tabla 29. Resultado de la granulometría total de la muestra 15. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.



Gráfica 35. Resultado de los valores de la tabla 23. Elaboración propia

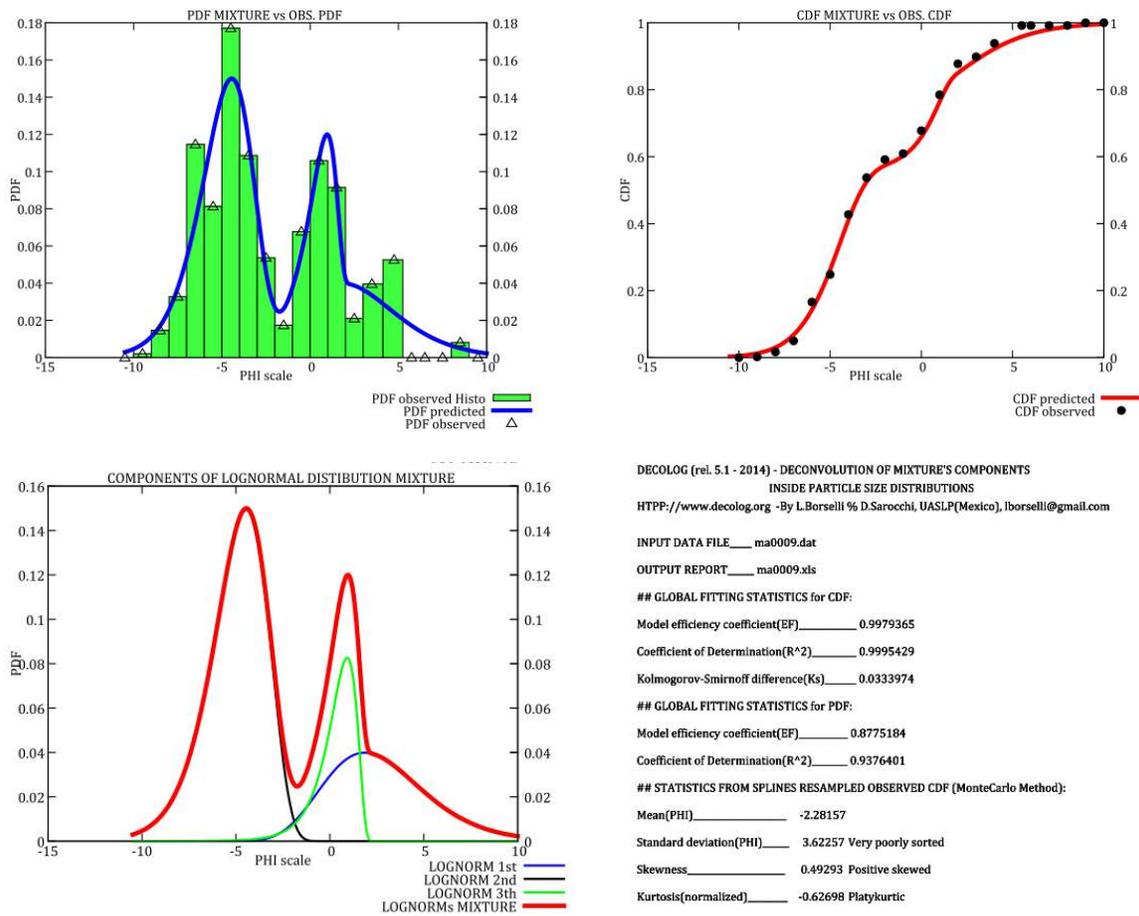
<b>Matrix</b>	(mat. < 2 mm)	<b>40.84%</b>	<b>% Ricalc.</b>
<b>Arena</b>	(2 mm - 64 mic.)	<b>34.70%</b>	<b>84.97%</b>
<b>Limo</b>	(64 mic. 3.9 mic.)	<b>5.32%</b>	<b>13.02%</b>
<b>Arcilla</b>	(inf. a 3.9 mic.)	<b>0.82%</b>	<b>2.01%</b>
			100.00%

Tabla 30. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.



Gráfica 36. Resultado de los valores de la tabla 24. Elaboración propia.

La muestra M0009 indica que el flujo de escombro es no-cohesivo

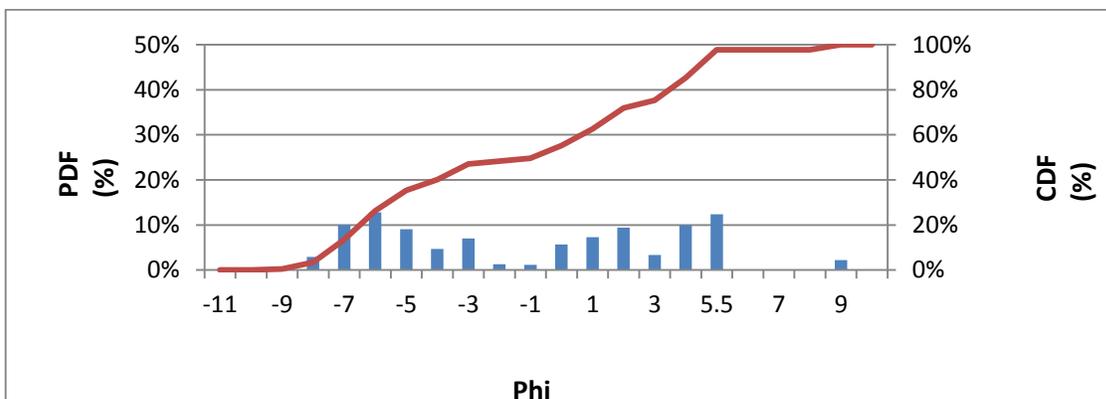


Gráfica 37. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia.

## Resultados de la granulometría total de la muestra M0004

PHI	PDF	CDF
	PESO	% CUMUL.
-11	0.00000	0.0%
-10	0.00067	0.1%
-9	0.00492	0.6%
-8	0.02924	3.5%
-7	0.10000	13.5%
-6	0.12844	26.3%
-5	0.09061	35.4%
-4	0.04708	40.1%
-3	0.07004	47.1%
-2	0.01311	48.4%
-1	0.01183	49.6%
0	0.05713	55.3%
1	0.07290	62.6%
2	0.09387	72.0%
3	0.03387	75.4%
4	0.10017	85.4%
5.5	0.12418	97.8%
6	0.00000	97.8%
7	0.00000	97.8%
8	0.00000	97.8%
9	0.02196	100.0%
10	0.00000	100.0%

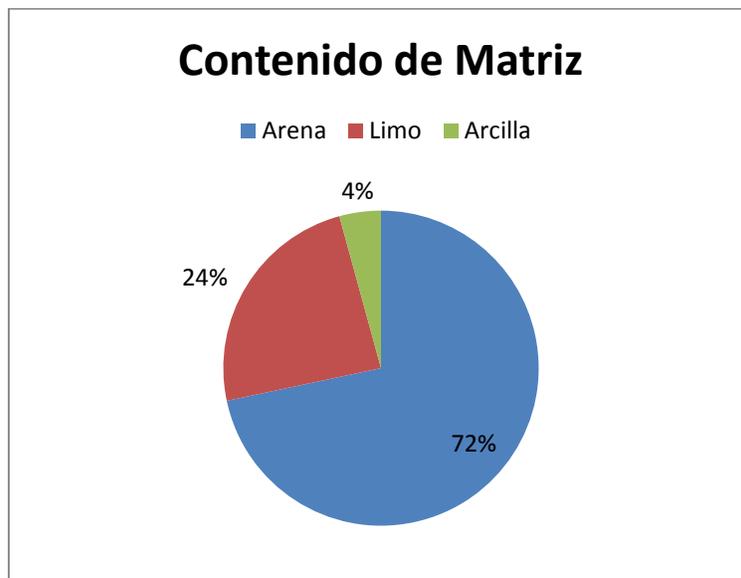
Tabla 31. Resultado de la granulometría total de la muestra 04. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.



Gráfica 38. Resultado de los valores de la tabla 25. Elaboración propia

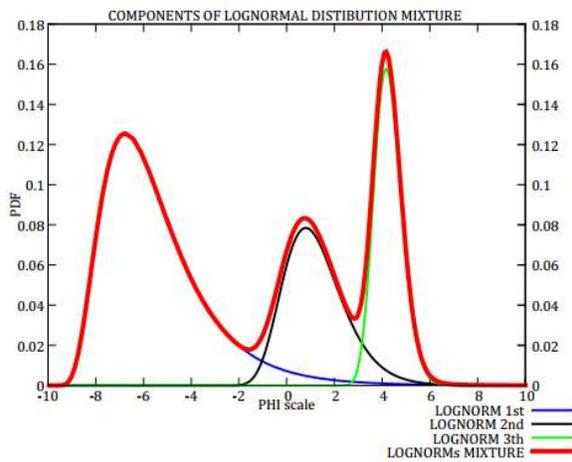
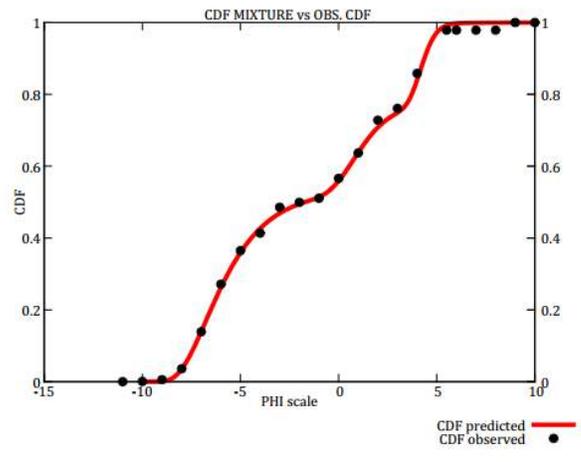
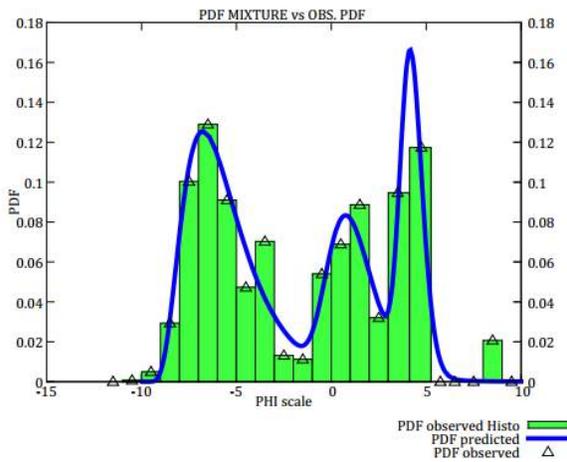
<b>Matrix</b>	(mat. < 2 mm)	<b>51.59%</b>	<b>% Ricalc.</b>
<b>Arena</b>	(2 mm - 64 mic.)	<b>36.98%</b>	<b>71.67%</b>
<b>Limo</b>	(64 mic. 3.9 mic.)	<b>12.42%</b>	<b>24.07%</b>
<b>Arcilla</b>	(inf. a 3.9 mic.)	<b>2.20%</b>	<b>4.26%</b>
			100.00%

Tabla 32. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.



Gráfica 39. Resultado de los valores de la tabla 26. Elaboración propia.

La muestra M0004 indica que el flujo de escombro es cohesivo



DECOLOG (rel. 5.1 - 2014) - DECONVOLUTION OF MIXTURE'S COMPONENTS  
 INSIDE PARTICLE SIZE DISTRIBUTIONS  
 HTTP://www.decolog.org - By L.Borselli % D.Sarocchi, UASLP(Mexico), lborselli@gmail.com

INPUT DATA FILE \_\_\_ ma0004.dat  
 OUTPUT REPORT \_\_\_ ma0004.xls

## GLOBAL FITTING STATISTICS for CDF:  
 Model efficiency coefficient(EF) \_\_\_\_\_ 0.9989435  
 Coefficient of Determination(R^2) \_\_\_\_\_ 0.9995247  
 Kolmogorov-Smirnoff difference(Ks) \_\_\_\_\_ 0.0208340

## GLOBAL FITTING STATISTICS for PDF:  
 Model efficiency coefficient(EF) \_\_\_\_\_ 0.9262381  
 Coefficient of Determination(R^2) \_\_\_\_\_ 0.9627076

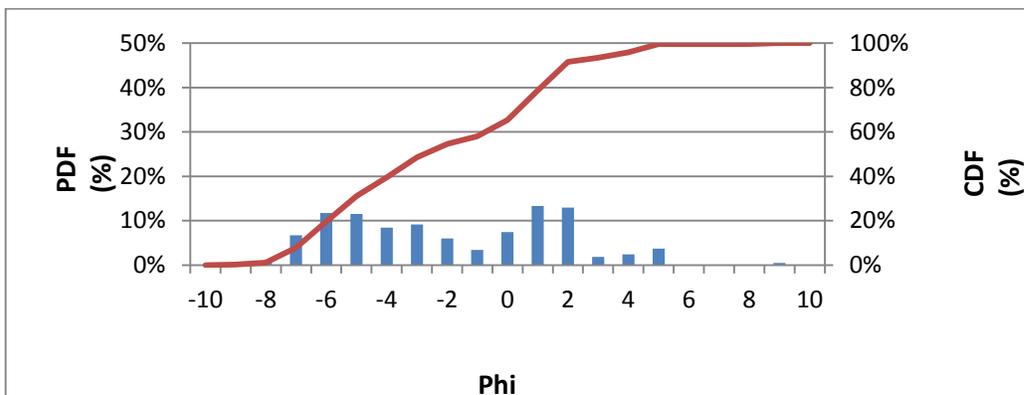
## STATISTICS FROM SPLINES RESAMPLED OBSERVED CDF (MonteCarlo Method):  
 Mean(PHI) \_\_\_\_\_ -1.68745  
 Standard deviation(PHI) \_\_\_\_\_ 4.66427 Extremely poorly sorted  
 Skewness \_\_\_\_\_ 0.18870 Symmetrical  
 Kurtosis(normalized) \_\_\_\_\_ -1.30597 Very platykurtic

Gráfica 40. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia.

## Resultados de la granulometría total de la muestra M0052

PHI	PDF	CDF
	PESO	% CUMUL.
-10	0.00000	0.0%
-9	0.00230	0.2%
-8	0.00898	1.1%
-7	0.06721	7.8%
-6	0.11734	19.6%
-5	0.11479	31.1%
-4	0.08428	39.5%
-3	0.09109	48.6%
-2	0.05952	54.5%
-1	0.03419	58.0%
0	0.07396	65.4%
1	0.13288	78.7%
2	0.12958	91.6%
3	0.01828	93.4%
4	0.02410	95.9%
5.5	0.03685	99.5%
6	0.00000	99.5%
7	0.00000	99.5%
8	0.00000	99.5%
9	0.00464	100.0%
10	0.00000	100.0%

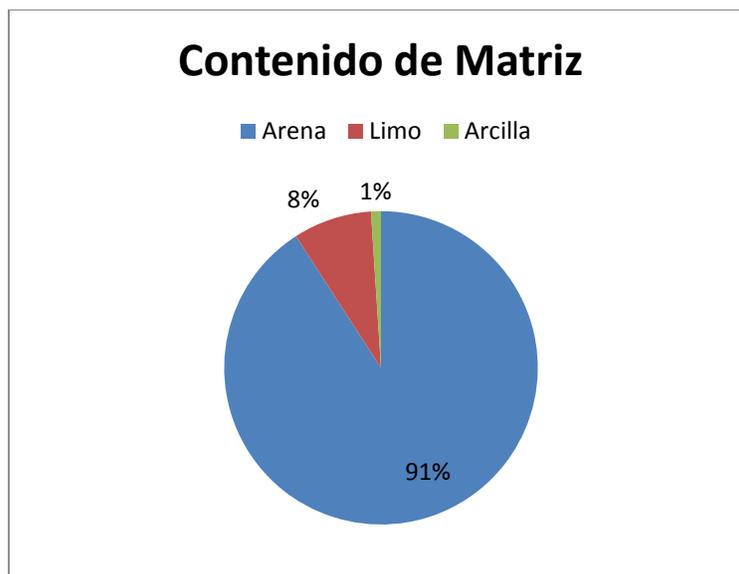
Tabla 33. Resultado de la granulometría total de la muestra 52. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.



Gráfica 41. Resultado de los valores de la tabla 27. Elaboración propia

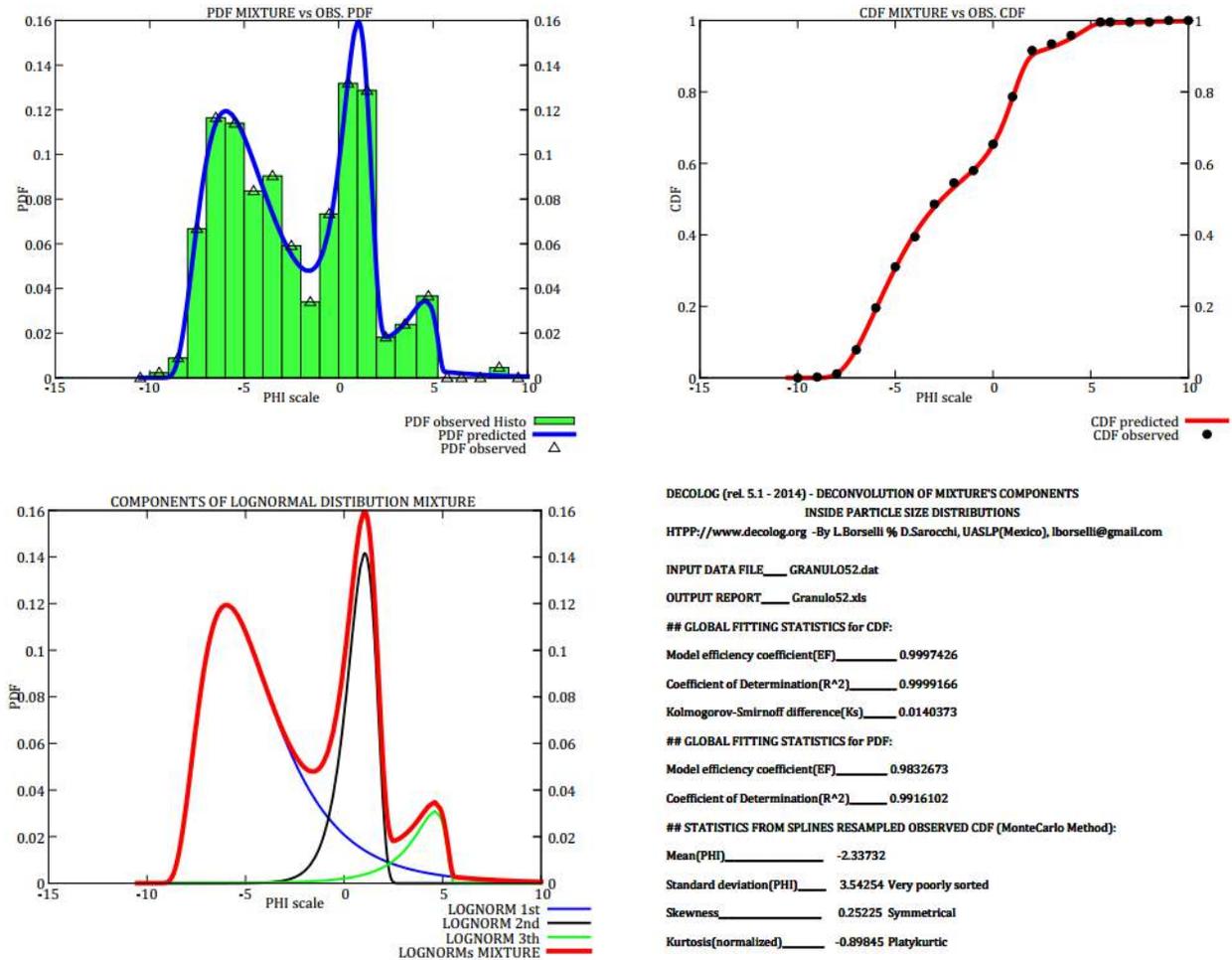
<b>Matrix</b>	(mat. < 2 mm)	<b>45.67%</b>	<b>% Ricalc.</b>
<b>Arena</b>	(2 mm - 64 mic.)	<b>41.50%</b>	<b>90.87%</b>
<b>Limo</b>	(64 mic. 3.9 mic.)	<b>3.70%</b>	<b>8.11%</b>
<b>Arcilla</b>	(inf. a 3.9 mic.)	<b>0.47%</b>	<b>1.02%</b>
			100.00%

Tabla 34. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.



Gráfica 42. Resultado de los valores de la tabla 28. Elaboración propia.

La muestra M0052 indica que el flujo de escombro es no-cohesivo

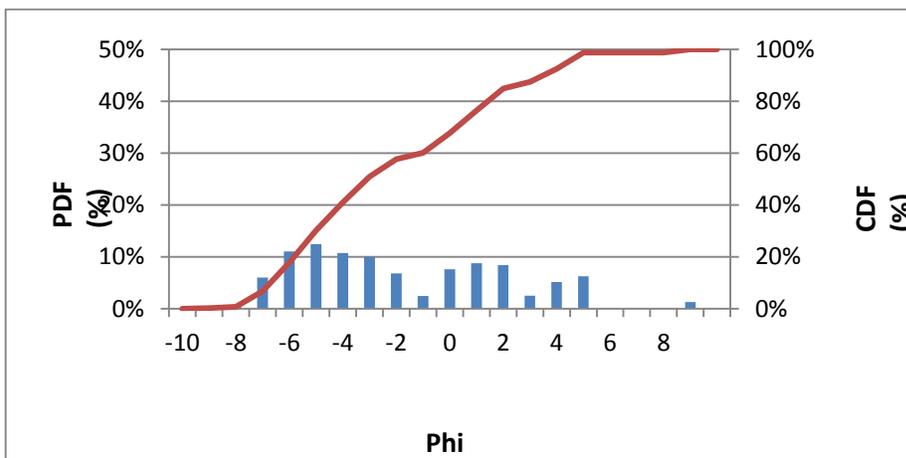


Gráfica 43. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia.

## Resultados de la granulometría total de la muestra M0050

PHI	PDF	CDF
	PESO	% CUMUL.
-10	0.00000	0.0%
-9	0.00141	0.1%
-8	0.00572	0.7%
-7	0.05997	6.7%
-6	0.11038	17.7%
-5	0.12437	30.2%
-4	0.10739	40.9%
-3	0.09952	50.9%
-2	0.06785	57.7%
-1	0.02448	60.1%
0	0.07603	67.7%
1	0.08742	76.5%
2	0.08404	84.9%
3	0.02522	87.4%
4	0.05115	92.5%
5	0.06260	98.8%
6	0.00000	98.8%
7	0.00000	98.8%
8	0.00000	98.8%
9	0.01247	100.0%
10	0.00000	100.0%

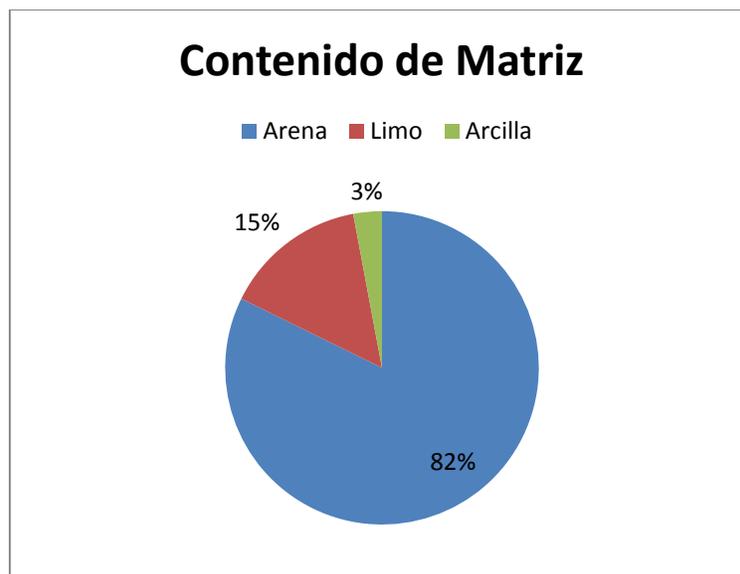
Tabla 35. Resultado de la granulometría total de la muestra 50. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.



Gráfica 44. Resultado de los valores de la tabla 29. Elaboración propia

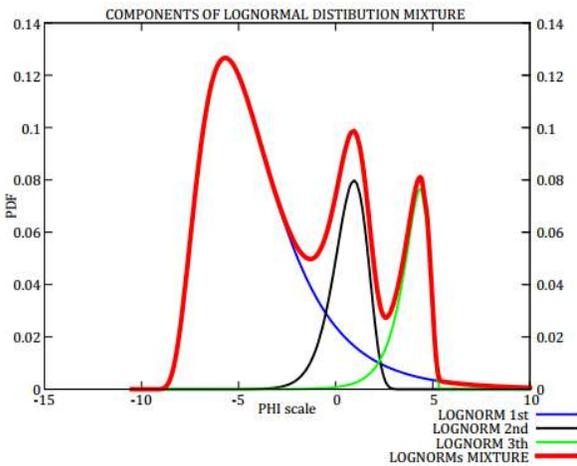
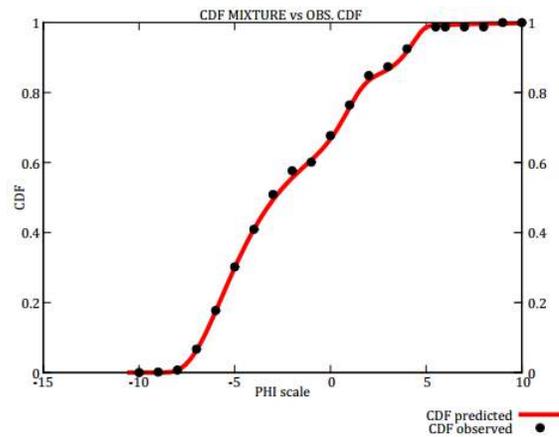
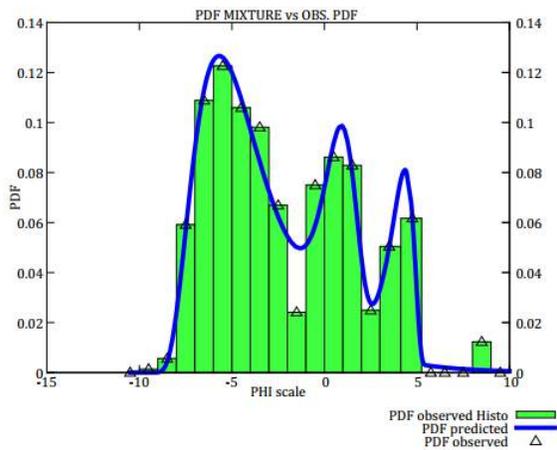
<b>Matrix</b>	(mat. < 2 mm)	<b>42.34%</b>	<b>% Ricalc.</b>
<b>Arena</b>	(2 mm - 64 mic.)	<b>34.83%</b>	<b>82.27%</b>
<b>Limo</b>	(64 mic. 3.9 mic.)	<b>6.26%</b>	<b>14.78%</b>
<b>Arcilla</b>	(inf. a 3.9 mic.)	<b>1.25%</b>	<b>2.94%</b>
			100.00%

Tabla 36. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.



Gráfica 45. Resultado de los valores de la tabla 30. Elaboración propia.

La muestra M0050 indica que el flujo de escombro es no-cohesivo



DECOLOG (rel. 5.1 - 2014) - DECONVOLUTION OF MIXTURE'S COMPONENTS  
INSIDE PARTICLE SIZE DISTRIBUTIONS  
HTTP://www.decolog.org - By L.Borselli % D.Sarocchi, UASLP(Mexico), lborselli@gmail.com

INPUT DATA FILE\_\_ granulo0050.dat  
OUTPUT REPORT\_\_ GRANULO50.xls

## GLOBAL FITTING STATISTICS for CDF:  
Model efficiency coefficient(EF)\_\_\_\_\_ 0.9995149  
Coefficient of Determination(R^2)\_\_\_\_\_ 0.9997956  
Kolmogorov-Smirnoff difference(Ks)\_\_\_\_\_ 0.0204681

## GLOBAL FITTING STATISTICS for PDF:  
Model efficiency coefficient(EF)\_\_\_\_\_ 0.9625278  
Coefficient of Determination(R^2)\_\_\_\_\_ 0.9811828

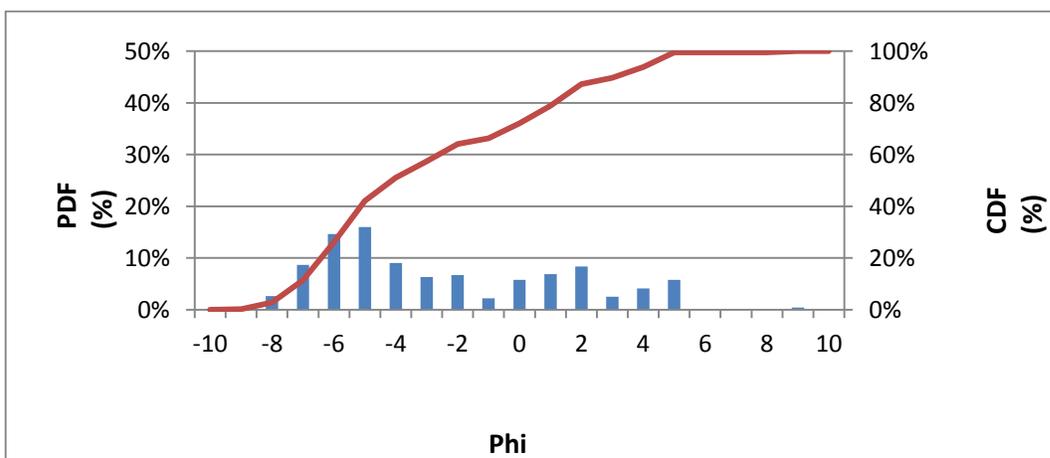
## STATISTICS FROM SPLINES RESAMPLED OBSERVED CDF (MonteCarlo Method):  
Mean(PHI)\_\_\_\_\_ -2.17631  
Standard deviation(PHI)\_\_\_\_\_ 3.82114 Very poorly sorted  
Skewness\_\_\_\_\_ 0.50076 Positive skewed  
Kurtosis(normalized)\_\_\_\_\_ -0.68622 Platykurtic

Gráfica 46. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia.

## Resultados de la granulometría total de la muestra M0047

PHI	PDF	CDF
	PESO	% CUMUL.
-10	0.00000	0.0%
-9	0.00171	0.2%
-8	0.02623	2.8%
-7	0.08624	11.4%
-6	0.14639	26.1%
-5	0.15981	42.0%
-4	0.09010	51.0%
-3	0.06333	57.4%
-2	0.06672	64.1%
-1	0.02214	66.3%
0	0.05772	72.0%
1	0.06847	78.9%
2	0.08365	87.3%
3	0.02470	89.7%
4	0.04089	93.8%
5.5	0.05766	99.6%
6	0.00000	99.6%
7	0.00000	99.6%
8	0.00000	99.6%
9	0.00424	100.0%
10	0.00000	100.0%

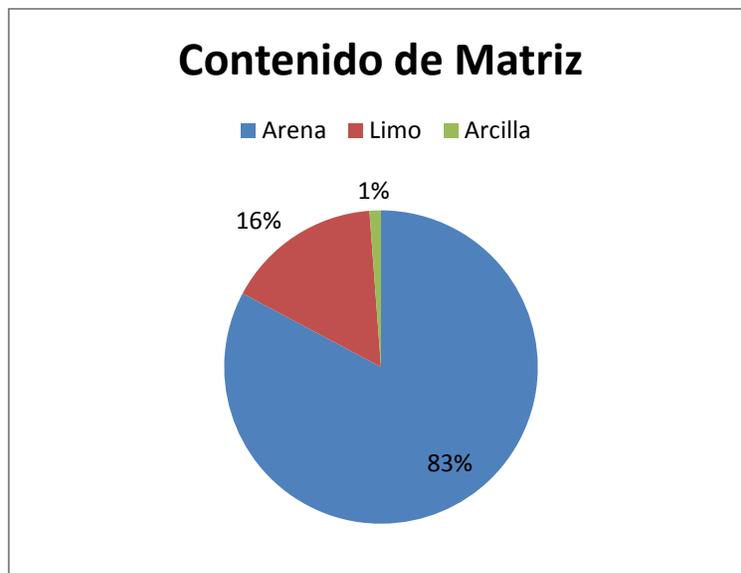
Tabla 37. Resultado de la granulometría total de la muestra 47. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.



Gráfica 47. Resultado de los valores de la tabla 31. Elaboración propia

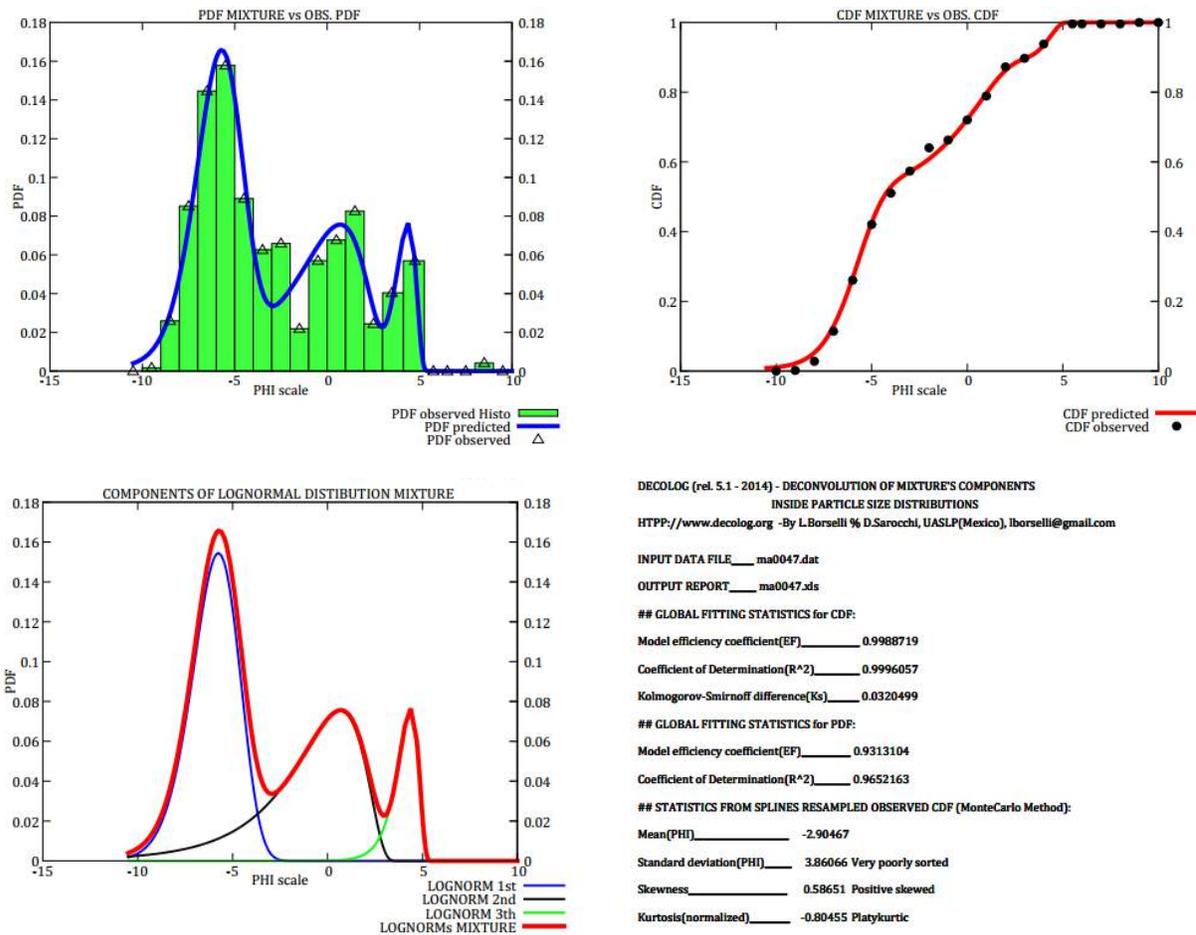
<b>Matrix</b>	(mat. < 2 mm)	<b>35.95%</b>	<b>% Ricalc.</b>
<b>Arena</b>	(2 mm - 64 mic.)	<b>29.76%</b>	<b>82.78%</b>
<b>Limo</b>	(64 mic. 3.9 mic.)	<b>5.77%</b>	<b>16.04%</b>
<b>Arcilla</b>	(inf. a 3.9 mic.)	<b>0.42%</b>	<b>1.18%</b>
			100.00%

Tabla 38. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.



Gráfica 48. Resultado de los valores de la tabla 32. Elaboración propia.

La muestra M0047 indica que el flujo de escombro es no-cohesivo

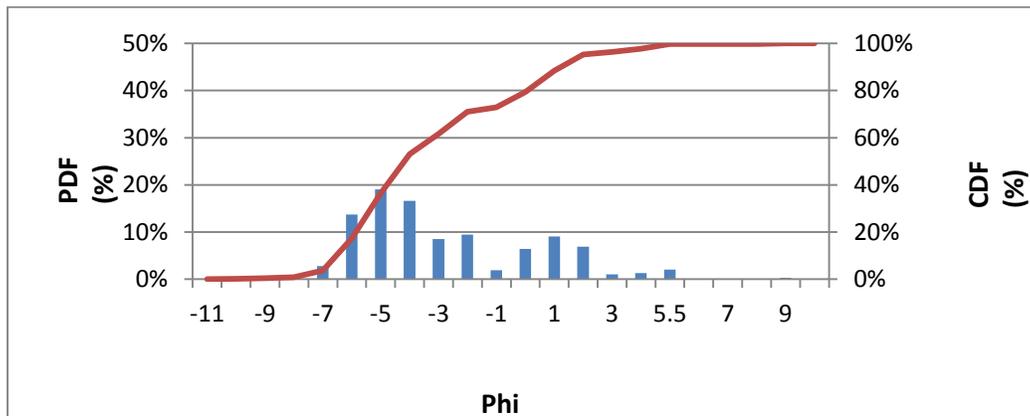


Gráfica 49. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia.

## Resultados de la granulometría total de la muestra M0046

PHI	PDF	CDF
	PESO	% CUMUL.
-11	0.00000	0.0%
-10	0.00165	0.2%
-9	0.00250	0.4%
-8	0.00490	0.9%
-7	0.02763	3.7%
-6	0.13708	17.4%
-5	0.19054	36.4%
-4	0.16611	53.0%
-3	0.08509	61.6%
-2	0.09471	71.0%
-1	0.01930	73.0%
0	0.06430	79.4%
1	0.09061	88.4%
2	0.06917	95.4%
3	0.01029	96.4%
4	0.01296	97.7%
5.5	0.02047	99.7%
6	0.00000	99.7%
7	0.00000	99.7%
8	0.00000	99.7%
9	0.00269	100.0%
10	0.00000	100.0%

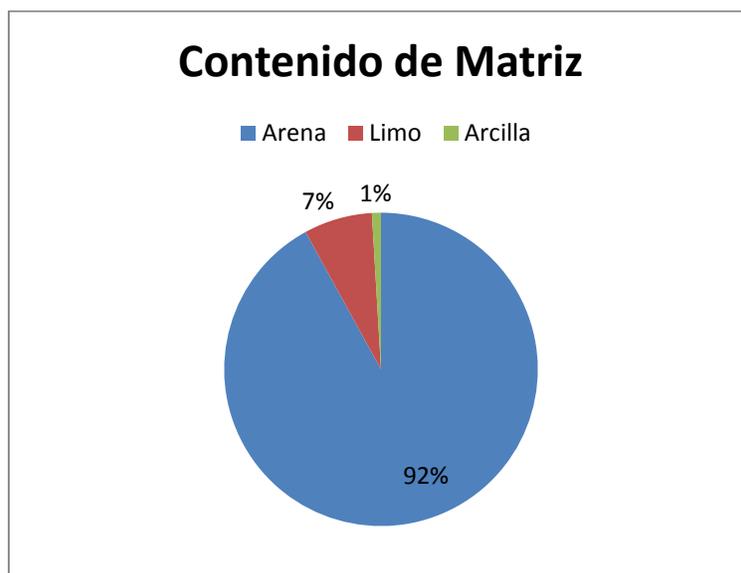
Tabla 39. Resultado de la granulometría total de la muestra 46. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.



Gráfica 50. Resultado de los valores de la tabla 33. Elaboración propia

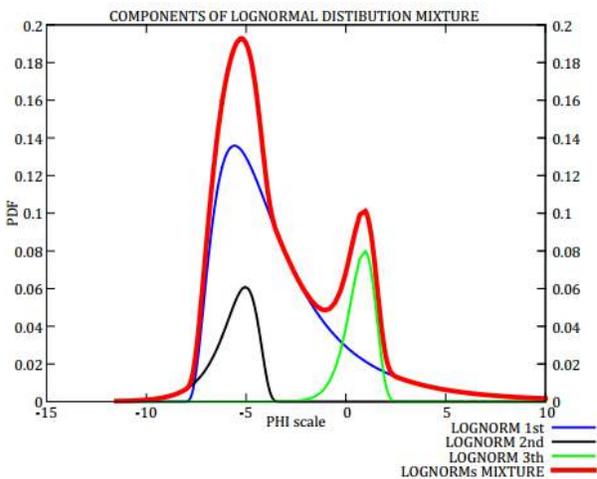
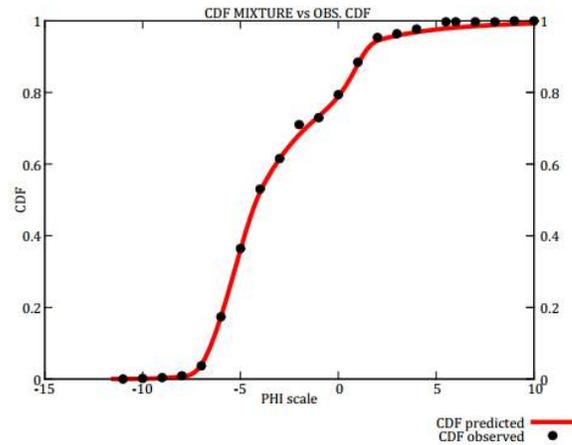
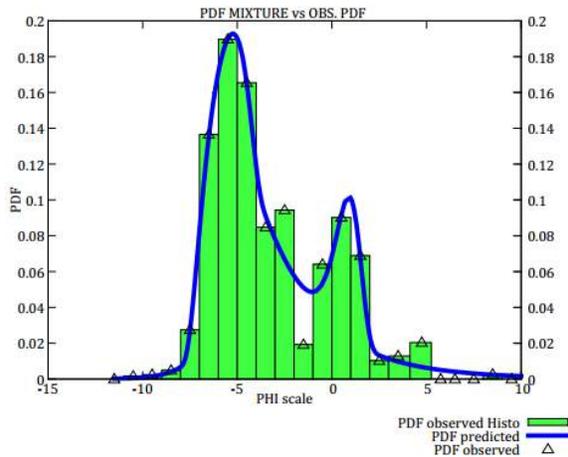
<b>Matrix</b>	(mat. < 2 mm)	<b>28.98%</b>	<b>% Ricalc.</b>
<b>Arena</b>	(2 mm - 64 mic.)	<b>26.66%</b>	<b>92.01%</b>
<b>Limo</b>	(64 mic. 3.9 mic.)	<b>2.05%</b>	<b>7.06%</b>
<b>Arcilla</b>	(inf. a 3.9 mic.)	<b>0.27%</b>	<b>0.93%</b>
			100.00%

Tabla 40. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.



Gráfica 51. Resultado de los valores de la tabla 34. Elaboración propia.

La muestra M0046 indica que el flujo de escombro es no-cohesivo



DECOLOG (rel. 5.1 - 2014) - DECONVOLUTION OF MIXTURE'S COMPONENTS  
INSIDE PARTICLE SIZE DISTRIBUTIONS  
HTTP://www.decolog.org -By L.Borselli % D.Sarocchi, UASLP(Mexico), lborselli@gmail.com

INPUT DATA FILE\_\_ GRANULO46.dat  
OUTPUT REPORT\_\_ granulo46.xls

## GLOBAL FITTING STATISTICS for CDF:

Model efficiency coefficient(EF)\_\_\_\_\_ 0.9993699  
Coefficient of Determination(R^2)\_\_\_\_\_ 0.9998807  
Kolmogorov-Smirnoff difference(Ks)\_\_\_\_\_ 0.0284728

## GLOBAL FITTING STATISTICS for PDF:

Model efficiency coefficient(EF)\_\_\_\_\_ 0.9695921  
Coefficient of Determination(R^2)\_\_\_\_\_ 0.9846863

## STATISTICS FROM SPLINES RESAMPLED OBSERVED CDF (MonteCarlo Method):

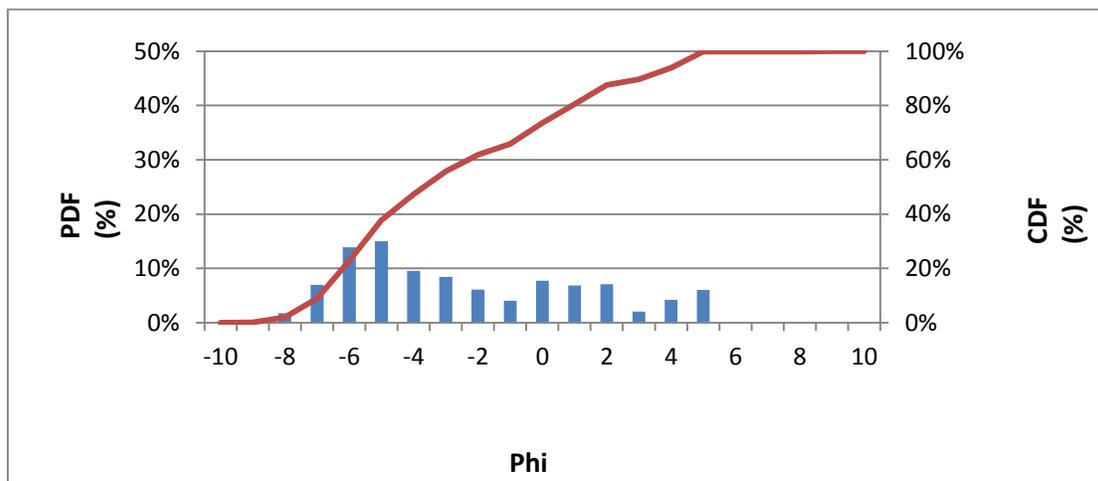
Mean(PHI)\_\_\_\_\_ -3.23687  
Standard deviation(PHI)\_\_\_\_\_ 3.05142 Very poorly sorted  
Skewness\_\_\_\_\_ 0.79256 Positive skewed  
Kurtosis(normalized)\_\_\_\_\_ -0.00452 Mesokurtic

Gráfica 52. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia.

## Resultados de la granulometría total de la muestra M0041

PHI	PDF	CDF
	PESO	% CUMUL.
-10	0.00000	0.0%
-9	0.00164	0.2%
-8	0.01777	1.9%
-7	0.06978	8.9%
-6	0.13863	22.8%
-5	0.14971	37.8%
-4	0.09565	47.3%
-3	0.08422	55.7%
-2	0.06104	61.8%
-1	0.04041	65.9%
0	0.07736	73.6%
1	0.06830	80.5%
2	0.07111	87.6%
3	0.02070	89.6%
4	0.04233	93.9%
5.5	0.06010	99.9%
6	0.00000	99.9%
7	0.00000	99.9%
8	0.00000	99.9%
9	0.00125	100.0%
10	0.00000	100.0%

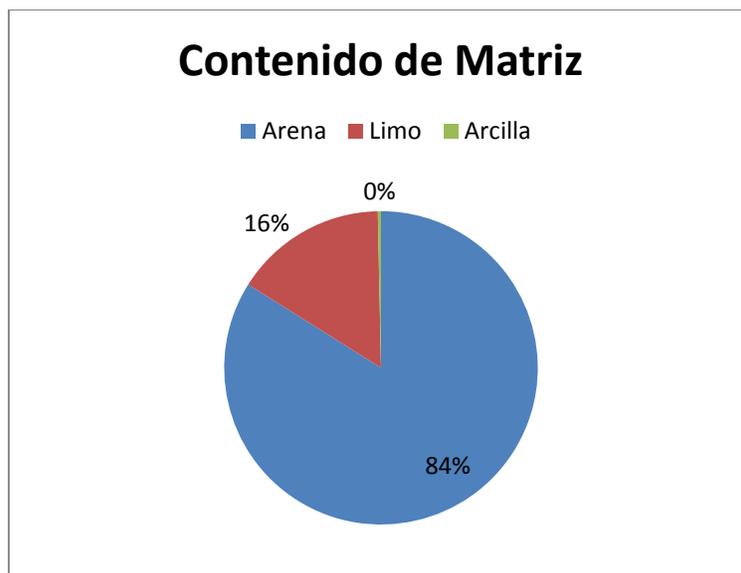
Tabla 41. Resultado de la granulometría total de la muestra 41. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.



Gráfica 53. Resultado de los valores de la tabla 35. Elaboración propia

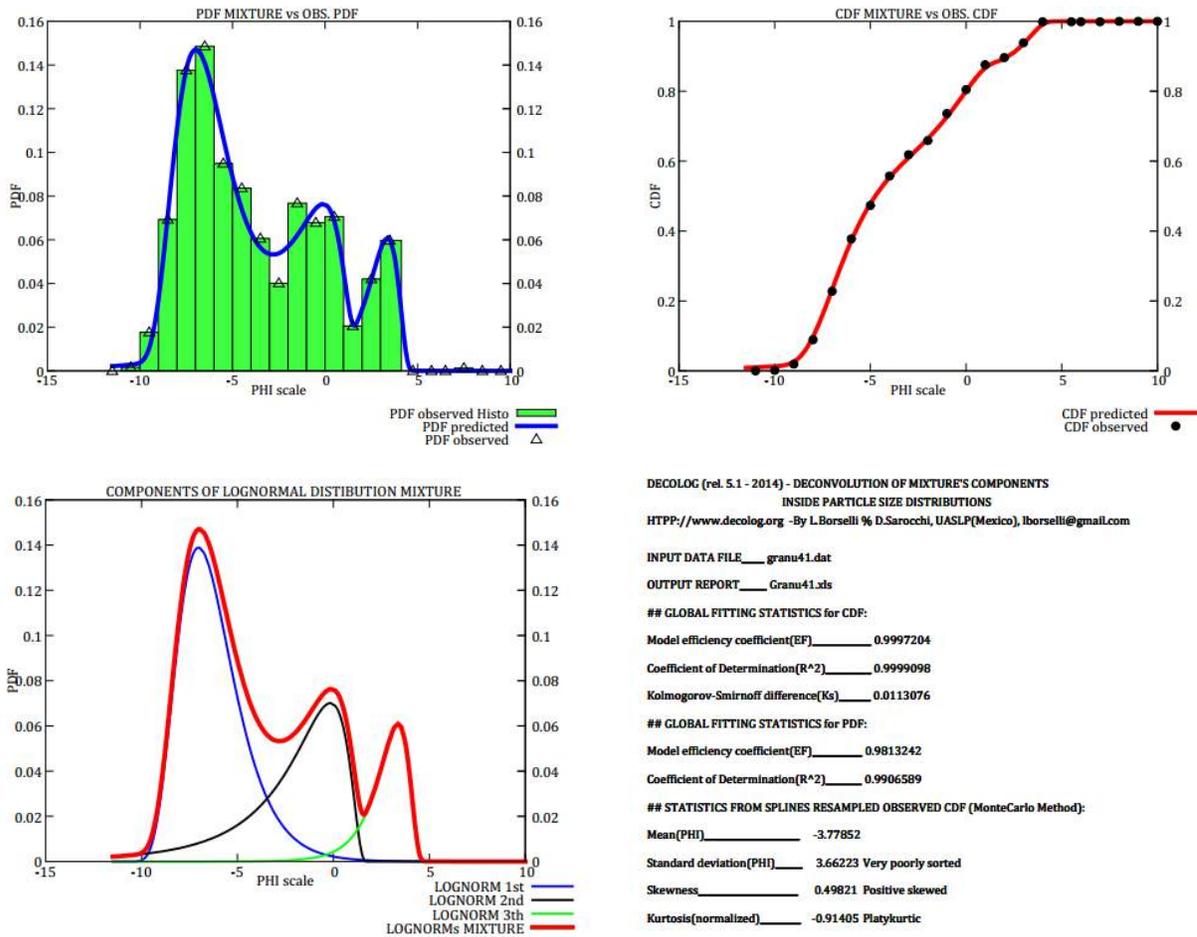
<b>Matrix</b>	(mat. < 2 mm)	<b>38.16%</b>	<b>% Ricalc.</b>
<b>Arena</b>	(2 mm - 64 mic.)	<b>32.02%</b>	<b>83.92%</b>
<b>Limo</b>	(64 mic. 3.9 mic.)	<b>6.01%</b>	<b>15.75%</b>
<b>Arcilla</b>	(inf. a 3.9 mic.)	<b>0.12%</b>	<b>0.33%</b>
			100.00%

Tabla 42. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.



Gráfica 54. Resultado de los valores de la tabla 36. Elaboración propia.

La muestra M0041 indica que el flujo de escombro es no-cohesivo

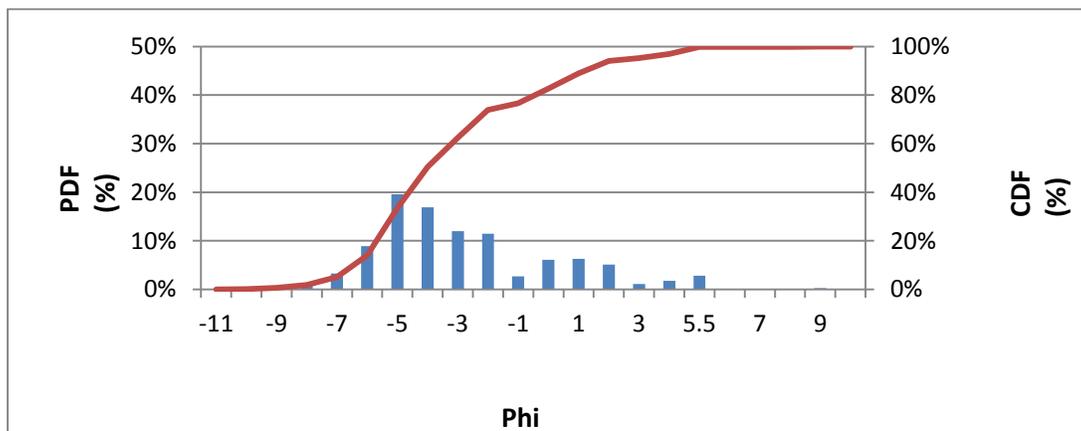


Gráfica 55. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia.

## Resultados de la granulometría total de la muestra M0044

PHI	PDF	CDF
	PESO	% CUMUL.
-11	0.00000	0.0%
-10	0.00137	0.1%
-9	0.00509	0.6%
-8	0.01115	1.8%
-7	0.03298	5.1%
-6	0.08929	14.0%
-5	0.19560	33.5%
-4	0.16889	50.4%
-3	0.11998	62.4%
-2	0.11471	73.9%
-1	0.02681	76.6%
0	0.06108	82.7%
1	0.06260	89.0%
2	0.05124	94.1%
3	0.01121	95.2%
4	0.01774	97.0%
5.5	0.02790	99.8%
6	0.00000	99.8%
7	0.00000	99.8%
8	0.00000	99.8%
9	0.00237	100.0%
10	0.00000	100.0%

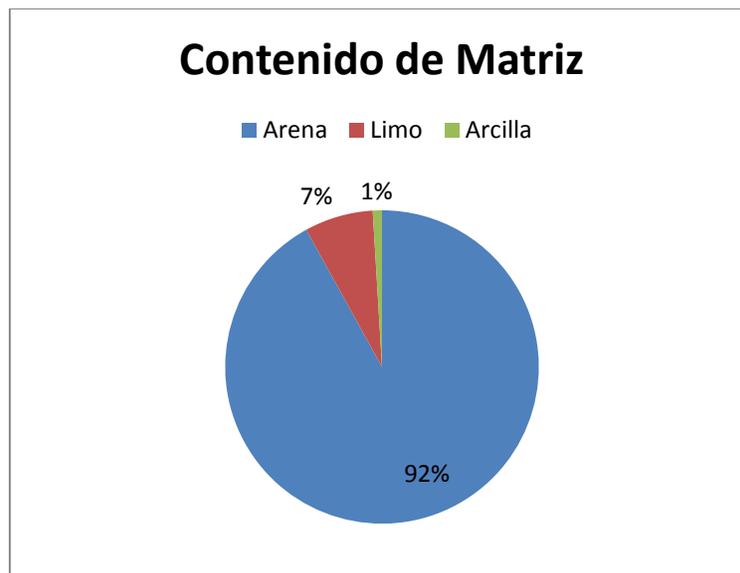
Tabla 43. Resultado de la granulometría total de la muestra 44. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.



Gráfica 56. Resultado de los valores de la tabla 37. Elaboración propia

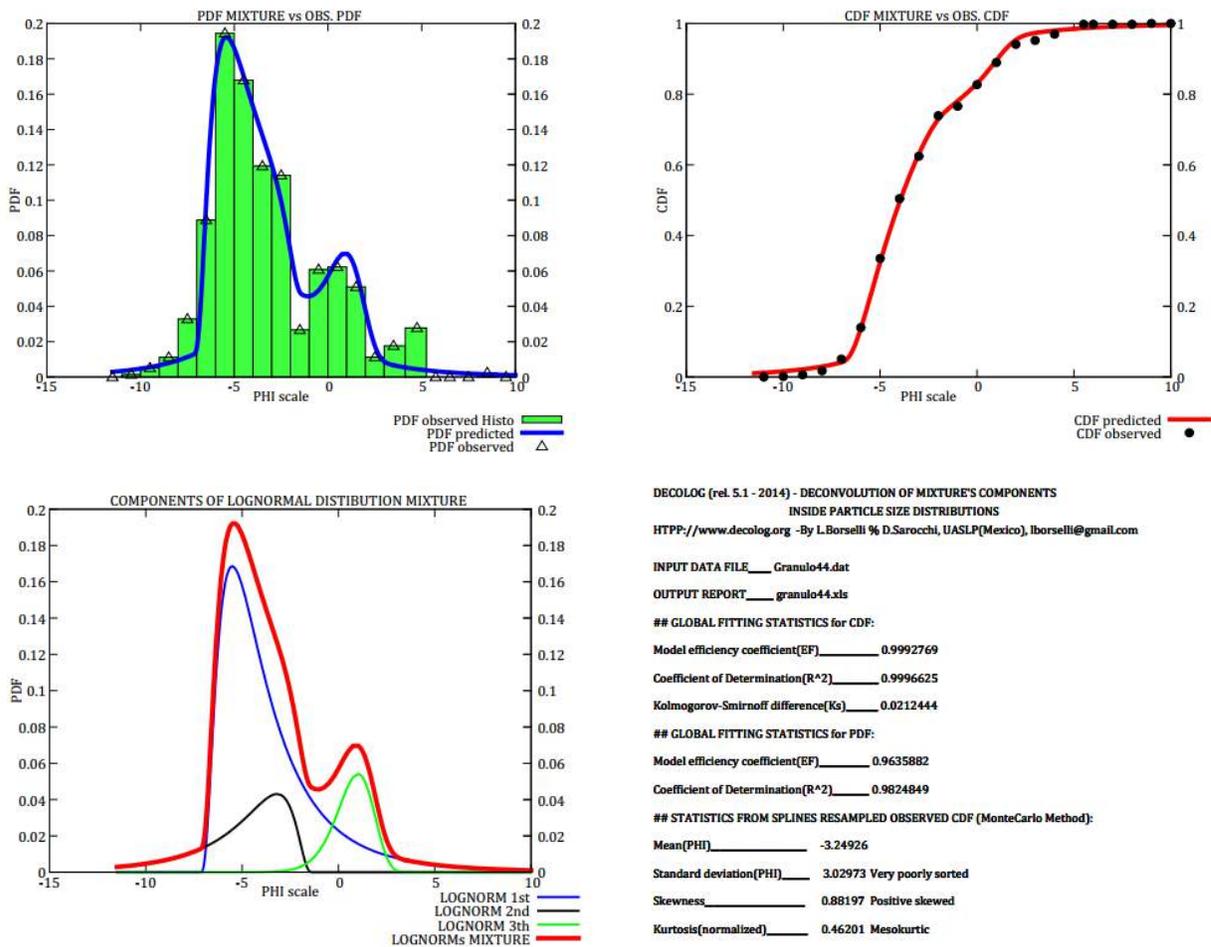
<b>Matrix</b>	(mat. < 2 mm)	<b>25.08%</b>	<b>% Ricalc.</b>
<b>Arena</b>	(2 mm - 64 mic.)	<b>23.07%</b>	<b>91.98%</b>
<b>Limo</b>	(64 mic. 3.9 mic.)	<b>1.77%</b>	<b>7.07%</b>
<b>Arcilla</b>	(inf. a 3.9 mic.)	<b>0.24%</b>	<b>0.95%</b>
			100.00%

Tabla 44. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.



Gráfica 57. Resultado de los valores de la tabla 38. Elaboración propia.

La muestra M0044 indica que el flujo de escombro es no-cohesivo

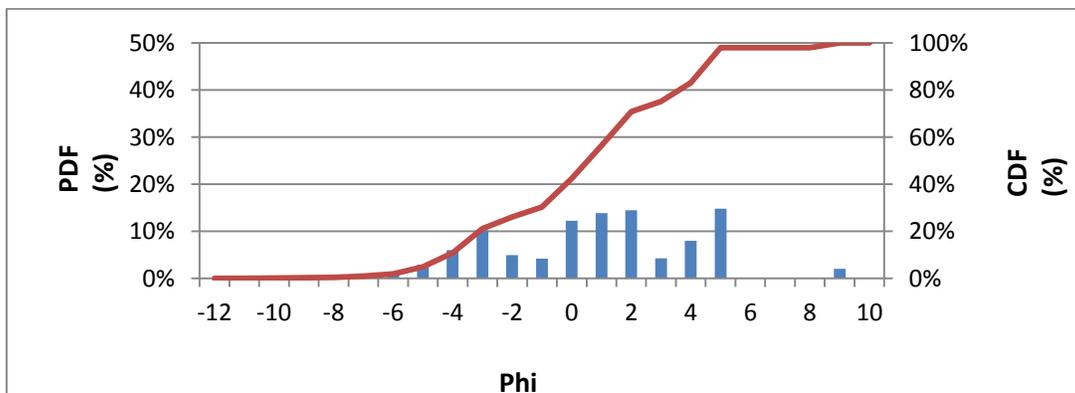


Gráfica 58. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia

## Resultados de la granulometría total de la muestra M0037

PHI	PDF	CDF
	PESO	% CUMUL.
-12	0.00000	0.0%
-11	0.00057	0.1%
-10	0.00061	0.1%
-9	0.00215	0.3%
-8	0.00143	0.5%
-7	0.00578	1.1%
-6	0.00881	1.9%
-5	0.02930	4.9%
-4	0.06013	10.9%
-3	0.10232	21.1%
-2	0.04978	26.1%
-1	0.04205	30.3%
0	0.12226	42.5%
1	0.13859	56.4%
2	0.14494	70.9%
3	0.04275	75.1%
4	0.08022	83.2%
5.5	0.14787	98.0%
6	0.00000	98.0%
7	0.00000	98.0%
8	0.00000	98.0%
9	0.02045	100.0%
10	0.00000	100.0%

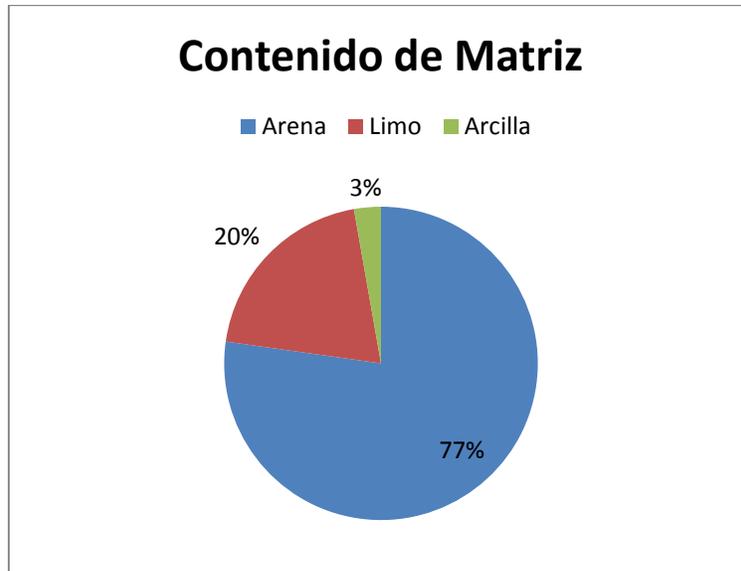
Tabla 45. Resultado de la granulometría total de la muestra 37. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.



Gráfica 59. Resultado de los valores de la tabla 39. Elaboración propia

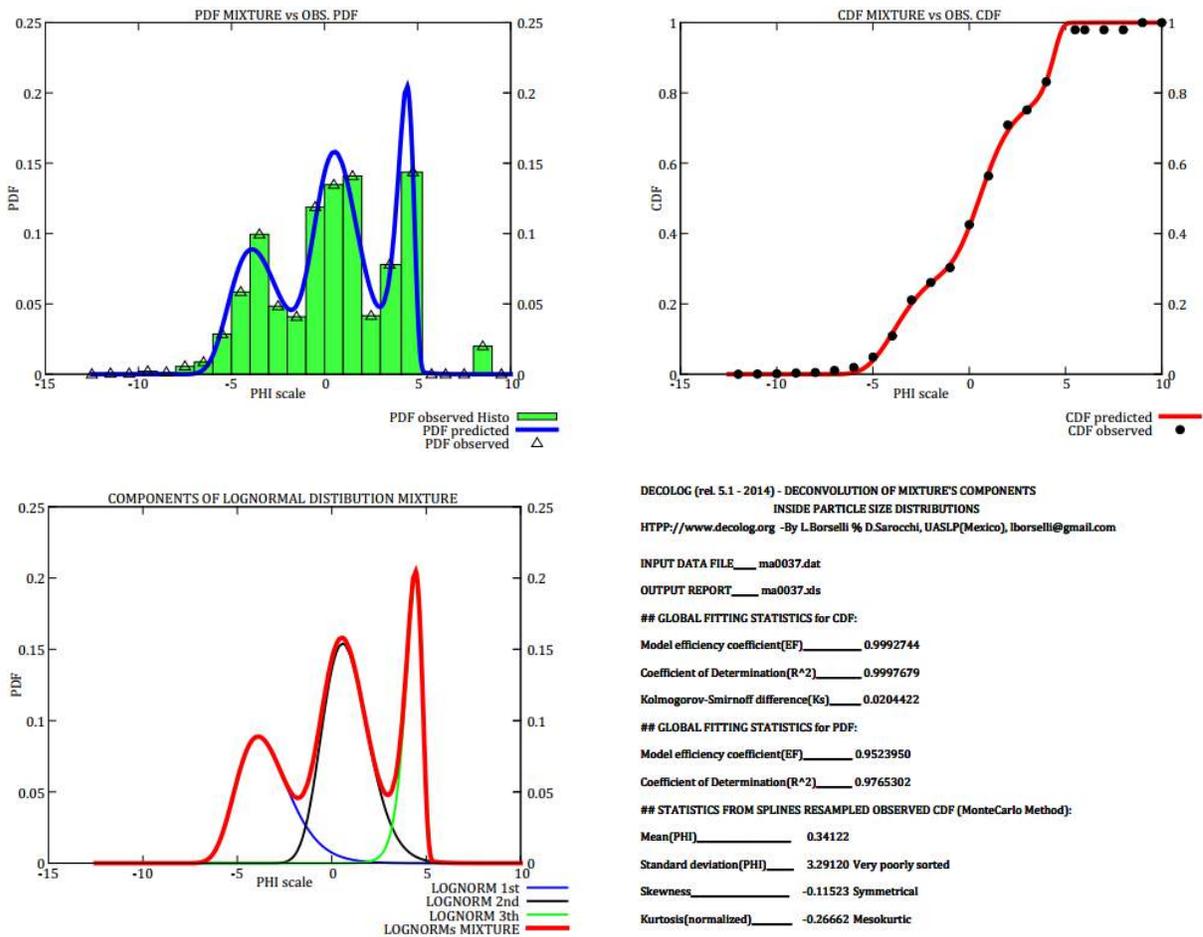
<b>Matrix</b>	(mat. < 2 mm)	<b>73.91%</b>	<b>% Ricalc.</b>
<b>Arena</b>	(2 mm - 64 mic.)	<b>57.08%</b>	<b>77.23%</b>
<b>Limo</b>	(64 mic. 3.9 mic.)	<b>14.79%</b>	<b>20.01%</b>
<b>Arcilla</b>	(inf. a 3.9 mic.)	<b>2.04%</b>	<b>2.77%</b>
			100.00%

Tabla 46. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.



Gráfica 60. Resultado de los valores de la tabla 38. Elaboración propia.

La muestra M0037 indica que el flujo de escombro es no-cohesivo

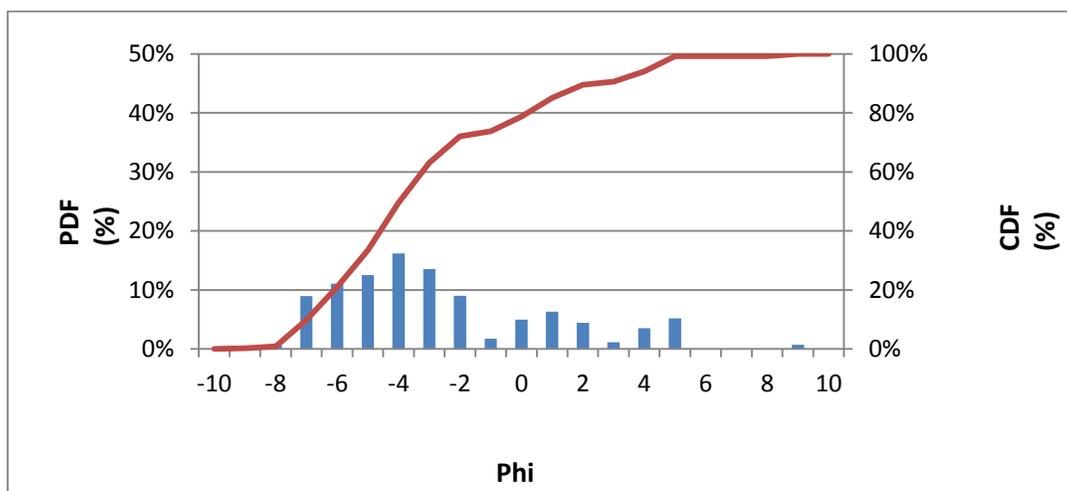


Gráfica 61. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia

## Resultados de la granulometría total de la muestra M0032

PHI	PDF	CDF
	PESO	% CUMUL.
-10	0.00000	0.0%
-9	0.00252	0.3%
-8	0.00645	0.9%
-7	0.08952	9.8%
-6	0.11046	20.9%
-5	0.12500	33.4%
-4	0.16168	49.6%
-3	0.13530	63.1%
-2	0.08989	72.1%
-1	0.01717	73.8%
0	0.04964	78.8%
1	0.06325	85.1%
2	0.04402	89.5%
3	0.01134	90.6%
4	0.03501	94.1%
5.5	0.05161	99.3%
6	0.00000	99.3%
7	0.00000	99.3%
8	0.00000	99.3%
9	0.00714	100.0%
10	0.00000	100.0%

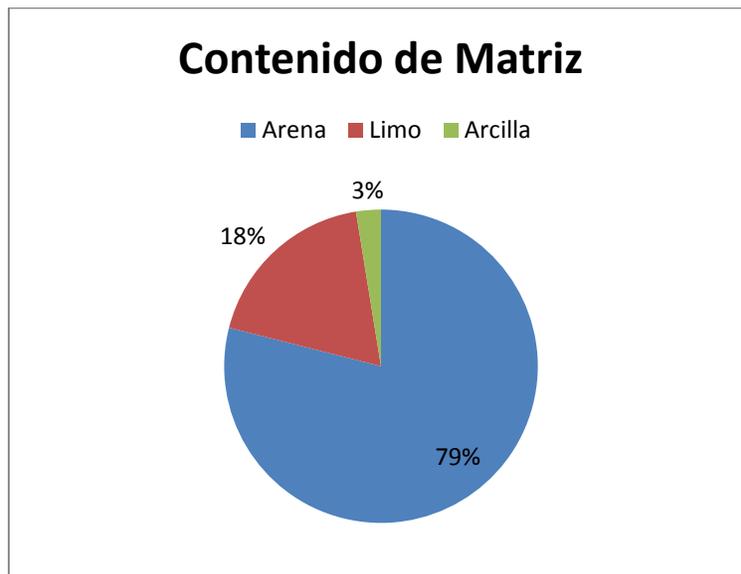
Tabla 47. Resultado de la granulometría total de la muestra 32. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.



Gráfica 62. Resultado de los valores de la tabla 39. Elaboración propia

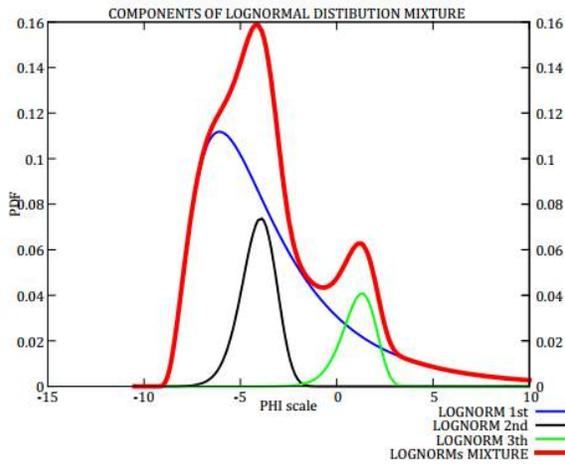
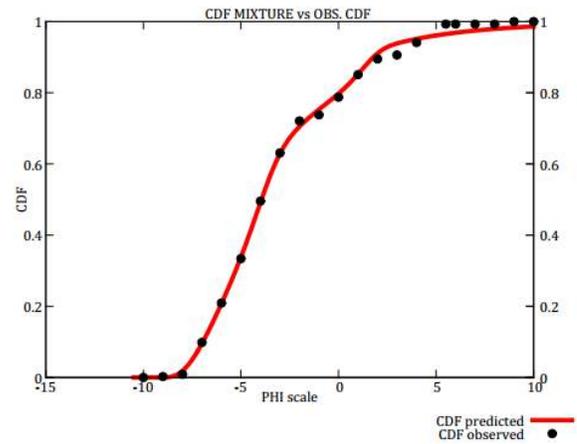
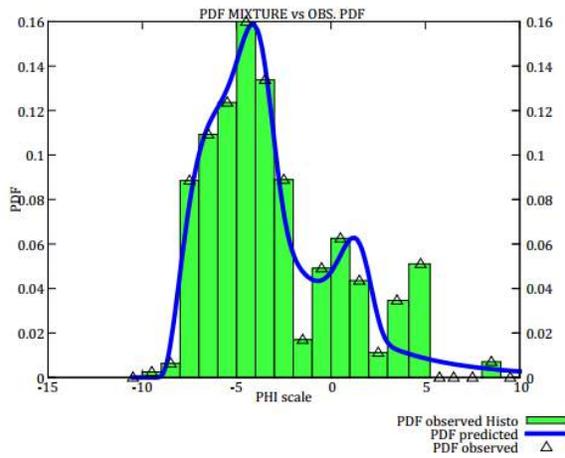
<b>Matrix</b>	(mat. < 2 mm)	<b>27.92%</b>	<b>% Ricalc.</b>
<b>Arena</b>	(2 mm - 64 mic.)	<b>22.04%</b>	<b>78.96%</b>
<b>Limo</b>	(64 mic. 3.9 mic.)	<b>5.16%</b>	<b>18.49%</b>
<b>Arcilla</b>	(inf. a 3.9 mic.)	<b>0.71%</b>	<b>2.56%</b>
			100.00%

Tabla 48. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.



Gráfica 63. Resultado de los valores de la tabla 42. Elaboración propia.

La muestra M0032 indica que el flujo de escombro es no-cohesivo



DECOLOG (rel. 5.1 - 2014) - DECONVOLUTION OF MIXTURE'S COMPONENTS  
INSIDE PARTICLE SIZE DISTRIBUTIONS  
HTTP://www.decolog.org - By L.Borselli % D.Sarocchi, UASLP(Mexico), lborselli@gmail.com

INPUT DATA FILE\_\_\_granu32.dat  
OUTPUT REPORT\_\_\_grabulo00032.xls

## GLOBAL FITTING STATISTICS for CDF:  
Model efficiency coefficient(EF)\_\_\_\_\_0.9984410  
Coefficient of Determination(R^2)\_\_\_\_\_0.9992646  
Kolmogorov-Smirnoff difference(Ks)\_\_\_\_\_0.0323710

## GLOBAL FITTING STATISTICS for PDF:  
Model efficiency coefficient(EF)\_\_\_\_\_0.9145524  
Coefficient of Determination(R^2)\_\_\_\_\_0.9567479

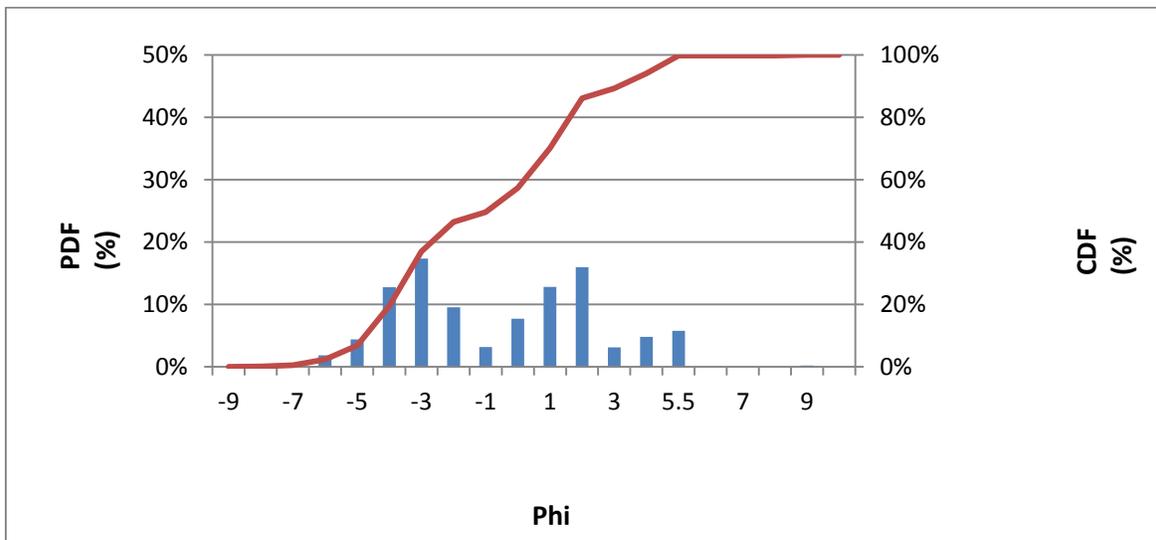
## STATISTICS FROM SPLINES RESAMPLED OBSERVED CDF (MonteCarlo Method):  
Mean(PHI)\_\_\_\_\_ -3.07376  
Standard deviation(PHI)\_\_\_\_\_ 3.50720 Very poorly sorted  
Skewness\_\_\_\_\_ 0.91675 Positive skewed  
Kurtosis(normalized)\_\_\_\_\_ 0.12489 Mesokurtic

Gráfica 64. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia

## Resultados de la granulometría total de la muestra M0035

PHI	PDF	CDF
	PESO	% CUMUL.
-9	0.00000	0.0%
-8	0.00091	0.1%
-7	0.00457	0.5%
-6	0.01854	2.4%
-5	0.04409	6.8%
-4	0.12745	19.6%
-3	0.17334	36.9%
-2	0.09560	46.4%
-1	0.03159	49.6%
0	0.07697	57.3%
1	0.12829	70.1%
2	0.15966	86.1%
3	0.03120	89.2%
4	0.04796	94.0%
5.5	0.05749	99.8%
6	0.00000	99.8%
7	0.00000	99.8%
8	0.00000	99.8%
9	0.00234	100.0%
10	0.00000	100.0%

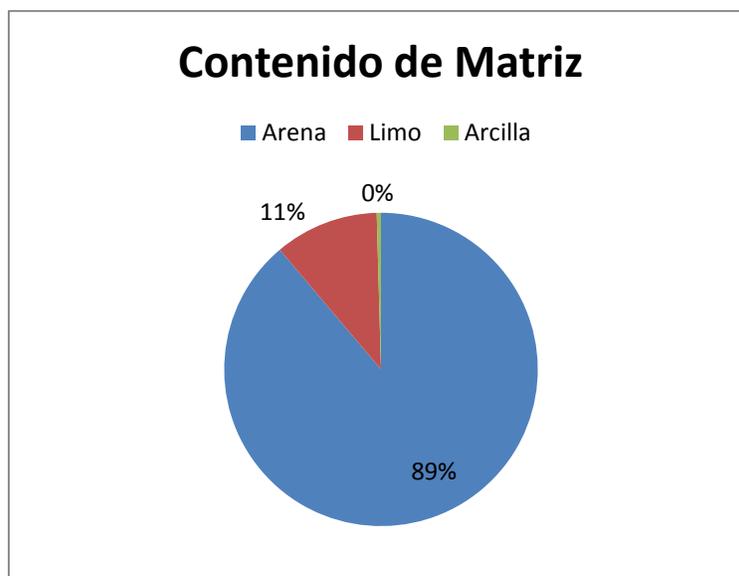
Tabla 49. Resultado de la granulometría total de la muestra 32. PDF es la función distribución de probabilidad y CDF la función de distribución acumulada.



Gráfica 65. Resultado de los valores de la tabla 39. Elaboración propia

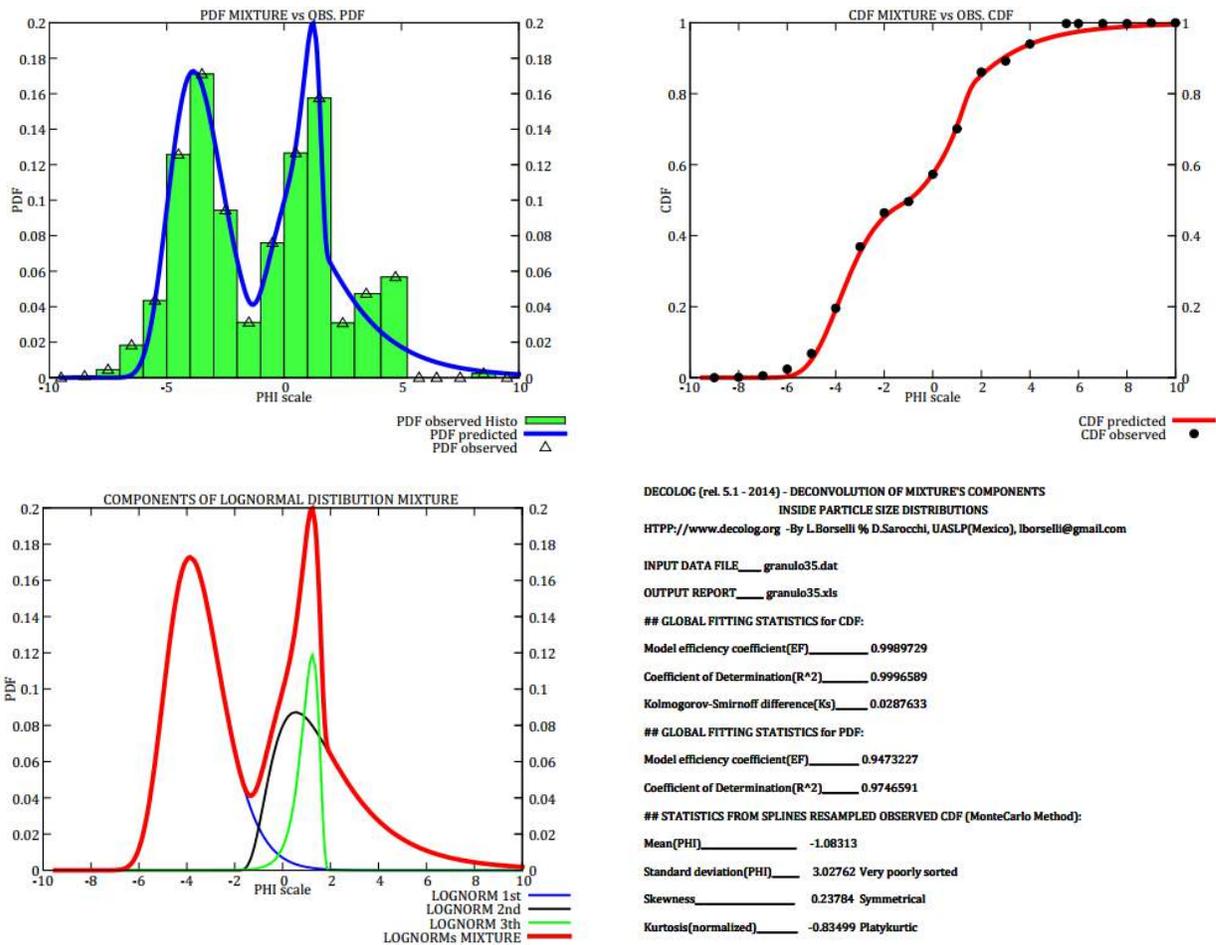
<b>Matrix</b>	(mat. < 2 mm)	<b>53.55%</b>	<b>% Ricalc.</b>
<b>Arena</b>	(2 mm - 64 mic.)	<b>47.57%</b>	<b>88.83%</b>
<b>Limo</b>	(64 mic. 3.9 mic.)	<b>5.75%</b>	<b>10.74%</b>
<b>Arcilla</b>	(inf. a 3.9 mic.)	<b>0.23%</b>	<b>0.44%</b>
			100.00%

Tabla 50. Resultado en porcentaje arena, limo y arcilla de la muestra. Elaboración propia.

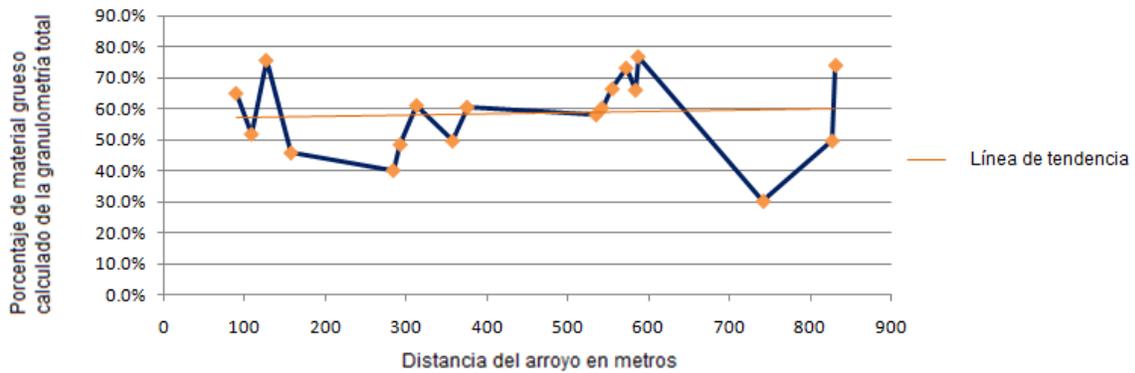


Gráfica 66. Resultado de los valores de la tabla 44. Elaboración propia.

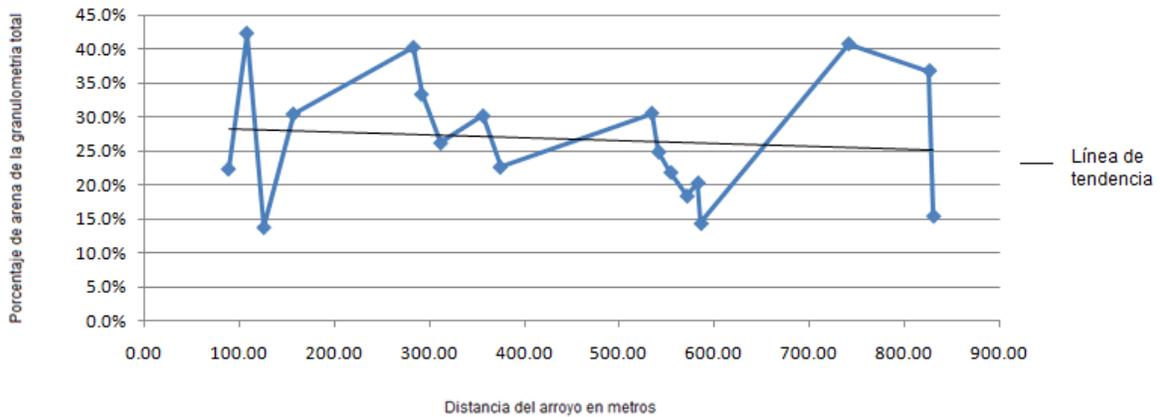
La muestra M0035 indica que el flujo de escombro es no-cohesivo



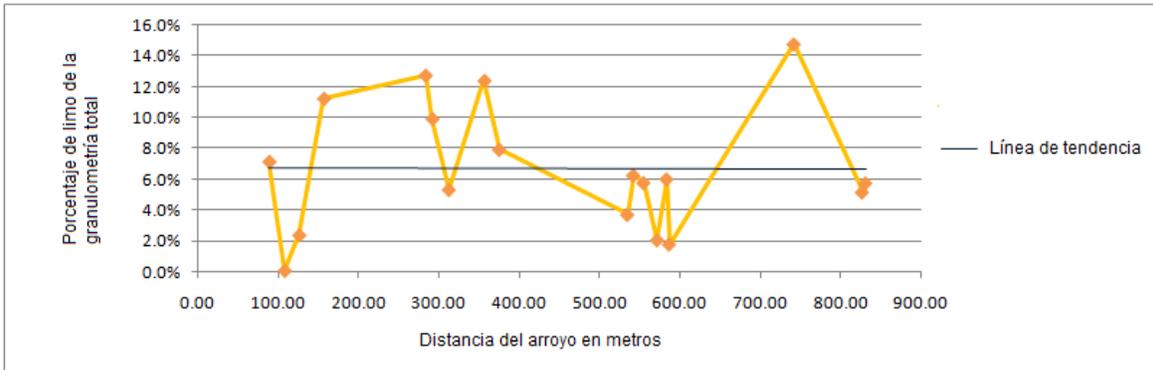
Gráfica 67. Granulometría total modelada en Decolog 5.1 (2014). Elaboración propia



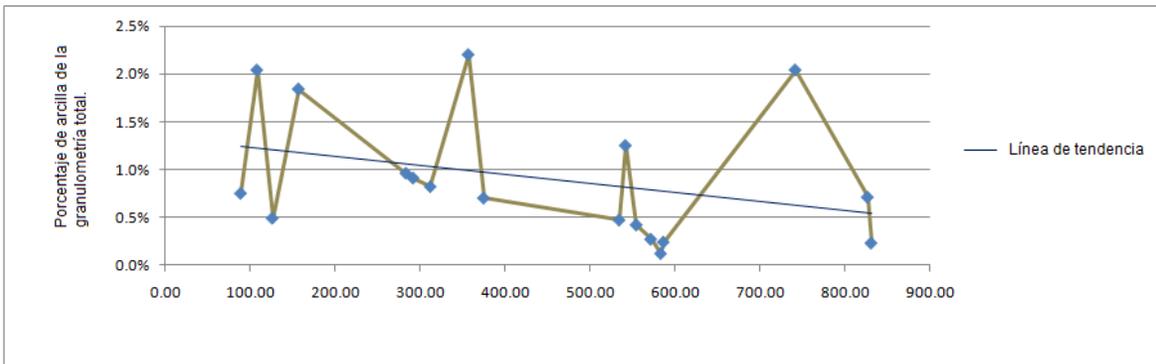
Gráfica 68. Porcentaje de material grueso y línea de tendencia a partir de la granulometría total a lo largo del arroyo de estudio.



Gráfica 69. Porcentaje de arena y línea de tendencia a partir de la granulometría total a lo largo del arroyo de estudio.

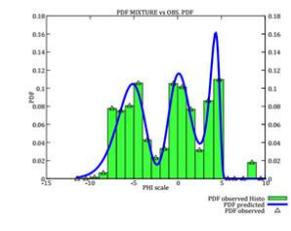
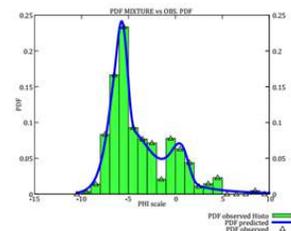
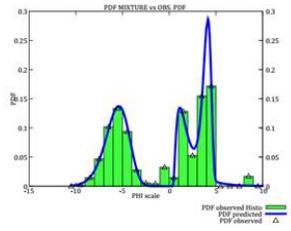
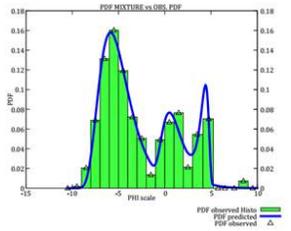


Gráfica 70. Porcentaje de limos y línea de tendencia a partir de la granulometría total a lo largo del arroyo de estudio.

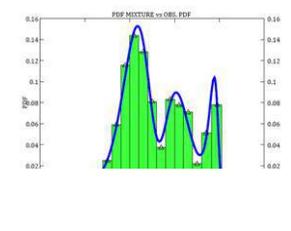
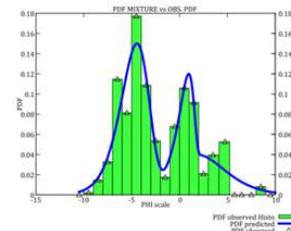
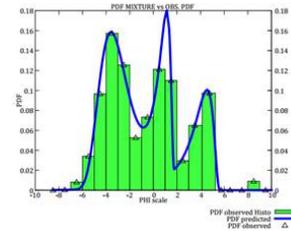
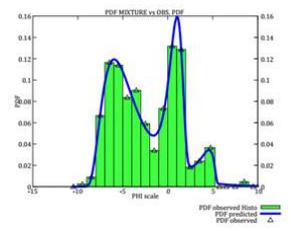
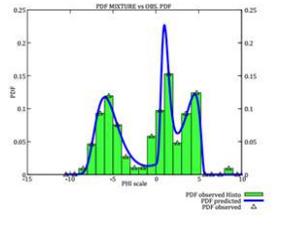


Gráfica 71. Porcentaje de arcillas y línea de tendencia a partir de la granulometría total a lo largo del arroyo de estudio.

### Área proximal

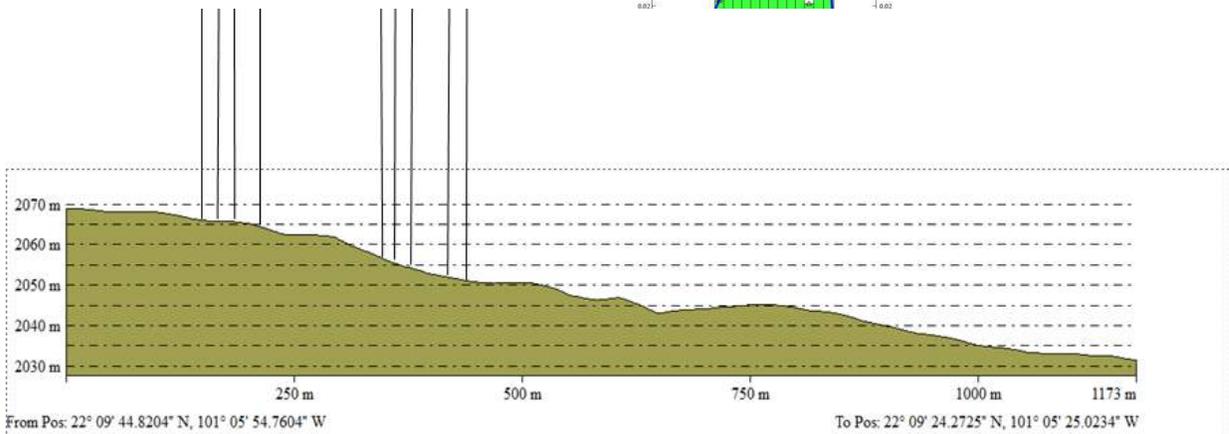


### Área primera proximal



Área proximal

Área primera proximal

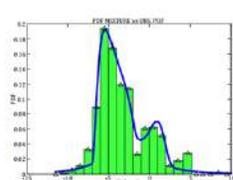
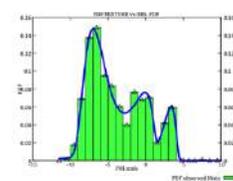
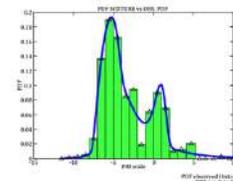
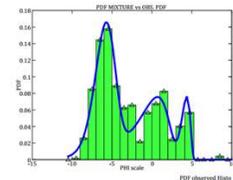
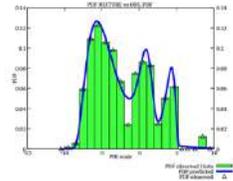
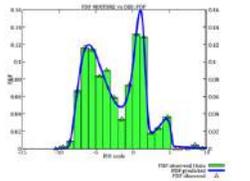


From Pos: 22° 09' 44.8204" N, 101° 05' 54.7604" W

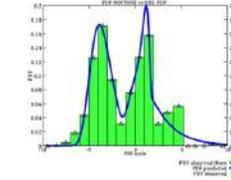
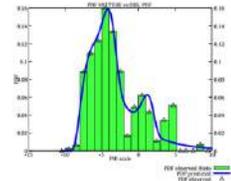
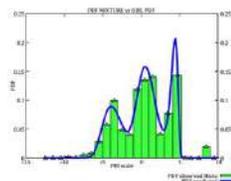
To Pos: 22° 09' 24.2725" N, 101° 05' 25.0234" W

Figura 22. Gráficas de granulometría total del área proximal y primera proximal del arroyo del Santuario del Desierto.

## Segunda parte central



## Área distal



Segunda  
parte central

Área distal

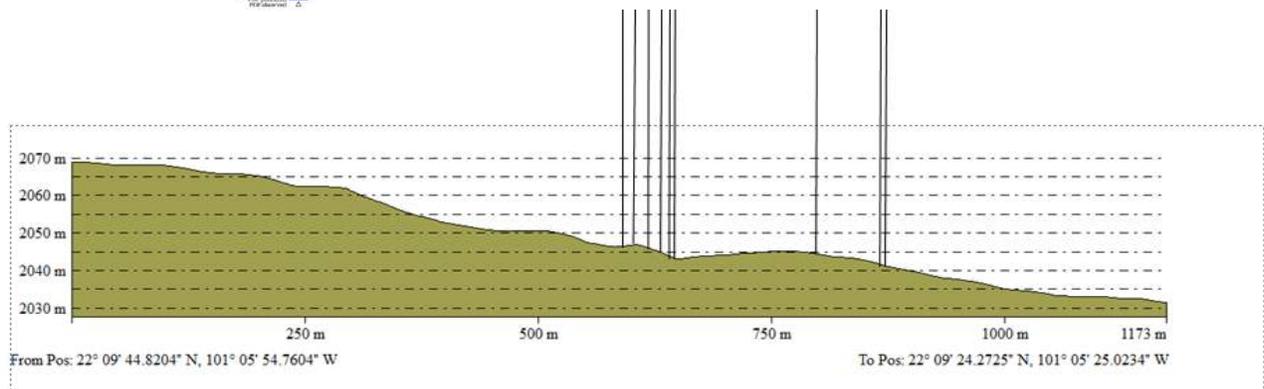


Figura 23. Gráficas de granulometria total segunda parte central y distal del arroyo del Santuario del Desierto.

### 3.1.5 Simulación TopRunDf en el flujo de escombros del área de estudio

Para obtener el área se utilizó Google Earth como se muestra en la siguiente figura.

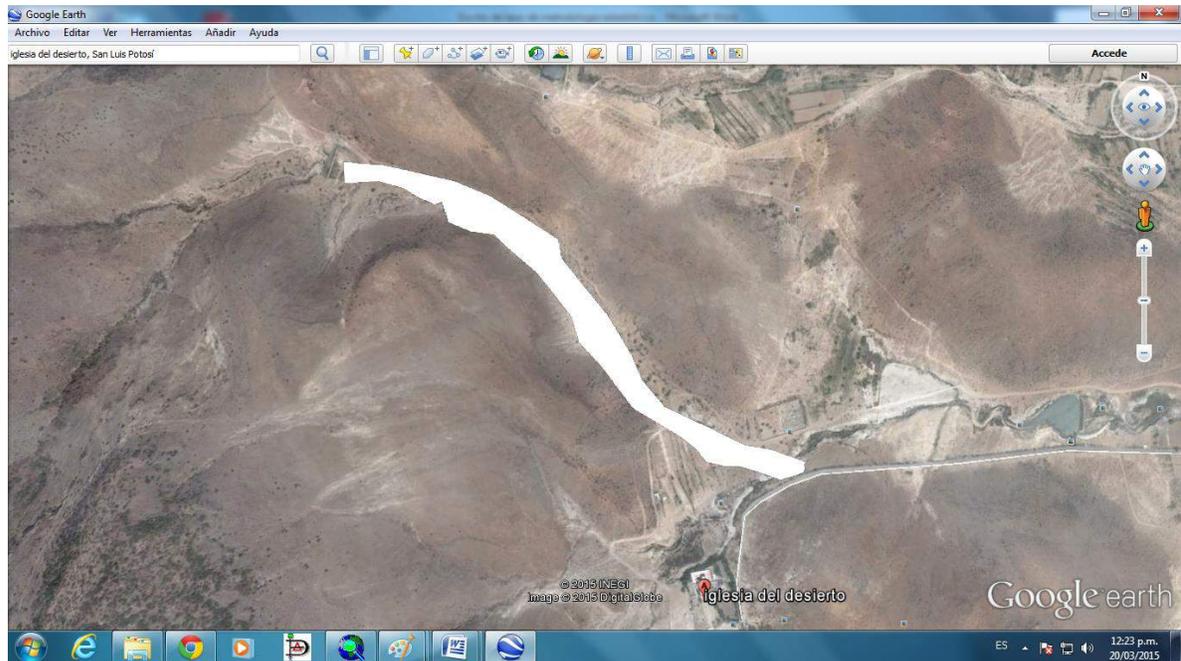


Figura 24. Deposición observada del flujo de escombros en estudio, para calcular área y volumen. Elaboración propia

Una vez realizado el polígono se guarda con extensión kml el cual se va a llevar a la página Area Calculator Using Maps para realizar el cálculo el link es <http://www.freemaptools.com/area-calculator.htm>.

Para obtener el volumen se calculo por foto el espesor del flujo de escombros de la parte basal el cual variaba en cada muestra, para la medición se utilizó el mismo software para calcular el análisis de rosiwal, una vez obtenido el espesor se multiplica por el área que corresponde la foto (Saucedo, et. al. 2008). La suma de los cálculos de las 18 muestras será el volumen total a utilizar en la simulación.

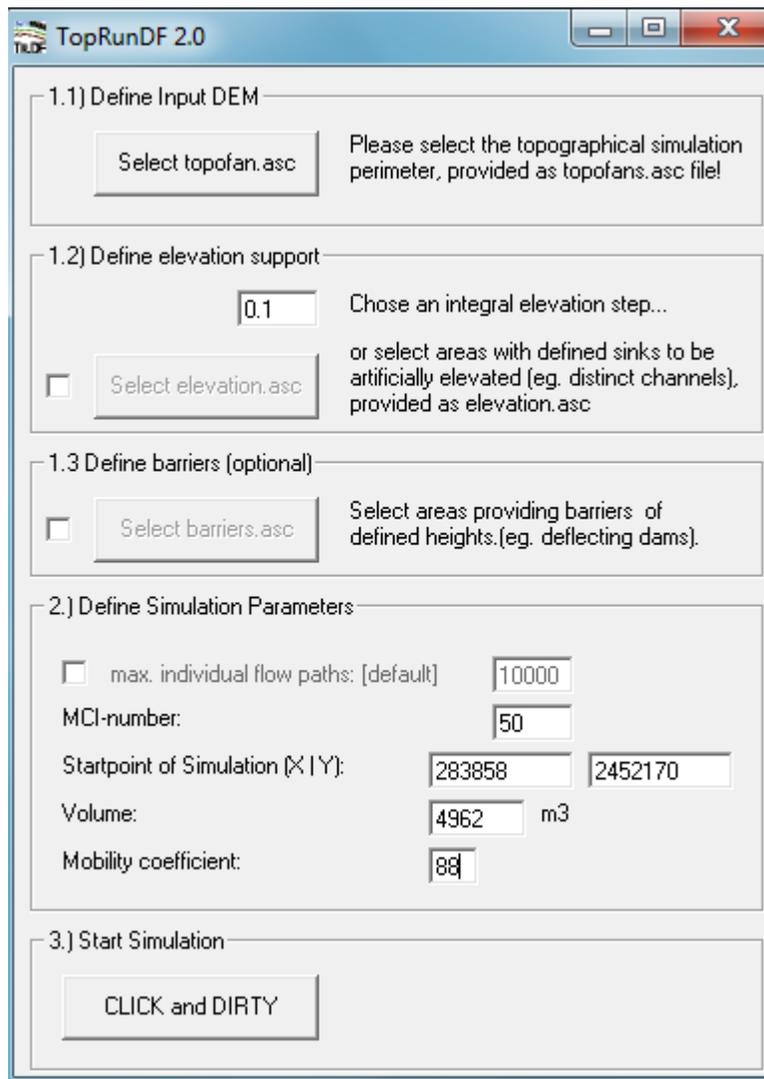
El área de deposición observada es de  $25830 \text{ m}^2$ . Con estos datos podemos entonces aplicar la ecuación 10 para calcular el coeficiente de movilidad el volumen se redondea debido a que el programa acepta solo valores absolutos:

$$\text{Coeficiente de Movilidad} = 25830 \text{ m}^2 * 4962 \text{ m}^{3-2/3} = 88 \text{ m}.$$

Los puntos de inicio en el DEM coordenadas UTM fueron

$$x = 283858, \quad y = 2452170$$

Parámetros de entrada finales:



The image shows a screenshot of the TopRunDF 2.0 software interface. The window title is "TopRunDF 2.0". The interface is divided into three main sections:

- 1.1) Define Input DEM:** Contains a button labeled "Select topofan.asc" and a text instruction: "Please select the topographical simulation perimeter, provided as topofans.asc file!".
- 1.2) Define elevation support:** Includes a text input field with the value "0.1" and the instruction "Chose an integral elevation step...". Below this is a checkbox and a button labeled "Select elevation.asc" with the instruction "or select areas with defined sinks to be artificially elevated (eg. distinct channels), provided as elevation.asc".
- 1.3 Define barriers (optional):** Includes a checkbox and a button labeled "Select barriers.asc" with the instruction "Select areas providing barriers of defined heights.(eg. deflecting dams).".
- 2.) Define Simulation Parameters:** Contains several input fields:
  - A checkbox and a text input field for "max. individual flow paths: [default]" with the value "10000".
  - A text input field for "MCI-number:" with the value "50".
  - Two text input fields for "Startpoint of Simulation (X|Y):" with values "283858" and "2452170".
  - A text input field for "Volume:" with the value "4962" and the unit "m3".
  - A text input field for "Mobility coefficient:" with the value "88".
- 3.) Start Simulation:** Contains a button labeled "CLICK and DIRTY".

Figura 25. Datos de entrada finales para el modelado del Santuario del Desierto. Elaboración propia.

Una vez introducido todos los datos se da clic en DIRTY y obtenemos lo siguiente:

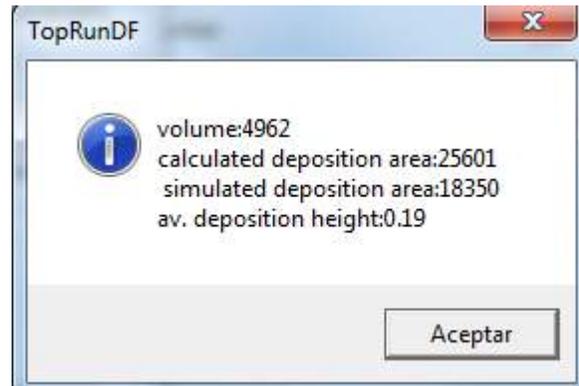
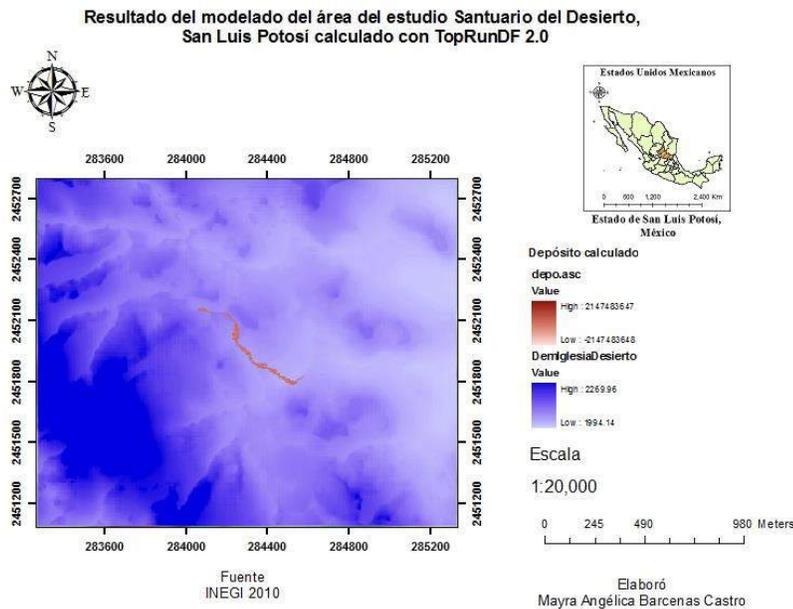


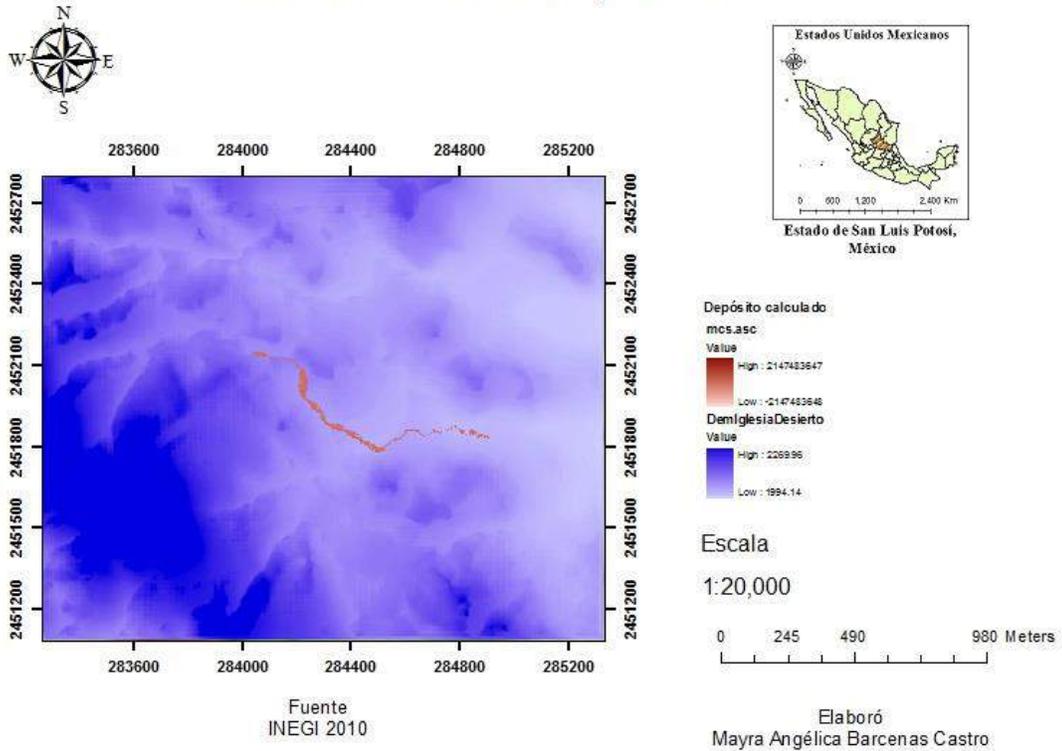
Figura 26. Valores calculados por TopRunDf 2.0

Una vez obtenidos los valores se utiliza un Sistema de Información Geografica para su visualización. Para fines de este trabajo se utilizo ArcGis 9.3



Mapa 6. Resultado de la simulación del depósito observado en TopRunDf 2.0. Elaboración propia

Resultado del modelado del área del estudio Santuario del Desierto,  
San Luis Potosí calculado con TopRunDF 2.0



Mapa 7. Resultado de simulación con el método Montecarlo en TopRunDF 2.0  
Elaboración propia

## CAPITULO IV

### Discusión.

En la presente tesis se propone replantear el pre- tratamiento de los datos para obtener la granulometría total y poder caracterizar y analizar si se trata o no de un flujo de escombros en áreas no volcánicas. Actualmente existe muy poca literatura de este tipo de estudios, sin embargo se intenta introducir de una forma rigurosa con diferentes métodos para la obtención de evidencias de flujos de escombros y su deposición. En primer lugar se utilizaron métodos ópticos para la caracterización del área de estudio, además de realizar mediciones para la obtención del tamaño de sedimentos para clasificarlos con el análisis de Rosiwal, además de obtener muestras del flujo del área basal del arroyo del Santuario del Desierto para poder realizar el método del tamiz, una vez obtenido el método del tamiz se realizó el método de las pipetas para obtener los sedimentos más finos. Con el método de las pipetas se pudo determinar que el flujo de escombros del área basal de arroyo del Santuario del Desierto es no cohesivo debido a que en la mayor parte de las muestras se tiene menos del 3% de arcilla y que además los limos se comportaron de forma parecida a la deposición de las arcillas en donde en la parte proximal del arroyo se tiene un ligero crecimiento mientras que conforme se aleja decrece. Se encontró que el arroyo de estudio se tienen sedimentos que van de arcillas a cantos rodados predominando las gravas gruesas a muy gruesas, y estos sedimentos se encuentran soportados por una matriz arenosa, además a lo largo del arroyo los sedimentos están mal clasificados, encontrando las gravas subredondeadas y angulosas, esto debido a que ha habido poco transporte de sedimentos en el área de estudio. Todas estas características indican que el flujo basal del arroyo de la Iglesia del desierto es un flujo de escombros.

Una vez obtenida la caracterización de los depósitos del arroyo se introduce replantear la manera de realizar un análisis de la deposición del flujo de escombros. Diferentes autores toman el rango de cada phi para realizar el análisis, sin embargo debido a la dinámica y el tipo de área que se está estudiando el método sería no tan preciso. El desarrollo del tratamiento de datos aquí expuesto introduce una forma diferente de ver el problema. Las gráficas han sido en muchos estudios una forma de representación visual de analizar las posibles hipótesis que no se han generado al principio de la investigación. La utilización de los histogramas es una de ellas, además de adicionar la distribución de densidad de suavización de Kernel para representarla de forma continua. Sin embargo a pesar de que existen programas en donde estas dos representaciones se pueden ajustar

a los datos, aún existe incertumbre considerable en el rango que adoptan los histogramas para su interpretación.

En este trabajo para la deposición de los flujos de escombros se implementan pruebas y validación a la realización de los histogramas de cada una de las muestras. Se adiciona el Test de Kolmogorov-Smirnov para histogramas de frecuencias y la densidad de suavización Kernel, además de validar la prueba aplicando la Teoría de información, también conocida como la entropía la cual nos complementa que tanto se ha perdido o ganado información. Se encontró que la debilidad del análisis e interpretación de los histogramas se definía en el ancho de bin adoptado para encontrar la mejor distribución de los datos, además se visualiza un indicador de la curvatura positiva o negativa de la distribución. Esto es muy importante pues nos brinda información más precisa de la deposición del flujo de escombros a lo largo del arroyo. Debido a que cada tratamiento es un proceso complicado y largo se realizó un código de programa en Matlab 9.0 para que el usuario que desee realizar comparaciones con el tratamiento aquí propuesto sea fácil y accesible. Cabe mencionar que ya no se dispuso de más tiempo para realizar pruebas en áreas volcánicas y otras áreas similares para fortalecer la metodología. Las pruebas que se realizaron para la metodología aquí propuesta se obtuvo que el 94.44 % de las muestras fueron mejor analizadas calculando el ancho de bin óptimo y aplicando la suavización de densidad de Kernel, el restante fue mejor analizado sin aplicarle la suavización de densidad sin embargo el ancho de bin óptimo propuesto mostró ser más eficaz que si se utilizara el rango de  $\phi$  o de medio  $\phi$ . Para todas las muestras el Test de Kolmogorov-Smirnov la hipótesis fue nula y la máxima diferencia fue de 0.1000. Aplicando la entropía de Shannon la diferencia entre las curvas acumuladas del histograma de frecuencias, la densidad de suavización Kernel y la entropía de cada muestra fue muy pequeña siendo el valor máximo de 0.08152, lo que nos indica que la transición del histograma de frecuencias a la distribución de suavización Kernel fue poca pérdida de información.

La entropía de Shannon ha sido también considerada junto con Weaver un índice de diversidad. En este trabajo se introduce además debido a que ya se contaba con los datos necesarios para su cálculo medir la entropía total del histograma para cada muestra. Se obtuvo que en la parte proximal del arroyo había una heterogeneidad de mediciones de los sedimentos, conforme avanza el arroyo a la parte distal estas mediciones eran más similares entre sí, lo que indicaban que la deposición del flujo del escombros es que los sedimentos mayores se depositaron en la parte proximal, en la parte central los sedimentos son menos grandes y predominan los sedimentos medianos (estas serían las gravas) y en la parte distal los sedimentos finos.

Se logro modelar con DECOLOG 5.0 (2014) con tres distribuciones gaussianas la granulometría total obtenida de las 18 muestras analizadas. Cada pico de la distribución normal de cada una de ellas indica la media de los clastos grandes, la media de las arenas y la media de los sedimentos finos. Cabe mencionar que en la medida de los finos no es tan precisa debido a que aún no llega el aparato que ayudaría a introducir más información y distribución de phi de limos y arcillas, sin embargo se puede apreciar que hubo un crecimiento de los finos en la parte proximal del arroyo del área de estudio y un decrecimiento en la parte final. Por último se trabajo con el software TopRunDf para realizar una simulación del flujo de escombros caracterizado, sin embargo debido a que no se contaba con una imagen Lidar, a la imagen de estudio se le realizó diferentes tratamientos con sistemas de información geográfica. Uno de ellos se hizo con Arcgis 9.0, de tal manera que el proceso de cálculo de Montecarlo fuera más preciso.

Con el modelado de TopRunDF se encontró que de tener indicadores de alta precipitación, avance de meteorización en el depósito y factores físicos como antropogénicos puede afectar de forma considerable tanto el Cementerio construido hace apenas 6 años que se encuentra a escasos metros del área de estudio, así como la afectación de acceso vehicular de la carretera próxima que lleva a la Iglesia del Desierto, en la que debido a la representación y fe de muchas personas en México es visitada en diferentes épocas .

Cabe mencionar que dichos resultados son preliminares no obstante en un futuro cercano se podrá contar con imágenes lidar del área y se puede realizar una comparativa para la validación del modelo.

## Conclusiones.

Se propone una metodología rigurosa para obtener el ancho de bin óptimo para la caracterización del depósito de flujo de escombros encontrado en el arroyo del Santuario del Desierto en San Luis Potosí, México. El ancho de bin óptimo propuesto en este trabajo tuvo un éxito del 94.44% en comparación si se hubiese realizado con ancho de bin  $1$  y  $\frac{1}{2}$  phi.

Se adiciono el Test de Kolmogov-Smirnov como prueba rigurosa para bajar la incertidumbre de la transición de datos del histograma de frecuencias al histograma de distribución de suavización Kernel obteniendo en todas las muestras hipótesis nula. Este paso es muy importante debido a que diferentes programas ofrecen realizar el histograma de frecuencias acompañado de la suavización de kernel sin embargo la fórmula para la distribución de los datos se adecua de tal forma que quizá no sea la indicada para este tipo de estudio pues en este trabajo se logro encontrar curvaturas positivas y negativas en la distribución que facilitan el análisis de los depósitos del flujo de escombros.

Se implemento la Teoría de Información propuesta por Shannon en 1948 también conocida como la entropía de información para validar el resultado del ancho de bin óptimo obtenido tanto del histograma de frecuencias como para la distribución de suavización de Kernel. Se encontró diferencias muy pequeñas entre las curvas acumuladas de la entropía, el histograma de frecuencias y la distribución de suavización de Kernel lo que nos indica que la transición de datos tuvo poca pérdida de información.

Además ya contando con esta información se agrego obtener el Índice de Diversidad propuesto por el mismo Shannon y Weaver obteniendo el acomodo de las medidas de sedimentos y observar las áreas donde existe un mayor número de diversidad de medidas de sedimentos y donde hay pocas, observándose diferentes transportes tanto en la parte proximal y primera central con más diversidad de medidas de sedimentos que van desde cantos, hasta la segunda parte centro y distal donde se encontraron medidas de sedimentos similares de gravas finas y arenas.

Se logro modelar con DECOLOG 5.1 (2014) con tres distribuciones gaussianas, una herramienta para el análisis del tamaño de clastos de la granulometría total, en la cual se logro visualizar el cálculo de cada media que comprenden los sedimentos grandes, las arenas y los finos. Así se pudo obtener el comportamiento de deposición del flujo de escombros estudiado.

Se realizó una simulación utilizando por primera vez en México el software TopRunDf para relacionar los posibles riesgos del flujo de escombros encontrado. Este programa ha sido implementado en otros países como Alemania, Austria, Italia y Suiza en donde se realizaron diversas pruebas en áreas donde hay flujos de escombros similares a la que se realizó en este estudio. Se describió la obtención de datos para el modelado TopRunDf para el flujo de escombros encontrado, a pesar de que no se contaba con una imagen lidar, siendo un ejemplo más de la flexibilidad que otorga este programa.

Por último se propone un código de programa en Matlab 9.0 para que puedan realizarse pruebas en un futuro de la eficiencia o modificación de la metodología aquí propuesta.

## Bibliografía

Aceves Quesada, J. F., Legorreta Paulín, G., & Alvarez Ruíz, Y. (2014). Gravitational Processes in the Eastern Flank of the Nevado de Toluca México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* , 66 (2), 211.

Acuña Acuña, J. (2003). *Ingeniería de Confiabilidad*. Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Aguilera O. A., Barcenas C. M.A., 2014, Medición de la diversidad comercial minorista en áreas urbanas a través del uso de los índices de Shannon-Weaver y Ullman- Dacey, *Revista de estudios geográficos*, Vol. 75 No. 277, pp 456.

Atlas de riesgo ZMSLP. (2012). *Atlas de Riesgo para los Municipios de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánches*. Universidad Autónoma de San Luis Potoí, Instituto de Geología. San Luis Potosí: Universidad Autónoma de San Luis Potoí, Instituto de Geología.

Ayala Carcedo, F. J., & Olcina Cantos, J. (2006). *Riesgos naturales y desarrollo sostenible: impacto, predicción y mitigación*. (F. Ayala Carcedo, & Instituto Geológico y Minero de España , Edits.) Madrid, España: Instituto Geológico y Minero de España.

Basil, G., & Jhon Paul III, J. (2010). *Research Methods in Geography: A critical Introduction*. Singapore: Wiley-Blakwell.

Borselli, L., & Sarocchi, D. (22 de Septiembre de 2014). *DECONVOLUTION OF MIXTURE'S COMPONENTS INSIDE PARTICLE SIZE DISTRIBUTIONS*. Recuperado el 22 de Septiembre de 2014, de <http://www.decolog.org/>

Brieva J., Montes L., 1995, El análisis de Entropía. Un método para determinar el grado de Selección de un Sedimento. Aplicación en un Area del Caribe Colombiano, *Geología Colombiana*, No.19, pp145-152

Costa, J.E., 1988, Rheologic, Geomorphic and Sedimentologic Differentiation of Water Floods, Hyperconcentrated Flows, and Debris Flows, In: V.R. Baker, R.C. Kochel and P.C. Patton (Editors) *Flood geomorphology*, Jhon Wiley & Sons pp. 113-122

Cuevas González, A. (2004). El análisis estadístico de grandes masas de datos: algunas tendencias recientes. En R. Rodríguez del Río, & E. Zuazu, *De la aritmética al análisis : historia y desarrollos recientes en matemáticas* (págs. 11-27). España: Ministerio de Educación y Ciencia.

De la Mora Medina, J. (1997). *Explicación y Análisis taller de comunicación I*. México: Colegio de Ciencias y Humanidades.

E. Freund, J., & A. Simon, G. (1994). *Estadística elemental* (Octava ed.). México: Pearson.

El Machkouri, M. (2011). Asymptotic normality of the Parzen–Rosenblatt density estimator for strongly mixing random fields. En *Statistical Inference for Stochastic Processes* (Vol. 14, págs. 1,2). Springer Netherlands.

FJ. Ayala-Carcedo, J. O.-J. (2006). *Riesgos naturales y desarrollo sostenible: impacto, predicción y mitigación*. Madrid, España: Ministerio de Educación y Ciencia.

Garriga Trillo, A., Lubin Pigouche, P., Merino Merino, J., Padilla Suarea, M., Recio Saboya, P., & Suárez Falcón, J. C. (2010). *Introducción al análisis de datos*. Universidad Nacional de Educación a Distancia.

Giró S., Maldonado A., 1985, Análisis granulométrico por métodos automáticos: tubo de sedimentación y sedigraph, *Acta Geológica Hispana*, T. 20, No. 1, pp95-102.

Global Mapper v15.0 (Blue Marble Geographics). (2013).

Guevara V., Pedro I., Tuarez Y., 1998, Sedimentos superficiales, foraminíferos y ostrácodos de la laguna de Boca de Palo, Isla de Margarita, Venezuela, *Sociedad de Ciencias Naturales La Salle*, Tomo LVIII, número 159, Julio/Diciembre 1998. pp. 69-86

Guisande Gonzalez, C., Barreiro Felpeto, A., Maneiro Estraviz, I., Riveiro Alarcón, I., & Vergara Castaño, A. R. (2006). *Tratamiento de datos*. España: Díaz de Santos.

Jakob, M., & Hungr, O. (2005). *Debris-flow Hazards and Related Phenomena*. (Springer Science & Business Media, Ed.) Springer.

Johansen Bertoglio, O. (2004). *Introducción a la teoría general de sistemas*. México: Limusa Noriega Editores.

Lake, D. (2009). Nonparametric entropy estimationn using kernel densities. En M. L. Johnson, & L. Brand (Edits.), *Methods in Enzymology, Computer Methods, Parte B* (Vol. 467, pág. 531). United States of America: Elsevier.

*Lugares de Mexico*. (Mayo de 2009). Recuperado el 23 de Octubre de 2014, de <http://www.lugaresdemexico.com>: <http://www.lugaresdemexico.com/santuario-desierto.html>

Núñez, S. (2006). *Manual de Laboratorio de Edafología*. Editorial Universidad Estatal a Distancia.

Otamendi, J. (2006). *Historia de la probabilidad y la estadística: III* (Primera ed.). (F. García Tomé, Ed.) Madrid, España: Delta, Publicaciones Universitarias.

Pardo Llorente, L. (1993). Teoría de la información Estadística. *Estadística Española*, 35 (133), 280 y 281.

Polanco E., Clavero J., Macías J.L., 2006, Variación granulométrica de la facie matriz del depósito de Avancha de escombros del volcán Paríacota (18°10'S), Andes Centrales, XI Congreso Geológico Chileno, Antofagasta II Región Chile, Vol. 2, pp 531- 534.

Puente Castillo, W. (2014). *Estudio Geotécnico y de peligro geomorfológico de una porción de la sierra de san miguelito, S.L.P. (Tesis de maestría)*. San Luis Potosí, San Luis Potosí, México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería, Instituto de Geología.

R. Saucedo, J.L.Macías, D. Sarocchi, M. Bursik, B. Rupp, 2008, The rain-triggered Atenquique volcanoclastic debris flow of October 16, 1955 at Nevado de Colima Volcano México, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 173, pp. 69-83

Ruiz A., Morillo Z. L., 2009, Epidemiología clínica, Investigación clínica, Editorial Medica Panamericana, pp. 491-492

Sanz J., 1975, *Mecánica de Suelos*, Editores técnicos asociados, s.a., Barcelona, pp.31.

Salgado Ugarte, I., & Mosqueda Roma, N. (2014). *STATA Data Analysis and Statistical software*. Recuperado el 15 de Octubre de 2014, de [https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.stata.com%2Fmeeting%2Fmexico11%2Fmaterials%2Fsalgado2.pptx&ei=pYBSVOz8Hon\\_yQTc4Fg&usg=AFQjCNFTvxyMo55a4xyrBqjgnwGRgzyNCA&bvm=bv.78597519,d](https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.stata.com%2Fmeeting%2Fmexico11%2Fmaterials%2Fsalgado2.pptx&ei=pYBSVOz8Hon_yQTc4Fg&usg=AFQjCNFTvxyMo55a4xyrBqjgnwGRgzyNCA&bvm=bv.78597519,d)

Sarocchi, D. (2006). *Análisis Textural del depósito de flujo de bloques y ceniza del 17 de julio de 1999 en el volcán de Colima, (Tesis Doctoral)*. México, México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Sarocchi, D. (2007). Estudio Sedimentológico del depósito de flujo de bloques y ceniza del 17 de julio de 1999 en el volcán de Colima. *Monografías del Instituto de Geofísica*, 29.

Sarocchi, D., & Borselli, L. (2005). Construcción de perfiles granulométricos de depósitos piroclásticos por métodos ópticos. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 22 (3), 371-382.

Scheidl, C. (2014). *debris-flow.at, research, tools, information*. Recuperado el 23 de Octubre de 2014, de English manual for using TopRunDF: <https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.debris-flow.at%2Findex.php%2Fen%2Fdownload-en%2Fcategory%2F6-toprundf-doc%3Fdownload%3D7%3Adocumentation-toprundf-2-0&ei=UaGFVPnKCZTsoATgh>

Scheidl, C., & Rickenmann, D. (Marzo de 2011). *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*. Recuperado el 23 de Octubre de 2014, de TopFlowDF - A SIMPLE GIS BASED MODEL TO SIMULATE DEBRIS-FLOW RUNOUT ON THE FAN: <http://www.ijege.uniroma1.it/rivista/5th-international-conference-on-debris-flow-hazards-mitigation-mechanics-prediction-and-assessment/topic-3-debris-flow-deposits-and-fan-morphology/topflowdf-a-simple-gis-based-model-to-simulate-debris-flow-runout-on-th>

Servicio Geológico Mexicano. (2007). *Carta Geológica-Minera Tepetate F14-A83 San Luis Potosí*. Recuperado el 23 de Octubre de 2014, de Servicio Geológico Mexicano: [http://mapserver.sgm.gob.mx/Cartas\\_Online/geologia/1412\\_F14-A83\\_GM.pdf](http://mapserver.sgm.gob.mx/Cartas_Online/geologia/1412_F14-A83_GM.pdf)

Shannon, C. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*, 27, 379-423, 623-656.

Takahashi, T. (2007). *Debris Flow: Mechanics, Prediction and Countermeasures*. Taylor & Francis.

Tristán González, M., Aguillón Robles, A., Barboza Gudiño, J., Bellon, H., López Doncel, R., Rodríguez Ríos, R., y otros. (2009). Geocronología y Distribución espacial del vulcanismo en el campo Volcánico de San Luis Potosí. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 61 (3), 17-34.

VeoMapas. (Diciembre de 2014). Recuperado el 1 de Diciembre de 2014, de Mapa Fisiográfico de México (Tamaño: 616x431): [http://www.vmapas.com/maps/926-2/Mapa\\_Fisiografico\\_Mexico.gif](http://www.vmapas.com/maps/926-2/Mapa_Fisiografico_Mexico.gif)

Vericat D.,Garcia C., Batalla R., 2006, Variaciones temporales y espaciales en la granulemetría del tramo bajo del Ebro, Rev. C&G, 20(1-2) pp. 47-60.

W. Silverman, B. (1986). *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*. New York: Chapman and Hall.

*Wikipedia*. (27 de Noviembre de 2014). Recuperado el 23 de Octubre de 2014, de [http://en.wikipedia.org/wiki/Main\\_Page](http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page):  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Kernel\\_density\\_estimation](http://en.wikipedia.org/wiki/Kernel_density_estimation)

*Wikipedia*. (6 de Noviembre de 2014). Recuperado el 23 de Octubre de 2014, de Teoría de la información: [http://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa\\_de\\_la\\_informaci%C3%B3n](http://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa_de_la_informaci%C3%B3n)

Xiu-xiang W., Jian-fang Z., 2012, Histogram-kernel Error and Its Application for bin Width Selection in Histogram, Acta Mathematicae Applicatae Sinica, Vol. 28, No.3, pp 607-624.

[http://en.wikipedia.org/wiki/Kernel\\_\(statistics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Kernel_(statistics)).

<http://lema.rae.es/drae/srv/search?val=optimizar>.

<http://dia.softonic.com/descargar>.