

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Centro de Geociencias

Posgrado en Ciencias de la Tierra

**CRITERIOS DE DISCRIMINACIÓN
EN BASE AL
ANÁLISIS DE LA TEXTURA
DE LOS
DEPÓSITOS VOLCANOCLÁSTICOS
DEL
VOLCÁN NEVADO DE TOLUCA, MÉXICO**

Tesis que para obtener el título de
Doctora en Ciencias de la Tierra
presenta:

Lia M^a Carreras Soriano

Tutora: Dra. Lucia Capra Pedol

Jurado:

Dr. José Luís Arce

Dr. Gerardo Carrasco Núñez

Dr. Damiano Sarocchi

Dr. Lorenzo Vázquez Selem



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A mi tutora la Dra. Lucia Capra por su fortaleza y clarividencia siempre tan inspiradora. A mis cotutores, el Dr. José Luís Macias, por sus comentarios realistas y pragmáticos, y el Dr. Lorenzo Vázquez, por sus generosas enseñanzas y por su optimismo tonificante. A los miembros del jurado Dr. Damiano Sarocchi, Dr. Gerardo Carrasco Núñez y Dr. José Luís Arce, cuyos acertados comentarios y correcciones contribuyeron a mejorar la presentación de esta tesis.

Al Posgrado en Ciencias de la Tierra de la UNAM por la oportunidad que me brindó de realizar el doctorado. A la Secretaria de Relaciones Exteriores de México por su beca de manutención que me ofreció en los 3 primeros años y al Proyecto de CONACYT (proyectos 37889 y 46340 a la Dra. Lucia Capra) gracias al cual se pudo financiar el proyecto de investigación aquí presentado.

Al personal del posgrado Araceli, Mónica y Rene y muy especialmente a Marta Pereda por su cordialidad y humanidad. Al personal de la Biblioteca Conjunta de la Tierra y de la Biblioteca del Centro de Geociencias por su invaluable servicio.

A todas aquellas personas que me acompañaron desinteresadamente a campo: Giovanni, Fernando, Charly, Juan, Esmeralda, Sara S., Antonio y Wendy, sin su apoyo esta tesis no podría haberse realizado. A Isaac y a Sara C. por sus consejos informáticos. A todos aquellos compañeros de posgrado con los que compartí inquietudes, muy especialmente a Renato, Paty, Verónica, Katrin, Bea, Dimitri, Teresa y Lucy en C.U., a Ienisey, Nelly, Toño, Gildardo, Joel, Norma, Lenin, Jorge, Janet...y de más compañeros de pasillo del CeGeo y a Jorge y Maria Inés por hacer mi estancia en Juriquilla tan amigable.

A las mejores y más desastrosas compañeras que nadie puede tener: Norma Dávila, Lizeth Caballero, gracias por el apoyo en campo y la paciencia que me tuvisteis en los momentos de crisis y sobretodo gracias por vuestra amistad.

A mi familia por animarme en la distancia y a Lola por sus cuidados. A Marcos, quien desde un principio y hasta el final me alentó a realizar el doctorado a pesar de las dificultades que esto suponía para nosotros, por acompañarme a campo, por sus consejos, por su paciencia, por su generosidad, por ayudarme a realizar mis sueños. Gracias.

RESUMEN

Los depósitos ligados a la inestabilidad y erosión de las vertientes de un edificio volcánico, como son las facies de matriz de una avalancha de escombros, flujos de escombros cohesivos, flujos de escombros no cohesivos y *tills*, denominados aquí como **depósitos volcanoclásticos sedimentarios** (DVcS), se caracterizan por presentar partículas derivadas de la meteorización y/o erosión de rocas volcánicas y/o depósitos o partículas volcanoclásticas preexistentes, que son sujetos a un transporte previo a la sedimentación final. Estos depósitos presentan características texturales muy similares, lo que hace necesaria una comparación cuantitativa de cada uno de los aspectos que definen la textura de un depósito (distribución granulométrica, morfología de las partículas y fábrica del depósito) con el fin de discutir sus similitudes y diferencias en base a los procesos de formación, transporte y sedimentación.

La metodología empleada para el análisis granulométrico se basa en obtener los parámetros descriptivos de la curva de distribución de tamaños de grano y las proporciones entre las diferentes fracciones de tamaños. Se realizaron las gráficas de contornos de densidad para el par estadístico de la media frente a la desviación estándar de 337 muestras. El análisis de la morfología de la partícula se evalúa a través de: 1) el índice de la forma de *Oblate-Prolate* y la Máxima Proyección de Esfericidad (entre 125 y 231 partículas por muestra); 2) el índice de redondez de Wadell (entre 32 y 87 partículas por muestra); 3) el registro de la presencia-ausencia de las características de la textura superficial (entre 125 y 231 partículas por muestra); la comparación de los índices C_{40} de la forma y RA de la redondez de un total de 20 afloramientos. El análisis de la fábrica de los depósitos se define por la fortaleza y orientación de sus *eigenvalues* y *eigenvectors*, a través de las medidas de orientación e inclinación del eje mayor de 50 partículas por 10 muestras. Finalmente, se realiza un análisis comparativo entre las características de la textura a través de la covarianza y el coeficiente de correlación.

Los resultados obtenidos del análisis granulométrico muestran que los parámetros más discriminantes de los DVcS son la media de la distribución, la desviación estándar de la distribución de tamaños de partículas y la proporción de arcilla en la matriz.

Comparativamente, los depósitos de facies de matriz de una avalancha de escombros se caracterizan por tener los menores rangos de distribución de la media y la desviación estándar, mientras que los flujos de escombros cohesivos presentan los valores más altos de desviación estándar, los cuales coinciden con las muestras más enriquecidas en la fracción arcillas. Los flujos de escombros no cohesivos tienen el rango más amplio de distribución para la media y los valores más bajos de desviación estándar y los *tills* presentan las medias más enriquecidas en gravas.

El análisis de la morfología de las partículas revela que los clastos en los depósitos de facies de matriz de las avalanchas de escombros y de *tills* se caracterizan por ser subredondeados y subangulosos, mientras que en los flujos de escombros cohesivos y no cohesivos son subredondeados. El análisis de la fábrica revela que los depósitos de flujos de escombros son los que presenta una orientación de partículas más evidente.

Los diferentes mecanismos de formación, transporte y sedimentación de los DVcS en estudio quedan reflejados en la textura del depósito. Las características discriminatorias más sensitivas de los diferentes tipos de depósitos en estudio han sido obtenidas cuantitativamente y son la desviación estándar de la distribución granulométrica y las variaciones del índice RA. Estos parámetros, combinados con evidencias estratigráficas, son suficientes para discriminar correctamente cada uno de los cuatro tipos de DVcS en estudio.

ABSTRACT

The deposits related to volcanic slope instability and erosion, specifically matrix facies of debris avalanche, cohesive debris flows, non-cohesive debris flows and tills, denominated here as volcanoclastic sedimentary deposits (VcSD), consist of particles derivated from alteration and/or erosion from volcanic rocks and/or preexisting volcanoclastic deposits or particles transporting previously of the deposition final. Because of their similarity in textural features, a quantitative approach of granulometric distribution, particle morphology and fabric are here presented in attempt to compare and analyze similarities and differences in relation to their formation, transport and depositional processes.

The granulometric analysis was based on the descriptive parameters of the grain size distribution and the proportions of grain size. Here compared the granulometric distribution of 337 samples on the basis of density diagrams, where mean and standard deviation are compared. The particle morphology analyses evaluated for: 1) Oblate-Prolate shape index and the maximum projection of the sphericity (from 125 to 231 particles for sample), 2) Wadell's roundness index (from 32 to 87 particles for sample) and 3) surface texture characteristics (from 125 to 231 particles for sample), 4) comparison of the shape index C_{40} and the roundness index RA for the 20 outcrops. The analysis of the fabric was based on the strength and orientation of eigenvalues and eigenvectors, obtained from the azimuth and dip of the longest axis of 50 particles for 100 samples. Finally, comparative analysis between the textural features with the covariance and correlation coefficients is performed.

The granulometric analysis shows that the best parameters to discriminate VcSD are the relation between the mean grain size and the standard deviation, and the clay proportion into the matrix. The matrix facies of debris avalanche deposits is characterized to have homogenous values without a clear trend; cohesive debris flows deposits show the highest values for the standard deviations as clay fraction increase; non-cohesive debris

flows deposits have higher values of mean grain size, but the lower one's for standard deviation, tills deposits have means grain size enriched in gravel.

The morphological analysis of particles reveals that the matrix facies of debris avalanche and tills deposits are characterized by sub-rounded and sub-angular clasts, and sub-rounded for cohesive and non-cohesive debris flow deposits. The fabric analysis shows a relevant particle orientation only for cohesive debris flows.

The observed textural differences reflect change in formation, transport and depositional processes that characterize the VcSD. Discriminates characteristics most sensitive of the different deposits types in study had been obtained quantitatively and are the standard deviation of the granulometric distribution and the index RA variations. These variations are not unique for each type of VcSD, but combined with stratigraphic evidences, they can be used to discriminate their origin.

INDICE

I.	Introducción.	1
	1.1. Antecedentes.	1
	1.2. Objetivo.	2
	1.3. Terminología.	2
	1.4. Área de estudio.	5
II.	Características de los depósitos volcanoclásticos sedimentarios.	7
	2.1. Introducción.	7
	2.2. Origen de los sedimentos volcanoclásticos y formación de los eventos volcanoclásticos sedimentarios.	9
	2.2.1. Formación de una avalancha de escombros.	9
	2.2.2. Formación de un flujo de escombros cohesivo	10
	2.2.3. Formación de un flujo de escombros no cohesivo.	10
	2.2.4. Formación de un glaciar.	11
	2.3. Transporte y sedimentación de las partículas volcanoclásticas.	12
	2.3.1. Comportamiento dinámico de una avalancha de escombros.	12
	2.3.2. Comportamiento dinámico de un flujo de escombros.	13
	2.3.3. Comportamiento dinámico de un glaciar.	17
III.	Metodología.	23
	3.1. Criterios de campo para identificar los diferentes tipos de depósitos volcanoclásticos sedimentarios.	23
	3.2. Análisis granulométrico.	27
	3.2.1. Obtención de datos.	28
	3.2.1.1. En campo.	28
	3.2.1.2. En el laboratorio.	29
	3.2.2. Tratamiento numérico y representación de datos.	31
	3.2.2.1. Diagramas de contornos o curvas de densidad.	33
	3.3. Análisis de la morfología de las partículas.	36
	3.3.1. Obtención de datos.	38

3.3.2. Tratamiento numérico y representación de datos.	40
3.3.2.1. Forma.	40
3.3.2.2. Esfericidad.	42
3.3.2.3. Redondez.	44
3.3.2.4. Textura Superficial.	47
3.4. Análisis de la fábrica.	49
3.4.1. Obtención de datos.	49
3.4.2. Tratamiento numérico y representación de datos.	49
3.4.2.1. Diagrama <i>Rose</i> , proyección estereográfica y contornos de la proyección estereográfica.	49
3.4.2.2. <i>Eigenvalue & eigenvector</i> (Valor propio y vector propio).	51
3.4.2.3. Forma de la fábrica.	52
3.5. Análisis comparativo de las características de la textura.	55
IV. Análisis granulométrico.	57
4.1. Antecedentes.	57
4.2. Base de datos.	58
4.3. Descripción granulométrica de los depósitos volcanoclásticos sedimentarios.	59
4.4. Descripción de las curvas de densidad de los depósitos volcanoclásticos sedimentarios.	67
4.5. Comparación y discusión de las distribuciones granulométricas de los DVcS a través de sus curvas de densidad.	74
4.6. Conclusiones	79
V. Análisis de la morfología de las partículas.	81
5.1. Antecedentes.	81
5.2. Base de datos.	82
5.3. Morfología de las partículas de los depósitos volcanoclásticos sedimentarios.	84
5.3.1. Forma y Esfericidad.	84
5.3.2. Redondez.	87
5.3.3. Textura Superficial.	91
5.4. Comparación y discusión de la morfología de las partículas de los depósitos volcanoclásticos sedimentarios.	94

5.5. Conclusiones.	98
VI. Análisis de la fábrica.	100
6.1. Antecedentes.	100
6.2. Base de datos.	101
6.3. Fábrica de los depósitos volcanoclásticos sedimentarios.	104
6.3.1. Fábrica de las facies de matriz de una avalancha de escombros	104
6.3.2. Fábrica de los flujos de escombros cohesivos.	108
6.3.3. Fábrica de los flujos de escombros no cohesivos.	110
6.3.4. Fábrica de los <i>tills</i> .	113
6.4. Comparación y discusión de la fábrica de los depósitos volcanoclásticos sedimentarios.	118
6.5. Conclusiones.	120
VII. Análisis de la textura.	122
7.1. Antecedentes.	122
7.2. Comparación y discusión de la textura de los depósitos volcanoclásticos sedimentarios.	123
7.2.1. Forma-esfericidad y granulometría.	123
7.2.2. Redondez y granulometría.	130
7.2.3. Textura superficial y granulometría.	133
7.2.4. Fábrica y granulometría.	135
7.2.5. Forma-esfericidad y fábrica.	136
7.2.6. Redondez y fábrica.	139
7.3. Discusión.	141
7.4. Conclusiones.	143
VIII. Conclusiones.	145
Bibliografía.	148

- Anexo I Curvas de distribución granulométrica y los parámetros estadísticos que las definen. 5 pp.
- Anexo II Distribución granulométrica de los datos tomados en los DVcS del Nevado de Toluca e Iztaccíhuatl. 11 pp.
- Anexo III Tablas de los datos de los parámetros estadísticos de los diferentes DVcS. 45 pp.
- Anexo IV Análisis de la forma y esfericidad de las gravas en función de los afloramientos de los diferentes DVcS. 20 pp.
- Anexo V Textura superficial de las partículas tamaño gravas de los DVcS para cada uno de las muestras de cada tipo de depósito. 4 pp.
- Anexo VI Análisis de la forma y la esfericidad en función del tamaño de las partículas de los diferentes DVcS. 33 pp.
- Anexo VII Análisis de la redondez en función del tamaño de las partículas de los diferentes DVcS. 8 pp.
- Anexo VIII Análisis de la textura superficial en función del tamaño de las partículas de los diferentes DVcS. 4 pp.

INDICE DE FIGURAS

I.	Introducción.	
II.	Características de los depósitos volcanoclásticos sedimentarios.	
2.1.	Modelo esquemático de un flujo de escombros sufriendo dilución corriente abajo desde la fase de flujo de escombros a la fase de flujo hiperconcentrado y las facies de los depósitos derivados desde estos (Vallance, 2000).	15
2.2.	Diagrama esquemático que ilustra la segregación del tamaño de las partículas en flujos gradados: a) vista de perfil de la sección cruzada del flujo y b) vista de planta cercana al frente del flujo (Vallance, 2000).	16
2.3.	Partes del transporte del escombros en un circo glaciar o valle glaciar derivado desde la cabecera (Boulton, 1978).	18
2.4.	Diagrama esquemático que muestra los posibles movimientos del escombros desde la zona del transporte basal a una parte de transporte de alto nivel en la zona compresiva ante la confluencia glaciar (Boulton, 1978).	20
III.	Metodología.	
3.1.	Estructura en rompecabezas de un bloque incluido dentro de las facies de matriz de la avalancha de escombros El Zaguán, afloramiento NT0406 (429756, 2115776 UTM).	24
3.2.	Espesor de los flujos de escombros cohesivo Pilcaya, afloramiento 40P de Capra & Macías (2000) en la vertiente S del Nevado de Toluca.	25
3.3.	Orientación preferencial de las partículas en el afloramiento NT0451 (423460, 2127004 UTM) de la vertiente N del Nevado de Toluca.	26
3.4.	a) Geomorfología de una morrena lateral izquierda, correspondiente al afloramiento NT05236 (421707, 2112620 UTM), b) horizontes discontinuos postdeposicionales ricos en finos en el afloramiento NT05115 (416664, 2110911 UTM) el corte del afloramiento es perpendicular a la morfología de la morrena.	27
3.5.	Pasos a seguir en la obtención del diagrama de contornos o curvas de densidad según la metodología de Walker (1971) a) Representación binaria de la media vs la desviación estándar (según Folk & Ward, 1957) se proyectaron como ejemplo los estadísticos de los depósitos de flujos de escombros no cohesivos del Nevado de Toluca, Monte Santa Elena, Monte Rainier, Nevado del Ruiz, Popocatepetl (N=208); b) Curvas de densidad (con radio= 0.5ϕ y $r=1\phi$) para los flujos de escombros no	

cohesivos, c) representación de las curvas de densidad con radio= 0.5ϕ , y d) representación de las curvas de densidad con radio= 1ϕ .	34
3.6. Comparativa de métodos para obtener la curva de densidad a través de la curva de densidad del 10%. Las curvas discontinuas corresponden a los resultados según la interpolación tipo <i>Kriging</i> del conteo de vecinos en un radio de 0.5ϕ (curva de puntos discontinuos) y de 1ϕ (curva de líneas discontinuas). La curva continua corresponde a los resultados obtenidos empleando la función de densidad de <i>kernel</i> .	35
3.7. Las cuatro clases de la forma de Zingg (1932) de los clastos basadas en las proporciones de los diámetros largo (a) intermedio (b) y corto (c).	37
3.8. Línea exterior de una partícula (línea continua gruesa) refleja los componentes de: la forma (líneas continuas finas), la redondez (círculos discontinuos) y la textura superficial (círculos punteados) (Barrett, 1980).	38
3.9: a) Diagrama triangular; b) Clases descriptivas de la forma de las partículas (Sneed & Folk, 1958).	40
3.10. Diagrama triangular con los límites de los intervalos de clase del índice <i>Oblate-Prolate</i> de Dobkins & Folk (1970).	41
3.11. Diagrama triangular de la forma de Sneed & Folk (1958) con los límites de esfericidad en función de la Proyección de Máxima Esfericidad.	44
3.12. La proyección máxima de la línea externa de la partícula mostrando el diámetro del máximo círculo inscrito (D_i) y el diámetro de sus equinas con un diámetro menor que o igual a la del máximo círculo inscrito (D_c y D_k), y el diámetro de la esquina más aguda (D_k) (Gale & Hoare, 1991).	45
3.13. Grados de redondez de los granos de sedimentos (Powers, 1953; Folk, 1955).	46
3.14: a) Diagrama de <i>Rose</i> ; b) Diagrama de proyección estereográfica; c) Diagrama de proyección estereográfica de contornos, con intervalos de contorno de 2 desviaciones estándar (Kamb, 1959).	50
3.15. Proyecciones de dos ejes del logaritmo de la proporción de los <i>eigenvalues</i> normalizados S_1 , S_2 y S_3 (Woodcock, 1977).	53
3.16. Triángulo de la forma general de la fábrica de un depósito propuesto por Benn (1994).	54
3.17. Covarianza de dos variables de distribución normal con respecto a su media (Davis, 2002).	55

IV. Análisis granulométrico.

- 4.1. Diagramas ternarios para el conjunto de la base de datos de los DVcS estudiados (según la clasificación textural de Folk, 1954, 1974). a) Diagrama ternario de Grava-Lodo-Arena, y b) diagrama ternario de Arena-Arcilla-Limo. 60
- 4.2. Diagramas de cajas y bigotes para los momentos estadísticos obtenidos de las curvas de distribución del conjunto de la base de datos de los DVcS de varios volcanes. La columna de la izquierda corresponde a los estadísticos calculados según el método de Inman (1952): a) mediana, c) desviación estándar, e) asimetría gráfica; y la columna de la derecha a los de Folk & Ward (1957): b) media, d) desviación estándar inclusiva, f) asimetría gráfica inclusiva, g) curtosis. 63
- 4.3. Proyección del par estadístico media vs desviación estándar (según los cálculos de Folk & Ward, 1957) para: a) el rango granulométrico completo (-8 a 8ϕ) del conjunto de la base de datos de los DVcS, b) el rango granulométrico completo (-8 a 8ϕ) de los DVcS del Nevado de Toluca, y c) el rango granulométrico de la matriz (-1 a 8ϕ) de los DVcS del Nevado de Toluca, donde los parámetros estadísticos fueron recalculados para dicho rango. 66
- 4.4. Curvas de densidad de *kernel* de los DVcS en estudio. 68
- 4.5. Parámetros estadísticos de la asimetría, curtosis y moda más comunes de más muestras localizadas dentro del área de la isolínea del 10%, es decir, el 90% de la muestra total, para cada uno de los DVcS. 69
- 4.6. Visualización en la curva de densidades de los flujos de escombros cohesivos del empobrecimiento de la clasificación de los depósitos a medida que se incrementa el contenido en arcilla. 70
- 4.7. Coeficiente de correlación entre: a) la proporción entre la desviación estándar y la proporción de arcilla vs (arena + limo + arcilla) y b) entre la desviación estándar y la proporción de arena vs (arena + limo + arcilla). 72
- 4.8. Visualización en la curva de densidades de los flujos de escombros no cohesivos. Las muestras con mejor grado de clasificación y con medias arenosas están en el círculo rosa. Las muestras con peor grado de clasificación corresponden a los depósitos del SO del Monte Santa Elena. 73
- 4.9. Superposición de las curvas de densidad del 10% del total: a) DVcS de los diferentes volcanes que conforman la base de datos; b) DVcS del Nevado de Toluca considerando su rango granulométrico completo (-8 a 8ϕ); y c) DVcS del Nevado de Toluca considerando el rango granulométrico solo de la matriz (-1 a 8ϕ). 76

V.	Análisis de la morfología de las partículas.	
5.1.	Localización de los afloramientos cuyas muestras fueron seleccionadas para el análisis de la morfología de las partículas de los diferentes DVcS en estudio.	83
5.2.	Detalle de la proyección en un diagrama triangular de Sneed & Folk (1958) de la media de los valores de la forma y esfericidad de las partículas de tamaño grava de los DVcS.	86
5.3.	Diagrama binario donde se compara la forma (índice <i>Oblate-Prolate</i>) frente a la esfericidad (Proyección de Máxima Esfericidad) de los diferentes DVcS.	87
5.4.	Histogramas de frecuencias de distribución de redondez según los cálculos de Wadell y la Modificada de Wentworth para el conjunto de las partículas tamaño grava de cada uno de los DVcS en estudio.	89-90
5.5.	Porcentaje de la presencia de una determinada textura superficial en las partículas de cada uno de los DVcS. Solo se representaron las características que son comunes a todos los tipos de depósitos en estudio y que superaran el 1% de presencia.	93
5.6.	Comparativa en una proyección trivariante de los diferentes DVcS, donde cada eje corresponde a cada una de las características de la morfología de la partícula: forma (índice <i>Oblate-Prolate</i>), esfericidad (Ψ , Proyección de Máxima Esfericidad) y la redondez (índice de Wadell).	95
5.7:	a) Covarianza entre el índice C_{40} y el índice RA de los DVcS. Las figuras geométricas indican la forma y redondez predominante en cada uno de los vértices de esta grafica; b) Detalle analítico de la covarianza entre el índice C_{40} y el índice RA de los DVcS.	97
VI.	Análisis de la fábrica.	
6.1.	Distribución de las morrenas en el Nevado de Toluca y los afloramientos de depósitos de <i>tills</i> .	102
6.2.	Distribución de la avalancha de escombros El Zaguán en la ladera E del Nevado de Toluca (Caballero, 2007) y los afloramientos de dicho depósito y de otras avalanchas de escombros localizadas el NE del cráter.	103
6.3.	Representación grafica de la fábrica de las partículas de los depósitos de facies de matriz de una avalancha de escombros.	105
6.4.	Representación de los <i>eigenvector</i> de la fábrica de las partículas de las facies de matriz de una avalancha de la escombros 'El Zaguán' del Nevado de Toluca.	106

6.5. Distribución de los depósitos de facies de matriz de avalancha de escombros con su respectiva proyección estereográfica de contornos.	107
6.6. Localización de las muestras en el flujo de escombros cohesivo de <i>Osceola Mudflow</i> del Monte Rainier y la proyección estereográfica de contornos con intervalos de contornos (Vallance & Scott, 1997).	108
6.7. Representación de los <i>eigenvector</i> de la fábrica de las partículas de los flujos de escombros cohesivos del <i>Osceola Mudflow</i> .	19
6.8. Localización de las muestras del flujo de escombros no cohesivo del Río <i>North Fork Toutle</i> y proyección estereográfica de contornos (Mills, 1984).	111
6.9. Representación de los <i>eigenvector</i> de la fábrica de las partículas de los flujos de escombros no cohesivos del Río <i>North Fork Toutle</i> del Monte Santa Elena.	112
6.10. Representación gráfica de la fábrica de las partículas de los depósitos de <i>tills</i> del Nevado de Toluca.	115
6.11. Representación de los <i>eigenvector</i> de la fábrica de las partículas de los depósitos de <i>tills</i> del Nevado de Toluca.	116
6.12. Distribución de los depósitos de <i>tills</i> con su respectiva proyección estereográfica de contornos a dos desviaciones estándar (σ) de la fábrica de sus partículas (Kamb, 1959). a) Vertiente NO del cráter, b) Valle SE con respecto al cráter del Nevado de Toluca.	117
6.13. Proyecciones de los diferentes DVcS en los ejes logarítmicos de la proporción de los <i>eigenvalues</i> normalizados S_1 , S_2 y S_3 de Woodcock (1977).	118
6.14. Forma de la fábrica de los DVcS en el triangulo de proyección propuesto por Benn (1994).	119
VII. Análisis de la textura.	
7.1. Gráficas comparativas de la granulometría frente a la morfología de las partículas a través de los parámetros de la forma y la esfericidad para el conjunto de las gravas de los DVcS del Nevado de Toluca seleccionadas en el Capitulo V para el análisis de la morfología de las partículas. a) Granulometría <i>vs</i> Forma a través de los valores de la media de distribución granulométrica de Folk y el promedio de los valores del índice <i>Oblate-Prolate</i> (<i>OP</i>). b) Granulometría <i>vs</i> Esfericidad a través de los valores de la media de distribución granulométrica de Folk y el promedio de los valores la Proyección de Máxima Esfericidad (Ψ).	124
7.2. Variaciones de: a) La forma, índice <i>Oblate-Prolate</i> en función del tamaño de las gravas para cada uno de los DVcS del Nevado de Toluca; b) La esfericidad, Máxima Proyección de Esfericidad, en función del tamaño de las gravas para cada uno de los DVcS.	127

7.3. Resumen de las variaciones de la forma y esfericidad con el tamaño de las partículas dentro del rango de las gravas para cada DVcS del Nevado de Toluca.	129
7.4. Granulometría vs Redondez a través de los valores de la media de distribución granulométrica de Folk y la media del índice de Wadell para el conjunto de las gravas de los DVcS del Nevado de Toluca.	131
7.5. Variaciones de la redondez según Wadell en función del tamaño de las gravas para cada uno de los DVcS del Nevado de Toluca.	132
7.6. Correlación entre los valores de la redondez calculados por el método de Wadell y el de la Modificada de Wentworth para cada uno de los DVcS en estudio del Nevado de Toluca.	133
7.7. Proyección de la media de la distribución granulométrica de las muestras de las facies de matriz de la avalancha de escombros ($AE(fm)$) el Zaguán del Nevado de Toluca, de los <i>tills</i> de las vertientes SE y NO del Nevado de Toluca y de los flujos de escombros cohesivos (FEC) del <i>Osceola Mudflow</i> del Monte Rainier frente al <i>eigenvalue</i> principal (S_1)	136
7.8. Diagramas de proyección estereográfica de contornos los intervalos son a 2 desviaciones estándar (Kamb, 1959) para los tamaños de guijarro y canto de los depósitos de facies de matriz de una avalancha de escombros y para depósitos de <i>tills</i> del Nevado de Toluca.	137
7.9. Diagramas binarios de la forma frente a la fábrica para los depósitos de facies de matriz de una avalancha de escombros y de <i>tills</i> del Nevado de Toluca. a) El índice <i>Oblate-Prolate</i> de la forma de la partícula frente al <i>eigenvalue</i> principal (S_1) de la fábrica del depósito; b) El índice de Máxima Proyección de Esfericidad (\mathcal{P}) frente al <i>eigenvalue</i> principal (S_1) de la fábrica del depósito.	138
7.10. Diagramas binarios de la redondez de las partículas (índice de Wadell) frente a la fábrica (<i>eigenvalue</i> principal, S_1) de los depósitos de facies de matriz de una avalancha de escombros y de <i>tills</i> del Nevado de Toluca.	139
7.11. Diagramas de proyección estereográfica de contornos los intervalos son a 2 desviaciones estándar (Kamb, 1959) para las partículas angulosas y redondeadas de los depósitos de facies de matriz de una avalancha de escombros y para depósitos de <i>tills</i> del Nevado de Toluca.	140

VIII. Discusión y conclusiones.

- 8.1. Proyección binaria de: a) la media del tamaño medio (Media (Mz)) frente a la media de la desviación estándar (Media (DS)), y b) la desviación estándar del tamaño medio (Desviación Estándar (Mz)) frente a la desviación estándar de la desviación estándar (Desviación Estándar (DS)) de la distribución granulométrica de los DVcS. 147

Anexo I. Curvas de distribución granulométrica y los parámetros estadísticos que las definen.

- I-1. Curva de distribución de frecuencias normal (a); Curva de distribución de frecuencias acumuladas normal (b). I-2

Anexo II. Distribución granulométrica de los datos tomados en los DVcS del Nevado de Toluca e Iztaccíhuatl.

- II.1. Curvas de frecuencias acumuladas de las muestras correspondientes a las facies de matriz de la avalancha de escombros El Zaguán y otros depósitos localizados en la vertiente Norte y NE del Nevado de Toluca. II-2
- II.2. Muestra NT0401: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas. II-2
- II.3. Muestra NT0405: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas. II-3
- II.4. Muestra NT0406: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas. II-3
- II.5. Muestra NT0408: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas. II-3
- II.6. Muestra NT04010: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas. II-4
- II.7. Curvas de frecuencias acumuladas de las muestras correspondientes a los flujos de escombros cohesivos de Pilcaya y El Mogote. II-4
- II.8. Muestra NT19: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas. II-5
- II.9. Muestra NT40: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas. II-5
- II.10. Muestra NT41: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas. II-5
- II.11. Muestra NT56: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas. II-6
- II.12. Muestra NT60: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas. II-6
- II.13. Curvas de frecuencias acumuladas de las muestras correspondientes a los flujos de escombros no cohesivos muestreados en las laderas del Nevado de Toluca. II-7
- II.14. Muestra NT0452B: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias

acumuladas.	II-7
II.15. Muestra NT0533: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas.	II-8
II.16. Muestra NT0541C: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas.	II-8
II.17. Muestra NT0552B: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas.	II-8
II.18. Muestra NT0554D: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas.	II-9
II.19. Curvas de frecuencias acumuladas de las muestras correspondientes a los <i>tills</i> , el área azul corresponde a las muestras el nevado de Toluca y el área verde a las del Iztaccíhuatl.	II-9
II.20. Muestra NT0464: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas.	II-10
II.21. Muestra NT05104: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas.	II-10
II.22. Muestra NT05105: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas.	II-10
II.23. Muestra NT05236: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas.	II-11
II.24. Muestra NT05241: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas.	II-11

Anexo III. Tablas de los datos de los parámetros estadísticos de los diferentes DVcS

Anexo IV. Análisis de la forma y esfericidad de las gravas en función de los afloramientos de los diferentes DVcS.

IV.1.-IV.5. Análisis de la forma (histograma de frecuencias del índice <i>Oblate-Prolate</i>) y esfericidad (histograma de frecuencias la Proyección de Máxima Esfericidad) de los afloramientos de las facies de matriz de las avalanchas de escombros.	IV-1-5
IV.6.-IV.10. Análisis de la forma (histograma de frecuencias del índice <i>Oblate-Prolate</i>) y esfericidad (histograma de frecuencias la Proyección de Máxima Esfericidad) de los afloramientos de los flujos de escombros cohesivos.	IV-6-10

IV.11.-IV.15. Análisis de la forma (histograma de frecuencias del índice <i>Oblate-Prolate</i>) y esfericidad (histograma de frecuencias la Proyección de Máxima Esfericidad) de los afloramientos de los flujos de escombros no cohesivos.	IV-11-15
IV.16.-IV.20. Análisis de la forma (histograma de frecuencias del índice <i>Oblate-Prolate</i>) y esfericidad (histograma de frecuencias la Proyección de Máxima Esfericidad) de los afloramientos de los <i>tills</i> .	IV-16-20

Anexo V. Textura superficial de las partículas tamaño gravas de los DVcS para cada uno de las muestras de cada tipo de depósito.

Anexo VI. Análisis de la forma y la esfericidad en función del tamaño de las partículas de los diferentes DVcS.

VI.1. Resumen de las variaciones de la forma y la esfericidad de las partículas para cada tamaño de grano en función de los diferentes afloramientos.	VI-1
VI.2. Variaciones de la forma y esfericidad de las partículas en función del tamaño de grano para los cinco afloramientos de facies de matriz de una avalancha de escombros.	VI-2
VI.3.-VI.5. Análisis de la forma (histograma de frecuencias del índice <i>Oblate-Prolate</i>) en función del tamaño de las partículas de las facies de matriz de una avalancha de escombros.	VI-3-5
VI.6.-VI.8. Análisis de la esfericidad (histograma de frecuencias la Proyección de Máxima Esfericidad) en función del tamaño de las partículas de las facies de matriz de una avalancha de escombros.	VI-7-9
VI.9. Variaciones de la forma y esfericidad de las partículas en función del tamaño de grano para los cinco afloramientos de los flujos de escombros cohesivos.	VI-10
VI.10.-VI.12. Análisis de la forma (histograma de frecuencias del índice <i>Oblate-Prolate</i>) en función del tamaño de las partículas de los flujos de escombros cohesivos.	VI-11-13
VI.13.-VI.15. Análisis de la esfericidad (histograma de frecuencias la Proyección de Máxima Esfericidad) en función del tamaño de las partículas de los flujos de escombros cohesivos.	VI-15-17
VI.16. Variaciones de la forma y esfericidad de las partículas en función del tamaño de grano para los cinco afloramientos de los flujos de escombros no cohesivos.	VI-18
VI.17.-VI.19. Análisis de la forma (histograma de frecuencias del índice <i>Oblate-Prolate</i>) en función del tamaño de las partículas de los flujos de escombros no cohesivos.	VI-19-21

VI.20.-VI.22. Análisis de la esfericidad (histograma de frecuencias la Proyección de Máxima Esfericidad) en función del tamaño de las partículas de los flujos de escombros no cohesivos.	VI-23-25
VI.23. Variaciones de la forma y esfericidad de las partículas en función del tamaño de grano para los cinco afloramientos de los <i>tills</i> .	VI-26
VI.24.-VI.26. Análisis de la forma (histograma de frecuencias del índice <i>Oblate-Prolate</i>) en función del tamaño de las partículas de los <i>tills</i> .	VI-27-29
VI.27.-VI.29. Análisis de la esfericidad (histograma de frecuencias la Proyección de Máxima Esfericidad) en función del tamaño de las partículas de los <i>tills</i>	VI-31-33

Anexo VII. Análisis de la redondez en función del tamaño de las partículas de los diferentes DVcS.

VII.1. Análisis de la redondez en función del tamaño de las partículas de las facies de matriz de las avalanchas de escombros.	VII-5
VII.2. Análisis de la redondez en función del tamaño de las partículas de los flujos de escombros cohesivos.	VII-6
VII.3. Análisis de la redondez en función del tamaño de las partículas de los flujos de escombros no cohesivos.	VII-7
VII.4. Análisis de la redondez en función del tamaño de las partículas de los <i>tills</i> .	VII-8

Anexo VIII. Análisis de la textura superficial en función del tamaño de las partículas de los diferentes DVcS.

INDICE DE TABLAS

I.	Introducción.	
1.1.	Definición de las partículas volcanoclásticas (Fisher, 1966; Fisher & Smith, 1991).	3
II.	Características de la formación de los depósitos volcanoclásticos sedimentarios.	
III.	Metodología.	
3.1.	Limites de clase y terminología estándar para describir las clases de tamaños de grano (Wentworth, 1922).	28
3.2.	Cálculos de los parámetros estadísticos propuestos por Inman (1952) y Folk (1974).	32
IV.	Análisis granulométrico.	
4.1.	Limites máximos y mínimos de la proporciones de Grava-Arena-Lodo y Arena-Limo-Arcilla de los diferentes DVcS.	61
4.2.	Descripción numérica de la distribución de los datos de los momentos estadísticos correspondientes a la distribución granulométrica del conjunto de la base de datos de los DVcS de varios volcanes.	62
4.3.	Resultados del calculo de la covarianza y el coeficiente de correlación entre la desviación estándar y la proporción de las distintas clases granulométricas (x) frente al espectro granulométrico completo de la muestra (grava + arena + lodo) o frente al espectro de la matriz (arena + limo + arcilla) de los diferentes DVcS.	71
V.	Análisis de la morfología de las partículas.	
5.1.	Relación de afloramientos seleccionados para el análisis de la morfología de las partículas de cada tipo de DVcS.	83
5.2.	Parámetros de la media (Mz) y la desviación estándar (σ) de la forma y la esfericidad para el conjunto de las gravas de cada uno de los afloramientos de los diferentes DVcS.	85
5.3.	Valores de la redondez media (Mz) y desviación estándar (σ) de las grava de los diferentes afloramientos analizados para cada DVcS.	88

5.4. Características texturales de las partículas tamaño grava para los diferentes DVcS en estudio, las cantidades están expresadas en porcentajes de presencia de la característica evaluada en el total de partículas analizadas.	92
5.5. Resumen de los resultados del análisis de la morfología de las partículas en todas sus propiedades (forma, esfericidad, redondez y textura superficial).	96
VI. Análisis de la fábrica.	
6.1. Análisis de los <i>eigenvalue</i> y <i>eigenvector</i> de la fábrica de las partículas de los depósitos de facies de matriz de una avalancha de escombros del Nevado de Toluca.	106
6.2. Resumen del análisis de los <i>eigenvalue</i> y <i>eigenvector</i> de la fábrica de las partículas del depósito de <i>Osceola Mudflow</i> del Monte Rainier (Vallance & Scott, 1997).	109
6.3. Resumen del análisis de los <i>eigenvalue</i> y <i>eigenvector</i> de la fábrica de las partículas del depósito de flujos de escombros no cohesivos del Rio North Fork Toutle (Mills, 1984).	112
6.4. Análisis de los <i>eigenvalue</i> y <i>eigenvector</i> de la fábrica de las partículas de los depósitos de <i>tills</i> del Nevado de Toluca.	116
VII. Análisis de la textura.	
7.1. Parámetros de la media (Mz) y la desviación estándar (σ) de la forma y esfericidad para cada uno de los afloramientos y tamaños de los diferentes DVcS del Nevado de Toluca.	125-6
7.2. Modas de la distribución de la forma de los diferentes DVcS del Nevado de Toluca según las diferentes fracciones de grava.	128
7.3. Modas de la distribución de la esfericidad de los diferentes DVcS del nevado de Toluca según las diferentes fracciones de grava.	128
7.4. Cálculo de la covarianza y del coeficiente de correlación entre los valores de redondez calculados por el método de Wadell y la Modificada de Wentworth.	132
7.5. Resumen de las texturas superficiales descritas para cada fracción de grava de los diferentes DVcS del Nevado de Toluca.	134
VIII. Conclusiones.	
8.1. Resumen de los criterios de discriminación de la textura de los DVcS.	146

Anexo I. Curvas de distribución granulométrica y los parámetros estadísticos que las definen.

I-1. Clases verbales de la clasificación con sus respectivos límites de clases numéricos para depósitos clásticos y para depósitos volcanoclásticos.	I-3
I-2. Clases verbales de la asimetría con sus respectivos límites de clases numéricos.	I-4
I-3. Clases verbales del apuntamiento con sus respectivos límites de clases numéricos.	I-4
I-4. Rangos de valores de B* que definen la distribución bimodal y unimodal.	I-5

Anexo II. Distribución granulométrica de los datos tomados en los DVcS del Nevado de Toluca e Iztaccíhuatl.

Anexo III. Tablas de los datos de los parámetros estadísticos de los diferentes DVcS.

III.1. Avalancha de escombros. [3 tablas x 3 hojas]	III-1
III.2. Flujos de escombros cohesivos.[3 tablas x 3 hojas]	III-10
III.3. Flujos de escombros no cohesivos.[3 tablas x 7 hojas]	III-19
III.4. <i>Tills</i> . [3 tablas x 2 hojas]	III-40

Anexo IV. Análisis de la forma y esfericidad de las gravas en función de los afloramientos de los diferentes DVcS.

Anexo V. Textura superficial de las partículas tamaño gravas de los DVcS para cada uno de las muestras de cada tipo de depósito.

V.1. Textura superficial de las gravas de los depósitos de facies de matriz de una avalancha de escombros.	V-1
V.2. Textura superficial de las gravas de los depósitos Flujos de escombros cohesivos.	V-2
V.3. Textura superficial de las gravas de los depósitos Flujos de escombros no cohesivos.	V-3
V.4. Textura superficial de las gravas de los depósitos <i>Tills</i> .	V-4

Anexo VI. Análisis de la forma y la esfericidad en función del tamaño de las partículas de los diferentes DVcS.

VII.1. Valores de la media y desviación estándar de la redondez según los cálculos de Wadell y la Modificada de Wentworth para los diferentes rangos de gravas de los todos los afloramientos de las facies de matriz de una avalancha de escombros.	VII-1
--	-------

VII.2. Valores de la media y desviación estándar de la redondez según los cálculos de Wadell y la Modificada de Wentworth para los diferentes rangos de gravas de los todos los afloramientos de los flujos de escombros cohesivos.	VII-2
VII.3. Valores de la media y desviación estándar de la redondez según los cálculos de Wadell y la Modificada de Wentworth para los diferentes rangos de gravas de los todos los afloramientos de los flujos de escombros no cohesivos.	VII-3
VII.4. Valores de la media y desviación estándar de la redondez según los cálculos de Wadell y la Modificada de Wentworth para los diferentes rangos de gravas de los todos los afloramientos de <i>tills</i> .	VII-4

Anexo VII. Análisis de la redondez en función del tamaño de las partículas de los diferentes DVcS.

Anexo VIII. Análisis de la textura superficial en función del tamaño de las partículas de los diferentes DVcS.

VIII.1. Textura superficial para cada fracción de gravas de las diferentes muestras de facies de matriz de una avalancha de escombros.	VIII-1
VIII.2. Textura superficial para cada fracción de gravas de las diferentes muestras de flujos de escombros cohesivos.	VIII-2
VIII.3. Textura superficial para cada fracción de gravas de las diferentes muestras de flujos de escombros no cohesivos.	VIII-3
VIII.4. Textura superficial para cada fracción de gravas de las diferentes muestras de <i>tills</i> .	VIII-4

I. INTRODUCCIÓN.

1.1. Antecedentes.

Tradicionalmente la sedimentología ha estudiado todos los depósitos clásticos típicos de ambientes sedimentarios fluviales, marinos, eólicos y glaciares, dejando a un lado los depósitos volcano-sedimentarios debido a su particular ambiente de sedimentación. Por otro lado, en vulcanología se ha privilegiado el estudio de depósitos efusivos y explosivos, por su evidente espectacularidad e impacto sobre las poblaciones. Fue a partir de los años 60 que se comenzaron a estudiar los depósitos generados por erosión en ambientes volcánicos (p.ej. Mullineaux & Crandell, 1962; Schmincke, 1967). Sin embargo, el gran auge en la investigación de depósitos resultantes de la inestabilidad de laderas, se dió a partir de los años 80 tras la erupción del Monte Santa Elena en 1980 (p.ej. Voight *et al.*, 1981; Pierson, 1985). Este evento motivó el estudio de los depósitos clásticos de las vertientes volcánicas y adyacentes a estas, considerando la inestabilidad y erosión de las laderas volcánicas como un peligro más de la dinámica volcánica. La problemática es que los depósitos de facies de matriz de las avalanchas de escombros, los flujos de escombros cohesivos, los flujos de escombros no cohesivos y los *tills*, responden a la descripción de facies de *diamicton*, es decir, arena y/o partículas grandes dispersas en una matriz de lodo (arcilla + limo) sin litificar, lo que dificulta su clasificación en campo sino se cuenta con una buena distribución de afloramientos. Distinguir correctamente entre estos tipos de depósitos, es necesario para reconstruir la geología del área, interpretar la historia de formación, transporte y sedimentación y estimar el tiempo involucrado en su desarrollo (Crandell *et al.*, 1984; Hewitt, 1999). Las implicaciones de peligro no son las mismas para un evento súbito (100 m/s), como por ejemplo una avalancha de escombros (Siebert, 1992), que las de un evento lento (cm/día), como por ejemplo de un episodio glacial (Hewitt, 1999), o para eventos más discretos (10 m/s, Iverson, 1997) y limitados a pequeñas barrancas como los *lahares* post-eruptivos (Capra *et al.*, 2004).

1.2. Objetivo.

El objetivo general de la presente tesis de investigación es proponer criterios de discriminación textural para distinguir entre los principales depósitos clásticos ligados a la inestabilidad y erosión de las laderas volcánicas, tales como los depósitos de facies de matriz de las avalanchas de escombros, los flujos de escombros cohesivos, los flujos de escombros no cohesivos y los *tills* relacionados con el volcán Nevado de Toluca. Para ello se parte de la hipótesis de que los mecanismos de formación, transporte y sedimentación de los depósitos en evaluación difieren entre sí, y que estas diferencias de origen quedan plasmadas en la textura del depósito.

Teniendo en cuenta que la textura de un depósito sedimentario está definida por la distribución de su tamaño de grano, la morfología de las partículas y la fábrica de los sedimentos (Trucker, 1982) y que el estudio conjunto de estas tres características aporta información acerca de los procesos de erosión, transporte y sedimentación que dió lugar al depósito (Hoey, 2004), la metodología empleada (expuesta en el Capítulo III) permitirá evaluar cuantitativamente la granulometría, la morfología y la fábrica (individual y colectivamente) de las partículas que estuvieron involucradas durante la formación, el transporte y la sedimentación de depósitos de origen conocido en el Nevado de Toluca.

La aportación final del presente trabajo es la de proponer criterios adicionales en la discriminación de los depósitos clásticos que pueda ser aplicada a otros casos para apoyar en la interpretación de los procesos generadores de los tipos de depósitos que abarca este estudio.

1.3. Terminología.

Los depósitos de facies de matriz de las avalanchas de escombros, flujos de escombros cohesivos, flujos de escombros no cohesivos y *tills*, los depósitos de flujos

piroclásticos presentan facies de *diamicton* (arena y/o partículas grandes dispersas en una matriz de arcilla y limo sin litificar). Sin embargo, en el presente trabajo los depósitos de flujos piroclásticos no están incluidos en este trabajo de investigación dado que son flujos parcialmente fluidizados¹ por su elevada temperatura y contenido en gases volcánicos, lo cual facilita la pérdida de las partículas más finas antes de la sedimentación del flujo.

Excluir a los depósitos piroclásticos hace necesario escoger un término más adecuado para los depósitos en estudio que el de “depósitos volcanoclásticos”. La definición de volcanoclástico fue realizada por Fisher (1966) para incluir el espectro completo de los materiales clásticos compuestos en parte o enteramente de fragmentos volcánicos, generados por algún mecanismo de formación de partículas (ej. explosiones magmáticas, meteorización de una roca litificada preexistente), transportados por algún mecanismo, depositado en algún ambiente fisiográfico o mezclados con algún otro tipo de fragmento no volcánico (Fisher & Smith, 1991). La clasificación de los sedimentos volcanoclásticos (Tabla 1.1) está en función del origen de las partículas.

Partículas Volcanoclásticas	Definiciones
Partículas piroclásticas	Formadas en las explosiones volcánicas y son extruidas directamente desde la apertura.
Partículas hidroclásticas	Formadas por la interacción agua-magma en medios explosivos o no explosivos.
Partículas epiclásticas	Formadas por meteorización y erosión de una roca litificada preexistente.
Partículas autoclásticas	Formados por los mecanismos de fricción del movimiento de flujos de lava o desmoronamiento gravitatorio de espinas y domos.
Partículas alloclásticas	Formados por el desbaratamiento de las rocas volcánicas preexistente por los procesos ígneos debajo de la superficie terrestre, con o sin la intrusión de un magma fresco.

Tabla 1.1. Definición de las partículas volcanoclásticas (Fisher, 1966; Fisher & Smith, 1991).

Sin embargo, la clasificación de los depósitos volcanoclásticos no debe estar en función exclusivamente de las partículas que los conforman, también debe incluir el proceso de transporte y sedimentación de las mismas. En esta línea, Cas & Wright (1987)

¹ **Fluidización:** Proceso mediante el que un gas pasa a través de partículas de grano fino, sueltas, dando lugar a una mezcla que fluye. Cuanto más rápido fluye el gas, más se expande la mezcla y se incrementa el movimiento. Puede formarse una fase de burbujas que se desplaza hacia arriba arrastrando las partículas sólidas hasta que todas sean transportadas por el gas. La fluidización puede tener lugar de forma natural en erupciones volcánicas, dando lugar a flujos piroclásticos.

utilizaron el término epiclástico para describir “depósitos o rocas que han sido producidos por procesos de fragmentación superficial normal (meteorización, abrasión física, colapso gravitacional) o depositados por procesos superficiales normales (tracción, suspensión, flujo en masa)”. Este término involucra los procesos de formación de las partículas y de sedimentación de las mismas e incluso el transporte que sufren las partículas. El inconveniente de esta definición es que utiliza un solo término para hacer referencia a los procesos de generación y transporte de las partículas. Aquí se adopta la nomenclatura que utilizaron Fisher & Smith (1991) y White & Houghton (2006) en donde un depósito piroclástico está formado por una colección de partículas piroclásticas, un depósito epiclástico está formado por partículas epiclásticas, así con todos los tipos de depósitos volcanoclásticos. Además, ciñéndose a la definición de Fisher & Smith (1991) las partículas epiclásticas son formadas por meteorización, por lo que se descarta la posibilidad de incluir dentro de este grupo a aquellas partículas que sufran algún tipo de transformación morfológica durante el transporte.

El término de “depósitos sedimentarios volcanogénéticos” fue propuesto por McPhie *et al.* (1993), en vez de “depósitos epiclásticos”, para aquellos “agregados volcanoclásticos que contienen partículas derivadas de la erosión de los depósitos volcánicos preexistentes y que están sujetos a un significativo retrabajo previo a la sedimentación final, y/o que son redepositados mucho después de la erupción”. Este término engloba los procesos de formación de los clastos, del transporte y de sedimentación de los mismos. Sin embargo, este término excluye a las partículas derivadas de la inestabilidad de las laderas volcánicas y los depósitos sinéruptivos como, por ejemplo, un depósito de flujo de escombros no cohesivo derivado directamente de un flujo piroclástico que interactúa con un glaciar.

No existe una sola expresión para definir los depósitos que están considerados en este estudio. Aquí se denominarán **depósitos volcanoclásticos sedimentarios** (DVcS) a los depósitos volcanoclásticos ligados a la inestabilidad y erosión de las vertientes de un edificio volcánico, donde el término volcanoclástico indica el origen de los clastos y el vocablo sedimentario indica que los procesos de transporte y de sedimentación no son

exclusivos ni únicos del ambiente volcánico. Más concretamente los DVcS son aquellos agregados que contienen partículas derivadas de la meteorización y/o erosión de rocas volcánicas y/o depósitos o partículas volcanoclásticas preexistentes, que son sujetos a un transporte previo a la sedimentación final. De esta forma quedan incluidos los depósitos cuyas partículas piroclásticas han sido resedimentadas y/o erosionadas, incluso aquellas que justo después de ser emitidas entran en contacto con un glaciar y generan un *lahar*². También quedarían incluidas las avalanchas de escombros independientemente de si están asociadas a una componente magmática o no. Esta definición incluye a los depósitos hiperconcentrados y los depósitos fluviales en ambientes volcánicos, pero son excluidos de este trabajo de investigación debido a que hay suficientes criterios de campo para su reconocimiento (Capítulo III). En el Capítulo II se presentan definiciones específicas de los diversos tipos de depósitos aquí estudiados y los procesos formadores.

1.4. Área de estudio.

De los volcanes mexicanos, el Nevado de Toluca representa el marco idóneo para poder obtener una base de datos completa para enfrentar nuestros objetivos. En este volcán coexisten los cuatro tipos de DVcS que se plantea estudiar, sus laderas son de fácil acceso y presentan canteras de explotación de materiales y barrancas que facilitan el afloramiento de las secuencias volcánicas y existen trabajos previos de referencia para la correcta identificación de los DVcS. El Nevado de Toluca es un estratovolcán de 2.6 M.a., (de Beni, 2001, García Palomo *et al.*, 2002), que ha sufrido a lo largo de su historia por lo menos cuatro colapsos sectoriales del edificio: dos hacia el sur del mismo, reconocidos a través de un depósito de avalancha de escombros (DAD1, Macías *et al.*, 1997) y del depósito de flujo de escombros cohesivo Pilcaya (Capra & Macías, 2000); uno más hacia el E-NE denominado depósito de avalancha de escombros El Zaguán (Macías *et al.*, 1997; Caballero, 2007); y el cuarto hacia el N-NW que fue descrito como depósito de avalancha de escombros por Norini *et al.* (2004). A lo largo de la columna estratigráfica de los últimos

² **Lahar:** es el término general para una mezcla de agua y escombros de rocas que fluye rápidamente desde un volcán. Un lahar es un evento, este se puede referir a uno o más procesos discretos, pero no se puede referir al depósito (Smith & Fritz, 1989).

40 mil años del Nevado de Toluca (García Palomo *et al.*, 2002) se pueden reconocer en campo depósitos de flujos de escombros no cohesivos formados por actividad erosiva. Además, el Nevado de Toluca, junto con los grandes estratovolcanes mexicanos, registra las glaciaciones del Pleistoceno tardío, las cuales se ven reflejadas en los depósitos de morrenas localmente denominadas M-I, de >32.000 ¹⁴C años BP; M-II, de >11.500 ¹⁴C años BP; y M-III, de <11.500 ¹⁴C años BP (Vázquez Selem & Heine, 2004).

II. CARACTERÍSTICAS DE LOS DEPÓSITOS VOLCANO-CLÁSTICOS SEDIMENTARIOS.

2.1. Introducción.

En este capítulo se procederá a describir el origen de los depósitos volcanoclásticos sedimentarios (DVcS) desde el punto de vista de la formación de sedimentos, transporte y sedimentación de los mismos. La finalidad de este apartado es la de reconstruir los procesos que sufren las partículas que forman los DVcS a partir de los estudios previos que hay acerca de estos depósitos y los eventos que los formaron. Es por esto que se describen aquellos aspectos que puedan quedar reflejados en la textura (tamaño, morfología y fábrica de las partículas) de los depósitos.

Como primera aproximación al origen y comportamiento dinámico de los sedimentos que conforman los DVcS se procederá a definir los eventos responsables de cada uno de los depósitos en estudio:

- ✓ Una **avalancha de escombros** (*debris avalanche*) es una mezcla de rocas y matriz que se mueve ladera abajo en respuesta a la gravedad formando un flujo muy rápido con un movimiento de masas altamente energético de escombros de rocas incoherentes e insaturadas (Vallance *et al.*, 1995). Según la clasificación cuantitativa de los diferentes flujos de agua y sedimentos subaéreos de Pierson & Costa (1987), las avalanchas de escombros tienen un comportamiento reológico de flujo granular inercial cuyos fluidos intersticiales son agua, más aire, más partículas finas (en una proporción menor al 10% en peso). Las avalanchas de escombros volcánicas normalmente evolucionan desde los deslizamientos iniciados por sectores de colapso y pueden ser sincrónicas con las erupciones explosivas (McPhie *et al.*, 1993).

- ✓ Un **flujo de escombros** (*debris flow*) es una masa de sedimentos (escombros de roca) pobremente clasificados, agitados y saturados en agua que avanza en movimiento acelerado y violento ladera abajo en respuesta de la atracción de la gravedad (Iverson, 1997). Según la clasificación cuantitativa de los diferentes flujos de agua y sedimentos subaéreos de Pierson & Costa (1987), los flujos de escombros cohesivos (*cohesive debris flows*) presentan un comportamiento reológico de flujo de lodo viscoso y los flujos de escombros no cohesivos (*non-cohesive debris flows*) tienen un comportamiento reológico de flujo de lodo inercial, ambos presentan fluidos intersticiales de agua más sedimentos finos (en una proporción del 70-90% en peso, Costa, 1988). La proporción de arcillas frente a la matriz de la fracción sólida de los flujos de escombros es el parámetro que distingue a los flujos de escombros cohesivos, con una proporción de >3-5% de arcillas, y a los no cohesivos, con una proporción de <3-5% de arcillas (Scott et al., 1992; Vallance & Scott, 1997). Los **flujos de escombros cohesivos** se caracterizan por tener su origen en el colapso de un sector del edificio volcánico saturado en agua. Inicialmente se comportan como avalanchas de escombros, pero en zonas proximales se transforman totalmente en flujos de escombros cohesivos moviéndose corriente abajo (Vallance, 2000).

- ✓ Un **glaciar** es una gran masa de hielo en movimiento por deslizamiento basal, sobre o junto a la superficie terrestre (Fregenal *et al.*, 2000). Dadas las características del ambiente de sedimentación que se desarrollan en las laderas de los edificios volcánicos, los glaciares están controlados por la topografía, los cuales son conocidos como glaciares alpinos o de alta montaña. Estos glaciares se caracterizan por transportar y depositar una gran cantidad de escombros (Miller, 1996), provenientes de la incorporación de sedimentos desde lecho glaciar del valle que lo confina y de la caída de escombros sobre la superficie desde las pendientes adyacentes.

2.2. Origen de los sedimentos volcanoclásticos y formación de los eventos volcanoclásticos sedimentarios.

Las laderas volcánicas de las que provienen los sedimentos de los DVcS en estudio presentan una serie de características, las cuales pueden ser comunes o no, para cada uno de los eventos que originaron los depósitos. Las laderas volcánicas están conformadas por una sucesión de materiales los cuales pueden ser desde lavas masivas, hasta depósitos volcanoclásticos, más o menos litificados, formados por fragmentos piroclásticos, hidroclásticos, epiclásticos, autoclásticos y/o alloclásticos. El planteamiento inicial de este trabajo, como se comentó en la introducción de la tesis, se enfoca al estudio del Nevado de Toluca, un estratovolcán de composición andesítico-dacítica, cuyos últimos 40 mil años se caracterizan en una sucesión de depósitos volcanoclásticos (piroclastos, epiclastos y/o combinación de ambos) y el emplazamiento de domos dacíticos que conforman las laderas más empinadas del borde del cráter.

A continuación, se mostrará cómo el origen de algunos de los eventos que dan lugar a los DVcS está íntimamente ligado al estado de alteración química del área fuente, al grado de fragmentación de las rocas madre y/o a la susceptibilidad a ser meteorizados o erosionados.

2.2.1. Formación de las avalanchas de escombros.

Las avalanchas de escombros se forman por el colapso a gran escala de un edificio volcánico o parte de él en ausencia de agua en cantidades significativas (Mc Guire, 1996). Las avalanchas de escombros de gran volumen se originan por el rompimiento catastrófico del edificio volcánico (Mc Guire, 1996) y pueden ser desencadenadas por terremotos tectónicos, erupciones explosivas (freáticas y/o magmáticas) o intrusión magmática (Siebert, 1984), aunque también puede ser por terremotos volcánicos, rápidos incrementos de la presión de fluido de poro (Day, 1996) resultante de la intrusión de magma en/o debajo del edificio.

2.2.2 Formación de los flujos de escombros cohesivos.

Los flujos de escombros cohesivos están directamente vinculados con el debilitamiento de las laderas o parte del edificio volcánico por alteración hidrotermal (especialmente en los volcanes con glaciares, p.ej. el *Osceola Mudflow* en el Monte Rainier, Crandell, 1971, y el Teteltzingo en el Citlaltepctl, Carrasco Núñez *et al.*, 1993) o intensa meteorización tropical. La abundante alteración mineral, que favorece la formación de minerales arcillosos, incrementa la porosidad y reduce la permeabilidad de las rocas y favorece la retención de agua dentro de la masa precolapso (Vallance, 2000). El agua contenida en la roca alterada hidrotermalmente facilita la licuación de la mezcla de arcilla+agua+escombros cuando se deforma (Vallance, 2000), generándose así un flujo de lodo y escombros. Los flujos de escombros cohesivos pueden ser desencadenados por la intrusión superficial de un magma dentro del edificio volcánico (induciendo lahares de $>0.2 \text{ km}^3$), por la actividad magmática o freatomagmática o por los terremotos volcánicos o tectónicos (Vallance, 2000).

2.2.3. Formación de un flujo de escombros no cohesivo.

Los flujos de escombros no cohesivos son inducidos por una liberación súbita de agua, y se mueven a través de los flancos y faldas de un volcán, donde normalmente se encuentran partículas volcanoclásticas susceptibles a ser erosionadas. Estos sedimentos son fácilmente incorporados al flujo, el cual puede aumentar de volumen (*bulking*¹) rápidamente para formar un flujo de escombros no cohesivo. El aporte de agua puede ocurrir por cuatro fuentes principales (Vallance, 2000):

- 1) agua de fusión súbita de nieve o hielo por la interacción de productos de emisión volcánica (flujos y oleadas piroclásticas) con un casquete glaciar situado en su cima (p.ej. Nevado de Ruiz en Colombia, Pierson *et al.*, 1990) ;
- 2) desbordamiento de un lago al subir el nivel del agua por interacción con productos volcánicos eruptivos o ruptura de lagos cratéricos, de caldera o represados por escombros volcánicos (p.ej. Chichón en México, Macías *et al.*, 2004);

¹ **Bulking**: incorporación de un sedimento en un flujo por erosión en el límite del flujo (Scott, 1988).

- 3) liberación del agua atrapada en lagos subglaciares de origen volcánico (erupciones subglaciares) (p.ej. Gudmundsson *et al.*, 1997);
- 4) lluvias torrenciales sobre los escarpados terrenos volcánicos, donde se acumulan grandes masas de sedimentos. El agua removiliza ladera abajo el sedimento adicional acumulado, rellenando canales e inundando planicies, más allá de las laderas del volcán (p.ej. Casita en Nicaragua, Scott *et al.*, 2005).

2.2.4. Formación de un glaciar.

La formación de un glaciar está directamente relacionada con un balance de masas positivo, es decir, la formación de un glaciar se da cuando la acumulación de nieve excede a la cantidad de fusión o evaporación anual. La acumulación de nieve año con año hace que la presión de la columna de nieve favorezca la formación de hielo. En regiones de alta montaña, la acumulación neta de nieve y su transformación a hielo está relacionada con la temperatura, la cual también es dependiente de la altitud. Incluso el agua de fusión está involucrada en la formación del glaciar (Hambrey & Alean, 2004). El flujo del glaciar depende de la temperatura dentro del glaciar y de los mecanismos de la deformación interna, el deslizamiento basal y el movimiento de la masa de hielo debido a la deformación del lecho (Elhers, 1996; Menzies, 1995). Además de las componentes mecánico-térmicas el flujo del glaciar también depende de las variaciones topográficas y los cambios estacionales (Menzies, 1995). La topografía local es de suma importancia para la formación de glaciares de montaña. Las paredes de roca muy inclinadas impiden la acumulación de nieve y la formación del glaciar, sin embargo, el *firn*² se acumula en las depresiones. Los huecos de nivación³ gradualmente se desarrollan dentro de las depresiones profundas, en las cuales pueden formarse los circos glaciares. Con un balance de masas positivo continuo, los circos glaciares finalmente se desarrollan en la cabecera de los valles glaciares (Elhers, 1996).

² **Firn:** Nieve antigua del año anterior que fue sometida a un proceso donde se minimiza la superficie de los cristales de nieve a favor de la formación de nódulos esféricos y se reducen las cavidades entre las partículas (Elhers, 1996).

³ **Nivación:** Complejo de procesos superficiales que actúan bajo una cubierta de nieve. Incluyen la gelifracción, la remoción de detritos por solifluxión y el movimiento de nieve derretida. Es un proceso inicial en el desarrollo de un circo.

2.3. Transporte y sedimentación de las partículas volcanoclásticas.

A continuación se resumirán los mecanismos de transporte y sedimentación dominantes para los eventos que dieron lugar a los DVcS, teniendo en cuenta que la dinámica del transporte de los sedimentos está directamente relacionada con la reología del flujo.

2.3.1. Comportamiento dinámico de una avalancha de escombros.

En este epígrafe no se pretende exponer ni discutir las diferentes teorías existentes que intentan explicar el proceso de flujo de una avalancha de escombros (algunas de las cuales se encuentran resumidas en Ui *et al.*, 2000), tan solo se expondrán los mecanismos fundamentales responsables del transporte del sedimento dentro del flujo.

La dinámica de una avalancha de escombros inicia con el movimiento de un deslizamiento de materiales. Una parte o todo el material que conforma el deslizamiento de masas se disgrega característicamente, dilatándose y transformándose, a alta velocidad, en un flujo granular altamente agitado. El soporte de las partículas durante el flujo se debe a las colisiones inelásticas entre ellas y el esfuerzo de dispersión normal al movimiento del material que se genera. A su vez, el esfuerzo de dispersión preserva la dilatación del material y permite que este fluya (Glicken, 1996), sobre un plano de cizalla basal (McPhie *et al.*, 1993), el cual no puede existir si no se da la suficiente dilatación. Durante una avalancha de escombros los espacios entre los granos contienen fundamentalmente vapor, gas volcánico o aire, incluso agua o hielo pueden estar presentes dentro y entre los bloques, pero estos fluidos intersticiales no contribuyen al soporte de las partículas o su transporte (McPhie *et al.*, 1993).

Las avalanchas de escombros son fluidos de tipo no newtoniano (Pierson & Costa, 1987). Durante el flujo, la parte superior de una avalancha de escombros se mueve como un tapón de flujo laminar (Voight *et al.*, 1981), haciendo que los bloques de escombros sean transportados con un poco o nada de deformación resultando altamente fracturados. El flujo laminar caracteriza a las avalanchas de alta energía por ser de alta movilidad, hasta el punto

de sobrecabalar barreras topográficas significativas (McPhie *et al.*, 1993). Hay factores que pueden contribuir a la alta movilidad de las avalanchas de escombros como puede ser la presencia de un alto contenido en arcilla de alteración hidrotermal en la matriz, entre 1-3% (Siebert *et al.*, 1987), y/o la despresurización del sistema magmático y/o hidrotermal en explosiones (*blast*) asociadas a la avalancha de escombros (Monte Santa Elena, Gliken, 1996). La presencia de juveniles y de gases hidrotermales puede contribuir a la reducción de la fricción entre las partículas.

La deceleración de una avalancha de escombros es aparentemente rápida (Pierson & Scott, en prensa) y el depósito de los sedimentos ocurre en masa por congelamiento friccional (McPhie *et al.*, 1993). Un incremento de la fricción interna hace que aumente la resistencia a fluir (Pierson & Costa, 1987) y se pare. Otra posibilidad es que la avalancha de escombros se encuentre con un obstáculo topográfico que la detenga.

2.3.2. Comportamiento dinámico de un flujo de escombros.

La dinámica de los flujos de escombros está controlada por la interacción de las fuerzas del fluido y del sólido caracterizando su comportamiento por el dominio de las primeras ante las segundas (Iverson, 1997). En un flujo de escombros la presión de fluido es altamente viscosa y casi incompresible, compuesta por agua con arcilla y limo, y puede amortiguar de forma importante la fricción y las colisiones (Iverson, 1997).

El inicio del movimiento de los escombros mezclados con agua se da en el momento en el que se supera un umbral de esfuerzo (*yield strenght*). Una vez que se adquiere esta condición, los flujos de escombros llegan a ser fluidos viscosos (tipo Bingham). Los flujos de escombros cohesivos se caracterizan por presentar una relación no lineal entre el esfuerzo de cizalla y la proporción de deformación (Pierson & Costa, 1987), una vez iniciado el movimiento el flujo puede ser una combinación de flujo laminar y tampón (McPhie *et al.*, 1993). Mientras que los flujos de escombros no cohesivos se caracterizan por presentar fluidos de poro de viscosidad relativamente baja como para que predominen las fuerzas de inercia, donde el momento es transferido por las colisiones entre partículas, y puede ser usado el modelo de fluido dilatante (incremento de la viscosidad con la cizalla)

para explicar su comportamiento (Pierson & Costa, 1987). El movimiento de los flujos de escombros está controlado por las fuerzas de inercia y por una combinación de la fricción entre granos y fuerzas de colisión (Iverson, 1997).

La mayoría de los flujos de escombros cohesivos, derivan su esfuerzo y su resistencia de cizalla a: 1) las colisiones de granos, y 2) la cohesión entre las partículas de tamaño ceniza (Smith & Lowe, 1991). En los flujos de escombros cohesivos las partículas finas (tamaño arcilla) totalmente suspendida en el agua crea un lodo líquido que tiene la fuerza suficiente como para soportar clastos muy grandes durante el flujo (Lowe, 1982). La flotabilidad (*buoyancy*) impide el asentamiento y la presión dispersiva probablemente contribuye al soporte de los clastos. Sin embargo, una porción de los clastos más grandes (>10 m) pueden no ser totalmente soportados, y son transportados por tracción, rotación o deslizamiento a lo largo del lecho a la base del flujo (Lowe, 1982; McPhie *et al.*, 1993). Los megaclastos se pueden mover decenas de kilómetros corriente abajo antes de ser deformados y finalmente fragmentados. Estos megabloques no consolidados pueden ser transportados desde su fuente primaria o incorporarlos desde la roca del cauce del río (Vallance, 2000).

Los flujos de escombros sufren transformaciones corriente abajo. Proximalmente algunas inundaciones incorporan enormes cantidades de sedimentos para llegar a ser flujos hiperconcentrados⁴ o flujos de escombros. En alcances medios o distales, los flujos de escombros también pueden transformarse volviéndose a un flujo hiperconcentrado rico en agua o, al final, en inundaciones (Vallance, 2000). La erosión e incorporación de sedimentos a un flujo de escombros se da antes y durante el pico de flujo, al rebajar las pendientes empinadas y los escarpes de las terrazas fluviales y al recorrer sus cauces. Las fases hiperconcentradas ricas en agua son típicamente más erosivas que las fases de flujos de escombros ricas en sedimentos (Figura 2.1) pero la erosión local puede ocurrir durante cualquier fase del flujo. El estadio de crecimiento de un *lahar* corresponde con la más extensa y voluminosa erosión e incorporación de sedimentos (*bulking*). El estadio final de

⁴ **Flujos hiperconcentrados:** es una mezcla de agua y sedimentos teniendo una concentración de sedimentos entre 20-60% en volumen y 40-80% en peso (Beverage & Culbertson, 1964).

disminución de un flujo de escombros también puede ser erosivo y normalmente incide sobre los sedimentos depositados previamente (Vallance, 2000).

Las transformaciones corriente abajo son características de los flujos de escombros no cohesivos. El proceso de dilución corriente abajo no es tan evidente en flujos de escombros ricos en arcilla porque no se mezclan tan fácilmente con el agua como los flujos de escombros pobres en arcilla (Vallance, 2000).

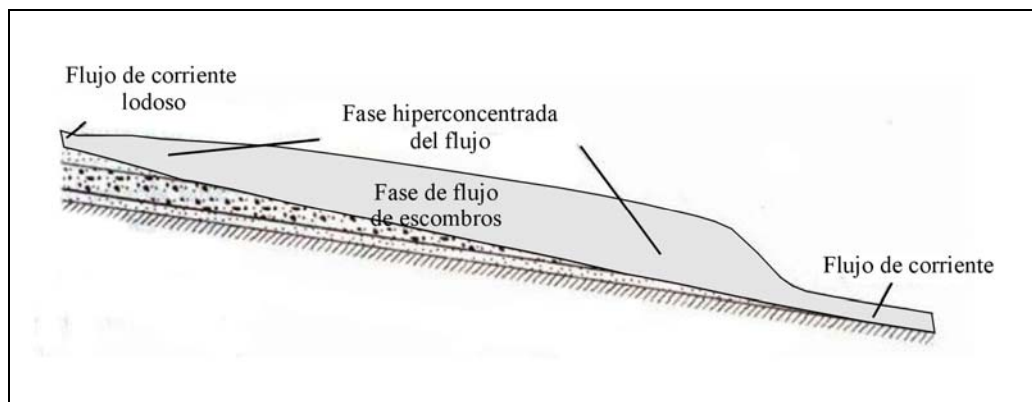


Figura 2.1. Modelo esquemático de un flujo de escombros sufriendo dilución corriente abajo desde la fase de flujo de escombros a la fase de flujo hiperconcentrado y las facies de los depósitos derivados desde estos (Vallance, 2000).

En los flujos de escombros, los sedimentos sufren una segregación en función del tamaño y la densidad de partículas mediante la combinación de la percolación y la expulsión de partículas por presión en los flujos conocida como tamizado cinético (*kinetic sieving*). El tamizado cinético (Iverson, 1997) hace que las partículas más pequeñas migren hacia abajo y desplacen a las más grandes gradualmente hacia arriba. Por otro lado, las partículas grandes migran hacia los márgenes del flujo, movimiento favorecido por las velocidades mayores cerca de la superficie. El tamizado cinético es el responsable de la gradación vertical inversa y de la acreción de las grandes partículas en el perímetro de los flujos (Figura 2.2). La concentración de partículas más grandes en los márgenes del flujo aumentan la permeabilidad en esta zona, mientras en las partes interiores del flujo la abundancia de partículas de grano fino decrecen enormemente la permeabilidad (Vallance, 2000). Esto se traduce en que los frentes de las oleadas de los flujos de escombros presentan bajas presiones de poro y el dominio de las fuerzas de los sólidos impiden el movimiento, mientras que las colas de las oleadas de grano fino manifiestan altas presiones

de poro y el dominio las fuerzas de fluido aumentan la movilidad del flujo de escombros, el cual es cercano a la licuefacción (Iverson, 1997).

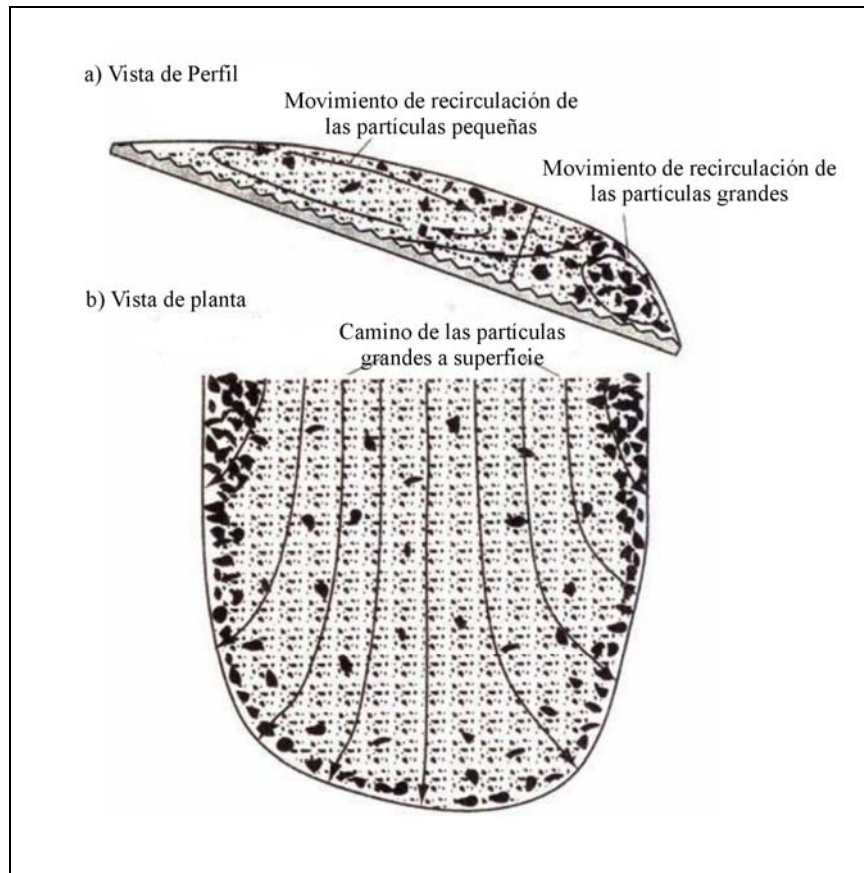


Figura 2.2. Diagrama esquemático que ilustra la segregación del tamaño de las partículas en flujos gradados: a) vista de perfil de la sección cruzada del flujo y b) vista de planta cercana al frente del flujo (Vallance, 2000).

Como ya se mencionó, los frentes de flujo crecientes normalmente son las partes más erosivas de los flujos de escombros, especialmente en las pendientes empinadas. Los escombros disponibles para ser erosionados e incorporados son normalmente gruesos y mejor clasificados (como aluvión, coluvión o roca del lecho) que los escombros del cuerpo principal del flujo de escombros y serán incorporados preferencialmente hacia el frente y base del flujo (Vallance, 2000).

Un flujo de escombros se mueve ladera abajo como una o más oleadas, rara vez se ve como un flujo uniforme constante (Pierson & Scott, en prensa).

La sedimentación de los flujos de escombros volcanoclásticos puede implicar agradación progresiva o acreción incrementada estable, más que un congelamiento en masa (Smith & Lowe, 1991; Mc Phie *et al.*, 1993; Major, 1997; Vallance, 2000). Aunque una rápida sedimentación de un flujo con segregación vertical de tamaños normalmente puede generar un depósito gradado inversamente (Vallance, 2000), donde la sedimentación resulta principalmente de la resistencia a fluir que tienen la cabeza y los márgenes del flujo de escombros, debido a la ausencia de presión de fluido (Iverson, 1997).

La sedimentación ideal de un flujo de escombros cohesivo es en masa para la mayoría de las partículas debido a la cohesión y el desarrollo de tapones. A medida que el esfuerzo de cizalla aplicado decrece por debajo del umbral de esfuerzo (Smith & Lowe, 1991), el flujo se decelera normalmente cuando se encuentra con pendientes suaves (McPhie *et al.*, 1993). El aspecto masivo de un flujo de escombros cohesivo es explicado por el mecanismo de sedimentación de emplazamiento por incrementos propuesto por Vallance & Scott (1997). El emplazamiento incrementado es una combinación de una acreción gradual del material hacia la base y una progresiva dilución del cuerpo principal. Entre estas dos zonas se forma un nivel de deslizamiento que destruye cualquier tipo de estructura sedimentaria. Como resultado, el depósito es razonablemente similar en espesor y en fábrica interna al flujo padre. Aun así, las variaciones en la velocidad y el aporte de material pueden determinar variaciones longitudinales en la textura del depósito.

2.3.3. Comportamiento dinámico de un glaciar.

El escombros transportado por los glaciares de alta montaña puede ser derivado desde dos fuentes principales, una supraglaciariamente desde las paredes de los valles y desde los *nunataks*⁵ y otra subglaciariamente desde el lecho glaciar. Las subsecuentes trayectorias de transporte son ilustradas esquemáticamente en la Figura 2.3 (Boulton, 1978), donde se observa las líneas de flujo del glaciar. Si la fuente supraglaciar yace sobre la línea de neviza⁶, el escombros de caída es enterrado por la nieve, transportado

⁵ *Nunatak*: macizo rocoso que queda rodeado por una plataforma de hielo durante una etapa de glaciación.

⁶ **Línea de neviza** o línea de nieve anual o límite de la neviza: en un glaciar es la línea que marca el límite superior en la que la nieve invernal se derrite durante la temporada de ablación veraniega. Con frecuencia esta

englaciariamente y supraglaciariamente, después emerge debajo de la línea de neviza como una morrena media o lateral y finalmente es depositado después de que el hielo infrayacente se funda. Los escombros derivados supraglaciariamente que alcanzan la superficie glaciaria debajo de la línea de neviza no son enterrados y se transportan en su totalidad supraglaciariamente como morrena media o lateral (Boulton, 1978). El material introducido desde el lecho del valle glaciario o la cabecera de un circo glaciario adyacente puede viajar, inicialmente al menos, en la zona de transporte basal. En un glaciario templado, los escombros derivados supraglaciariamente encuentran su trayectoria dentro de la zona de transporte basal y es probable que en algún estadio puedan pasar de la suspensión a una posición de tracción sobre el lecho. Los escombros derivados de la erosión del lecho glaciario tienden a ser retenidos en la zona de transporte basal, en glaciares templados los escombros transportados supraglaciariamente finalmente son depositados como un *till* de flujo o un *till* de fusión cuando el hielo infrayacente se funde (Boulton, 1978).

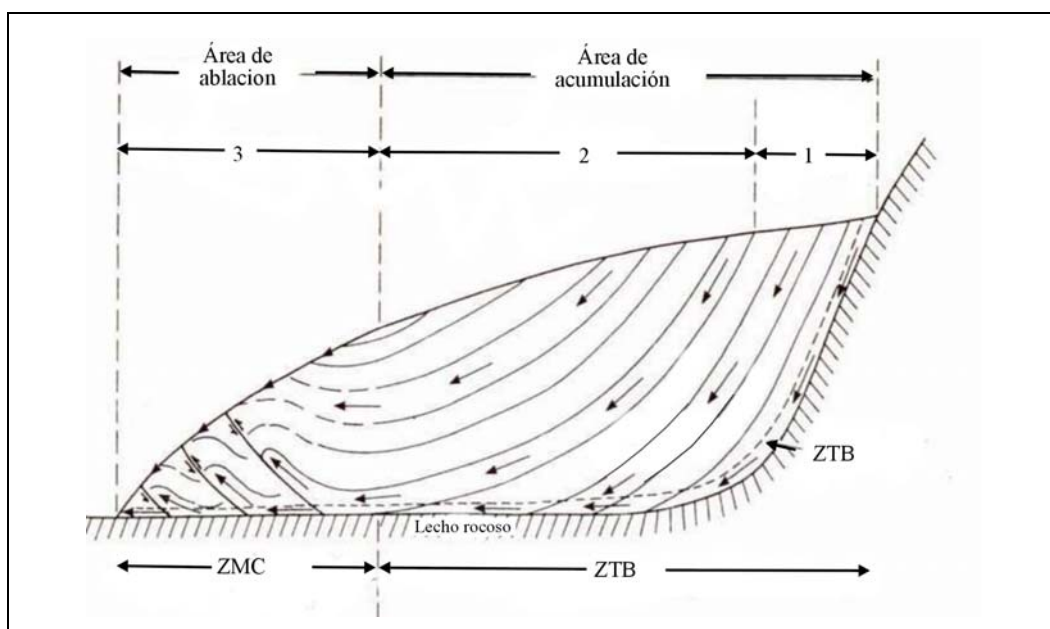


Figura 2.3. Partes del transporte del escombros en un circo glaciario o valle glaciario derivado desde la cabecera (Boulton, 1978). En la zona 1 se encuentran los escombros derivados supraglaciariamente que descienden hacia la zona de transporte basal, en la zona 2 se encuentran los escombros derivados supraglaciariamente transportados englaciariamente por encima de la zona de transporte basal, 3 se encuentran los escombros derivados supraglaciariamente que permanecen en superficie. Los escombros subglaciares tienden a permanecer en la zona de transporte basal (ZTB), mientras que en la zona marginal de compresión (ZMC) algunos escombros de la zona de transporte basal son movidos al nivel más alto.

claramente marcada, y en muchos glaciares separa un hielo duro, de color azul, situado debajo de la nieve superficial.

La Figura 2.3 muestra las líneas de flujo de los escombros transportados en circos glaciares y en valles glaciares derivados desde la cabecera. La interfase de glaciar/lecho o glaciar/cabecera o glaciar/ladera del valle define una línea de flujo basal a lo largo de la cual los escombros adquieren los atributos del tamaño de grano y de la morfología producidos por el proceso de tracción, independientemente de si el escombros es derivado subglacialmente o supraglacialmente. La compresión en el área terminal puede causar el movimiento de los escombros desde la zona de transporte basal hacia arriba incorporándose al transporte de alto nivel, es decir, a zonas supraglaciares (Boulton, 1978).

Los grandes espolones (p.ej. en la cabeza del glaciar, o en una confluencia glaciar o en un *nunatak*) no solamente tienden a generar morrenas medias. Las líneas del flujo basal dejan de ser paralelas al lecho glaciar inmediatamente por abajo del espolón. Esto se debe aun incremento en la velocidad del flujo del hielo en las posiciones de sotavento (parte opuesta a aquella de donde viene el flujo) con respecto a las posiciones por encima de la cresta del obstáculo (Figura 2.4). Esta tendencia es realizada si el obstáculo es muy grande y si se produce una fuerte compresión transversal por el flujo convergente de dos secciones de un glaciar (tal y como describieron para la confluencia de dos glaciares de valle en forma de 'Y' asimétrica por Eyles & Rogerson, 1977). De esta forma, en el sotavento de un espolón (Figura 2.4) las líneas de flujo basal trasladan material desde la zona de transporte basal hacia arriba dentro de la zona de transporte de alto nivel. En la parte inferior de muchas morrenas medias derivadas de la confluencia glaciar o a partir de un *nunatak*, los bloques muestran algún signo de desgaste de la zona basal de tracción, y una distribución de tamaños de granos distintiva. Esto contrasta fuertemente con las zonas adyacentes a las morrenas medias donde las líneas de flujo basal son paralelas al lecho y los escombros son confinados en la zona basal (Boulton, 1978).

Todo el escombros incorporado a un glaciar, que no ha sido depositado en alguna parte de su camino, es transportado a los márgenes del hielo. Cuando el margen de hielo llega a detenerse por un periodo de tiempo, el glaciar de escombros se funde acumulándose como una morrena terminal de sedimentación. Ante un retroceso de los márgenes del hielo

se puede formar una serie de morrenas anuales. Los escombros acumulados ante el margen de hielo denominado morrena terminal frontal o lateral (Elhers, 1996). La sedimentación en los márgenes de hielo se ve influenciada por la desaceleración del glaciar en zonas marginales donde los escombros son llevados hacia arriba (Ashley *et al.*, 1985).

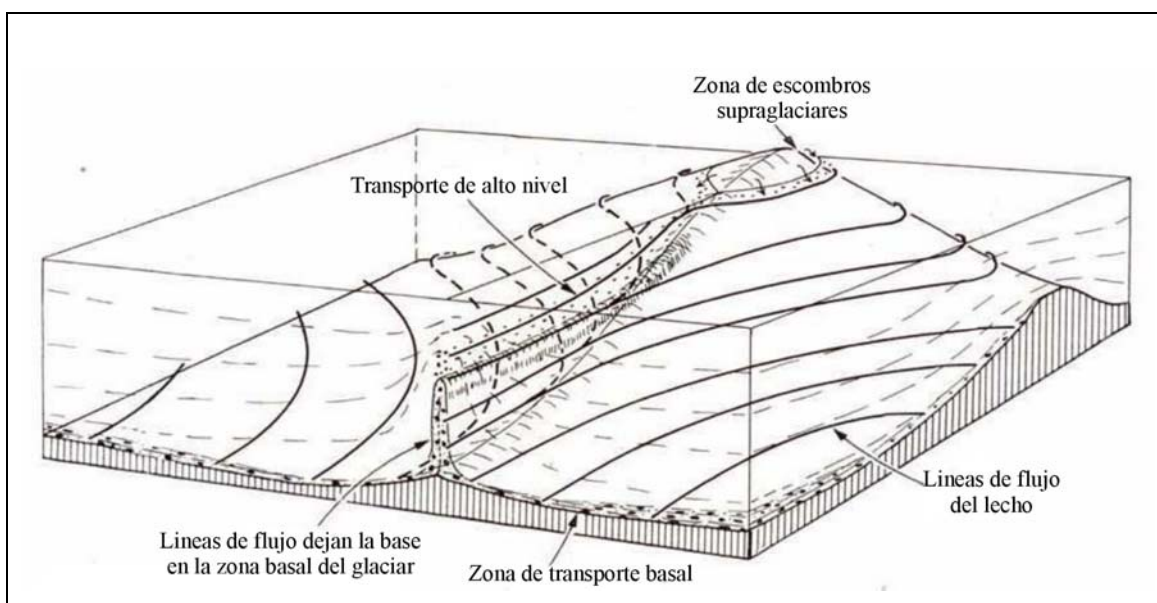


Figura 2.4. Diagrama esquemático que muestra los posibles movimientos del escombros desde la zona del transporte basal a una parte de transporte de alto nivel en la zona compressiva ante la confluencia glaciar (Boulton, 1978).

Los mecanismos fundamentales en la sedimentación glaciar son el flujo, la fusión y la resistencia de fricción, actuando separadamente o en conjunto (Menziés, 1995):

- ✓ El flujo es un proceso puramente gravitacional que actúa a favor del máximo gradiente topográfico y que involucra al escombros glaciar y al agua de fusión. El hielo glaciar normalmente tiene sus márgenes inclinadas y su superficie en relieve, esta morfología es acentuada por la fusión irregular y el *crevassing*⁷. Esto facilita una amplia variedad de procesos de movimientos en masa (caída, derrumbes, deslizamiento/colapso, deslizamiento por rotación y translación, rodamiento y reptación) junto con el flujo. Sin embargo, el flujo es el proceso dominante o el más continuo de los procesos de resedimentación, gracias a las

⁷ *Crevasse*: fisura profunda de la superficie de un glaciar que se forma cuando el esfuerzo de tensión supera el límite de cizalla del hielo en los primeros metros superficiales frágiles. Los esfuerzos de tensión adecuados para producir estas grietas se desarrollan típicamente cuando el glaciar se mueve sobre una pendiente convexa hacia arriba.

condiciones especiales de la fusión del hielo en los márgenes, donde cantidades excesivas de agua sobreyacen a un sustrato glaciar generalmente impermeable. La dinámica del flujo se explica por la acción simultánea de varios mecanismos de soporte y transporte de grano (interacción grano-grano, flotabilidad, turbulencia, fluidización, licuefacción, presión dispersiva). El flujo varía sistemáticamente con los cambios del contenido en agua y presenta una morfología continua cuando el flujo cambia de tipo plástico a viscoso.

- ✓ En la fusión, la lenta liberación del escombros desde la superficie inferior y superior del hielo estancado está dominado, respectivamente, por la fusión supraglaciar y subglaciar. Durante periodos de regresión glaciar marcada, la fusión puede ser el mecanismo más productivo en la formación de *tills* de fusión, especialmente en las situaciones marginales donde el aire del ambiente caliente puede penetrar en el sistema glaciar, aunque el adelgazamiento de los glaciares en estas zonas marginales puede contrarrestar este proceso al reducirse la presión de sobrecarga. La fusión puede también operar preferencialmente sobre puntos calientes corticales donde el flujo de calor geotermal es mayor de lo normal y es influenciado por la conductividad térmica de los escombros, esta última está controlada por su textura, composición y porosidad.
- ✓ La resistencia de fricción y por lo tanto la sedimentación final, puede resultar desde uno o varios de los siguientes ambientes o cambios internos: una reducción en el gradiente del lecho, una disminución en el espesor de la masa del flujo, la pérdida de fluidos intersticiales por drenaje a través de un sustrato permeable, la obstrucción de parte del flujo o la adición de sedimentos secos con la reducción relativa del contenido de agua de los escombros.

Por otro lado, para que haya sedimentación subglaciar en un glaciar con un alto contenido en grava, se requiere un mayor umbral de esfuerzo para iniciar la deformación de cizalla, que el que es requerido para mantener este proceso (fluido tipo Bingham). Si la tensión entre el glaciar y su lecho pasa a un valor crítico o si el escombros glaciar pasa un contenido de grava crítico, los sedimentos son acumulados bajo el glaciar para formar obstáculos estables (*drumlins*), los cuales son formados por el movimiento del hielo. Donde

el espesor del hielo es demasiado grande, el umbral de esfuerzo es insuficiente para deformar el sedimento (Elhers, 1996).

III. METODOLOGIA.

El propósito de este apartado es el de describir los criterios de campo para identificar los diferentes tipos de DVcS y el de definir las herramientas a utilizar para la caracterización de cada una de las propiedades de la textura (granulometría, morfología, fábrica) de los DVcS, desde la captura de los datos hasta su procesamiento matemático. La obtención de parámetros cuantitativos permite realizar un análisis objetivo de la textura de los depósitos.

3.1. Criterios de campo para identificar los diferentes tipos de depósitos volcanoclásticos sedimentarios.

La toma de muestras para el análisis de la textura de los DVcS en el Nevado de Toluca, se realizó en localidades ya descritas e identificadas en trabajos previos (Macías *et al.*, 1997; Capra & Macías, 2000; Norini *et al.*, 2004; Vázquez-Selem & Heine, 2004). Gracias a estos antecedentes y a las descripciones encontradas en la literatura sobre trabajos puntuales de los diferentes DVcS en estudio, se pudo desarrollar el trabajo de campo en el Nevado de Toluca, en el cual se localizaron y se tomaron muestras de los depósitos descritos, algunos de los cuales no contaban con estudios detallados de algún aspecto de su textura (especialmente de los flujos de escombros no cohesivos y *tills*). Las características que sirvieron para reconocer cada tipo de DVcS en estudio fueron las siguientes:

- ✓ Para los depósitos de **facies de matriz de una avalanchas de escombros** algunos de los criterios utilizados fueron: no presentar estratificación o gradación alguna (Ui *et al.*, 1986), estar constituidos por una mezcla de clastos representativos de muchos tipos de rocas provenientes del volcán (Ui *et al.*, 1986), presentar bloques de rompecabezas¹ (*jig-saw*) dispersos en la matriz (Figura 3.1), tener una baja concentración de arcillas en la matriz (1-2%, Siebert *et al.*, 1987), manifestar una redondez entre angular a subredondeada, debido a

¹ **Estructura en rompecabezas:** Estructura de un clasto fragmentado cuya forma original puede aun reconstruirse por no haber sido disgregado en la mayoría de sus fragmentos.

una ligera abrasión de las partículas durante el transporte (Ui, 1989; Palmer *et al.*, 1991).



Figura 3.1. Estructura en rompecabezas de un bloque incluido dentro de las facies de matriz de la avalancha de escombros El Zaguán, afloramiento NT0406 (429757, 2115776 UTM).

- ✓ Para los depósitos de **flujos de escombros cohesivos** las características que más ayudaron a discriminarlos fueron: la gran potencia de sus espesores en la zona de sedimentación (20 m de promedio para el flujo de escombros cohesivo de Pilcaya, Nevado de Toluca, Capra & Macías, 2000), la homogeneidad textural a lo largo de su extensión, la alta concentración de arcillas en su matriz (Janda *et al.*, 1981; Crandell, 1971; Vallance *et al.*, 1997; Capra & Macías, 2000), la presencia de vesículas milimétricas en la matriz (Carrasco Nuñez *et al.*, 1993), la impresión de características texturales en la superficie de sus clastos más grandes concretamente las marcas de percusión y arañazos (*scratches*) que se dan durante el transporte en flujo (Ui, 1989).



Figura 3.2. Espesor de los flujos de escombros cohesivo Pilcaya, afloramiento 40P de Capra & Macías (2000) en la vertiente S del Nevado de Toluca.

- ✓ Para los depósitos de **flujos de escombros no cohesivos** los criterios más discriminatorios fueron: la poca potencia de sus espesores, la presencia de variaciones laterales en distancias cortas (facies de canal, facies de llanura de inundación, Scott, 1988), la posibilidad de presentar una orientación preferencial de los ejes largos de los guijarros paralelos a la dirección de flujo (Mullineaux & Crandell, 1962) (Figura 3.3), la presencia de vesículas milimétricas en la matriz (Vallance, 2000), la morfología más redondeada de sus partículas algunas con fracturación reciente por cataclasis (Pierson *et al.*, 1990), el reconocimiento de texturas superficiales en sus clastos más grandes como marcas de percusión y arañazos (Ui, 1989).



Figura 3.3. Orientación preferencial de las partículas en el afloramiento NT0451 (423460, 2127004 UTM) de la vertiente N del Nevado de Toluca.

- ✓ Para identificar los *tills* los criterios de identificación utilizados fueron: la geomorfología del depósito de relieve positivo y paralelo a la línea de máxima pendiente (Figura 3.4-a), la presencia de horizontes discontinuos postdeposicionales ricos en finos (figura 3.4-b), la variación de la redondez de los clastos en función de la posición de transporte de la partícula de muy angulosos y angulosos en posiciones supraglaciares a redondeados en posiciones subglaciares (Hambrey, 1994), la presencia de estrías y caras de abrasión en las gravas, el reconocimiento de formas típicas de '*flat iron*' (=plancha plana) o pentágono alargado, la orientación preferencial de los clastos paralela al flujo del hielo (Hambrey, 1994).

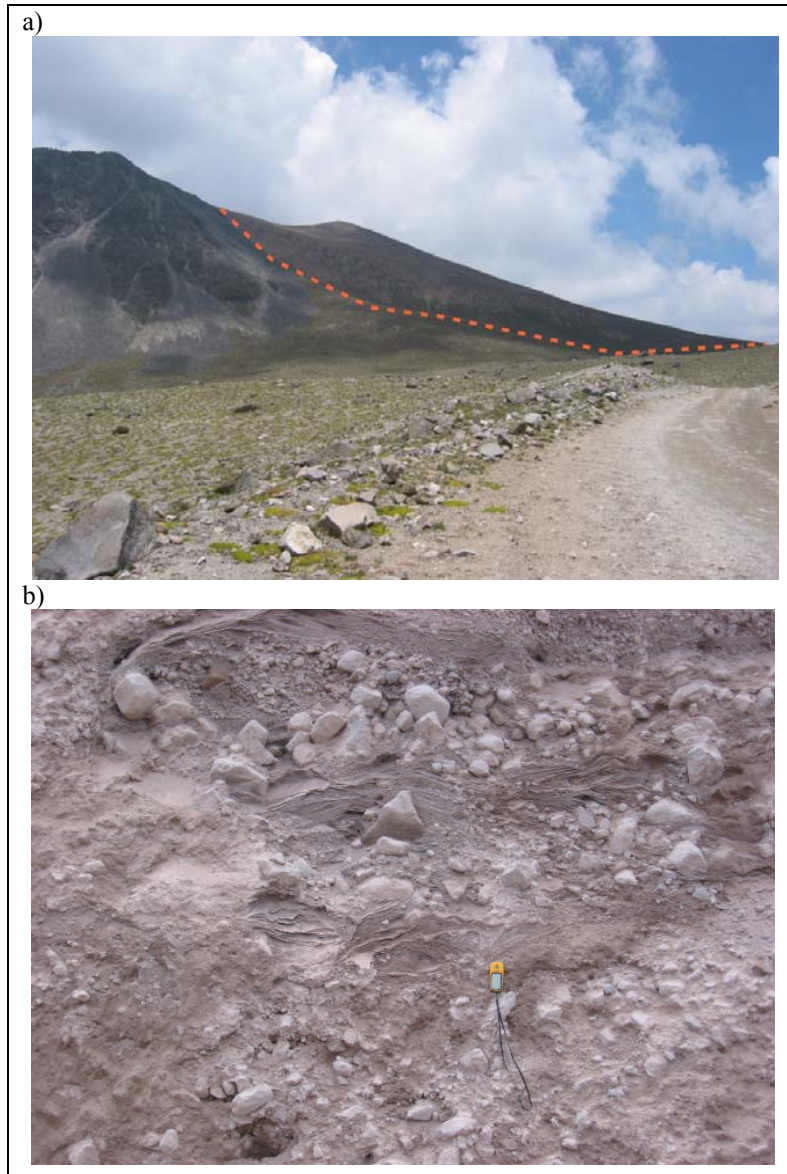


Figura 3.4. a) Geomorfología de una morrena lateral izquierda, correspondiente al afloramiento NT05236 (421707, 2112620 UTM), b) horizontes discontinuos postdeposicionales ricos en finos en el afloramiento NT05115 (416664, 2110911 UTM) el corte del afloramiento es perpendicular a la morfología de la morrena.

3.2. Análisis granulométrico.

La distribución granulométrica de los diferentes DVcS se obtiene calculando el porcentaje en peso de cada fracción de tamaño de partículas en la escala logarítmica ϕ de

Wentworth (1922) (Tabla 3.1). El rango granulométrico aquí utilizado va de -8 (256 mm, grava) a 8ϕ (0.004 mm, arcilla). El porcentaje en peso del rango granulométrico completo se obtuvo combinando tres técnicas analíticas en función de los tamaños de grano: el método de muestreo de red con análisis de frecuencia por número para la fracción más gruesa de -4ϕ (Kellerhals & Bray, 1971), el tamizado en seco para las fracciones entre -4ϕ y 4ϕ y el análisis por sedimentación por vía óptica para las fracciones de tamaño más finos a 4ϕ . Estas técnicas ya fueron aplicadas en DVcS por Major & Voight (1986), Scott (1988), Vallance & Scott (1997) y Capra & Macías (2000).

ϕ	mm	Wentworth, 1922	
≥ -8	≥ 256	Bloque	Grava
-7	128	Canto	
-6	64		
-5	32	Guijarro	
-4	16		
-3	8		
-2	4		
-1	2	Granulo	
0	1	Arena muy gruesa	Arena
1	0,5	Arena gruesa	
2	0,25	Arena media	
3	0,125	Arena fina	
4	0,063	Arena muy fina	
5	0,031	Limo	Limo
6	0,016		
7	0,008		
8	0,004 mm		
≤ -8	$\leq 0,004\text{mm}$	Arcilla	Arcilla

Tabla 3.1. Límites de clase y terminología estándar para describir las clases de tamaños de grano (Wentworth, 1922).

3.2.1. Obtención de datos.

3.2.1.1. En campo

Para obtener las muestras del análisis sedimentológico, en primer lugar se elige un área representativa del conjunto del afloramiento (normalmente una posición media del depósito), después se limpia la superficie del afloramiento para evitar tomar material en mal estado, y por lo tanto, no representativo. A continuación, se recolecta una muestra de aproximadamente 1.5 kg de sedimento de menos de -4ϕ (16 mm), depositándolo en una bolsa hermética. De haber tenido en cuenta la fracción de tamaños superior a esta se tendría

que haber tomado mayor cantidad de material. El muestreo se realiza igual para cualquier tipo de los depósitos en estudio.

El análisis de las partículas más gruesas de -4ϕ se realiza a partir de fotografías con escala del conjunto del afloramiento o de una porción representativa de este seleccionada objetivamente. En esta se estima de forma indirecta el porcentaje en peso de las fracciones de grano de más de -4ϕ por medio de un muestreo de red con análisis de frecuencia por número (Kellerhals & Bray, 1971). Las fotografías se tomaron con una cámara digital Canon *Power Shot S₄₀* procurando que las dimensiones de la foto fuesen de 140 x 100 cm o 100 x 75 cm, en los afloramientos cuyos espesores fueron menores de un metro se tomaron de 85 x 50 cm. Las fotografías se hicieron lo más paralelamente posible a la superficie del afloramiento para evitar así distorsión en la imagen de las partículas.

3.2.1.2. En el laboratorio.

El análisis sedimentológico consistió en la determinación de la distribución de las diferentes fracciones de tamaños de grano en función de su porcentaje en peso respecto al conjunto de la muestra tomada. A continuación, se procederá a describir las diferentes técnicas analíticas empleadas.

El **tamizado por vía seca** consiste en pasar una muestra a través de una columna de tamices con un diámetro de malla de 1ϕ en un intervalo de tamaños de -4ϕ a 4ϕ . Antes de iniciar el tamizado la muestra se seca durante 24 horas en un horno a $50-60^{\circ}$ C, posteriormente se deja enfriar hasta que adquiere la temperatura ambiente. Después se pesa la muestra para controlar la proporción perdida durante el proceso. La columna de tamices (*Analytical Sieve* de *Fritsch* para el tamiz de 4ϕ y U.S.A. *Estándar Testing Sieve A.S.T.M. E-11 Specification Wilson* para -6ϕ y W.S.Tyler para el resto de tamaños) se dispone colocando el espaciado de malla de menor a mayor. Para hacer más efectivo el tamizado se utiliza el apoyo mecánico del *Rotap Modelo RX-29* de W.S.Tyler durante 10 minutos. Posteriormente se procede a pesar (Balanza *Ohaus GT 2100*) las diferentes fracciones retenidas en cada intervalo.

El **análisis por sedimentación por vía óptica** de una muestra de tamaño de grano menor a 4ϕ (0,064mm) se basa en la ley de Stoke. Esta ley describe la relación entre el diámetro de una partícula d (μm , micrómetro) y la velocidad de hundimiento de los sólidos en suspensión dentro de una columna de sedimentación (altura/tiempo, h/t), la diferencia entre las densidades específicas de la partícula D_S y del líquido D_L y la viscosidad del líquido η .

$$d(\mu m) = 175 \sqrt{\frac{\eta h}{(D_S - D_L)t}}$$

así pues, la sedimentación de la partícula es sensible a la densidad, la morfología y el tamaño de la partícula.

Este método es realizado a través del Foto-sedimentógrafo de barrido, '*Analysette 20*' (*Fritsch*), el cual calcula la distribución de los tamaños de grano a partir de la velocidad de sedimentación y la concentración de muestra en la profundidad de la medición.

Una vez obtenidos los porcentajes en peso de cada fracción (entre 4ϕ y 9ϕ) estos fueron recalculados al porcentaje en peso obtenido para los tamaños menores de 4ϕ del proceso de tamizado por vía seca.

El **análisis de imágenes** para la determinación de los tamaños superiores a -4ϕ , se hizo en base a las fotografías de los depósitos en los cuales se traza una malla de mayor espaciado con un mínimo de 100 nodos. A continuación, se contabiliza el tamaño máximo de aquellos clastos que caen en los nodos de la malla. Las partículas más grandes que son interceptadas por varios nodos solo se contabilizan dos veces (Kellerhals & Bray, 1971). Tras medir un mínimo de 100 granos se obtiene el porcentaje de cada fracción. Aquellos nodos que intercepten a una partícula de tamaño igual o menor a -3ϕ (8 mm) son contabilizados como matriz y a este porcentaje es recalculado al porcentaje en peso del resto del rango de la muestra que se ha obtenido con anterioridad de la combinación del tamizado por vía seca y análisis por sedimentación por vía óptica.

Según Kellerhals & Bray (1971) el muestreo de red con análisis de frecuencia por número es el único procedimiento de muestreo capaz de describir el tamaño de grano de forma equivalente al análisis de tamizado clásico (tamizado por peso).

La dificultad de este método es saber si las dimensiones bidimensionales que se observan en la fotografía representan los dos ejes mayores reales del clasto. Lo ideal sería medir el eje *b* para depósitos no consolidados en superficies de capa abiertas (Kellerhals & Bray, 1971; Sime & Ferguson, 2003; Iriondo, 1972), es decir, no hay ocultamiento parcial de las partículas gruesas por otras más finas. Para los depósitos en estudio sólo se cuenta con secciones verticales de los depósitos y es casi imposible que los clastos no estén parcialmente ocultos por otras partículas. Finalmente se toma la máxima dimensión de los clastos que afloran. Esta misma elección fue realizada por Sarocchi *et al.* (2005) quienes argumentan que el diámetro máximo aparente en la superficie de corte, desde el punto de vista probabilístico, es el que más se aproxima al diámetro intermedio.

3.2.2. Tratamiento numérico y representación de datos.

Para evitar la subjetividad de las descripciones cualitativas, la metodología del presente estudio granulométrico se centra en dos tipos de análisis: el primero se basa en el análisis de las proporciones de las clases granulométricas de Wentworth (1922) a través de los diagramas triangulares de Grava-Lodo²-Arena (GLA) y de Arena-Arcilla-Limo (AAL) propuestos por Folk (1954, 1974) para los diferentes DVcS; y el segundo consiste en un análisis estadístico de los parámetros descriptivos de la curva de distribución granulométrica, el cual se realizó a partir de los diagramas de cajas y bigotes para cada uno de los parámetros de los diferentes DVcS. En este diagrama se visualiza rápidamente la media, mediana y la dispersión de los datos al 50% (caja) representados por el 1^{er} y el 3^{er} cuartil y la dispersión de los datos al 90% (bigotes).

Una vez calculada la distribución de frecuencias de las diferentes fracciones, se obtuvieron las proporciones de las diferentes clases de tamaños (grava, arena, limo, arcilla) y los parámetros estadísticos que describen la distribución (media, mediana, desviación

² Lodo=Limo+Arcilla

estándar, asimetría y curtosis). La obtención de estos parámetros sirve para comparar entre sí las distintas distribuciones de tamaños de granos y para correlacionar los diferentes tipos de sedimentos y sus ambientes de sedimentación (Inman, 1952). Existen varias formas de calcular los momentos estadísticos a partir de las curvas de distribución (Trask, 1930; Trask, 1932; Otto, 1939; Krumbein & Pettijohn, 1938; McCammon, 1962). En este trabajo se utilizarán los propuestos por Inman (1952) y Folk (1974), pero cabe destacar que los parámetros estadísticos de Folk presentan una ventaja frente a los de Inman al lograr integrar en sus cálculos la mayoría de la curva de frecuencias acumuladas, por lo que sus resultados son más confiables para curvas de distribución no-normal. Los momentos estadísticos se obtienen a partir de los percentiles 5, 16, 25, 50, 75, 84, 95 de la curva de frecuencias acumuladas de los porcentajes en peso de las fracciones granulométricas definidas a 1ϕ (Tabla 3.2). En el Anexo I se resumen las propiedades de las curvas de distribución granulométricas a partir de los momentos estadísticos y en el Anexo II se exponen las formas de representación de la distribución granulométrica.

	Inman	Folk
Mediana	$Md_{\phi} = \phi_{50}$	$Md_{\phi} = \phi_{50}$
Media	$M_{\phi} = \frac{(\phi_{16} + \phi_{84})}{2}$	$M_Z = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$
Desviación Estándar	$\sigma_{\phi} = \frac{(\phi_{84} - \phi_{16})}{2}$	$\sigma_I = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6,6}$
Asimetría	$\alpha_{\phi} = \frac{(M_{\phi} - Md_{\phi})}{\sigma_{\phi}}, \alpha_{2\phi} = \frac{1/2(\phi_5 + \phi_{95}) - Md_{\phi}}{\sigma_{\phi}}$	$Sk_I = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$
Curtosis	$\beta_{\phi} = \frac{1/2(\phi_{95} - \phi_5) - \sigma_{\phi}}{\sigma_{\phi}}$	$K_G = \frac{(\phi_{95} - \phi_5)}{2,44(\phi_{75} - \phi_{25})}$

Tabla 3.2. Cálculos de los parámetros estadísticos propuestos por Inman (1952) y Folk (1974).

Tanto el análisis de las proporciones de las clases de tamaños por medio de diagramas triangulares, como el análisis estadístico de los parámetros descriptivos de las curvas de distribución a través de diagramas de cajas y bigotes, permite evaluar cuáles de ellos son los que realzan las características intrínsecas de cada tipo de depósito. Una vez definidos los dos parámetros que mejor discriminan a los depósitos se enfrentarán en un diagrama binario. Estos diagramas son muy utilizados en estudios sedimentológicos de

depósitos clásticos para encontrar características representativas de los ambientes de sedimentación y génesis de los depósitos (Folk & Ward, 1957; Friedmann, 1962; Folk, 1966). También han sido utilizados en sedimentología volcánica para clasificar los depósitos piroclásticos (Walker, 1971).

3.2.2.1. Diagramas de contornos o curvas de densidad

Con base en el diagrama binario del par estadístico más discriminatorio se dibujaron las curvas de contorno según la metodología de Walker (1971), las cuales muestran la densidad de puntos (ver Figura 3.5). Las curvas de densidad son generadas a partir de una nube de puntos resultante de la proyección de dos variables (Figura 3.5-a). Una vez proyectados los puntos, se calcula el número de vecinos que presenta cada uno de ellos entorno a un radio conocido (Figura 3.5-b). El radio se establece en función del tamaño de la muestra de datos. En el trabajo de Walker se consideró un radio de 0.5ϕ para un tamaño de muestra de más de 1600 datos sedimentológicos de depósitos piroclásticos. La base de datos aquí utilizada asciende a 337 muestras, por lo que un radio de 1ϕ resulta ser adecuado. Si se considera un radio de 1ϕ , el área que encierra la mayoría de los datos corresponde a la isolínea de densidad del 10% (Figura 3.5-d). Por el contrario, si se considera un radio de 0.5ϕ , la isolínea del 10% ya no cumple esta misma función (Figura 3.5-c).

Para reproducir la metodología empleada por Walker (1971), se calcula el número de puntos entorno a cada uno de ellos utilizando la función *find.neighbor* del programa informático *S-Plus 6.0 Profesional (Insightful Corp.; Seattle, Washington)* y para realizar el mapa de contornos con base en la red generada por interpolación de tipo *Kriging*, se utiliza el programa *Surfer 8.00 (Surface Mapping System; Golden Software, Inc.; Golden, Colorado)*.

Las curvas de densidad generadas a partir de una nube indican el % de muestra que hay entorno a cada punto. De esta forma, la gráfica muestra que tan agrupados están los datos y si las características de la media y la desviación estándar son o no homogéneas en el conjunto de la base de datos.

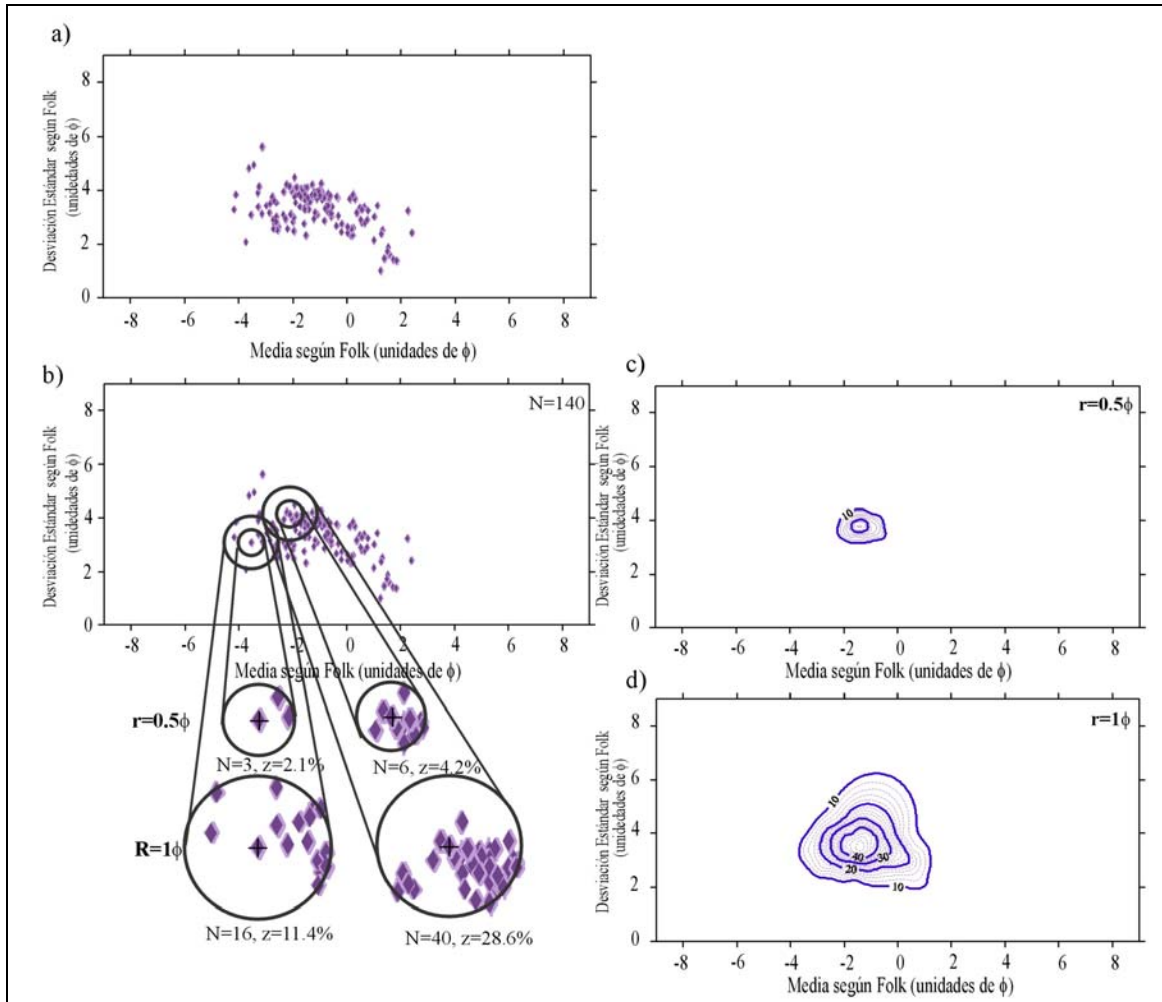


Figura 3.5. Pasos a seguir en la obtención del diagrama de contornos o curvas de densidad según la metodología de Walker (1971) a) Representación binaria de la media vs la desviación estándar (según Folk & Ward, 1957) se proyectaron como ejemplo los estadísticos de los depósitos proyectaron como ejemplo los estadísticos de los depósitos de flujos de escombros no cohesivos del Nevado de Toluca, Monte Santa Elena, Monte Rainier, Nevado del Ruiz, Popocatépetl (N=208); b) Curvas de densidad (con radio= 0.5ϕ y $r=1\phi$) para los flujos de escombros no cohesivos, c) representación de las curvas de densidad con radio= 0.5ϕ , y d) representación de las curvas de densidad con radio= 1ϕ . Donde, N es el número de puntos dentro de la circunferencia y z es su % y el valor que se toma para trazar los contornos.

En la Figura 3.6 se abstraen las curvas de contornos del 10% sobre la nube de puntos, donde se puede observar como las isolíneas de densidad para un radio de 0.5ϕ no son del todo representativas del conjunto de las distribuciones de los flujos de escombros no cohesivos ya que excluyen muchos puntos, mientras que para un radio de 1ϕ incluye áreas donde no se proyecta ningún dato. Buscando la mejor forma de trazar un área representativa de las distribuciones, se utilizó el método de análisis espacial de la intensidad

(propiedad espacial de primer orden) calculando el número medio de puntos por unidad de área. La densidad³ de los puntos puede variar en el espacio de proyección y es precisamente esta variación la que se pretende representar. La función aquí utilizada es la densidad de *kernel*, la cual calcula la densidad de las características (puntos) de los vecinos alrededor de estas características (puntos). Como se observa en la Figura 3.6 la isolínea del 10% de la densidad de *kernel* se ciñe mejor al conjunto de la nube de puntos en función a la densidad de los mismos, sin incluir ni excluir áreas no representativas. Esto la convierte en la herramienta más adecuada para comparar depósitos cuyas características granulométricas son muy similares.

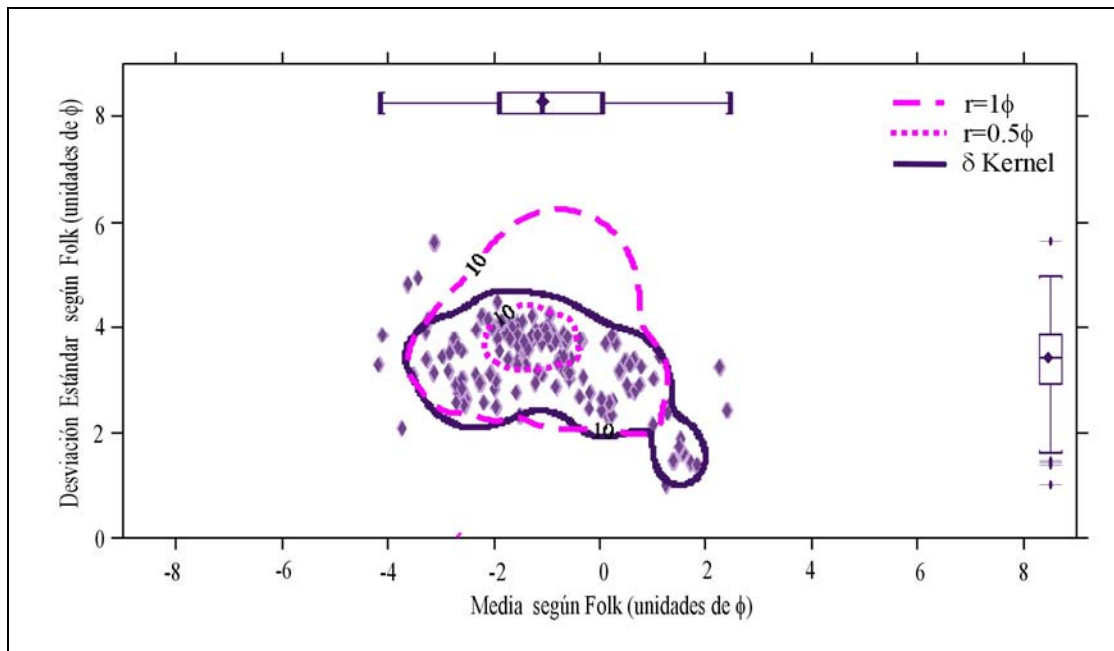


Figura 3.6. Comparativa de métodos para obtener la curva de densidad a través de la curva de densidad del 10%. Las curvas discontinuas corresponden a los resultados según la interpolación tipo *Kriging* del conteo de vecinos en un radio de 0.5ϕ (curva de puntos discontinuos) y de 1ϕ (curva de líneas discontinuas). La curva continua corresponde a los resultados obtenidos empleando la función de densidad de *kernel*. La función *kernel density* está disponible en el programa informático *ArcGis 9.1* (*Environmental Systems Research Institute, Inc. (ESRI) Redland, California*), y se basa en la función cuadrática descrita por Silverman (1987, p. 76, ecuación 4.5).

³ Nota: Como los datos son estacionarios en el tiempo se puede hablar de densidad en vez de intensidad.

3.3. Análisis de la morfología de las partículas.

Bajo el amplio término de la morfología de la partícula⁴ están incluidos al menos cuatro aspectos de la morfología externa de una partícula (Folk, 1974; Barrett, 1980; Gale & Hoare, 1991). Estos son, de mayor a menor orden de magnitud:

- ✓ **Forma:** es la medida relativa de las longitudes de los tres ejes ortogonales mayores de la partícula. Cualquier partícula posee tres ejes perpendiculares entre sí: un eje a , el eje más largo; un eje b , el eje más largo en el plano perpendicular con el eje a ; y el eje c , el eje más largo en ángulo recto al plano definido por los ejes a y b . Por lo tanto, una partícula puede ser aproximada a: una esfera (compacta o equidimensional), con los tres ejes casi de la misma longitud ($a \approx b \approx c$); un disco o un plato ('*oblate*' o plana), con un eje corto y dos largos ($a \approx b \gg c$); un rodillo o una vara ('*prolate*' o alongada), con un eje largo y dos cortos ($a \gg b \approx c$); una hoja, con un eje mucho más largo y un eje mucho más corto que el eje b ($a \gg b \gg c$); o cualquier forma intermedia tal y como ilustra el esquema de la Figura 3.7.
- ✓ **Esfericidad:** mide que tan similares son las longitudes en los tres ejes mayores de las partículas y, por lo tanto, refleja el comportamiento de las partículas en un fluido. Así, una partícula con los tres ejes iguales tiene una tendencia hacia una superficie de área mínima para un volumen dado y, por lo tanto, maximiza su velocidad de asentamiento en un fluido. Esta es la razón por lo cual se describirá la esfericidad aparte de la forma y se analizarán conjuntamente.
- ✓ **Redondez:** es la medida de la suavidad y de la ausencia de angulosidad en la superficie de las partículas.
- ✓ **Textura superficial:** abarca el rango de características que pueden ser encontradas en la superficie de las partículas.

⁴ Folk (1974) utiliza el término de *particle morphology* (morfología de la partícula) para incluir cada aspecto de la morfología externa de las partículas. Barret (1980) y Gale & Hoare (1991) utilizan el término *shape* (forma) con la misma finalidad. Para evitar confusiones con el término *form* (forma) empleado para denominar la medida relativa de las tres dimensiones de un objeto, aquí se usará la terminología propuesta por Folk.

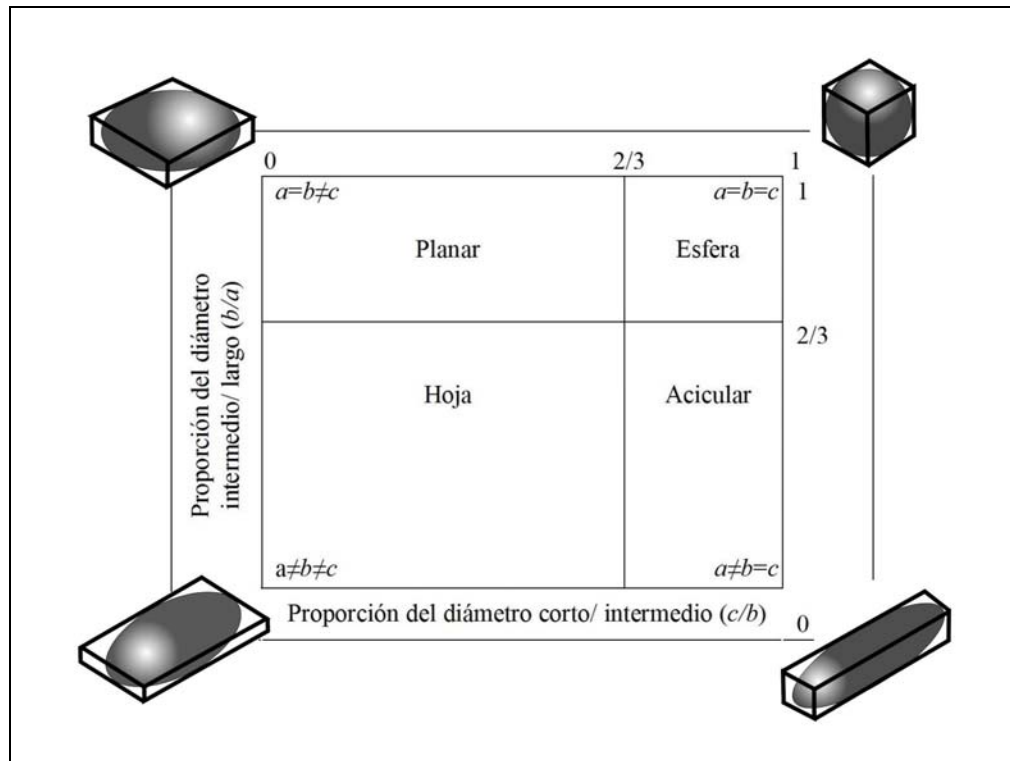


Figura 3.7. Las cuatro clases de la forma de Zingg (1935) de los clastos basadas en las proporciones de los diámetros largo (a) intermedio (b) y corto (c).

Las propiedades fundamentales de la morfología de la partícula (forma, redondez y textura superficial) pueden ser observadas a diferentes escalas con respecto al tamaño de la partícula (Figura 3.8: antes de Barrett, 1980; Gale & Hoare, 1991; Benn, 2004_a). De este modo, la forma (y la esfericidad) de una partícula, es una propiedad de primer orden de la morfología, y refleja las variaciones de las proporciones de la partícula. La redondez es una propiedad de segundo orden (una escala menor) que refleja las variaciones de los ángulos, los cuales están superpuestas a la forma. La textura superficial, efecto de tercer orden, está superpuesta a los ángulos y entre los ángulos.

Esta visión jerárquica de la forma, la redondez y la textura superficial refleja el comportamiento geológico de las partículas de roca (Barrett, 1980). Las texturas superficiales, como por ejemplo las estrías, pueden ser adquiridas sin cambiar la redondez. Esto no excluye que los procesos que producen estas texturas tengan el potencial de modificar la redondez. La redondez de las partículas de roca puede variar enormemente sin afectar a la forma. En contraste, un cambio en la forma inevitablemente afecta tanto a la

redondez como a la textura superficial. Por ejemplo, ante superficies frescas en una partícula, aparecen nuevas esquinas (cambio en la redondez) y nuevas superficies (cambia la textura superficial).

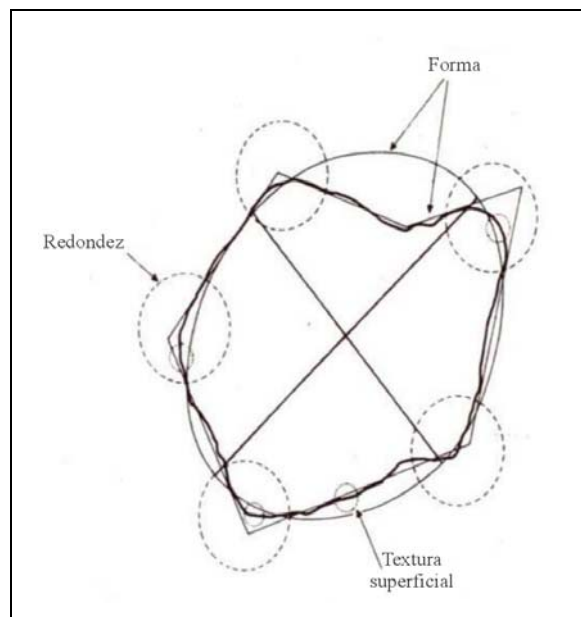


Figura 3.8. Línea exterior de una partícula (línea continua gruesa) refleja los componentes de: la forma (líneas continuas finas), la redondez (círculos discontinuos) y la textura superficial (círculos punteados) (Barrett, 1980).

La preservación potencial de cada uno de estas propiedades de la morfología de las partículas durante el retrabajo varía ampliamente en función de su escala, las de menor escala tienen menor potencial de preservación que las de gran escala. De este modo, aunque las texturas superficiales son propias de un ambiente determinado, por lo general, son fácilmente modificadas y es improbable que sobrevivan al retrabajo. Por el contrario, las características de menor escala tienden a ser los indicadores más sensitivos de los ambientes más recientes que la partícula haya experimentado (Gale & Hoare, 1991).

3.3.1. Obtención de datos.

La captura de los datos de la morfología de las partículas (forma, redondez, esfericidad y características superficiales) se realiza directamente en el afloramiento para las fracciones $>4\phi$, donde se recolectan 50 clastos de una superficie de 1m^2 de la superficie vertical (al menos 10 partículas de cada fracción de intervalo 1ϕ). El tamaño de la muestra elegido para el trabajo de campo es de 50 partículas con el fin de maximizar la calidad de los datos y minimizar el tiempo de muestreo empleado en campo, dado que no hay una base

teórica firme que determine una estrategia de muestreo óptima (Benn, 2004_a). La muestra se tomó aleatoriamente con cuidado y evitando el favoritismo en la elección de los clastos. Mientras que para las fracciones de $<4\phi$ es necesario tomar una muestra y separar de la matriz las partículas de grava más pequeñas y posteriormente dividir las por fracciones de tamaño y seleccionar 50 partículas para cada fracción de intervalo 1ϕ , esta decisión se tomó en pos de la calidad de la base de datos.

La toma de datos de los ejes a , b y c de cada partícula se realiza con un *caliper vernier* de acuerdo con el método de intercepción sugerido por Krumbein (1941). Este método consiste en medir los tres ejes que definen el elipsoide de referencia de la forma de la partícula. Para ello se sostiene la partícula por los extremos de su máxima longitud con el *caplier vernier* y se mide el eje más largo de la partícula que corresponde al eje a , a continuación se sostiene la partícula entre el dedo índice y el pulgar por los extremos del eje a y es rotada hasta que se localiza el plano de máxima proyección, se mide la parte más ancha perpendicular al eje a , que corresponde al eje b , y finalmente se sigue sosteniendo la partícula por los extremos del eje a , se rota hasta localizar el plano de mínima proyección perpendicular al plano de máxima proyección definidos por el eje a y b , se mide la parte más ancha, que corresponde al eje c , el eje más corto de la partícula. La obtención de estas dimensiones es necesaria para valorar cuantitativamente la forma y la esfericidad (Sneed & Folk, 1958). Por otro lado, la redondez se evalúa a partir de la silueta de la proyección máxima de la partícula (Sneed & Folk, 1958), es decir, el plano que contiene los ejes a y b . La proyección máxima de una partícula se captura por medio de fotografías realizadas a través del microscopio óptico Leica *Mz 125*. Finalmente, las características texturales se cualifican mediante observaciones visuales en las partículas de las fracciones de -5ϕ a -3ϕ y con ayuda de un microscopio óptico para las fracciones de -2ϕ y -1ϕ , las cuales son lavadas con un ultrasonido para eliminar las partículas de limo o arcilla que pudieron quedar adheridas a la grava. Los datos son obtenidos para cada uno de los intervalos de grava (gránulo, guijarro, canto y bloque) para observar posibles variaciones de la morfología de las partículas con el tamaño.

3.3.2. Tratamiento numérico y representación de datos.

3.3.2.1. Forma.

Para analizar el sistema trivariante (esférica, plana, acicular) la representación gráfica más satisfactoria e imparcial es el **diagrama triangular** (Figura 3.9.; Sneed & Folk, 1958; Folk, 1974). Los diagramas triangulares, emplean proporciones de los tres ejes de la partícula ortogonales. Más concretamente los índices c/a y b/a se proyectan como isolíneas paralelas a los bordes de la base y de la izquierda del triángulo, y pueden ser usados juntos para definir únicamente la forma de los clastos. También se puede usar el índice $(a-b)/(a-c)$, el cual se proyecta radialmente desde el vértice de la forma esférica, para distinguir los clastos con forma plana y acicular. La proyección de estos diagramas se realiza gracias a la hoja de cálculo “*Excell Tri-Plot*” creada por Graham & Midgley (2000).

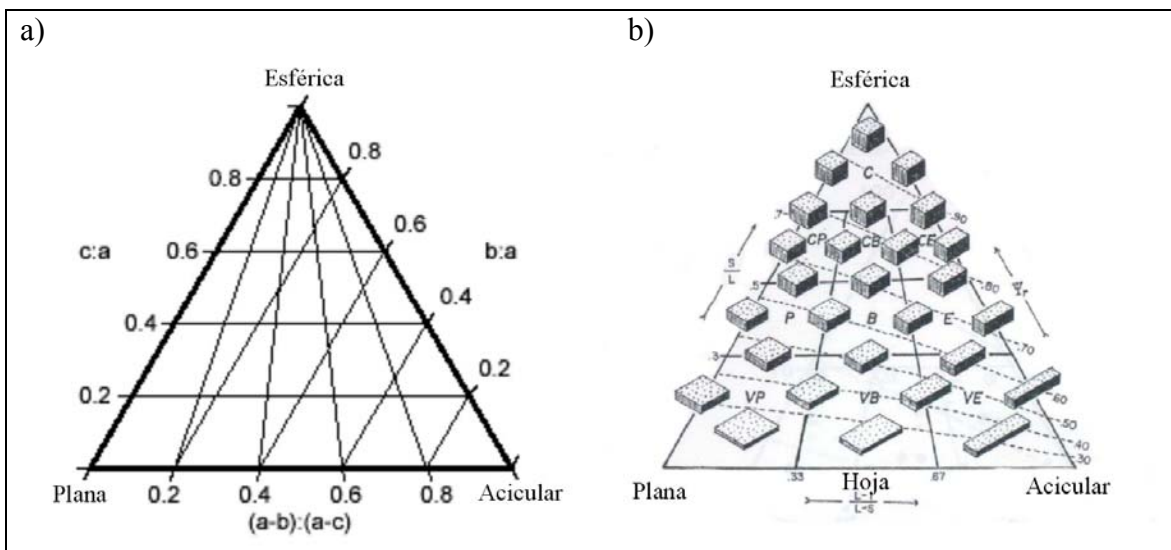


Figura 3.9: a) Diagrama triangular; b) Clases descriptivas de la forma de las partículas. Donde, C=Compacta, P=plana, B= hoja, E=elongada, V= muy, L=diámetro más largo, I= diámetro intermedio, S=diámetro más corto (Sneed & Folk, 1958).

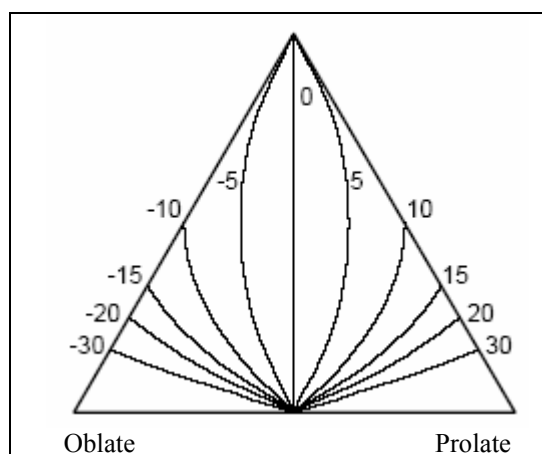
El diagrama triangular propuesto por Sneed & Folk (1958) tiene una serie de ventajas: las proporciones varían linealmente, son cómodos de entender y la proyección de los valores son fácilmente calculados. Este diagrama es una herramienta efectiva para la identificación de índices descriptivos útiles y como método analítico (Graham & Midgley, 2000).

La proyección de la línea de la proporción $c:a = 0.4$, conocida como el índice C_{40} , hace del diagrama triangular de Sneed & Folk una herramienta muy útil para discriminar el rol de las partículas durante el transporte. Concretamente, gracias al índice C_{40} se puede distinguir el escombro que fue transportado activamente ($C_{40} < 40$) o pasivamente ($C_{40} > 40$) en un glaciar, lo que lo convierte en un parámetro clave en la diferenciación de las facies glaciares (Benn & Ballantyne, 1994).

La medida de la forma que discrimina más efectivamente las partículas en diferentes formas con un valor numérico sencillo y cuya distribución es cercanamente normal para las muestras de la mayoría de los tipos de grava es el **índice Oblate-Prolate**⁵ (OP ; Dobkins & Folk, 1970) en conjunto con la medida de la esfericidad (Barrett, 1980).

$$OP = \frac{10 * \left(\frac{a-b}{a-c} - 0.50 \right)}{\frac{c}{a}}$$

Figura 3.10. Diagrama triangular con los límites de los intervalos de clase del índice *Oblate-Prolate* de Dobkins & Folk (1970).



El rango de valores de OP de $-\infty$ a $+\infty$. Una partícula con forma de una hoja perfecta (una en la que la longitud del eje b es exactamente la mitad entre la longitud de los ejes a y c) tiene un valor de 0. Las partículas planas tienen valores negativos y las aciculares valores positivos. Una esfera perfecta (cuyos ejes a , b y c son iguales en longitud) tienen un valor de -5. Sin embargo, el índice OP es extremadamente sensible incluso para las menores desviaciones de la esfericidad y OP es mejor considerado como una medida de la localización de las partículas a lo largo de la continuidad de las formas plana- hoja-acicular. Los contornos de OP pueden ser proyectados directamente en la forma triangular de la

⁵ **Oblate**: elipsoide de revolución generado a partir del eje mayor de tal forma que el diámetro ecuatorial es más grande que el diámetro polar, estando achatado en los polos. **Prolate**: elipsoide de revolución generado a partir del eje mayor teniendo el diámetro polar más grande que el diámetro ecuatorial.

Figura 3.10. Un mejor indicador de la esfericidad puede ser obtenido por la medida de la Proyección de Máxima Esfericidad, como se verá en el siguiente epígrafe.

A partir de la representación del índice *Oblate-Prolate*, se puede estimar el número de partículas que corresponden a un intervalo de valores determinados del índice *OP* y dibujar un histograma de distribución. Esto lo convierte en la medida mas efectiva de medir la forma de la partícula.

Aun así, la forma no es necesariamente la mejor medida de la morfología de la partícula. Concretamente, el clasto con sección triangular o rectangular no puede ser discriminado usando cualquiera de los métodos convencionales para la determinación de la forma (Barret, 1980). Hay ciertas formas que pueden ser indicadores de un ambiente específico y sólo pueden ser registradas en una descripción visual. Por ejemplo, para un ambiente subglaciar, las formas de '*flat iron*' o cercanas a pentagonales (von Engel, 1930; Wentworth, 1936_a; Holmes, 1960).

El análisis de los cambios de la forma en función del tamaño y de la distancia es una herramienta muy poderosa para evaluar el grado de abrasión de las partículas con el transporte.

3.3.2.2. Esfericidad.

La medida de esfericidad se basa en determinar la **Proyección de Máxima Esfericidad** (Ψ_P) como representación de la equidimensionalidad, además de ser la mejor medida para reflejar el comportamiento hidráulico de las partículas durante el transporte (Sneed & Folk, 1958; Dobkins & Folk, 1970; Folk, 1974). Hay una relación directa y estrecha entre Ψ_P y la velocidad a la cual la partícula de un volumen particular se deposita en un fluido o rueda a lo largo de un lecho. Las partículas tienden a sedimentarse con el área de máxima proyección (el plano formado por los ejes *a* y *b*) perpendicular a la dirección del movimiento. Los valores de Ψ_P se alinean de 0 a 1. Una esfera tiene un valor de 1. Si la partícula es más discoidal, la Ψ_P tiende a 0. La distribución de los valores de Ψ_P es cercana a normal para las muestras de la mayoría de los tipos de grava (Sneed & Folk, 1958; Dobkins & Folk, 1970; Bradley *et al.*, 1972; Barrett, 1980).

La medida de la Proyección de Máxima Esfericidad (Sneed & Folk, 1958) compara el área máxima de proyección de las partículas en sí mismas (definidas por el producto de los ejes a y b) con el área de proyección máxima de una esfera del mismo volumen como la partícula. La Proyección de Máxima Esfericidad (Ψ_p) es dada por la siguiente formula:

$$\Psi_p = \frac{\text{Área de máxima proyección de una esfera del mismo volumen de la partícula}}{\text{Área de máxima proyección de la partícula}}$$

Para los propósitos de esta ecuación, la partícula es asumida por la aproximación de un elipsoide triaxial con ejes a , b y c (mayor, intermedio y pequeño, respectivamente). El área de máxima proyección de las partículas es $\pi/4(ab)$. El volumen de la partícula es $\pi/6(abc)$. Por lo tanto, el volumen de la esfera equivalente también será $\pi/6(abc)$. La formula general del volumen de una esfera es $\pi/6(d^3)$, donde d es el diámetro. Por lo tanto, en este ejemplo, $d^3 = abc$ y el diámetro de la esfera equivalente, d , será igual a $\sqrt[3]{abc}$. El área de máxima proyección de esta esfera será igual a $\pi/4(\sqrt[3]{abc})^2$. La máxima proyección de la esfericidad entonces es igual a

$$\frac{\frac{\pi}{4}(\sqrt[3]{abc})^2}{\frac{\pi}{4}(ab)}, \quad \text{la cual se reduce a} \quad \sqrt[3]{\frac{a^2 b^2 c^2}{a^3 b^3}} = \sqrt[3]{\frac{c^2}{ab}} = \Psi_p$$

La distribución de frecuencias de la esfericidad de una muestra es obtenida por el conteo del número de partículas en cada intervalo de clase de esfericidad de tamaño 0.1. Estos intervalos se muestran gráficamente en la Figura 3.11. Una vez obtenida la distribución de la esfericidad de las partículas, se pueden representar en un histograma de frecuencias y calcular los parámetros estadísticos que la describen: de la media, la desviación estándar, la asimetría y apuntamiento o curtosis, con el fin de comparar entre si diferentes muestras.

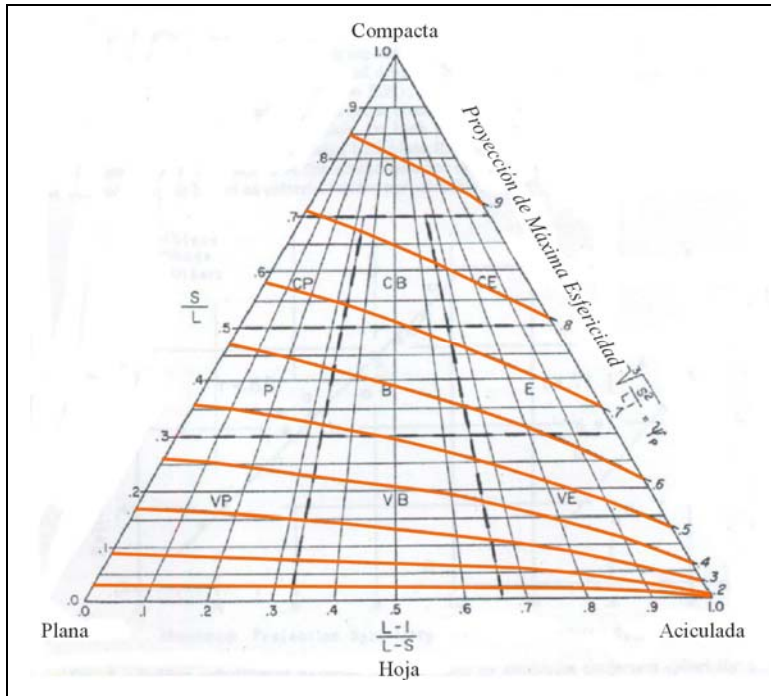


Figura 3.11. Diagrama triangular de la forma de Sneed & Folk (1958) con los límites de esfericidad en función de la Proyección de Máxima Esfericidad. Donde, C= Compacta, P= plana, B= en forma de hoja, E= alargada, V= muy, L= diámetro más largo, I= diámetro intermedio, S= diámetro más corto.

3.3.2.3. Redondez.

La redondez se refiere al grado de desgaste exhibido por un clasto. Entre los diversos métodos de cuantificación de la redondez basados en el radio de curvatura de los ángulos⁶ de la partícula, el más ampliamente aceptado es la medida de redondez de Wadell (1932, 1933, 1935). En esta, se involucran la medida del círculo máximo inscrito (el círculo el cual está justo encerrado por la línea externa de proyección máxima) de la partícula y el promedio de las medidas de los diámetros de cada ángulo de la línea externa de la proyección máxima, las cuales tienen una curvatura menor o igual a la del círculo mayor inscrito (Figura 3.12). La Redondez de Wadell es el radio promedio de curvatura de todas las esquinas divididas por el radio del círculo inscrito (r_i) más grande.

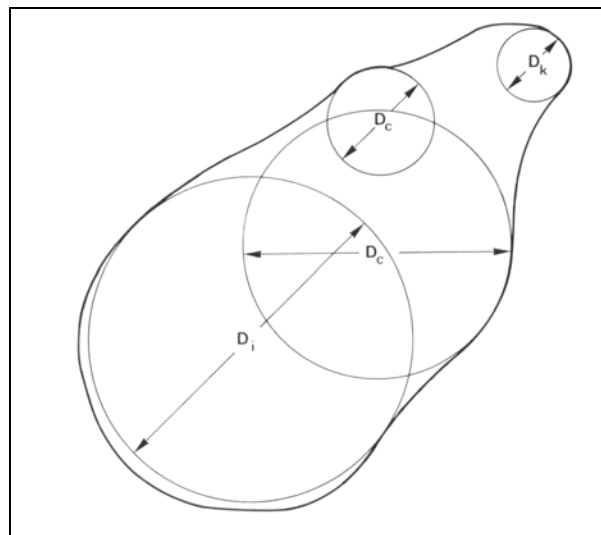
El gran inconveniente del método de Wadell es que es muy tardado en partículas angulosas, esto hizo que varios autores buscaran un método rápido de análisis de la redondez de las partículas a través de imágenes estándar de redondez conocida y con un valor numérico de la redondez de Wadell asignado a cada una de ellas. Por medio de estas

⁶ **Angulo:** es cada una de las partes de la línea exterior del área (área de proyección) la cual tiene un radio de curvatura igual o menor al círculo inscrito máximo de misma área (Wadell, 1933).

imágenes se compara la redondez de las partículas a determinar a través de la línea externa de máxima proyección. Las imágenes más satisfactorias para definir la redondez de las partículas son las de Krumbein (1941), aunque son los intervalos de clase logarítmicos de redondez de Powers (1953; ver Figura 3.13) las que se utilizan en las discusiones (Barrett, 1980). Los métodos visuales tienen la ventaja de presentar una distribución normal para muestras de grava de diferentes ambientes (Barrett, 1980), lo cual ayuda mucho a la interpretación de los datos de la redondez desde un punto de vista estadístico. Sin embargo, los métodos de asignación de la redondez visuales presentan la gran desventaja de no ser una medida cuantitativa de la redondez de la partícula, además de los errores derivados de una mala asignación de valor de redondez en partículas fracturadas (Krumbein, 1941; Folk, 1955).

$$R_w = \frac{\sum \frac{r_c}{N}}{r_i}$$

Figura 3.12. La proyección máxima de la línea externa de la partícula mostrando el diámetro del máximo círculo inscrito (D_i) y el diámetro de sus equinas con un diámetro menor que o igual a la del máximo círculo inscrito (D_c y D_k), y el diámetro de la esquina más aguda (D_k). (Gale & Hoare, 1991)



Una bola perfecta tiene una redondez de 1.0; la mayoría de los granos de arena tienen redondez cercana a 0.3-0.4 en la escala de Wadell. El análisis estadístico de la distribución de la redondez de los resultados obtenidos por métodos visuales es facilitada por una escala logarítmica, denominada por la letra griega rho, ρ (Folk, 1955) la cual es una simplificación de la escala de Powers. En esta escala, las esferas perfectas tienen una redondez de 6.0 ρ y la mayoría de los granos de arena tienen una redondez promedio de 2.5 ρ (subangular).













Alta esfericidad						
Baja esfericidad						
Intervalos de clase de Wadell	0.12-0.17	0.17-0.25	0.25-0.35	0.35-0.49	0.49-0.70	0.70-1.00
Media Geométrica	0.14	0.21	0.30	0.41	0.59	0.84
Intervalos de clase de Folk, ρ	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
Clases Verbales de Powers	Muy angular	Angular	Subangular	Subredondeado	Redondeado	Bien redondeado

Figura 3.13. Grados de redondez de los granos de sedimentos (Powers, 1953; Folk, 1955).

El procedimiento más preciso es el propuesto por Wadell (1932, 1933, 1935). El método de comparación visual solamente deberá ser usado cuando se requiera una medida semicuantitativa de la redondez. Aquí se utiliza el programa *AutoCAD 2005* (EEUU, Autodesk, Inc.) para trazar las circunferencias que requiere el método de Wadell.

Una vez definida la redondez de todas las partículas de una muestra se puede plasmar gráficamente la distribución de frecuencias de la redondez en la escala ρ y calcular los parámetros estadísticos de la media y la desviación estándar (clasificación de la redondez) que caracterizan un depósito.

Algunos autores defienden el cálculo de la redondez Modificada de Wentworth ($R_{wt} = D_k/D_i$), la cual obtiene la redondez de la partícula a partir de la esquina más aguda, k , (Dobkins & Folk, 1970) como la medida cuantitativa más objetiva y atractiva debido a que proporciona la redondez del último ambiente sedimentario que sufrió la partícula (Barrett, 1980). En este estudio se obtendrán los valores de redondez de Wadell y la redondez Modificada de Wentworth, las cuales se analizarán de forma conjunta con el fin de saber si

la redondez de las partículas es más o menos homogénea, lo cual puede indicar si en el último ambiente sedimentario hubo fracturación o no.

El análisis de la redondez se puede realizar en función de la composición de las partículas o el tamaño de las partículas. La combinación de ambas y su análisis con la distancia del transporte dan el factor de *bulking*, el cual calcula la proporción de sedimento introducido por erosión durante el flujo (Scott, 1988). Para ello se definen que litologías son típicas del depósito que incorpora material por erosión, cuales son del depósito erosionado y cual es su redondez para un tamaño determinado. Este estudio ha sido aplicado en *lahares*, donde los procesos de abrasión normalmente son reducidos debido a la amortiguación parcial del contacto partícula a partícula de la matriz de un flujo de escombros viscoso (Scott, 1988), y se excluyen del análisis las litologías que pueden ser fácilmente redondeadas como la escorias y las pómez. El factor de *bulking* solo tiene sentido analizarlo a lo largo de un depósito puntual o entre depósitos que deriven los unos de los otros.

3.3.2.4. Textura Superficial.

La textura superficial son marcas, debido al contacto con otra roca y/o a la textura interna, para guijarros pequeños y cristales de roca (Barrett, 1980). La textura superficial de los clastos puede proporcionar una información útil de los mecanismos de transporte y sedimentación. Hasta la fecha no se ha desarrollado un método cuantitativo para medir las texturas de la superficie de las partículas (Folk, 1974; Benn, 2004_a). Una simple, pero efectiva aproximación, es el registro de ausencia/presencia de una característica o propiedad superficial particular.

Entre las características superficiales que proporcionan una información útil cabe destacar:

- ✓ Las superficies de **facturación fresca**, las cuales son indicativas de que no hubo desgaste, ni acción de la abrasión durante el transporte desde su fracturación.
- ✓ Las superficies **no pulidas** y **rugosas** o ásperas, las cuales responden a diminutas irregularidades y a superficies meteorizadas

- ✓ Las **superficies pulidas**, son causadas por un fino suavizado de las diminutas irregularidades y son atribuidos a la fricción de los granos en el agua o en el hielo.
- ✓ Las superficies **suavizadas** (*smooth faces*), son superficies suaves cóncavas, convexas o planas, normalmente con límites bien definidos (Gale & Hoare, 1991). El origen de este tipo de superficies no es exclusivo de un solo ambiente, se han descrito para ambientes playeros y lacustres (*chink facets* de Wentworth, 1925), en ambientes de plataformas costeras (*fitting boulders* de Hills, 1970) y en ambientes glaciares, en zonas de transporte basal como producto de la tracción sobre el lecho glaciar y de la abrasión (Boulton, 1978).
- ✓ Superficies **estriadas**. Las estrías (*striations*) son arañazos rectos o casi rectos, con frecuencia en conjuntos paralelos o subparalelos del orden de 1 mm de ancho (solamente son visibles cuando se humedecen). Se denominan surcos (*grooves*) cuando son de varios milímetros de ancho (Gale & Hoare, 1991). Estas son típicamente el resultado de la abrasión glaciar, y pueden ser indicativas de la sedimentación subglaciar (Gale & Hoare, 1991; Sharp, 1985). Sin embargo, arañazos similares pueden ser producidos por varios mecanismos de movimientos en masa, como por ejemplo: los depósitos de *mudflow* descritos por Blackwelder (1930) y los depósitos de avalanchas de escombros reportadas para el Monte Santa Elena por Glicken (1996); por el entrapamiento de clastos en hielo atascado en ríos (Wentworth, 1936_b). Un estudio de Holmes (1960) en clastos de grava de los *tills* muestra que el 28% fueron estriados, aunque sólo ligeramente. La presencia de estrías varía en función de la litología de los clastos, siendo la más alta para aquellas de textura de grano fino, como por ejemplo, calizas (Holmes, 1960) y basaltos (Boulton, 1978).
- ✓ Superficies con **marcas de percusión** (*percusión marks*) y **marcas de castaño** (*chatter marks*). Las marcas de percusión son cicatrices de impacto en media luna en guijarros pulidos, entrelazados 1-10 mm de largo y 1-2 mm de profundo, los cuales muestran una orientación no preferencial (Gale & Hoare, 1991). Las marcas de percusión indican impactos de alta velocidad (Folk, 1974; Gale & Hoare, 1991; Benn, 2004_a) en ambientes *shoreface* (=cara a la orilla= costeros).

En contraste las marcas de castaño consisten en una línea transversal de hoyos de 1-10 mm de largo y 1-2 mm de profundo, cada una de las cuales es curva en la misma dirección (Gale & Hoare, 1991). Se piensa que estas son el resultado del movimiento de vibración de un clasto que actúa como una herramienta de corte cuando este es forzado contra la superficie de un segundo clasto (Gale & Hoare, 1991). Las marcas de castaño han sido interpretadas como el producto de la erosión glacial (Gale & Hoare, 1991).

La representación de los datos se puede hacer mediante una tabla de doble entrada donde se enfrenten cada una de las muestras con cada una de las características texturales superficiales cuya presencia/ausencia se quiere evaluar.

3.4. Análisis de la fábrica.

3.4.1. Obtención de datos.

Las orientaciones de las partículas se toma extrayendo cada clasto de la superficie del afloramiento, reconstruyendo la posición original del eje mayor (a) y midiendo la orientación de este con respecto del Norte Magnético y la inclinación con respecto a la horizontal. La brújula utilizada fue una 'Konustar'. Se toma la orientación de 50 clastos dentro de 1m^2 de la superficie de cada afloramiento en partículas de tamaños comprendidos entre -4ϕ y -8ϕ (16 y 256 mm) y sin considerar los clastos de ejes a y b iguales.

3.4.2. Tratamiento numérico y representación de datos.

3.4.2.1. Diagrama *Rose*, proyección estereográfica y contornos de la proyección estereográfica.

Los datos obtenidos en campo de la dirección e inclinación del eje más largo de los clastos pueden ser representados de diversas formas. La más simple es el **diagrama de *Rose***⁷ o **histogramas en 2D de datos direccionales** (Figura 3.14-a). El número de

⁷ Diagrama *Rose* también es conocido como diagrama de Roseta o diagrama de Rosa o diagrama de Rosa de los Vientos.

observaciones que caen dentro de un rango particular (10°) puede ser representado con ‘cuñas’. Los diagramas de *Rose* pueden ser usados para representar cada dato de orientación (azimuth) o inclinación, lo cual solamente representa parte de un conjunto de datos de 3D, sin embargo, proporciona una estimación visual de ellos.

Otros diagramas, ampliamente usados para la representación de la orientación de los datos en 3D, son las **proyecciones estereográficas** (*stereonets*) donde la dirección y la inclinación son representadas en 2D como puntos de la red de Schmidt (igual área; Figura 3.14-b). Las proyecciones estereográficas fueron realizadas gracias al programa informático *StereoNett 2.46* (Johannes Duyster, Institut für Geologie, Bochum, Germany), el cual permitió una representación rápida de los datos.

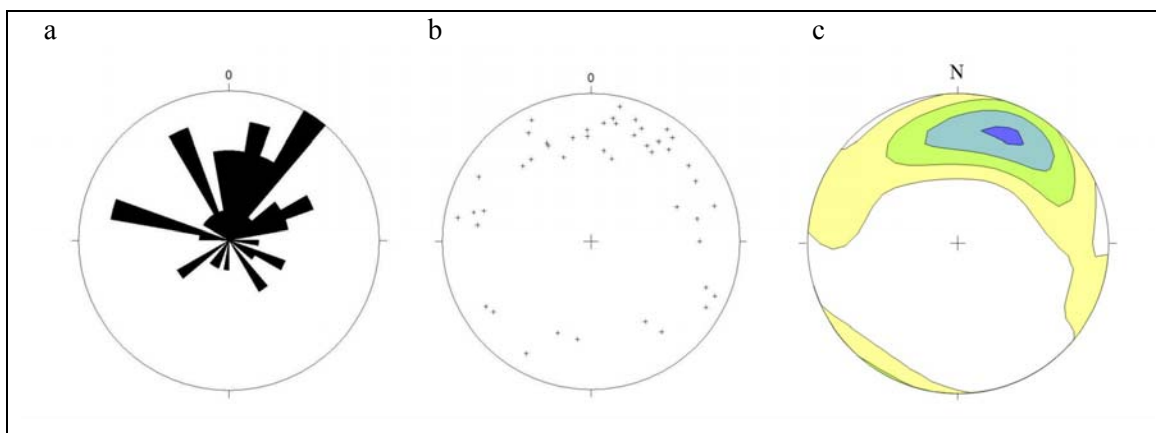


Figura 3.14: a) Diagrama de *Rose*; b) Diagrama de proyección estereográfica; c) Diagrama de proyección estereográfica de contornos, con intervalos de contorno de 2 desviaciones estándar (Kamb, 1959). Datos del afloramiento NT05236.

Sobre la proyección estereográfica de la fábrica se pueden dibujar líneas de **contornos** para proporcionar una mejor representación visual de las variaciones de densidad de los puntos sobre el diagrama (Figura 3.14-c). El método más utilizado para realizar diagramas de contornos en depósitos volcanoclásticos (Mills, 1984; Major & Voight, 1986; Vallance & Scott, 1997; Capra *et al.*, 2004) es el propuesto por Kamb (1959). El cual consiste en mostrar el significado estadístico a través de un diagrama de contornos donde los puntos esperados que caigan dentro de un área es tres veces la desviación estándar del número de puntos que caen en el área bajo un muestreo aleatorio de la población. Las densidades observadas se delimitan en contornos de intervalos de 2 desviaciones estándar a

los valores $0\sigma, 2\sigma, 4\sigma, \dots$. Las curvas de contornos fueron trazadas por el programa *Spheristat 2.0 (Pangea Scientific)*.

3.4.2.2. *Eigenvalue & eigenvector (Valor propio y vector propio)*.

La comparación de las muestras de la fábrica en proyección estereográfica proporciona una buena estimación visual de los datos tridimensionales, pero es útil tener alguna media cuantitativa. Uno de los parámetros más usados para evaluar la orientación de las partículas de los DVcS en estudio (Mills, 1984; Major & Voight, 1986; Vallance & Scott, 1997; Capra *et al.*, 2004) es el tensor orientación o el método del *eigenvalue* o valor propio (Scheidegger, 1965; Mark, 1973; Mark, 1974). Los *eigenvalue* reducen los grandes conjuntos de datos a un estadístico descriptivo de la orientación preferente de las direcciones de las partículas de un depósito sedimentario, lo que facilita la comparación entre tipos de depósitos.

El método implica el análisis del vector unidad (X_i) el cual plasma la dirección $i^{ésima}$ en sus tres dimensiones cartesianas. De este análisis se generan tres *eigenvalues* ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$) y tres *eigenvectors* (V_1, V_2, V_3), perpendiculares entre sí, de una matriz 3x3 de la suma de los productos cruzados de las direcciones. La matriz A es construida por el resultado de las matrices encontradas como producto de cada eje medido y su transpuesta (X_i^T) en coordenadas cartesianas:

$$X_i = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} ; \quad A = \sum_{i=1}^n X_i X_i^T = \begin{bmatrix} \sum x_i^2 & \sum x_i y_i & \sum x_i z_i \\ \sum x_i y_i & \sum y_i^2 & \sum y_i z_i \\ \sum x_i z_i & \sum y_i z_i & \sum z_i^2 \end{bmatrix}$$

El método del *eigenvalue* resume el conjunto de observaciones dentro de tres *eigenvectors* ortogonales, V_1, V_2 y V_3 , donde V_1 es el *eigenvector* principal, es paralelo a los ejes de máximo agrupamiento de los datos y es una estimación de la distribución media (Woodcock, 1977); y V_3 es normal al plano preferencial de la fábrica y es la dirección de mínimo agrupamiento (Scheidegger, 1965; Mark, 1973). El *eigenvector* V_2 es perpendicular al vector propio V_1 y V_3 .

El grado de agrupamiento de los datos respecto a los *eigenvectors* es dado por la normalización de las magnitudes de los *eigenvalues* resultantes. Son denominados como S_1 , S_2 y S_3 y son calculados así:

$$S_i = \frac{\lambda_i}{N}$$

donde N es el número de observaciones. Estos valores presentan las siguientes propiedades $S_1 > S_2 > S_3$ y $S_1 + S_2 + S_3 = 1$. Los dos valores S_1 y S_3 , son usados para probar si la dirección preferencial y el plano de los ejes más largos son significativamente diferentes desde los valores esperados por un muestreo al azar de los ejes largos dibujados desde una población uniforme. Mark, (1973, 1974) publicó unas tablas de valores S_i críticos. Los valores de S_1 proporcionan una medida de la fuerza de la fábrica (Mills, 1984). Todos estos parámetros fueron calculados por el programa *StereoNett 2.46*.

Antes de que el método del *eigenvalue* sea aplicado la distribución de la fábrica debe ser revisada visualmente en proyecciones estereográficas para asegurar que los datos son aproximadamente unimodales. El método del *eigenvalue* y *eigenvector* solo es válido cuando la fábrica es unimodal y su forma es aproximada a un elipsoide. En el caso donde la distribución es bi- o multimodal, los *eigenvalues* calculados pueden no ser representativos de la distribución.

3.4.2.3. Forma de la fábrica.

Los tres *eigenvalues* pueden ser visualizados como los ejes de un elipsoide que se aproxima a la forma de la distribución de los datos en tres dimensiones (Figura 3.15 y 3.16; Woodcock, 1977; Benn, 1994). Las fábricas isotrópicas tienen $S_1 \approx S_2 \approx S_3$; los patrones planos (con puntos regularmente distribuidos alrededor de un círculo grande) tienen $S_1 \approx S_2 \gg S_3$; y grupos lineales (con todas las observaciones aproximadamente paralelas) tienen $S_1 \gg S_2 \approx S_3$. Mark (1974) y Woodcock (1977) reconocieron que esta relación puede ser cuantificada al proyectar los *eigenvalues*. Woodcock (1977) propone un método de representación ortogonal del logaritmo neperiano de las proporciones de dos de los *eigenvalues* normalizados, $\ln(S_2/S_3)$, contra $\ln(S_1/S_2)$, siendo análogo a la usada por Ramsey que fue modificada de la proyección de esfuerzos de Flinn (Woodcock, 1977). En esta gráfica (Figura 3.12), las proyecciones agrupadas (*cluster*) axialmente simétricas, donde $S_2 = S_3$, se

distribuyen a lo largo de la línea $\ln(S_2/S_3) = 0$. Las proyecciones de banda (*griddle*) axialmente simétricas, donde $S_1 = S_2$, se distribuyen a lo largo de la línea $\ln(S_1/S_2) = 0$. El resto de la gráfica es ocupada por distribuciones que tienen ambas tendencias en banda y agrupadas. Estas pueden ser cuantificadas por el parámetro k , donde

$$k = \frac{\ln(S_1/S_2)}{\ln(S_2/S_3)}$$

k da un gradiente de líneas radiales al origen. La distribución que tiene igual tendencia en bandeado o agrupamiento proyectadas en la línea $k=1$, que es, donde $S_1/S_2 = S_2/S_3$. Las bandas se proyectan por debajo de esta línea donde $0 \leq k < 1$ y las gráficas agrupadas se proyectan por encima, donde $1 < k \leq \infty$. Las distribuciones con tendencias aleatorias se proyectan cerca del origen de la gráfica y a medida que las distribuciones con orientaciones preferenciales incrementan su fortaleza, sus proyecciones progresivamente se alejan del origen de la gráfica. El parámetro C , donde $C = \ln(S_1/S_3)$, es una medida que refleja la fuerza de la orientación preferencial.

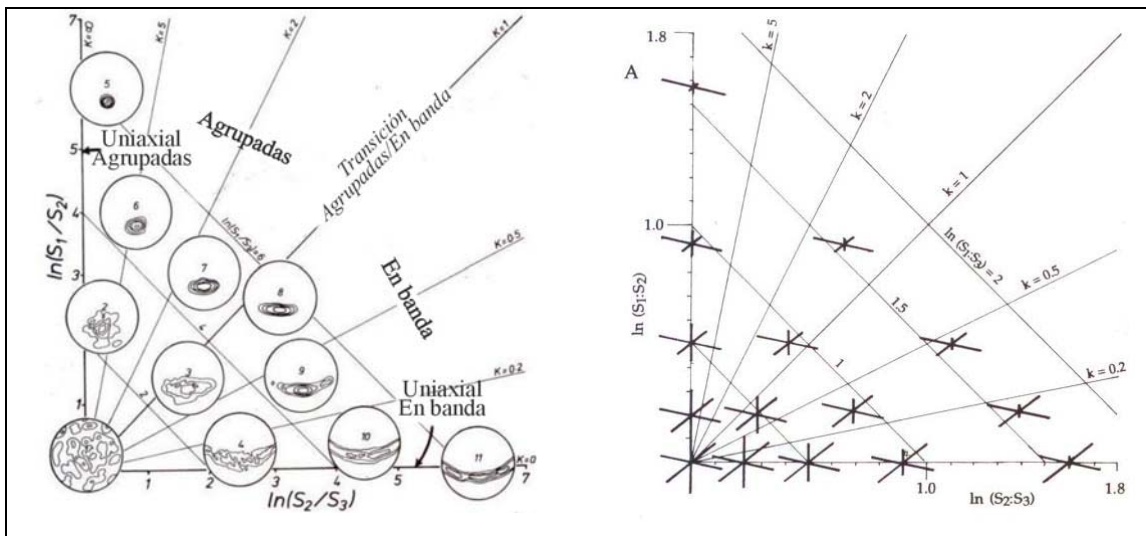


Figura 3.15. Proyecciones de dos ejes del logaritmo de la proporción de los *eigenvalues* normalizados S_1 , S_2 y S_3 (Woodcock, 1977).

El otro método de representación de la forma de la distribución de los *eigenvalues* es el **triángulo equilateral** o **triángulo de forma general** introducido por Benn (1994) el cual muestra la continuidad de las formas de la fábrica (Figura 3.13). En esta proyección se utilizan como escalas el **índice de isotropía** $I = S_3/S_1$, y el **índice de elongación** $E = 1 - (S_2/S_1)$.

El diagrama de la forma de la fábrica es análogo al introducido por Sneed & Folk (1958) por la proyección de la forma de las partículas y representa la continuidad de todos los posibles elipsoides. La medida del índice de isotropía muestra la similitud de la fábrica a una distribución uniforme y varía entre 0, todas las observaciones confinadas a un único plano o eje, y 1, isotropía perfecta. El índice de elongación mide la orientación preferencial de una fábrica en el plano V_1/V_2 y varía entre 0, una orientación no preferencial, y 1, una orientación preferencial perfecta con todas las observaciones paralelas (Benn, 1994).

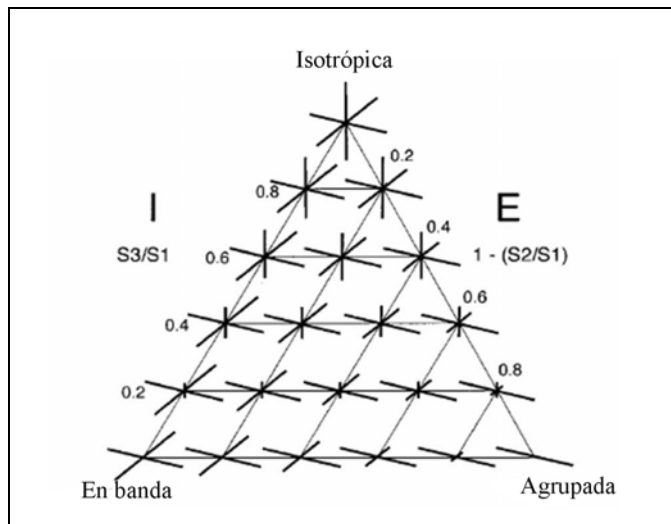


Figura 3.16. Triángulo de la forma general de la fábrica de un depósito propuesto por Benn (1994).

Los índices de isotropía y de elongación de la fábrica proporcionan una base racional y cualitativa de la reconstrucción de los procesos de sedimentación y de deformación de los sedimentos (Benn, 1994). La forma de la fábrica sirve para caracterizar los diferentes tipos y/o facies de los sedimentos (Benn & Ringrose, 2001). La fábrica característica de los sedimentos de origen conocido puede, en algunos casos, ser usada como ayuda en la interpretación de las facies las cuales su origen no es conocido (Dowdeswell *et al.*, 1985; Benn, 1994). Los datos de la fábrica no deben ser usados como un único criterio para la determinación del origen de las facies sedimentarias, debido a que en la practica las fábricas de diferentes tipos de sedimentos pueden ser indistinguibles (Benn, 2004_b)

3.5. Análisis comparativo de las características de la textura.

Hasta este punto se ha expuesto la metodología para obtener los datos tanto granulométricos del depósito como de la morfología y fábrica de las partículas. Una vez obtenidas y analizadas individualmente las características de la textura de un depósito volcanoclástico, se procede al análisis comparativo entre ellas y los diferentes tipos de depósitos a través de cada una de sus características. La herramienta estadística utilizada con fines comparativos es la covarianza, esta medida refleja la variación conjunta de dos variables con respecto a su media (Davis, 2002). Esta relación es ilustrada en la Figura 3.17, la cual muestra la forma de la superficie de probabilidad creada desde dos curvas normales.

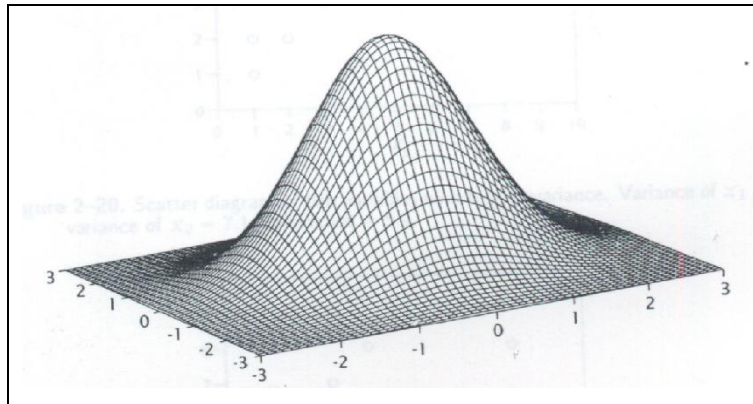


Figura 3.17. Covarianza de dos variables de distribución normal con respecto a su media (Davis, 2002).

Para calcular la covarianza primero se debe obtener una cantidad análoga de la suma de los cuadrados. Esta es llamada la Suma de los Productos Correcta (*SP*) y es definida por:

$$SP_{jk} = \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)(x_{ik} - \bar{x}_k)$$

donde *j* y *k* son las dos variables a contrastar, x_{ij} es la medida *i*-ésima de la variable *j* y x_{ik} es la medida *k*-ésima de la variable *k*.

La covarianza se puede calcular al dividir la *SP* por (*n*-1):

$$\text{cov}_{jk} = \frac{SP_{jk}}{(n-1)} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij} * x_{ik} - \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij} * \sum_{i=1}^n x_{ik}}{n}}{n-1} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_{ij} * x_{ik} - \sum_{i=1}^n x_{ij} * \sum_{i=1}^n x_{ik}}{n(n-1)}$$

El **coeficiente de correlación**, r_{jk} , es la proporción de la covarianza de dos variables para el producto de sus desviaciones estándar (Davis, 2002).

$$r_{ij} = \frac{\text{COV}_{jk}}{s_j * s_k}$$

Los valores del coeficiente de correlación son adimensionales y van de +1 a -1. Una correlación de +1 indica una relación directa perfecta entre dos variables, una correlación de -1 indica que una de las variables cambia inversamente en relación a la otra. Entre estos dos extremos hay un espectro de relaciones menos perfectas, incluyendo el cero, la cual indica la ausencia de alguna clase de relación lineal al completo. Para que una correlación sea igual a 0 se espera que las dos variables aleatorias no presenten relación alguna. Si la medida del coeficiente de correlación entre dos variables tiende a -1 o +1, sería posible calcular la dependencia lineal entre ellas, la cual se realiza por medio **del análisis de regresión**.

Un ejemplo de análisis de covarianza lo exponen Benn & Ballantyne (1994) que analizan como varían la forma y la redondez. Este análisis puede proporcionar mucha más información que el estudio de cada característica por aislado. Sin embargo, la utilidad de esta aproximación depende en la elección de los índices de la forma y la redondez. Se han obtenido resultados muy satisfactorios para sedimentos de origen glaciar con: el índice C_{40} (el porcentaje de clastos con una proporción $c/a \leq 0,4$) y el índice RA (el porcentaje de los clastos muy angulares y angulares en una muestra). Benn & Ballantyne (1994) utilizaron criterios descriptivos visuales para determinar las categorías de la redondez. Aquí, para obtener el índice RA, se utilizará el índice de Wadell como el más objetivo a la hora de trabajar la redondez de las partículas.

El análisis de la covarianza entre muestras y dentro de las muestras proporciona una herramienta poderosa para discriminar los clastos transportados activamente o pasivamente en un glaciar o entre clastos con historias erosivas y de transporte diferentes.

IV. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.

El análisis granulométrico es una de las herramientas más utilizadas en sedimentología para la discriminación entre depósitos clásticos. Las diferencias en la distribución de tamaños aportan información de las características del área fuente y del mecanismo de transporte que sufrieron las partículas (suspensión, saltación, tracción). Existe una amplia variedad de trabajos sobre la sedimentación en ambientes fluviales, playeros, eólicos y la comparación entre ellos (p.ej. Sneed & Folk, 1958; Doubkins & Folk, 1970; Friedman, 1962). Como ya se comentó, fue a partir de los años 60 que se empezaron a estudiar los depósitos generados en ambientes volcánicos aunque no existen muchos trabajos que comparen los diferentes tipos de depósitos volcanoclásticos entre sí a excepción del trabajo realizado por Walker (1971) en depósitos de origen piroclástico.

4.1. Antecedentes.

Existen trabajos muy puntuales en la literatura que definen las diferencias cualitativas (Ui, 1989; Smith & Lowe, 1991; Vallance, 2000) y cuantitativas entre los DVcS (Pierson & Costa, 1987; Vallance & Scott, 1997; Carrasco Núñez *et al.*, 1993; Capra, 2004; Mills, 1977). Pierson & Costa (1987) propusieron una clasificación basada en los umbrales del comportamiento reológico de los flujos, en función de la velocidad media y la concentración de sedimentos. Vallance & Scott (1997) presentaron una clasificación basada en las proporciones granulométricas de los depósitos de flujos de escombros cohesivos y no cohesivos del Monte Rainier en función de la proporción de arcilla *vs* matriz (arena + limo + arcilla), encontrando que los depósitos de flujos de escombros cohesivos presentan una relación mayor de 0.05. En esta misma línea de trabajo, Carrasco Núñez *et al.* (1993) dieron un paso más allá al evaluar las proporciones de las fracciones que componen la matriz de los depósitos de escombros cohesivos y no cohesivos con los depósitos de avalancha de escombros en un diagrama ternario Arcilla – Arena – Limo. De forma similar, pero con base en un número importante de muestras, Capra (2004) propuso

algunos diagramas de discriminación indicando algunas diferencias cuantitativas entre avalanchas de escombros y flujos de escombros. Sin embargo, en estos trabajos no existe un análisis exhaustivo de las diferencias en las características granulométricas entre los distintos tipos de depósitos. Conjugando varios métodos analíticos, Mills (1977) expuso las diferencias entre cinco subambientes glaciares a través del análisis de un diagrama ternario Arcilla – Arena – Limo, de las variaciones de los parámetros estadísticos de la distribución a través de diagramas binarios de la media y la desviación estándar y de la asimetría y desviación estándar, y la proporción del porcentaje de arcilla+limo en la matriz.

4.2. Base de datos.

La base de datos del presente estudio granulométrico se compone de las proporciones en porcentajes de las diferentes clases de tamaños (grava, arena, limo, arcilla) y de los parámetros estadísticos descriptivos de las curvas de distribución granulométrica (media, mediana, moda, desviación estándar, asimetría y curtosis) de al menos 50 muestras de cada tipo de DVcS. Se analizaron 141 muestras de sedimento obtenidas en el Nevado de Toluca, de los cuales, 22 corresponden a los depósitos de flujos de escombros cohesivos estudiados por Capra & Macias (2000) y 10 a la avalancha del sector N-NW (Bellotti, sin publicar) y 109 corresponden a DVcS no estudiados previamente (9 de facies de matriz de avalancha de escombros, 55 de flujos de escombros no cohesivos y 45 de *tills*). Los datos de *tills* fueron complementados con 11 muestras obtenidas en las morrenas de las laderas septentrionales del Iztaccíhuatl. La base de datos fue ampliada hasta un número de 337 muestras gracias a los datos publicados sobre los depósitos de avalancha de escombros del Monte Santa Elena y el Nevado del Ruiz (Gliken, 1996; Pierson *et al.*, 1990), de varios flujos de escombros cohesivos del Monte Rainier (Vallance & Scott, 1997, Crandell, 1971), de flujos de escombros no cohesivos del Popocatepetl, Monte Santa Elena, Nevado del Ruiz y Monte Rainier (Capra *et al.*, 2004; Major & Voight, 1986; Pierson *et al.*, 1990; Crandell, 1971). Esta compilación de datos publicados tiene como objetivo darle mayor peso estadístico al análisis. El conjunto de los datos granulométricos está expuesto en las gráficas del Anexo II y en las tablas del Anexo III.

4.3. Descripción granulométrica de los depósitos volcanoclásticos sedimentarios.

En esta sección se realiza una descripción cuantitativa de las distribuciones granulométricas obtenidas desde la base de datos aquí realizada. Como primera aproximación se visualizaron las proporciones de Grava-Lodo-Arena (GLA) y las proporciones de Arena-Arcilla-Limo (AAL) en diagramas ternarios. En estos diagramas (Figura 4.1) se puede observar que a pesar de que los diferentes DVcS presentan proporciones granulométricas similares, existen ciertas tendencias que los distinguen. Las más características son: el enriquecimiento en lodo (arcilla+limo), concretamente en arcilla para los flujos de escombros cohesivos, el enriquecimiento en arena de los flujos de escombros no cohesivos y el enriquecimiento en grava y empobrecimiento en arcilla y limo de los depósitos de *tills*. Las proyecciones con tendencias más coincidentes son las que corresponden a los flujos de escombros no cohesivos y los *tills*. Numéricamente, los DVcS en estudio tienen en común presentar menos de 52% de lodo, menos de 37% de arcilla y menos de 47% de limo. En la Tabla 4.1 se pueden observar con más detalle los distintos rangos, muy amplios para cada categoría, en donde se resalta que los depósitos de *till* presentan el contenido más bajo de lodo, mientras que los depósitos de flujos de escombros cohesivos muestran los valores más altos de arcilla y las facies de matriz de avalanchas de escombros los más bajos. Con respecto a la composición de la matriz (arena+limo+arcilla), es importante observar la variación en el contenido de arcilla. En particular, las facies de matriz de las avalanchas de escombros pueden alcanzar valores de hasta un 4% de arcilla (en muestras del Monte Santa Elena, Glicken, 1996, y Nevado de Toluca), los flujos de escombros cohesivos hasta un 37% (en muestras del Monte Rainier, Vallance & Scott, 1997), los flujos de escombros no cohesivos hasta un 15% (en muestras del Monte Rainier, Crandrell, 1971) y los *tills* hasta un 6% de arcilla (en muestras del Iztaccíhuatl y Nevado de Toluca).

Avalanchas de escombros
(facies de matriz)

Flujos de escombros cohesivos

Flujos de escombros no cohesivos

Tills

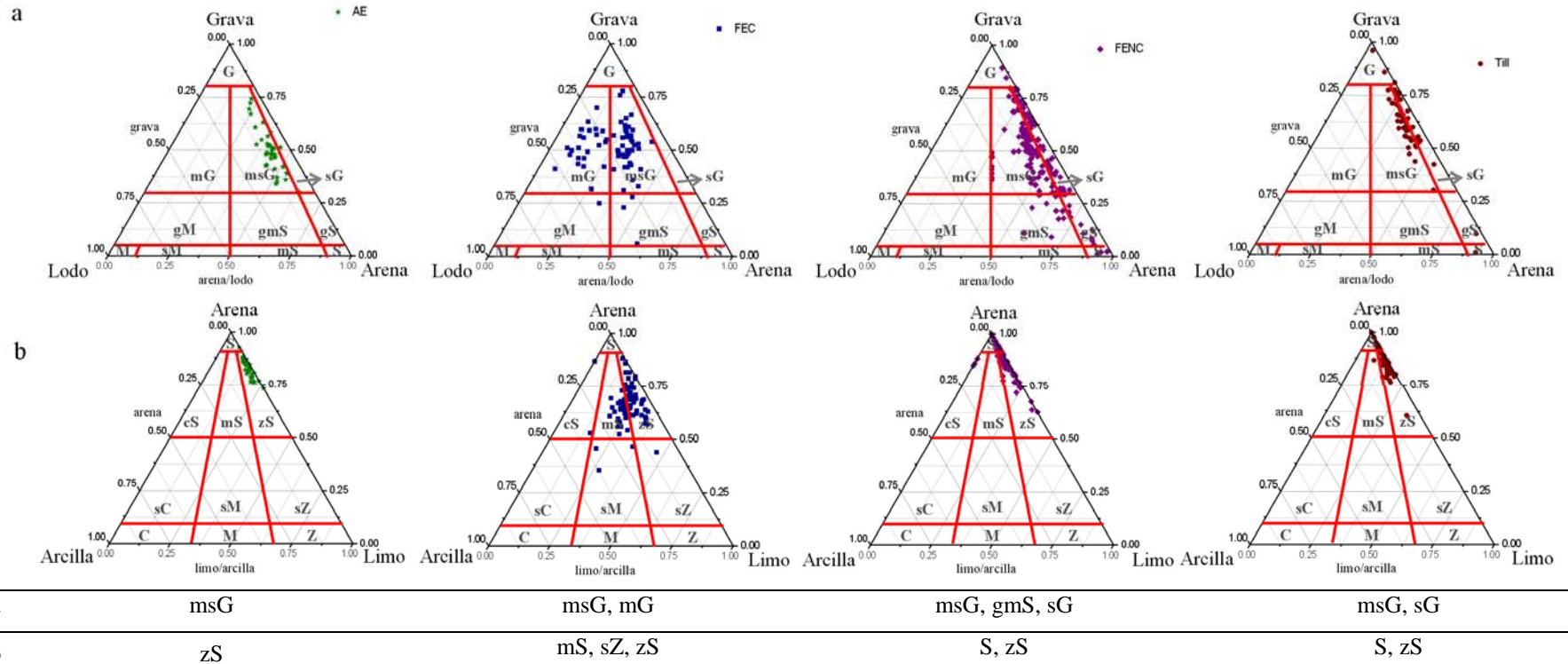


Figura 4.1. Diagramas ternarios para el conjunto de la base de datos de los DVcS estudiados (según la clasificación textural de Folk, 1954, 1974). a) Diagrama ternario de Grava-Lodo-Arena, y b) diagrama ternario de Arena-Arcilla-Limo. Donde, G es grava, S es arena, M es lodo, Z es limo y C es arcilla y g es gravoso, s es arenoso, m es lodoso, z es limoso y c es arcilloso.

	Grava		Arena		Lodo		arena		limo		arcilla	
	Máx.	min.	Máx.	min.	Máx.	min.	Máx.	min.	Máx.	min.	Máx.	min.
DVcS	96	1	96	2	52	0	100	36	47	0	37	0
AE (fm)	74	30	34	22	13	4	93	73	27	7	4	0
FEC	78	6	58	7	52	6	88	36	47	0	37	0
FENC	89	1	96	10	32	1	100	63	37	0	15	0
<i>Tills</i>	96	1	92	2	11	0	100	61	34	0	6	0

Tabla 4.1. Límites máximos y mínimos de las proporciones de Grava-Arena-Lodo y Arena-Limo-Arcilla de los diferentes DVcS. Donde, AE (fm) son los depósitos de las facies de matriz de las avalanchas de escombros, FEC son los depósitos de flujos de escombros cohesivos, FENC son los depósitos de flujos de escombros no cohesivos y *Tills* son los depósitos de *tills*. Más detalle en las tablas del Anexo III donde se exponen los valores de las proporciones de Grava-Arena-Lodo y Arena-Limo-Arcilla individuales de cada muestra expuesta en la Figura 4.1.

A continuación se evaluarán mediante un diagrama de cajas y bigotes los parámetros estadísticos de cada tipo de depósito (Figura 4.2). En este diagrama se visualiza rápidamente la media, mediana y la dispersión de los datos al 50% (caja) representados por el 1^{er} y el 3^{er} cuartil (ver Tabla 4.2) y la dispersión de los datos al 90% (bigotes). Aunque se exponen los resultados para los momentos estadísticos calculados según Inman (1952) y Folk & Ward (1957), se resumen aquí solamente las observaciones realizadas con los valores estadísticos de Folk & Ward, ya que consideran en sus cálculos las colas de distribución y por lo tanto sus resultados son más precisos.

<i>Mediana.Inman</i>	Mínimo	1 Q	Mediana	Media	3 Q	Máximo	N
Avalancha de Escombros (f. matriz)	-3.70	-1.45	-0.90	-1.03	-0.10	0.83	36
Flujo de Escombros Cohesivos	-7.20	-2.07	-0.93	-1.09	-0.07	3.32	65
Flujo de Escombros No Cohesivos	-4.49	-3.21	-1.40	-1.4	0.16	1.82	62
<i>Till</i>	-5.71	-3.51	-2.77	-2.59	-1.56	2.45	56
<i>Desviación Estandar.Inman</i>	Mínimo	1 Q	Mediana	Media	3 Q	Máximo	N
Avalancha de Escombros (f. matriz)	3.21	3.49	3.73	3.72	3.92	4.37	36
Flujo de Escombros Cohesivos	2.87	4.19	4.75	4.67	5.11	6.10	65
Flujo de Escombros No Cohesivos	0.91	2.77	3.18	3.17	3.58	4.80	62
<i>Till</i>	1.00	3.47	3.92	3.74	4.20	4.87	56
<i>Asimetría Gráfica.Inman</i>	Mínimo	1 Q	Mediana	Media	3 Q	Máximo	N
Avalancha de Escombros (f. matriz)	-0.34	-0.10	-0.02	0.02	0.13	0.47	36
Flujo de Escombros Cohesivos	-0.13	0.04	0.15	0.18	0.30	0.49	43
Flujo de Escombros No Cohesivos	-0.37	-0.10	0.10	0.11	0.33	0.61	55
<i>Till</i>	-0.34	0.08	0.19	0.18	0.34	0.64	56
<i>Media.Folk</i>	Mínimo	1 Q	Mediana	Media	3 Q	Máximo	N
Avalancha de Escombros (f. matriz)	-2.86	-1.32	-0.91	-0.98	-0.30	0.31	36
Flujo de Escombros Cohesivos	-5.70	-2.07	-1.12	-1.297	-0.45	1.38	43
Flujo de Escombros No Cohesivos	-4.22	-1.98	-1.17	-1.08	-0.04	2.38	166
<i>Till</i>	-4.56	-2.88	-2.24	-2.12	-1.40	2.44	56
<i>Desviación Estandar Inclusiva.Folk</i>	Mínimo	1 Q	Mediana	Media	3 Q	Máximo	N
Avalancha de Escombros (f. matriz)	3.07	3.43	3.57	3.58	3.80	4.15	36
Flujo de Escombros Cohesivos	2.85	3.98	4.43	4.67	4.95	7.90	43
Flujo de Escombros No Cohesivos	1.01	2.91	3.41	3.32	3.84	5.62	140
<i>Till</i>	1.04	3.34	3.61	3.50	3.94	4.35	56
<i>Asimetría Gráfica Inclusiva.Folk</i>	Mínimo	1 Q	Mediana	Media	3 Q	Máximo	N
Avalancha de Escombros (f. matriz)	-0.27	-0.05	-0.01	0.56	0.14	0.47	36
Flujo de Escombros Cohesivos	-0.13	0.10	0.24	0.22	0.31	0.54	43
Flujo de Escombros No Cohesivos	-0.33	0.00	0.19	0.55	0.46	3.46	166
<i>Till</i>	-0.29	0.10	0.21	0.20	0.34	0.63	56
<i>Curtosis.Folk</i>	Mínimo	1 Q	Mediana	Media	3 Q	Máximo	N
Avalancha de Escombros (f. matriz)	0.63	0.82	0.87	0.87	0.92	1.12	36
Flujo de Escombros Cohesivos	0.73	0.79	0.86	0.91	0.95	1.55	43
Flujo de Escombros No Cohesivos	0.54	0.73	0.79	0.84	0.94	1.61	140
<i>Till</i>	0.63	0.74	0.82	0.84	0.87	1.35	56

Tabla 4.2. Descripción numérica de la distribución de los datos de los momentos estadísticos correspondientes a la distribución granulométrica del conjunto de la base de datos de los DVcS de varios volcanes. Donde, 1Q es el primer cuartil, 3Q es el tercer cuartil y N es el número de muestras.

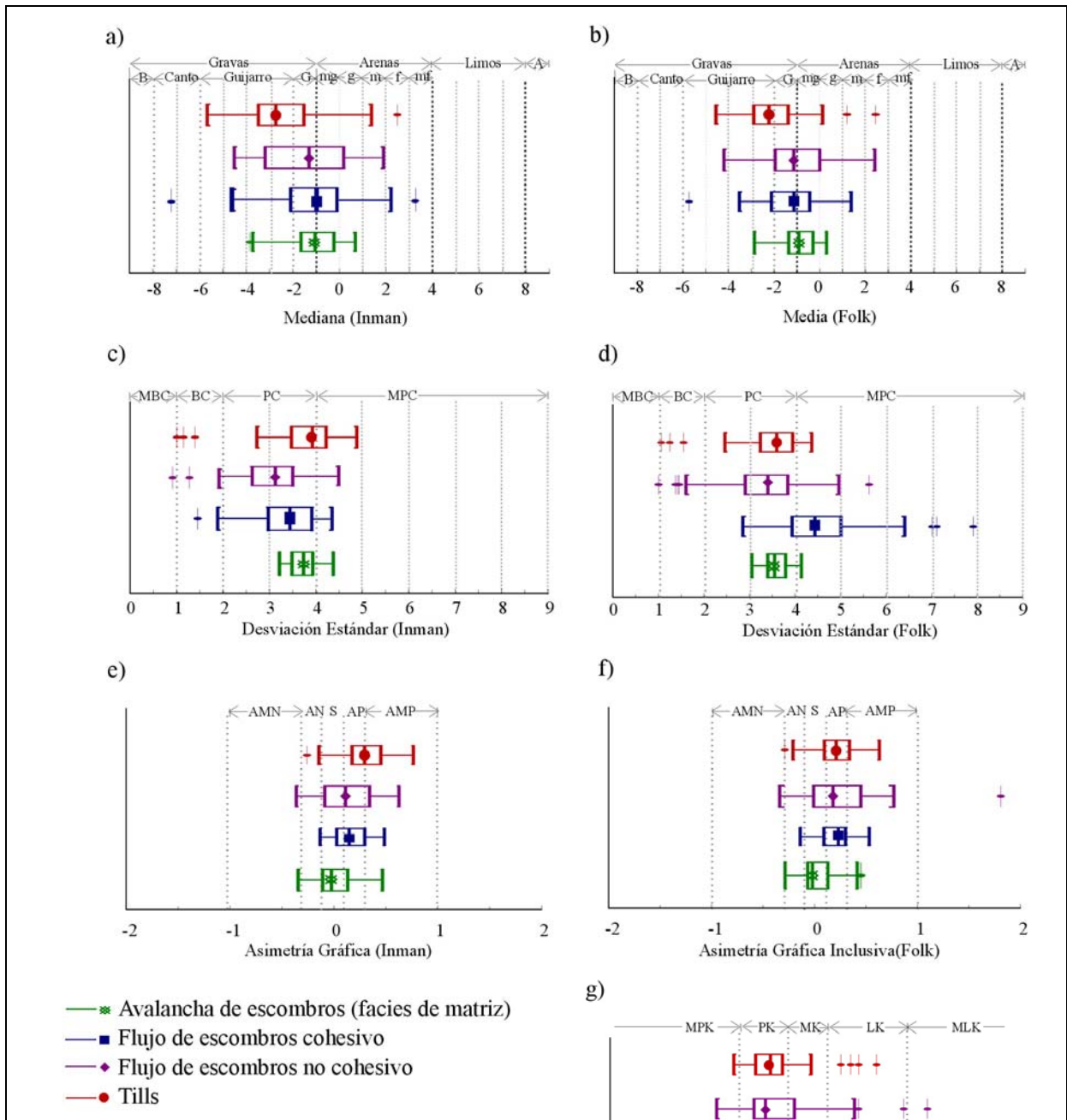


Figura 4.2. Diagramas de cajas y bigotes para los momentos estadísticos obtenidos de las curvas de distribución del conjunto de la base de datos de los DVcS de varios volcanes. La columna de la izquierda corresponde a los estadísticos calculados según el método de Inman (1952): a) mediana, c) desviación estándar, e) asimetría gráfica; y la columna de la derecha a los de Folk & Ward (1957): b) media, d) desviación estándar inclusiva, f) asimetría gráfica inclusiva, g) curtosis. Las líneas discontinuas corresponden a los límites de las clases verbales definidas por Wentworth (1922) para los tamaños de grano (B, bloque; G, gránulo; A: arcilla; mg, muy grueso; g, grueso; m, media; f, fina; mf, muy fina), por Cas & Wringht (1987) para la desviación estándar (MBC, muy bien clasificado; BC, bien clasificado; PC, pobremente clasificado; MPC, muy pobremente clasificado), y por Folk & Ward (1957) para la asimetría (AMN, asimetría muy negativa; AN, asimetría negativa; S, simétrica; AP, asimetría positiva; AMP, asimetría muy positiva) y la curtosis (MPK, muy platicúrtica; PK, platicúrtica; MK, mesocúrtica; LK, leptocúrtica; MLK, muy leptocúrtica).

A partir de las gráficas de la Figura 4.2 se desprende que los depósitos de facies de matriz de avalanchas de escombros y los flujos de escombros no cohesivos presentan una media de tamaño de grano promedio menor (arena muy gruesa y gránulo) y los depósitos de *till* muestran una media de tamaño promedio mayor (gránulo y guijarro). Los depósitos de flujos de escombros no cohesivos pueden presentar una media de tamaño de grano promedio desde arena muy gruesa hasta guijarro (Figura 4.2-b). La desviación estándar de los DVcS puede ser de pobremente clasificada a muy pobremente clasificada, siendo los flujos de escombros cohesivos los más pobremente clasificados (Figura 4.2-d). La asimetría de las curvas de distribución granulométrica de los DVcS suele ser de muy positiva a simétrica, en donde los flujos de escombros cohesivos y los depósitos de *till* son los más enriquecidos en finos (asimétricas positivas y muy positivas) y las avalanchas de escombros las menos enriquecidas (de simétricas a asimétricamente positivas). Los depósitos de flujos de escombros no cohesivos pueden presentar una distribución desde simétrica hasta asimétricamente muy positiva (Figura 4.2-f). La curtosis de las curvas de distribución granulométrica de los DVcS puede ser de platicúrtica, mesocúrtica o leptocúrtica, siendo los depósitos de *till* más platicúrticos, mientras que el resto de los depósitos en estudio suelen ser de mesocúrticos a platicúrticos (Figura 4.2-g).

En estos diagramas de cajas y bigotes se observa cómo la desviación estándar es el parámetro que presenta mayores diferencias entre los DVcS. Así que este parámetro será utilizado junto con la media para describir las diferencias en la distribución granulométrica de los depósitos. La elección de la media como valor a proyectar en el eje de las abscisas se debe a que este parámetro es el más representativo de la muestra al plasmar el valor medio de todos los datos implicados, por lo tanto, es más significativa que la mediana utilizada por Walker (1971), la cual solo representa el tamaño de grano en donde se divide el 50% de la muestra.

Al proyectar el par estadístico media *vs* desviación estándar (Figura 4.3-a) y resaltando los puntos que se refieren a las muestras recolectadas en el Volcán Nevado de Toluca (Figura 4.3-b), se observa una tendencia común para las distintas categorías, de manera independiente de si los datos corresponden a un volcán u otro. Esta tendencia indica

que los DVcS presentan un amplio rango de tamaños medios desde guijarro hasta arena (medias o gruesas) y una desviación estándar que define las muestras entre bien clasificadas y muy pobremente clasificadas. Finalmente, se incluyó el análisis de la matriz para las muestras del Nevado de Toluca (Figura 4.3-c) en el cual se observa que el rango de tamaños medios va de arena muy gruesa a arena media y la clasificación varía desde muy bien clasificado a pobremente clasificado. Se incluyó el análisis de la matriz con el fin de evaluar las posibles diferencias a una escala menor.

En estos diagramas (Figura 4.3-a-b) se puede observar ciertas tendencias según el tipo de depósito, como el enriquecimiento en la media de la distribución hacia tamaños más finos para los depósitos de flujos de escombros no cohesivos, el enriquecimiento en la media de la distribución hacia tamaños gruesos para los depósitos de *tills* y la peor clasificación de tamaños en los depósitos de flujos de escombros cohesivos. Dada la dificultad de analizar comparativamente los diferentes tipos de DVcS se hará uso de las curvas de densidad de *kernel* para la descripción e interpretación de los resultados.

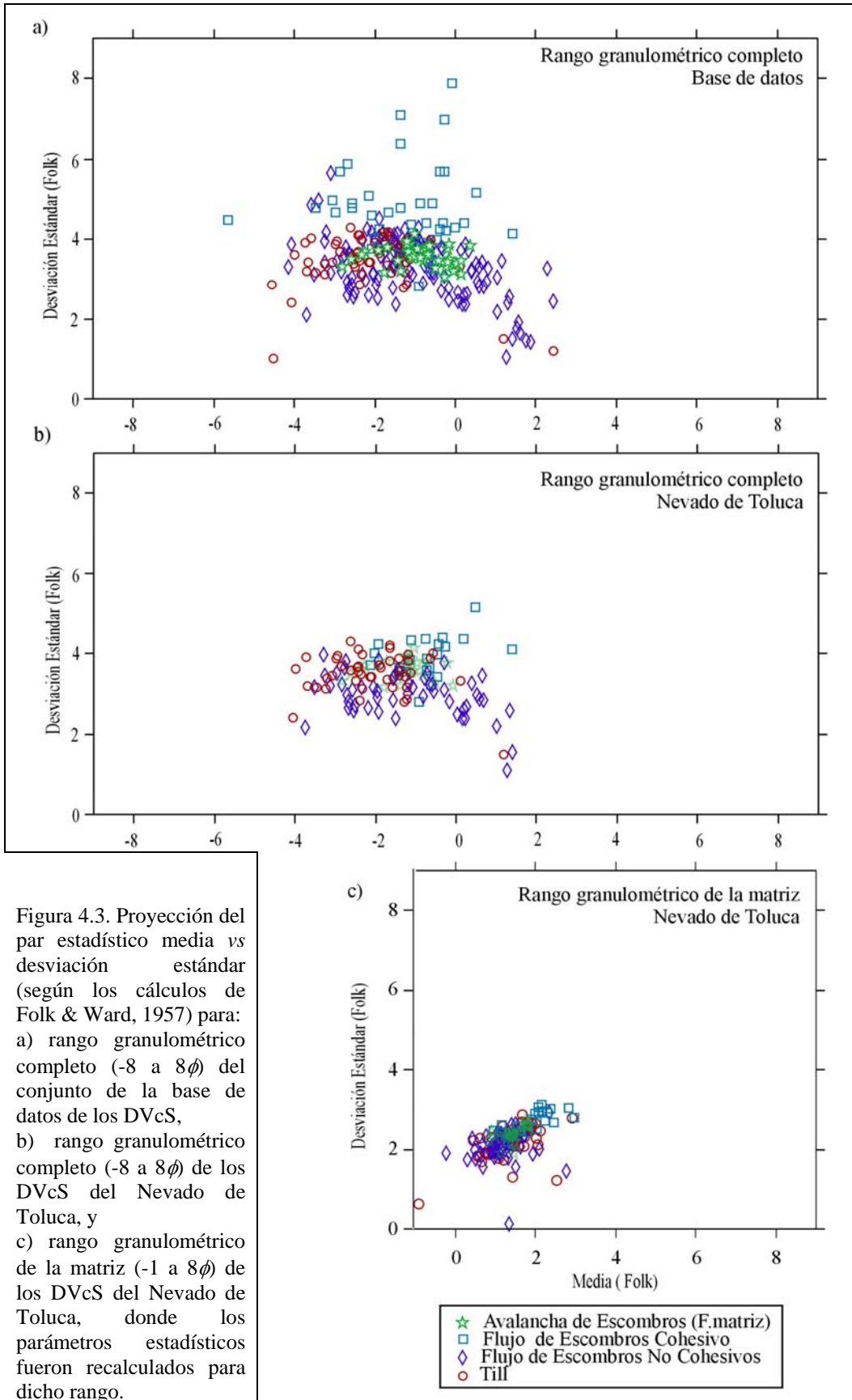


Figura 4.3. Proyección del par estadístico media vs desviación estándar (según los cálculos de Folk & Ward, 1957) para: a) rango granulométrico completo (-8 a 8ϕ) del conjunto de la base de datos de los DVcS, b) rango granulométrico completo (-8 a 8ϕ) de los DVcS del Nevado de Toluca, y c) rango granulométrico de la matriz (-1 a 8ϕ) de los DVcS del Nevado de Toluca, donde los parámetros estadísticos fueron recalculados para dicho rango.

4.4. Descripción de las curvas de densidad de los depósitos volcanoclásticos sedimentarios.

La distribución granulométrica de los **depósitos de facies de matriz de avalanchas de escombros** (Figura 4.4-a) se caracteriza por presentar una dispersión máxima de los valores de la media entre -3.2 y 0.5ϕ . La máxima agrupación de los datos se da entre -1.2 y -0.6ϕ . El 90% de la muestra presenta valores de media comprendidos entre -3 y 0.4ϕ , es decir, los depósitos de facies de matriz de una avalancha de escombros presentan valores de media de tamaño de grano entre arena muy gruesa y gránulo. La desviación estándar de las distribuciones granulométricas presentan su máxima dispersión entre 2.7 a 4.7, de pobremente clasificado a muy pobremente clasificado, y la máxima concentración de la desviación estándar se da en un intervalo entre 3.5 y 3.8. Finalmente, las distribuciones granulométricas son simétricas y platicúrticas y pueden presentar todo tipo de distribuciones modales, predominando las bimodales y polimodales (Figura 4.5).

La distribución granulométrica de los **depósitos de flujos de escombros cohesivos** (Figura 4.4-c) se caracteriza por presentar una dispersión máxima de los valores de la media entre -3.8 y 1ϕ , con algunos valores aislados en -5.5 y 1.5ϕ . La máxima agrupación de los datos está entre -1 y -0.5ϕ . El 90% de la muestra presenta valores de media en un intervalo entre -3.5 y 0.8ϕ , es decir, los depósitos de flujos de escombros cohesivos presentan valores de media de tamaño de grano entre arena muy gruesa y guijarro. La desviación estándar de las distribuciones granulométricas presenta su máxima dispersión entre 2.5 a 6.2, de pobremente clasificado a muy pobremente clasificado, con valores aislados entre 6 y 8. La máxima concentración de la desviación estándar está en valores comprendidos entre 3.8 y 4.2, justo en el límite entre pobremente y muy pobremente clasificadas.

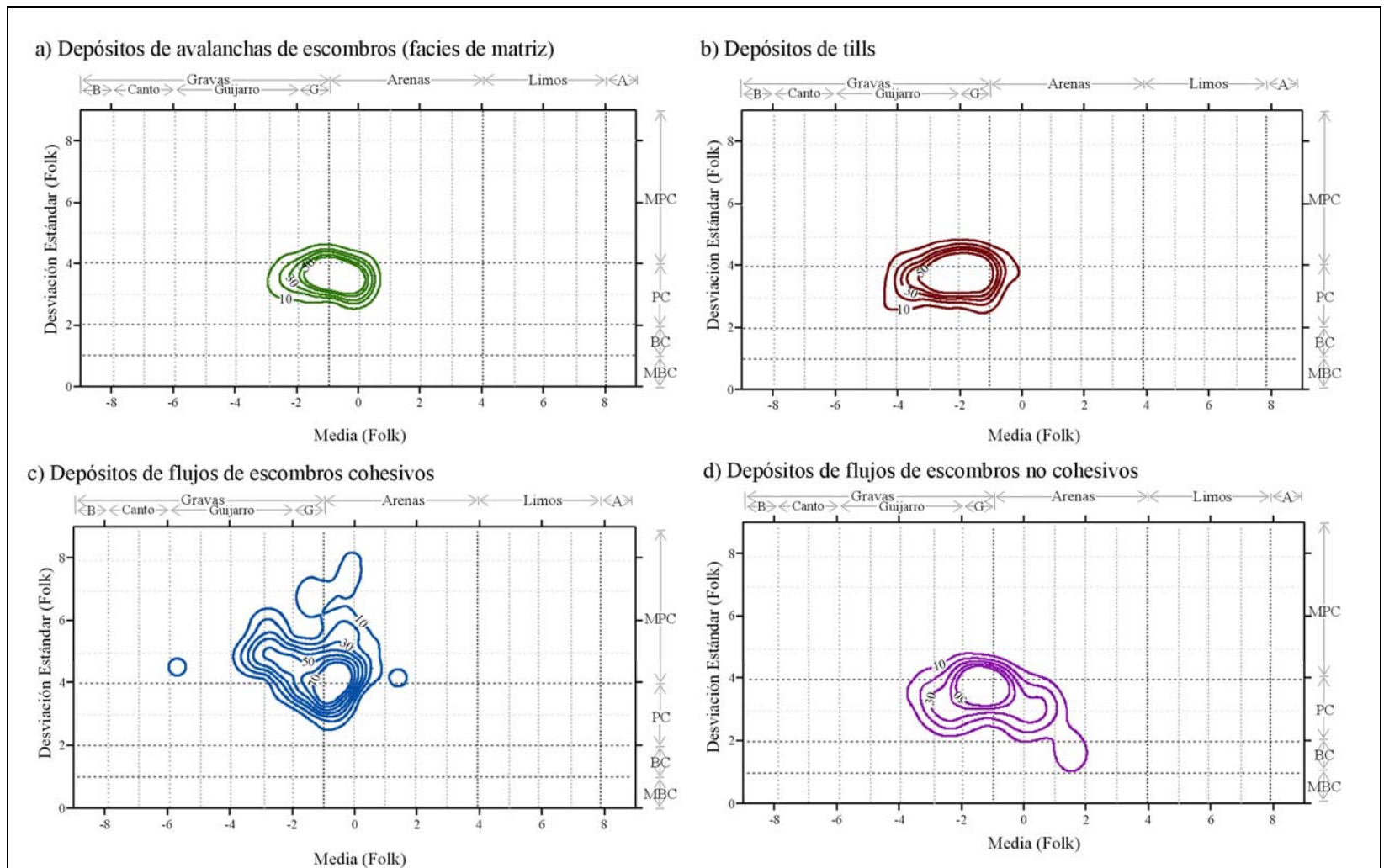


Figura 4.4. Curvas de densidad de *kernel* de los DVcS en estudio. Donde: B, Bloque; G, Granulo; A, Arcilla; mg, muy gruesa; g, gruesa; m, media; f, fina; mf, muy fina; MPC, muy pobremente clasificada; PC, pobremente clasificada; BC, bien clasificada; MBC, muy bien clasificada..

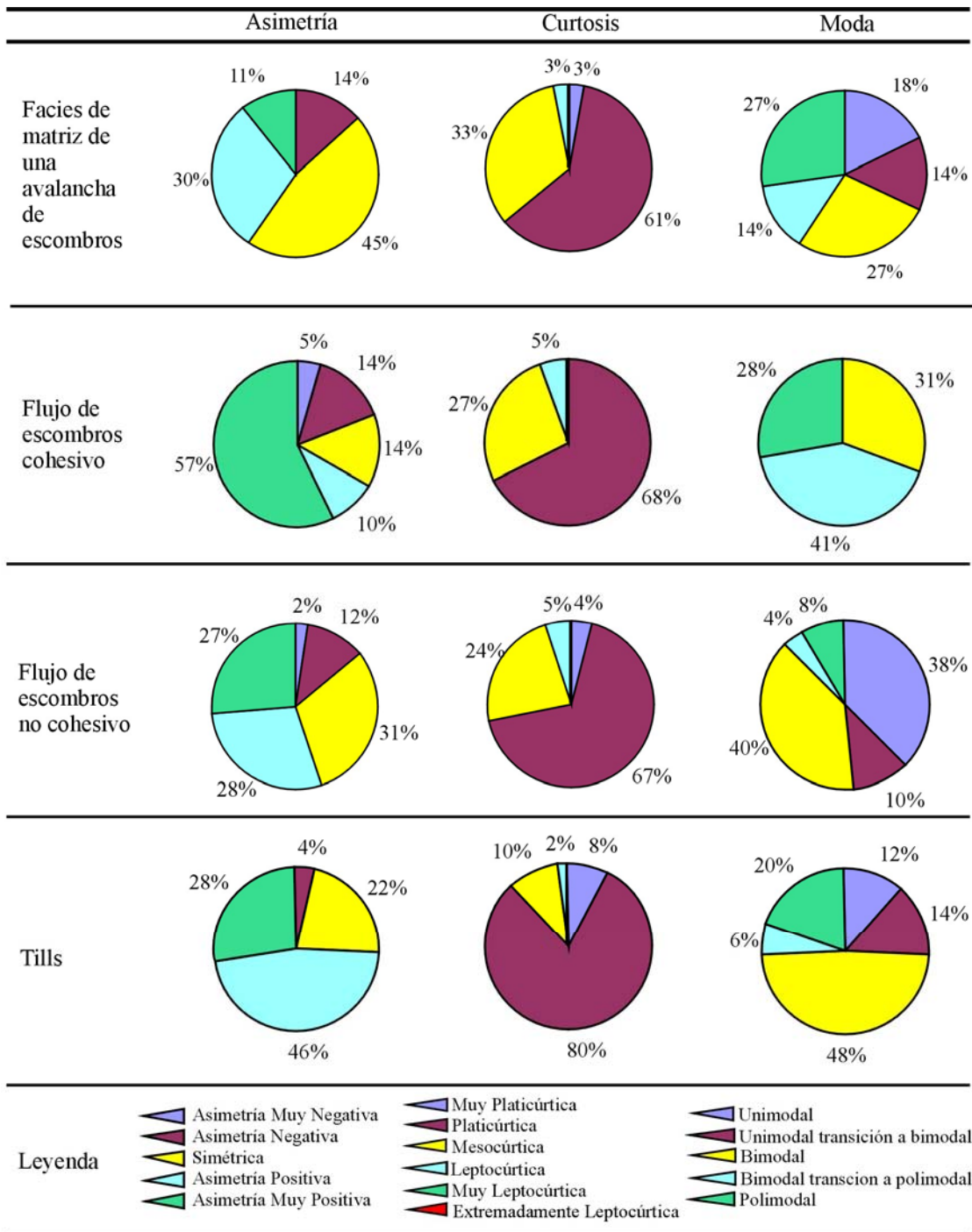


Figura 4.5. Parámetros estadísticos de la asimetría, curtosis y moda más comunes de las muestras localizadas dentro del área de la isolínea del 10%, es decir, el 90% de la muestra total, para cada uno de los DVcS.

En la Figura 4.6 se observa que al empeorar la clasificación el contenido en arcilla aumenta. Esta tendencia se comprueba tras calcular el coeficiente de correlación derivado del análisis de covarianza de la desviación estándar y la proporción de arcilla vs matriz (arena + limo + arcilla) (Tabla 4.3), observándose que la correlación es directa para estas dos variables (Figura 4.7-a). Por el contrario, la correlación entre la desviación estándar y la proporción de arena vs matriz (arena + limo + arcilla) es inversa (Figura 4.7-b). Las distribuciones granulométricas presentan asimetrías muy positivas y son platicúrticas con distribuciones bimodales y polimodales (Figura 4.5).

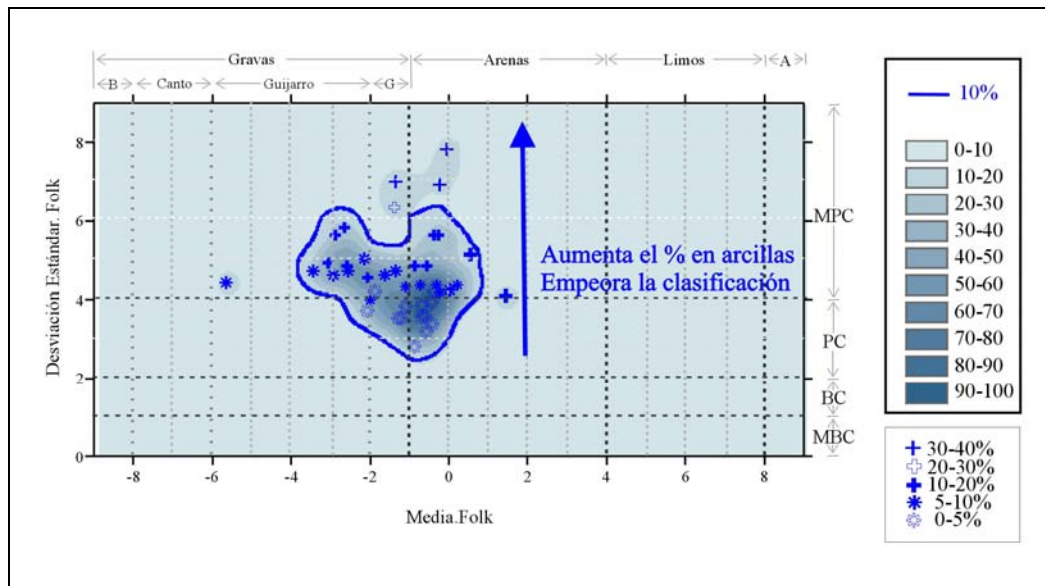


Figura 4.6. Visualización en la curva de densidades de los flujos de escombros cohesivos del empobrecimiento de la clasificación de los depósitos a medida que se incrementa el contenido en arcilla. Donde: B, Bloque; G, Gránulo; A, Arcilla; mg, muy gruesa; g, gruesa; m, media; f, fina; mf, muy fina; MPC, muy pobremente clasificado; PC, pobremente clasificado; BC, bien clasificado; MBC, muy bien clasificado.

	x/(arena+limo+arcilla)			x/(grava+arena+lodo)			N
	arcilla/	limo/	arena/	grava/	arena/	lodo/	
Avalanchas de escombros (f.matriz)							35
covarianza	0.00	0.01	-0.01	-0.04	0.02	0.01	
coeficiente de correlación	0.37	0.45	-0.48	-0.42	0.36	0.52	
Flujos de escombros cohesivos							71
covarianza	0.07	0.01	-0.08	0.01	0.04	-0.05	
coeficiente de correlación	0.95	0.23	-0.85	0.12	0.49	-0.47	
Flujos de escombros no cohesivos							140
covarianza	0.00	-0.01	0.01	0.05	-0.07	0.02	
coeficiente de correlación	-0.19	-0.19	0.19	0.39	-0.59	0.40	
Tills							56
covarianza	0.00	0.01	-0.01	0.01	-0.02	0.01	
coeficiente de correlación	0.11	0.23	-0.23	0.14	-0.24	0.51	

Tabla 4.3. Resultados del cálculo de la covarianza y el coeficiente de correlación entre la desviación estándar y la proporción de las distintas clases granulométricas (x) frente al espectro granulométrico completo de la muestra (grava + arena + lodo) o frente al espectro de la matriz (arena + limo + arcilla) de los diferentes DVcS.

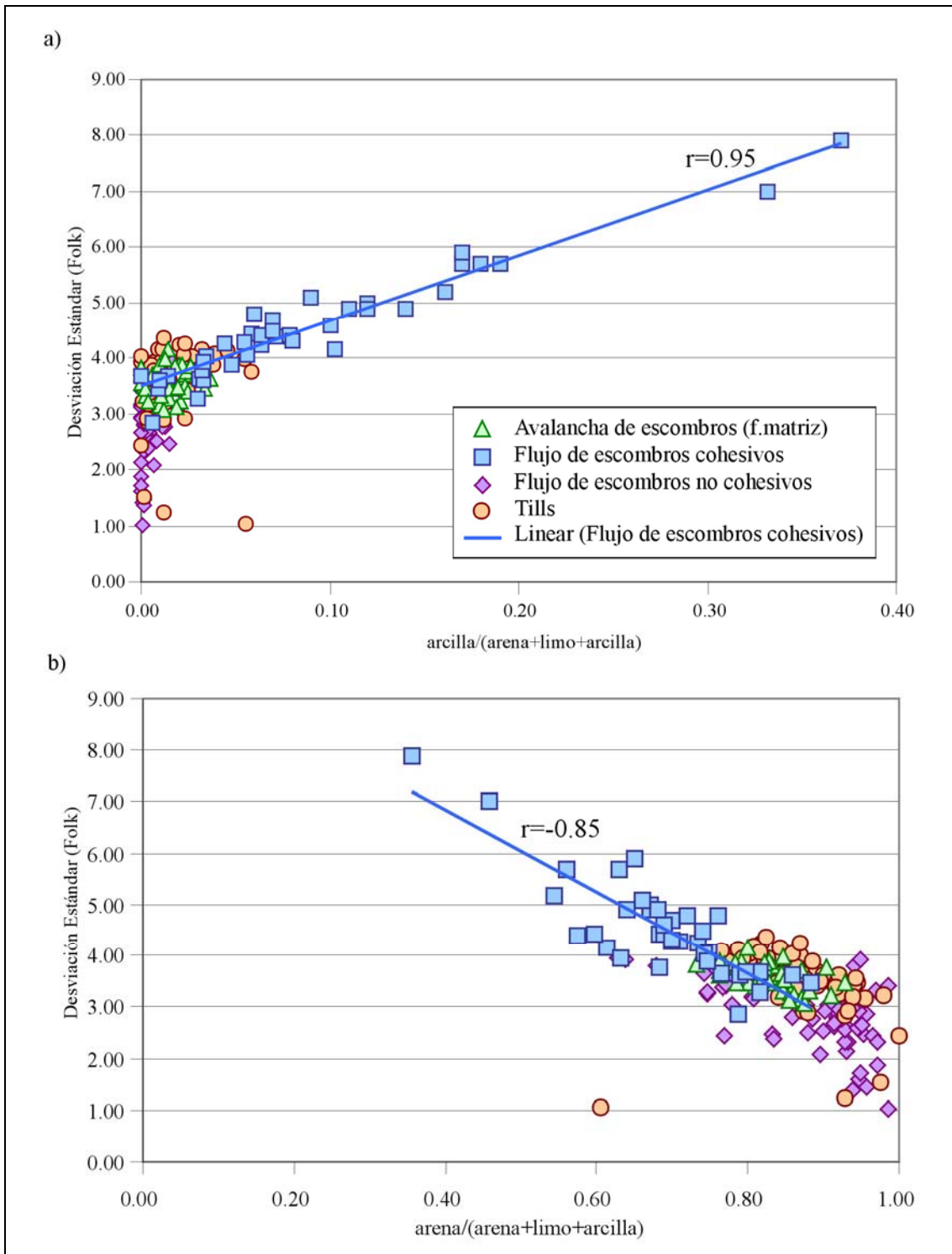


Figura 4.7. Coeficiente de correlación entre: a) la proporción entre la desviación estándar y la proporción de arcilla vs (arena + limo + arcilla) y b) entre la desviación estándar y la proporción de arena vs (arena + limo + arcilla). De la gráfica se desprende que la clasificación empeora al aumentar el contenido de la fracción arcillosa (a) y al disminuir el contenido en la fracción arena (b). Donde: r es el valor del coeficiente de correlación de los flujos de escombros cohesivos.

La distribución granulométrica de los **depósitos de flujos de escombros no cohesivos** (Figura 4.4-d) se caracteriza por presentar una dispersión máxima de los valores de la media entre -3.5 y 2ϕ . La máxima agrupación de los datos se da entre -1.5 y -0.8ϕ . El 90% de la muestra presenta valores de media un intervalo entre -3.2 y 1.5ϕ , es decir, los depósitos de flujos de escombros no cohesivos presentan valores de media de tamaño de grano entre arena gruesa y guijarro. La desviación estándar de las distribuciones granulométricas presentan su máxima dispersión entre 1 y 4.5, de bien clasificado a muy pobremente clasificado, y su máxima concentración está en valores comprendidos entre 3.5 y 4, pobremente clasificadas. Las distribuciones granulométricas tienen valores de asimetría desde asimétricas muy positivas a simétricas, con apuntamientos platicúrticos y distribuciones bimodales y unimodales (Figura 4.5). La Figura 4.8 muestra que los depósitos de flujos de escombros no cohesivos peor clasificados son los depósitos del SO del Monte Santa Elena frente a los depósitos del mismo tipo del Nevado de Toluca y del Popocatepetl.

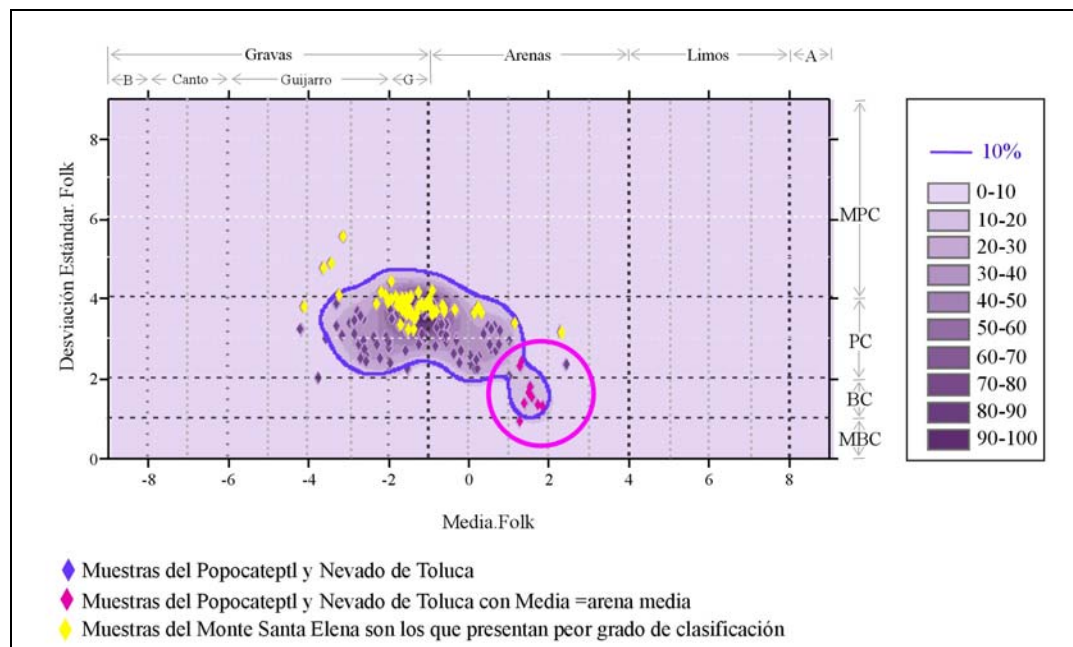


Figura 4.8. Visualización de la curva de densidades de los flujos de escombros no cohesivos. Las muestras con mejor grado de clasificación y con medias arenosas están en el círculo rosa. Las muestras con peor grado de clasificación corresponden a los depósitos del SO del Monte Santa Elena. Donde: B, Bloque; G, Gránulo; A, Arcilla; mg, muy gruesa; g, gruesa; m, media; f, fina; mf, muy fina; MPC, muy pobremente clasificada; PC, pobremente clasificada; BC, bien clasificada; MBC, muy bien clasificada.

Los **depósitos de till** (Figura 4.4-b) se caracterizan por presentar una dispersión máxima de los valores de la media entre -4.2 y 0ϕ . La máxima agrupación de los datos se da entre -2.5 y -1.5ϕ . El 90% de la muestra presenta valores de media comprendidos entre -4 y -0.5ϕ , lo que indica que los depósitos de *till* fundamentalmente presentan valores de media de un tamaño entre arena muy gruesa y guijarro. La desviación estándar de las distribuciones granulométricas presenta su máxima dispersión entre 2.5 y 4.8, de pobremente clasificado a muy pobremente clasificado, y la máxima concentración se da en valores comprendidos entre 3.5 y 4, pobremente clasificadas. Las distribuciones granulométricas presentan asimetrías positivas y muy positivas, con formas fundamentalmente platicúrticas y con distribuciones bimodales (Figura 4.5).

4.5. Comparación y discusión de las distribuciones granulométricas de los depósitos volcanoclásticos sedimentarios a través de sus curvas de densidad.

Las curvas de densidad del 10% de la desviación estándar (Figura 4.9-a) indican que los depósitos de *tills*, los depósitos de las facies de matriz de las avalanchas de escombros y los depósitos de los flujos de escombros no cohesivos son bastante similares; generalmente son pobremente clasificados, aunque con una tendencia de los flujos de escombros no cohesivos a ser bien clasificados. Por el contrario, los depósitos de los flujos de escombros cohesivos muestran una clara tendencia a ser muy pobremente clasificados y presentan una clasificación pobre en las muestras con media entre -2.5 y 1ϕ . Finalmente, los *tills* presentan una tendencia hacia un aumento en el tamaño de grano medio mientras que las facies de matriz de las avalanchas de escombros y los flujos de escombros no cohesivos tienden hacia un tamaño de grano medio más fino. Al analizar los datos del Nevado de Toluca (Figura 4.9-b) se observa que las tendencias son muy similares a las anteriormente descritas para el conjunto de la base de datos, a excepción de los flujos de escombros cohesivos que no se muestran mejor clasificados cuando no se incluyen las muestras de las otras localidades de la base de datos.

En el análisis comparativo de las curvas de densidad para la matriz (arena+limo+arcilla) de estos cuatro depósitos (Figura 4.9-c), se puede apreciar que la clasificación empeora con la disminución del tamaño de grano medio, donde los flujos de escombros cohesivos tienen una matriz muy fina y pobremente clasificada mientras que la matriz de los flujos de escombros no cohesivos y *till* presenta una tendencia a ser más gruesa y mejor clasificada.

Analizando conjuntamente las curvas de densidad para los dos rangos granulométricos (el completo y el de la matriz), se pueden explicar mejor algunas características en la distribución granulométrica de los DVcS. La mejor o peor clasificación de un depósito está relacionada con la proporción de arena frente a lodo (limo+arcilla) en la matriz. A mayor contenido de arena, mejor clasificación, y a mayor contenido de lodo, peor clasificación, tanto en la matriz como en el total de la muestra. Los depósitos más enriquecidos en arena son los flujos de escombros no cohesivos mientras que los más enriquecidos en lodo son los flujos de escombros cohesivos (Figura 4.9-c).

Es evidente que la comparación de las características granulométricas hasta aquí descrita no permite aislar campos para cada uno de los depósitos analizados. Sin embargo, se han mostrado tendencias importantes para cada una de estas categorías. Cabe recordar que tampoco en la gráfica propuesta por Walker (1971) se lograron definir áreas únicas para cada tipo de depósito piroclástico, lo que revela la innegable similitud granulométrica entre los depósitos volcanoclásticos.

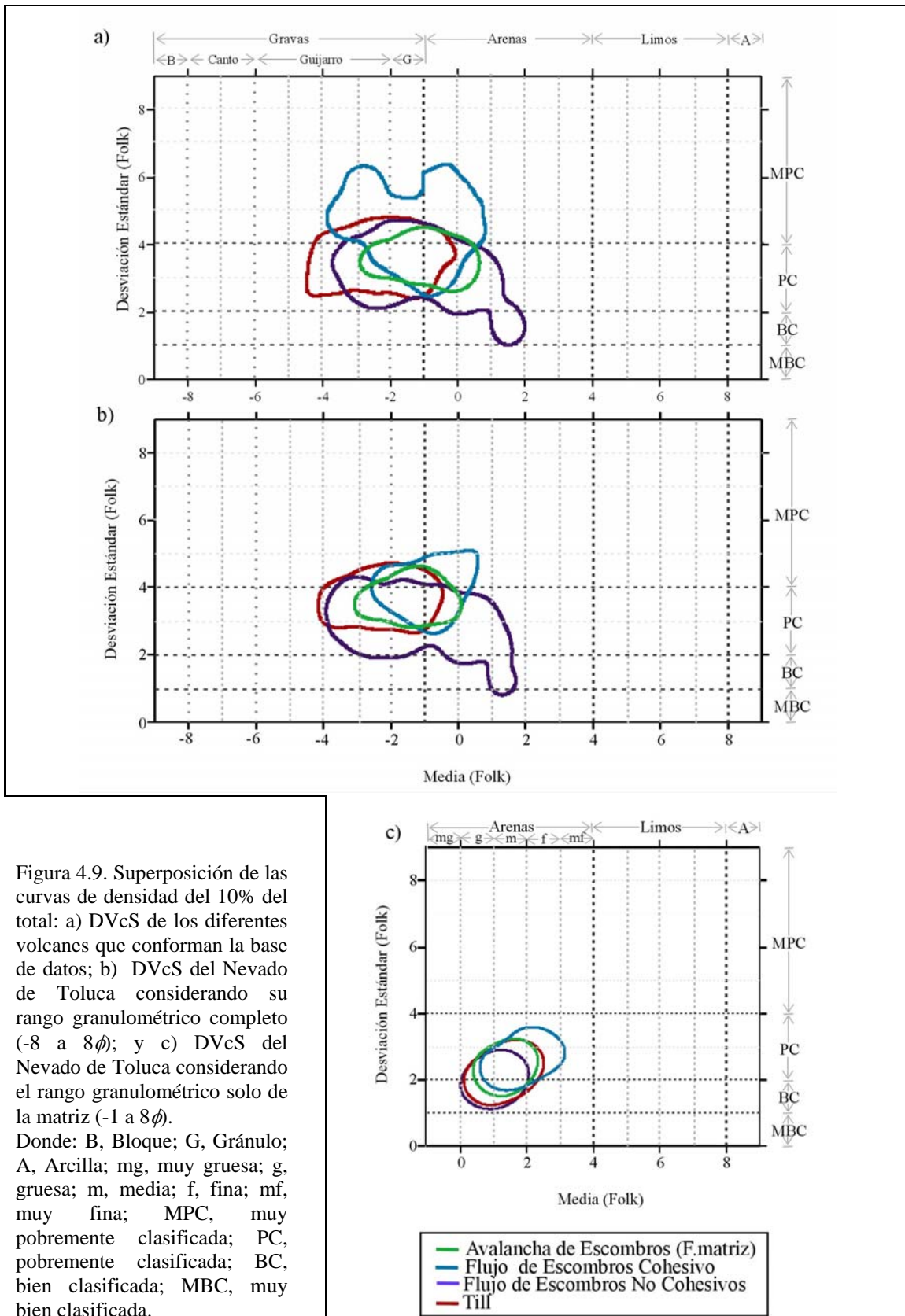


Figura 4.9. Superposición de las curvas de densidad del 10% del total: a) DVcS de los diferentes volcanes que conforman la base de datos; b) DVcS del Nevado de Toluca considerando su rango granulométrico completo (-8 a 8ϕ); y c) DVcS del Nevado de Toluca considerando el rango granulométrico solo de la matriz (-1 a 8ϕ). Donde: B, Bloque; G, Gránulo; A, Arcilla; mg, muy gruesa; g, gruesa; m, media; f, fina; mf, muy fina; MPC, muy pobremente clasificada; PC, pobremente clasificada; BC, bien clasificada; MBC, muy bien clasificada.

A continuación, se tratará de dar una explicación genética a las diferencias observadas, las cuales tienen una clara implicación sobre el origen y mecanismo de transporte y emplazamiento.

Los **depósitos de facies de matriz de las avalanchas de escombros** presentan una distribución “central” con respecto a los otros depósitos analizados, sin tener una tendencia clara (Figura 4.9-a). Para este estudio se han analizado avalanchas claramente asociadas a eventos magmáticos, en volcanes de composición dacítica, en donde el fluido presente era probablemente inferior al 10% en peso de la masa total (Pierson & Costa, 1987), por lo que no representa una fase fluida capaz de saturar los sedimentos. Como ya han descrito otros autores (Mc Phie *et al.*, 1993; Glicken, 1996), el emplazamiento de las avalanchas de escombros generalmente ocurre en masa sobre un horizonte basal con elevados esfuerzos de cizalla. La fragmentación del material normalmente ha sido asociada a la dilatación del material al momento del colapso (Glicken, 1996), mientras que durante el transporte domina un proceso de dilatación de la masa, producto del esfuerzo de dispersión generado por la colisión entre las partículas. Por este motivo, la línea de contornos de densidad del 90% que representan los depósitos de avalanchas de escombros es quizás más regular y pequeña indicando un proceso de fragmentación muy limitado durante el transporte. Eso hace muy difícil poder discriminar desde un punto de vista granulométrico las avalanchas de escombros de otro tipo de DVcS, ya que bien podría ser muy similar a los flujos de escombros y *tills* en su posición proximal respecto a su fuente. Sin embargo, cabe mencionar que las avalanchas de escombros son quizás los DVcS más fáciles de discriminar (frente a los depósitos de flujos de escombros y *tills*) por sus características texturales a nivel de afloramiento, como son la presencia de estructuras en rompecabezas (Ui, 1989).

Los depósitos de **flujos de escombros cohesivos** son claramente peor clasificados que cualquier otro de los DVcS estudiados debido a un elevado contenido en sedimentos finos. Los flujos de escombros cohesivos generalmente son derivados del colapso del un edificio volcánico y el abundante contenido en finos se debe en gran medida a la elevada

alteración hidrotermal de la masa antes del colapso. El elevado contenido en arcilla (>3-5%, Vallance & Scott, 1997) determina que los flujos sean muy competentes y las fuerzas de cohesión ejercitadas por la mezcla de agua y sedimentos son capaces de transportar las partículas de mayor tamaño inhibiendo la colisión y separación por gravedad durante el emplazamiento, proceso que llevaría un aumento de la clasificación del mismo. La presencia de grava ha sido explicada por un proceso de *bulking*, que corresponde a erosión e introducción de material bien clasificado desde el cauce de río (Vallance, 2000).

Los **flujos de escombros no cohesivos** son los depósitos con mayor rango de distribución para los valores de la media y son también los más enriquecidos en arena, lo cual mejora el grado de clasificación. El proceso de erosión e incorporación de escombros exóticos secundarios (conocido por *bulking*) puede ser nuevamente el responsable de la mejora de la clasificación de los flujos de escombros no cohesivos, al incorporar material grueso y mejor clasificado de los cauces de los ríos (Vallance, 2000). En la Figura 4.9-a se observa cómo los flujos de escombros no cohesivos muestran una tendencia clara a la disminución tanto del tamaño medio así como del grado de clasificación en comparación con el resto de los DVcS. Las muestras con mejor clasificación y con valores de la media en tamaños de arena media son los flujos de escombros no cohesivos. Se puede interpretar que el material fuente ya era rico en partículas tamaño arena como puede ser un flujo piroclástico de pómez o de bloques y cenizas, o bien flujos de escombros no cohesivos más diluidos que empiezan a comportarse como un flujo hiperconcentrado debido a un incremento del porcentaje de agua hasta reducir el contenido en sedimentos un 40-80% en peso (Beveridge & Culbertson, 1964). La menor proporción de lodo en la distribución de los flujos de escombros no cohesivos, en comparación a los flujos de escombros cohesivos, es la causa de las diferencias en los mecanismos de transporte y sedimentación de ambos tipos de eventos debido al diferente grado de cohesión. La ausencia de arcilla en el flujo hace que los clastos de mayor tamaño se vayan separando del flujo durante el emplazamiento.

Las características sedimentológicas de los **depósitos de till** están asociadas al transporte reducido (<5 km en las laderas del Nevado de Toluca) y lento (cm/día) del

escombro. Se considera que la máxima aportación de escombros al glaciar es de origen supraglaciar, lo que explicaría la media más grande con respecto a los demás DVcS. La mala clasificación de los depósitos de *till* responde, en cierta medida, a la ausencia de fragmentación durante el transporte glaciar. Teóricamente la única fragmentación que puede darse es por gelifracción. El origen de la arcilla (menos del 6 %) podría estar relacionado con la abrasión entre los escombros y el hielo durante el transporte. Este porcentaje de arcilla puede no ser representativo de toda la arcilla que puede generarse durante el transporte glaciar, la cual se deposita fundamentalmente en la zona subglaciar y solo una pequeña proporción de esta es transportada a posiciones marginales de crecimiento de morrenas cuando un obstáculo subglaciar provoca divergencias en las líneas de flujo (Boulton, 1978). Además, se debe considerar la pérdida de material fino que puede ser transportado en suspensión por el agua de fusión o por la acción del viento.

4.6. Conclusiones.

El estudio granulométrico de los DVcS permite llegar a las siguientes conclusiones:

- 1- la desviación estándar es el parámetro descriptivo de una curva de distribución que más diferencias presenta entre los DVcS, más que la media, la mediana, la asimetría o la curtosis;
- 2- las curvas de distribución de los depósitos de flujos de escombros cohesivos tienen el peor grado de clasificación de todos los DVcS;
- 3- las curvas de distribución de los depósitos de flujos de escombros cohesivos muestran una relación directa entre la clasificación y el enriquecimiento en partículas finas, cuanto más finas peor clasificación;
- 4- las curvas de distribución de los depósitos de flujos de escombros no cohesivos presentan el mejor grado de clasificación de todos los DVcS;
- 5- las curvas de distribución de los depósitos de *tills* presentan valores de la media en tamaños grava;
- 6- la tendencia a que una distribución granulométrica presente mejor o peor clasificación está relacionada con la proporción de arena frente a lodo en su matriz.

Las gráficas comparativas de las curvas de densidad de los parámetros estadísticos de la media frente a la desviación estándar, son una herramienta útil para el análisis granulométrico de los depósitos, aunque presentan algunas deficiencias. Para poder utilizarla como criterio de discriminación se requiere un número mínimo de muestras del mismo DVcS para describir su tendencia granulométrica y así poderla comparar con las ya analizadas.

Un estudio complementario de la morfología de las partículas y la fábrica de los depósitos podrían ayudar a encontrar una relación de parámetros que caracterice y diferencie los DVcS desde un punto de vista integral de la textura y no solamente desde su granulometría. Estos los análisis los enfrentaremos en los siguientes capítulos.

V. ANÁLISIS DE LA MORFOLOGÍA DE LAS PARTÍCULAS.

La morfología de las partículas sedimentarias, junto con el tamaño y la composición, es una de las propiedades fundamentales de las mismas. La morfología puede proporcionar información acerca de su historia de erosión, transporte y sedimentación, y pueden ayudar a la diferenciación de las facies y a la caracterización de los ambientes de sedimentación (Gale & Hoare, 1991; Graham & Midgley, 2000; Benn, 2004_a).

5.1. Antecedentes.

En la bibliografía existen pocos trabajos que realicen un análisis cuantitativo de la morfología de las partículas de los DVcS que se están considerando en este estudio. Tanto es así que toda la metodología aquí utilizada se fundamenta en estudios de depósitos de ambientes ajenos a los volcano-sedimentarios (p.ej. Sneed & Folk, 1958).

A modo de ejemplo, el trabajo de Benn & Ballantyne (1994) expone la reconstrucción de la historia del transporte de los sedimentos glaciogénicos al identificar y cuantificar la proporción relativa de los clastos transportados activamente y pasivamente, a través de la covarianza de dos índices de la morfología de los clastos (índice C_{40} e índice RA) con datos de morrenas laterales y frontales de Storbreen, Jotunheimen, Noruega. Los autores invitan a usar el método para el análisis de otros depósitos como los flujos de escombros y las avalanchas de escombros.

Otro de los trabajos del cual se adoptó la metodología es la publicación de Dobkins & Folk (1970) donde analizan el desarrollo de la morfología para partículas de litología volcánica (guijarro basáltico) en ambientes de sedimentación fluvial y playero en la isla de Tahiti-Nui (Hawai). Un trabajo muy completo que al analizar los ambientes de sedimentación puramente acuosos pero que no ofrece ninguna información acerca de la morfología de las partículas en ambientes volcano-sedimentarios.

A pesar de la ausencia de investigaciones cuantitativas de las propiedades de la morfología de las partículas en DVcS, sí hay descripciones cualitativas en varios trabajos para los diferentes depósitos que se abordan en este estudio (Palmer *et al.*, 1991; Janda *et al.*, 1981; Pierson *et al.*, 1990; Mullineaux & Crandell, 1962; Vallance, 2000; Vallance & Scott, 1997; Ui, 1989; Hambrey, 1994; Bouton, 1978; Benn & Evans, 1998; Blackwelder, 1930), así como descripciones cualitativas apoyadas en algún gráfico cuantitativo aunque sus autores no se adentraron mucho en los resultados obtenidos (Scott, 1988; Capra *et al.*, 2004; Benn & Owen, 2002).

5.2. Base de datos.

El análisis de la morfología de las partículas en este estudio se realizó solamente para el tamaño grava (>2mm) ya que la morfología de las mismas está determinada, al menos en parte, por el proceso de transporte y de sedimentación y su estudio aporta información acerca de la reconstrucción de la historia del ambiente de sedimentación (Gale & Hoare, 1991). Si a esto unimos la facilidad de manipularlas (dadas sus dimensiones) y de analizarlas directamente, la grava es el tamaño de la partícula idóneo para nuestro estudio frente a las fracciones de arenas, limos y arcillas. Para analizar estas fracciones requeriríamos de medios indirectos como láminas delgadas.

Se seleccionaron un total de 20 muestras, 5 afloramientos para cada uno de los 4 tipos de DVcS en estudio del Nevado de Toluca (Tabla 5.1). El número mínimo de partículas analizadas en cada muestra fue de 125 y el máximo de 231, para el análisis de la forma, la esfericidad y la textura superficial, contando con un máximo de 50 partículas y un mínimo de 1 partícula por fracción de ϕ . Mientras que para el análisis de la redondez fue un mínimo de 32 y un máximo de 87 partículas, contando con máximo de 10 partículas y un mínimo de 1 partícula por fracción de ϕ . Esta reducción del número de partículas para el análisis de la redondez se realizó con el fin de minimizar el tiempo de obtención de los datos sin afectar la representatividad de los mismos. Se eligieron las muestras más

representativas de cada tipo de depósito y al mismo tiempo las más dispares, por ejemplo, se seleccionaron aquellos que presentaban diferente distribución espacial (Figura 5.1) o diferentes depósitos fuente.

Avalanchas de escombros	NT0401	NT0405	NT0406	NT0408	NT0410
Flujos de escombros cohesivos (Capra & Macías, 2000)	NT9835 = 19P	NT9705 = 40P	NT9710 = 41P	NT9716 = 56D	NT9732 = 60D
Flujos de escombros no cohesivos	NT0452B	NT0533	NT0541	NT0552	NT0554D
Tills	NT0464	NT05104	NT05105	NT05236	NT05241

Tabla 5.1. Relación de afloramientos seleccionados para el análisis de la morfología de las partículas de cada tipo de DVcS. Donde: P es proximal, D es distal (Capra & Macías, 2000).

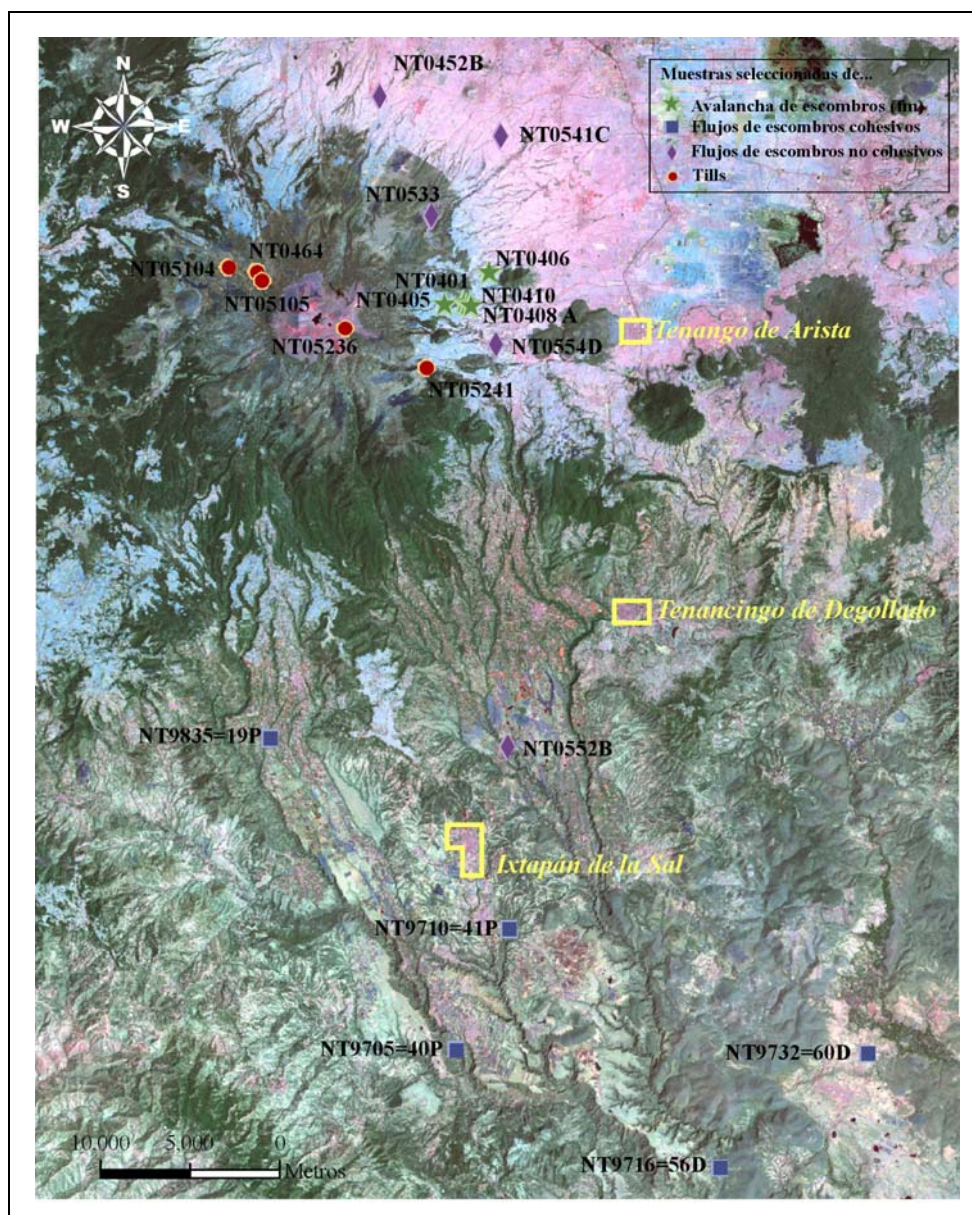


Figura 5.1. Localización de los afloramientos cuyas muestras fueron seleccionadas para el análisis de la morfología de las partículas de los diferentes DVcS en estudio.

5.3. Morfología de las partículas de los depósitos volcanoclásticos sedimentarios.

5.3.1. Forma y esfericidad.

Las partículas que conforman los DVcS en general presentan una forma media de hoja compacta (CB). Si se analizan con detalle los resultados obtenidos de la forma y esfericidad en la Tabla 5.2, se observa que los valores de la media del índice *Oblate-Prolate* van de -0.18 a 0.90, es decir, que por lo general la grava de los tipos de DVcS en estudio tienden a tener forma de hoja de subplanar a subaciculada. Tan solo las partículas de los depósitos de flujos de escombros cohesivos presentan medias con formas subaciculadas. Además, se ve que los valores de la media de esfericidad van de 0.79 a 0.73, lo cual indica una clara tendencia a esfericidades compactas de las partículas. La visualización de los parámetros de la media y desviación estándar en un diagrama triangular para las grava de cada afloramiento analizado se pueden observar de manera resumida en la Figura 5.2 y de manera extendida en el Anexo IV. Concretamente se pueden visualizar las variaciones de la forma y esfericidad de las partículas de los DVcS en función de los tipos de depósitos. El análisis de las variaciones de la forma para cada fracción de grano (gránulo, guijarro, canto) se realizará en el Capítulo VII donde se detalla el análisis de la textura de los depósitos integrando los datos de la granulometría, la morfología de las partículas y la fábrica de los depósitos.

En resumen, las partículas de los DVcS en estudio no presentan una forma y/o esfericidad exclusiva para cada tipo de depósito, según se acaba de analizar y se corrobora en la Figura 5.3. Por lo que se podría afirmar que el mecanismo de transporte de estos flujos gravitacionales no es determinante para cambiar la forma y esfericidad de las mismas, así que los clastos heredan su forma del depósito original. Este resultado contrasta con el planteamiento inicial en el que considerábamos que la morfología de las gravas podía estar determinada por el proceso de transporte y sedimentación (Gale & Hoare, 1991). Aun así, quedan por analizar individualmente la redondez y la textura superficial y colectivamente los diferentes aspectos de la morfología de la partícula, cuyo estudio puede

aportar información acerca de la reconstrucción de la historia y ambiente de sedimentación.

	<i>Grava</i>		Forma		Esfericidad	
Facies de matriz de avalanchas de escombros	NT0401	Mz	0.31	Hoja Subacicular	0.79	Compacta
	N=196	σ	4.34		0.09	
	NT0405	Mz	-0.01	Hoja Subplanar	0.79	Compacta
	N=210	σ	4.22		0.09	
	NT0406	Mz	0.48	Hoja Subacicular	0.77	Compacta
	N=219	σ	4.12		0.09	
	NT0408	Mz	0.51	Hoja Subacicular	0.74	Compacta
	N=231	σ	4.46		0.09	
NT0410	Mz	0.90	Hoja Subacicular	0.75	Compacta	
N=209	σ	4.57		0.09		
Flujos de escombros cohesivos	NT19	Mz	0.50	Hoja Subacicular	0.74	Compacta
	N=210	σ	4.15		0.09	
	NT40	Mz	0.49	Hoja Subacicular	0.73	Compacta
	N=156	σ	4.54		0.09	
	NT41	Mz	0.30	Hoja Subacicular	0.77	Compacta
	N=205	σ	3.93		0.08	
	NT56	Mz	0.27	Hoja Subacicular	0.76	Compacta
	N=175	σ	4.35		0.09	
NT60	Mz	0.52	Hoja Subacicular	0.77	Compacta	
N=168	σ	4.59		0.10		
Flujos de escombros no cohesivos	NT0452B	Mz	0.44	Hoja Subacicular	0.76	Compacta
	N=125	σ	4.41		0.09	
	NT0533	Mz	0.32	Hoja Subacicular	0.75	Compacta
	N=215	σ	4.00		0.09	
	NT0541C	Mz	0.16	Hoja Subacicular	0.75	Compacta
	N=162	σ	4.02		0.09	
	NT0552B	Mz	0.56	Hoja Subacicular	0.75	Compacta
	N=179	σ	4.35		0.10	
NT0554D	Mz	-0.18	Hoja Subplanar	0.74	Compacta	
N=205	σ	4.47		0.10		
Till	NT0464	Mz	0.30	Hoja Subacicular	0.75	Compacta
	N=211	σ	4.13		0.10	
	NT05104	Mz	-0.05	Hoja Subplanar	0.76	Compacta
	N=218	σ	4.17		0.09	
	NT05105	Mz	0.37	Hoja Subacicular	0.73	Compacta
	N=231	σ	4.66		0.09	
	NT05236	Mz	0.44	Hoja Subacicular	0.74	Compacta
	N=224	σ	4.53		0.09	
NT0541	Mz	0.44	Hoja Subacicular	0.74	Compacta	
N=226	σ	4.34		0.10		

Tabla 5.2. Parámetros de la media (Mz) y la desviación estándar (σ) de la forma y la esfericidad para el conjunto de las gravas de cada uno de los afloramientos de los diferentes DVcS. Los valores de la forma comprendidos entre 0 y 2.5 están dentro de la clase de Hoja Subacicular, mientras que los que se encuentran entre los valores comprendidos entre 0 y -2.5 se sitúan dentro de la clase de Hoja Subplanar. Para los valores de esfericidad los valores comprendidos entre 0.7 y 0.8 se encuentran en la clase verbal de partículas de esfericidad Compacta. Donde, N es el tamaño de la muestra, número de partículas.

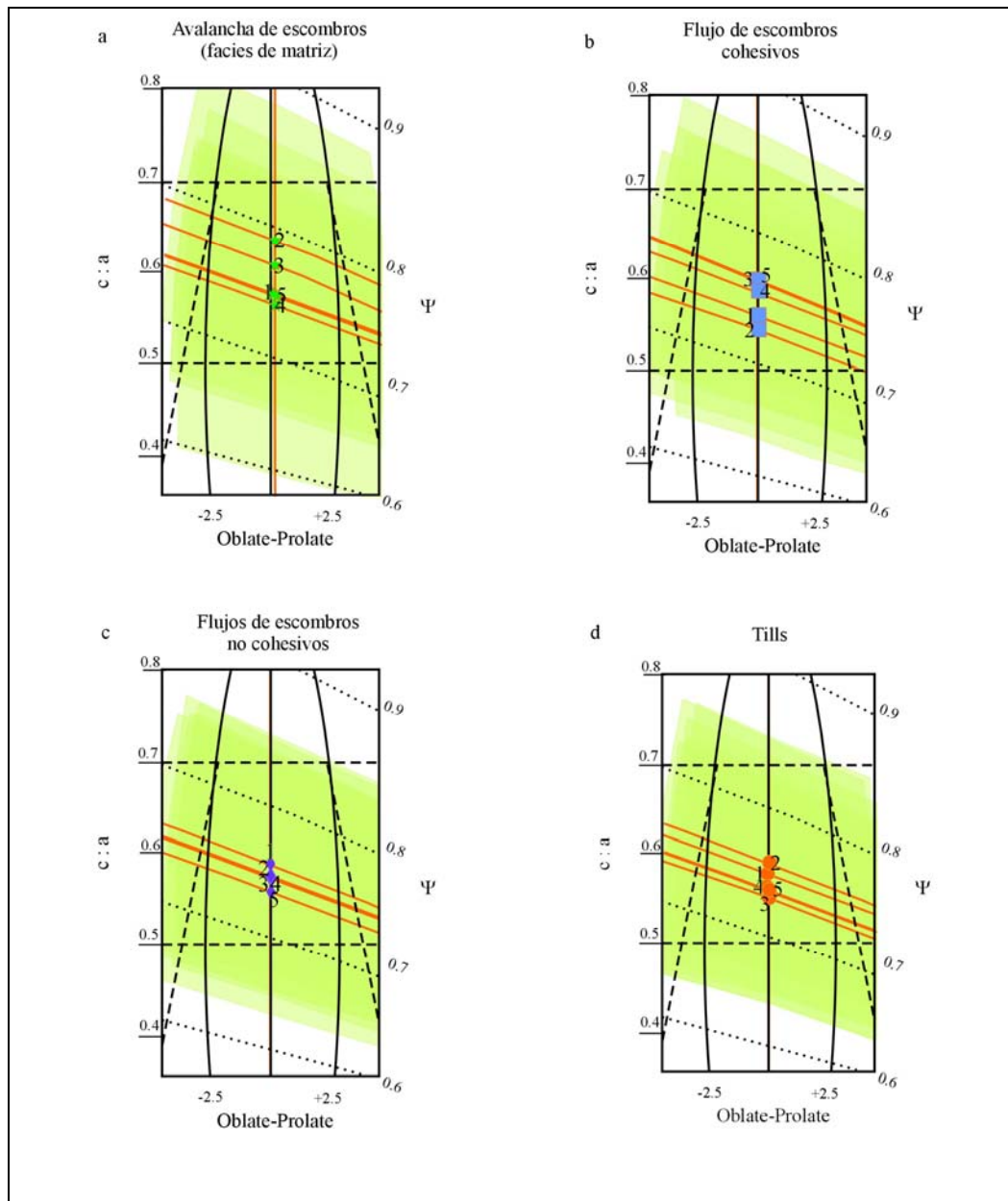
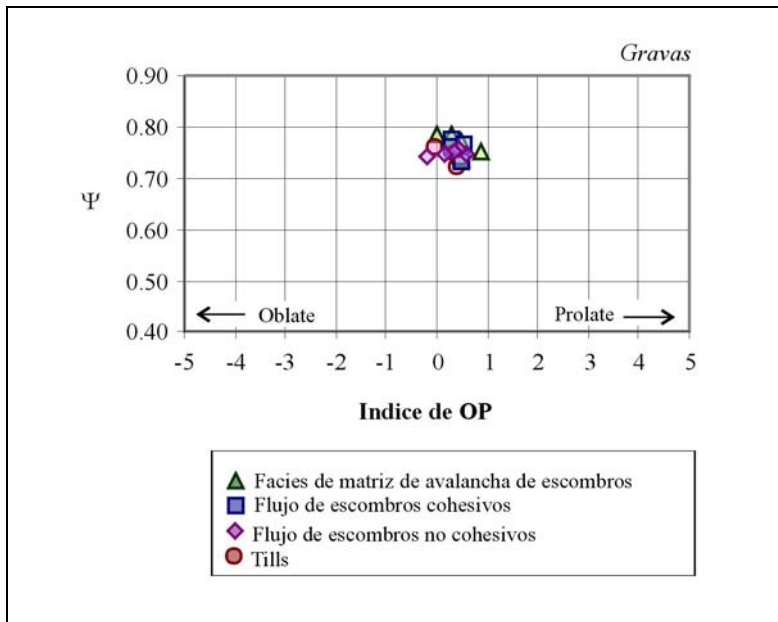


Figura 5.2. Detalle de la proyección en un diagrama triangular de Sneed & Folk (1958) de la media de los valores de la forma y esfericidad de las partículas de tamaño grava de los DVcS. El sombreado corresponde al área que delimita una desviación estándar con respecto a la media de la distribución de la forma y la esfericidad de la muestra (ver Anexo IV). Para las facies de matriz de las avalanchas de escombros: 1, NT0464; 2, NT05104; 3, NT05105; 4, NT05236; y 5, NT05241 ; para los flujos de escombros cohesivos : 1, NT19; 2, NT40; 3, NT41; 4, NT56; y 5, NT60; para los flujos de escombros no cohesivos: 1, NT0452; 2, NT0533; 3, NT0541; 4, NT0552; y 5, NT0554 ; para los *tills*: 1, NT0464; 2, NT05104; 3, NT05105; 4, NT05236; y 5, NT05241. Donde: a es el eje mayor y c es el eje menor de la partícula, y Ψ es la esfericidad.

Figura 5.3. Diagrama binario donde se compara la forma (índice *Oblate-Prolate*) frente a la esfericidad (Proyección de Máxima Esfericidad) de los diferentes DVcS. Donde, Ψ es la esfericidad y OP es *Oblate-Prolate*.



5.3.2. Redondez.

Las partículas tamaño grava de los DVcS presentan una redondez de Wadell fundamentalmente de subredondeada a subangulosa. La visualización de los parámetros de la media y desviación estándar en un histograma de distribución para el conjunto de las partículas tamaño grava de cada afloramiento analizado se pueden observar en la Figura 5.4 y en la Tabla 5.3, tanto para la redondez de Wadell (1932, 1933, 1935), como para la redondez Modificada de Wentworth (Dobkins & Folk, 1970). No está de más recordar que la redondez de Wadell proporciona un valor de redondez promedio de la partícula mientras que la redondez modificada de Wentworth proporciona un valor de la angulosidad más destacada. El análisis conjunto de estos dos parámetros de redondez se realiza con el objeto de saber si la redondez de las partículas es más o menos homogénea y por lo tanto puede informar acerca de los mecanismos predominantes del último ambiente sedimentario. El análisis de las variaciones de la redondez para cada fracción de grano (gránulo, guijarro, canto) se realiza en el Capítulo VII.

La redondez de las partículas de las facies de matriz de una avalancha de escombros y los *tills* presentan valores de media y de moda que varían de subangulosa a subredondeada (Tabla 5.3, Figura 5.4), mientras que las partículas de los flujos de escombros cohesivos y no cohesivos presentan una redondez con valores de media y moda

netamente subredondeadas (Tabla 5.3, Figura 5.4) según los cálculos de Wadell para el conjunto de las gravas de los afloramientos analizados.

	<i>Grava</i>		Redondez de Wadell		Redondez Modificada de Wentworth	
Avalancha de escombros (facies de matriz)	NT0401	Mz	0.31	Subangulosas	0.15	Angulosas
	N=76	σ	0.10		0.08	
	NT0405	Mz	0.35	Subredondeadas	0.18	Angulosas
	N=87	σ	0.12		0.11	
	NT0406	Mz	0.39	Subredondeadas	0.22	Angulosas
	N=73	σ	0.09		0.07	
Flujos de escombros cohesivos	NT0408	Mz	0.37	Subredondeadas	0.20	Angulosas
	N=72	σ	0.09		0.10	
	NT0410	Mz	0.36	Subredondeadas	0.22	Angulosas
	N=66	σ	0.10		0.08	
	NT19	Mz	0.36	Subredondeadas	0.20	Angulosas
	N=60	σ	0.10		0.09	
Flujos de escombros no cohesivos	NT40	Mz	0.38	Subredondeadas	0.20	Angulosas
	N=58	σ	0.09		0.08	
	NT41	Mz	0.38	Subredondeadas	0.22	Angulosas
	N=57	σ	0.10		0.10	
	NT56	Mz	0.38	Subredondeadas	0.20	Angulosas
	N=57	σ	0.10		0.11	
Flujos de escombros no cohesivos	NT60	Mz	0.36	Subredondeadas	0.19	Angulosas
	N=58	σ	0.10		0.09	
	NT0452B	Mz	0.42	Subredondeadas	0.29	Subangulosas
	N=32	σ	0.14		0.16	
	NT0533	Mz	0.35	Subredondeadas	0.18	Angulosas
	N=63	σ	0.09		0.09	
Flujos de escombros no cohesivos	NT0541	Mz	0.38	Subredondeadas	0.23	Angulosas
	N=63	σ	0.11		0.11	
	NT0552	Mz	0.39	Subredondeadas	0.23	Angulosas
	N=51	σ	0.13		0.15	
	NT0554D	Mz	0.40	Subredondeadas	0.23	Angulosas
	N=64	σ	0.08		0.10	
Tills	NT0464	Mz	0.31	Subangulosas	0.17	Angulosas
	N=76	σ	0.10		0.08	
	NT05104	Mz	0.44	Subredondeadas	0.27	Subangulosas
	N=77	σ	0.23		0.17	
	NT05105	Mz	0.40	Subredondeadas	0.24	Angulosas
	N=74	σ	0.12		0.11	
Tills	NT05236	Mz	0.36	Subredondeadas	0.20	Angulosas
	N=70	σ	0.08		0.08	
	NT05241	Mz	0.32	Subangulosas	0.19	Angulosas
	N=75	σ	0.09		0.08	

Tabla 5.3. Valores de la redondez media (Mz) y desviación estándar (σ) de las gravas de los diferentes afloramientos analizados para cada DVcS. Donde, N es el tamaño de la muestra, número de partículas.

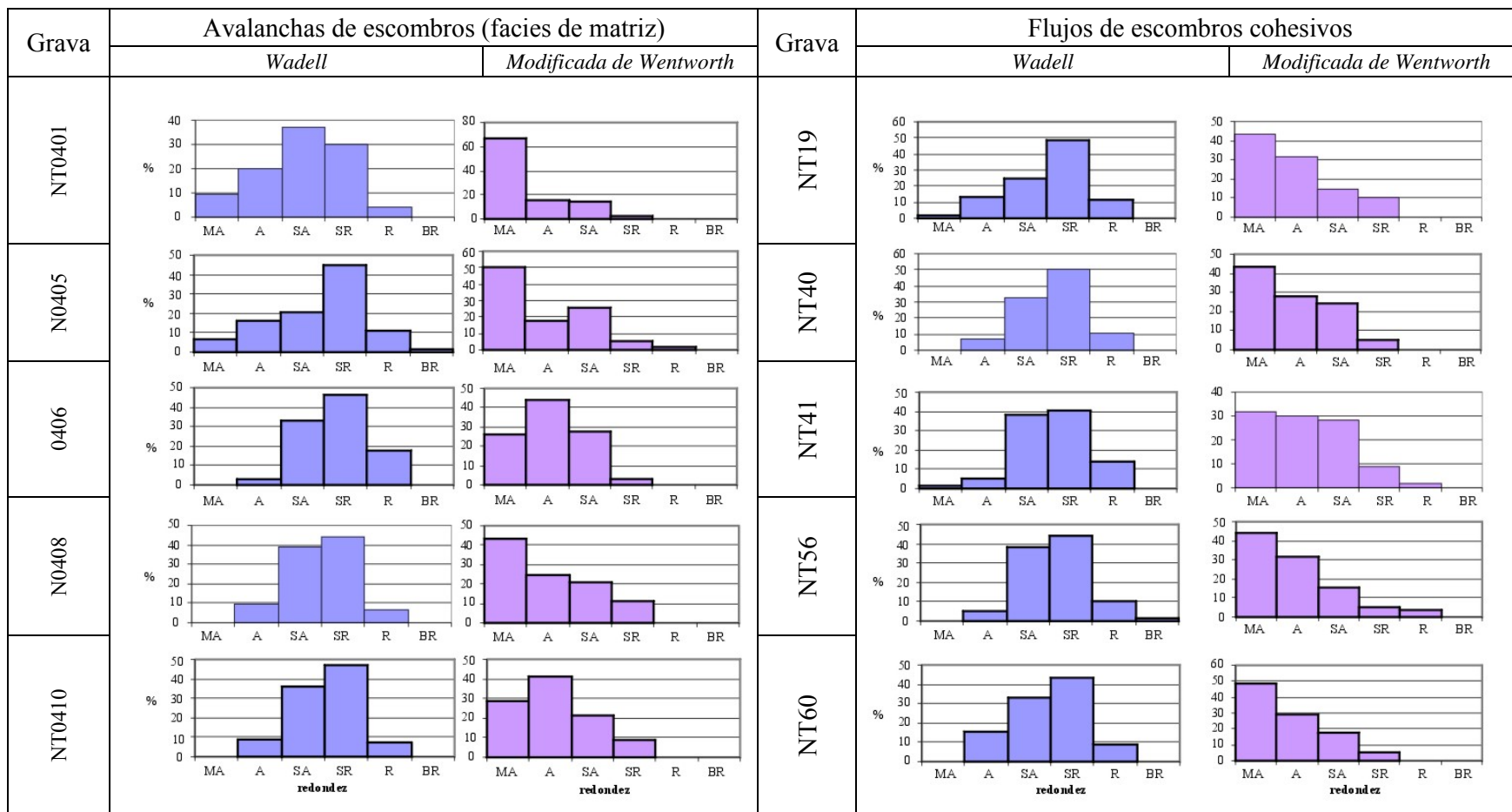


Figura 5.4. Histogramas de frecuencias de distribución de redondez según los cálculos de Wadell y la Modificada de Wentworth para el conjunto de las partículas tamaño grava de cada unos de los DVcS en estudio. Donde, MA es muy angulosa, A es angulosa, SA es subangulosa, SR es subredondeada, R es redondeada y BR es bien redondeada, según la correspondencia de intervalos de clase de Wadell y las clases verbales de Power expuestos en la Figura 3.13.

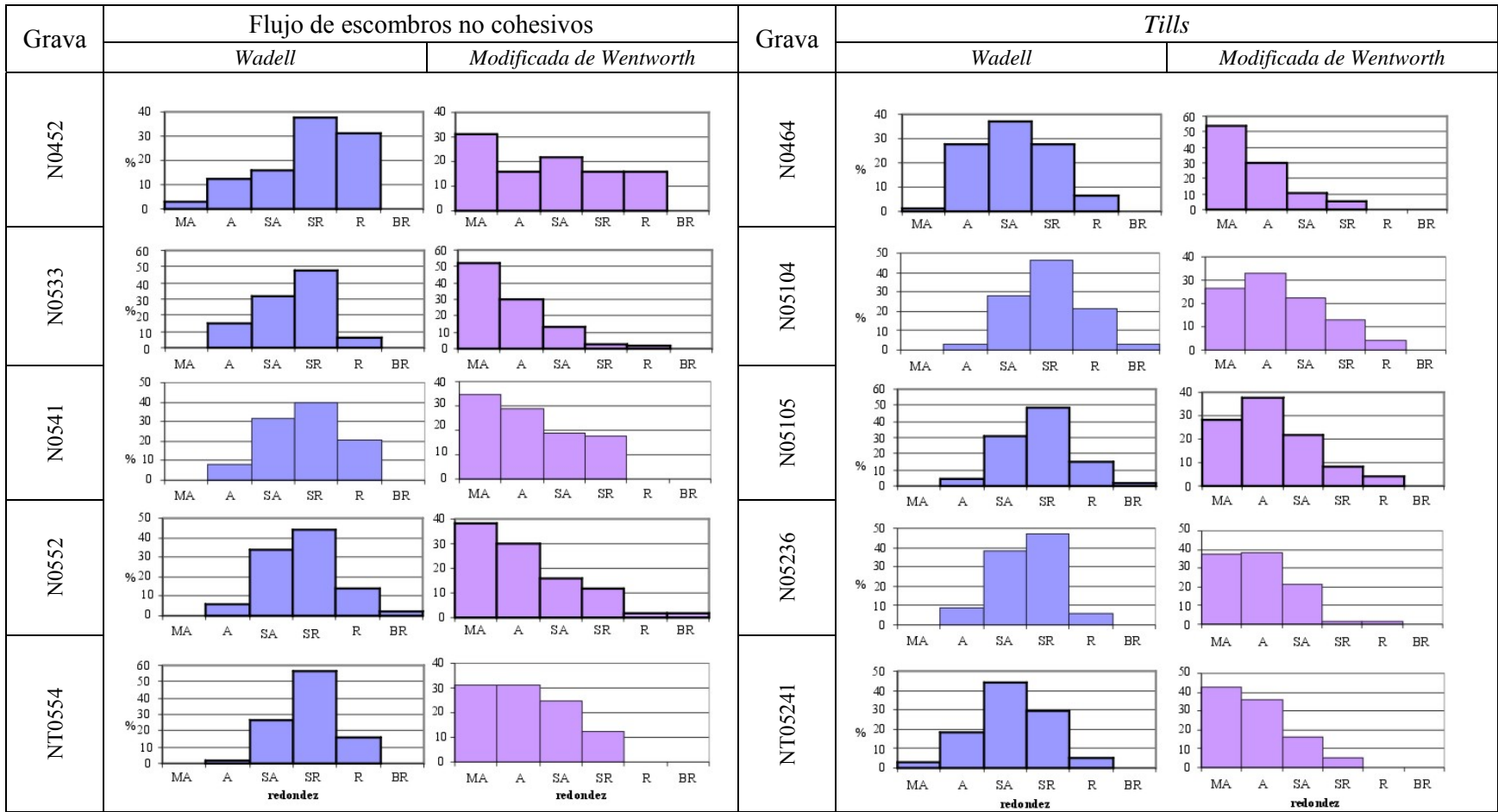


Figura 5.4. (continuación). Histogramas de frecuencias de distribución de redondez según los cálculos de Wadell y la Modificada de Wentworth para el conjunto de las partículas tamaño grava de cada uno de los DVcS en estudio. Donde, MA es muy angulosa, A es angulosa, SA es subangulosa, SR es subredondeada, R es redondeada y BR es bien redondeada, según la correspondencia de intervalos de clase de Wadell y las clases verbales de Power expuestos en la Figura 3.13.

Al observar los valores de redondez obtenidos por la Modificada de Wentworth (Tabla 5.3 y Figura 5.4) se encuentra que, por lo general, la grava de los DVcS presentan una redondez media entre angulosa y subangulosa, mostrando una diferencia significativa con los valores obtenidos por el método de Wadell (subredondeados-angulosos). Esto indica que el conjunto de las partículas tamaño grava de los DVcS presentan algún vértice significativamente más anguloso que el resto de la partícula.

5.3.3. Textura Superficial.

Las partículas de los DVcS presentan algunas texturas superficiales comunes entre sí, y otras exclusivas de cada ambiente. En el presente epígrafe se exponen los resultados obtenidos del análisis realizado a las partículas de cada uno de los DVcS en estudio. La presencia de una textura superficial en un porcentaje muy bajo (<1%) no se considera como característica representativa del ambiente de depósito de la partícula. En la Tabla 5.4 y en la Figura 5.5 se observa de manera muy esquemática el porcentaje de partículas que presentan una característica concreta para el conjunto de las gravas de cada uno de los DVcS. En el Capítulo VII se realiza un análisis más detallado en función de los tamaños de las partículas que conforman las gravas (gránulo, guijarro y canto) y en el Anexo V se exponen los resultados para cada uno de los afloramientos de cada tipo de DVcS.

Las partículas de los DVcS pueden presentar estrías, surcos, superficies cóncavas o convexas o caras planas, caras pulidas o sin pulir, fracturas incipientes, escalones, arañazos y cortes frescos. Son las partículas de los depósitos de las facies de matriz de una avalancha de escombros las que presentan mayor presencia de estrías (6.9%), superficies planas (66%), caras sin pulir (62.6%) y de fracturas incipientes (2.9%) y el menor porcentaje de surcos (1.2%) y caras pulidas (5.6%). Las partículas de los flujos de escombros cohesivos son las que menos estrías tienen (1.9%) y menor cantidad de fracturas incipientes (0.4%) y las que mayor porcentaje de partículas con superficies cóncavas o convexas (19.7%). Las partículas de *tills* son las que mayor porcentaje de surcos tienen (3.4%) y presenta el menor porcentaje de caras planas (56%) y de superficies cóncavas y convexas (9%). Cabe destacar que las partículas de los *tills* presentan el mayor porcentaje de superficies pulidas (14.4%) y el menor porcentaje de superficies no pulidas (8.1%).

Partículas con...	AE (fm)	FEC	FENC	TILL
... estrías	6.9	1.9	2.1	3.4
... surcos o <i>grooves</i>	1.2	2.3	2.5	3.1
... caras planas	66.0	64.9	57.8	56.0
... una cara plana	27.2	27.9	30.4	31.1
... mas de una cara plana	27.1	34.6	21.1	23.9
... superficies suavizadas	9.7	19.7	10.2	9.0
... caras planas pulidas	5.6	13.8	10.2	14.4
... caras planas sin pulir	62.6	24.0	21.9	8.1
... fracturas incipientes	2.9	0.4	1.6	0.7
... mas de una fractura incipiente que intersecta	0.2	0.0	0.0	0.0
... escalones (uno o mas)	6.4	5.4	8.0	4.8
... crestas	0.2	0.0	0.1	0.0
... ondulaciones	0.0	0.0	0.0	0.2
... arañazos	1.8	1.5	0.6	0.6
... marcas de percusión	0.0	0.1	0.7	0.0
... grietas	0.0	1.2	0.0	0.0
... arrugas	0.0	0.2	0.0	0.0
... aristas angulosas	0.1	0.0	0.0	0.2
... aristas redondeadas	0.0	0.0	0.0	0.6
... cortes frescos (no planos)	0.0	1.3	0.4	0.7
... cortes rectos en bajo relieve	0.1	0.0	0.0	0.0
... marcas de concavidad	0.0	0.0	0.2	0.0
N	1017	912	934	1093

Tabla 5.4. Características texturales de las partículas tamaño grava para los diferentes DVcS en estudio, las cantidades están expresadas en porcentajes de presencia de la característica evaluada en el total de partículas analizadas. Donde, AE (fm) corresponde a facies de matriz de una avalancha de escombros, FEC a flujos de escombros cohesivos, FENC a flujos de escombros no cohesivos y *TILL* a los *tills*. N es el número de partículas analizadas para cada tipo de depósito.

De las características de la textura superficial de las partículas de los DVcS exclusivas de cada ambiente, destacan: las facies de matriz de avalanchas de escombros sus partículas pueden presentar fracturas que se intersectan, así como cortes rectos en bajo relieve; las partículas de los flujos de escombros presentan marcas de percusión y concretamente en las partículas de los flujos de escombros cohesivos tienen grietas y arrugas, y en las partículas de los flujos de escombros no cohesivos se reconocieron marcas de concavidad; por último, las partículas de los *tills* presentan ondulaciones y aristas redondeadas.

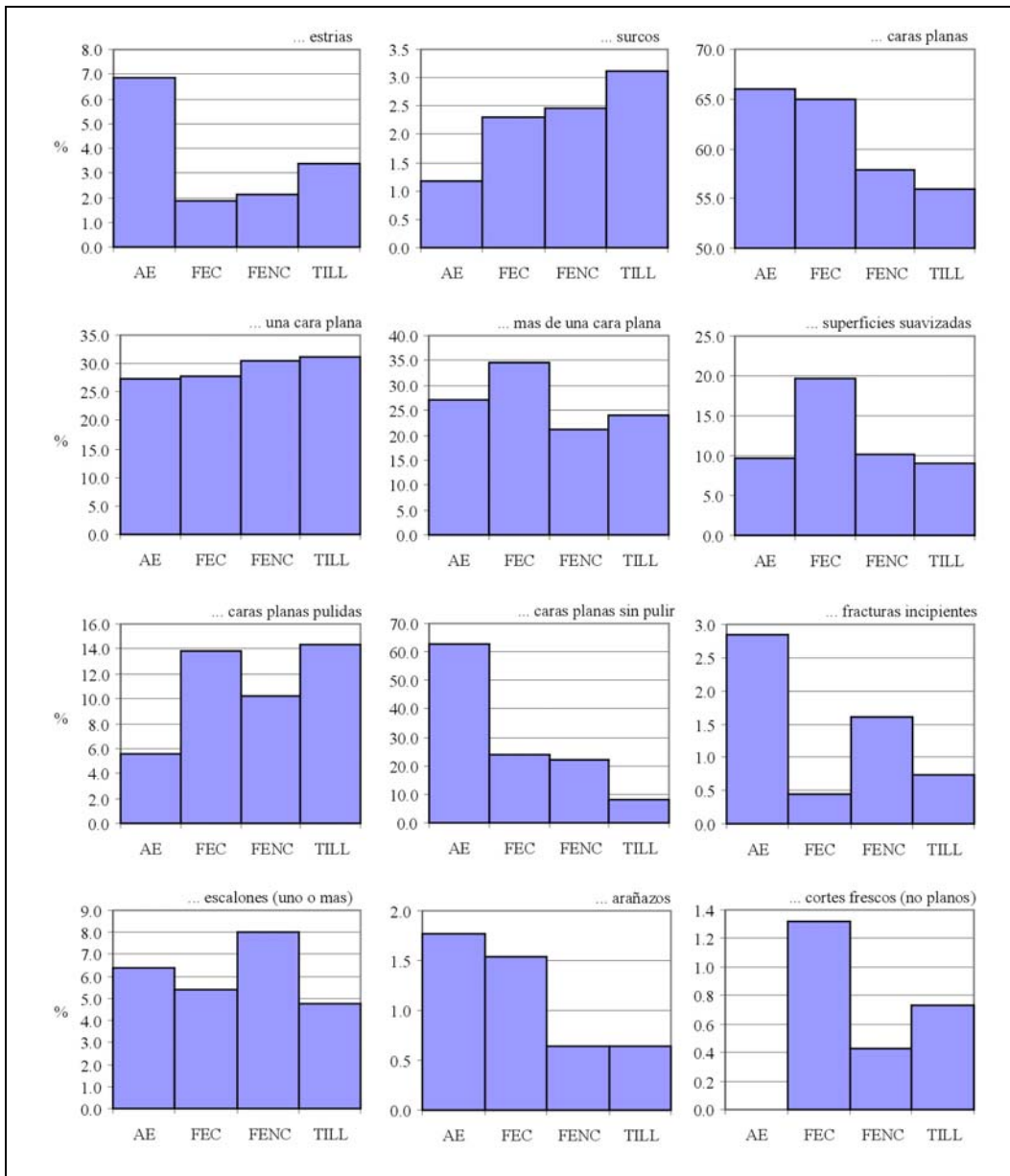


Figura 5.5. Porcentaje de la presencia de una determinada textura superficial en las partículas de cada uno de los DVcS. Solo se representaron las características que son comunes a todos los tipos de depósitos en estudio y que superaran el 1% de presencia. Donde, AE corresponde a las partículas de los depósitos de las facies de matriz de una avalancha de escombros, FEC a las partículas de los depósitos de los flujos de escombros cohesivos, FENC a las partículas de los depósitos de los flujos de escombros no cohesivos y TILL a las partículas de los depósitos de los tills. El número de la muestra es de 1017 partículas de facies de matriz de avalancha de escombros, 912 partículas de flujos de escombros cohesivos, 934 partículas de flujos de escombros no cohesivos y 1093 partículas de tills.

5.4. Comparación y discusión de la morfología de las partículas de los depósitos volcanoclásticos sedimentarios.

En el presente apartado se sintetizan los resultados obtenidos de la comparación de las diferentes características de la morfología de las partículas entre sí y se expondrá la discusión de los resultados incluyendo las diferentes características de la morfología de las partículas.

Al comparar la forma, la esfericidad y la redondez (Figura 5.6) se observa que el conjunto de las partículas tamaño grava de los DVcS caen dentro del área de las partículas con esfericidad compacta, entre 0.73 y 0.79 de Ψ (Tabla 5.2), con forma de hoja subplanar y subacicular, entre -0.18 y 0.9 del índice *Oblate-Prolate* (Tabla 5.2), y del área de las partículas subangulosas y subredondeadas, entre 0.31 y 0.44, del índice de Wadell (Tabla 5.3).

Del análisis de la Figura 5.6 se deduce que la redondez puede ser una característica discriminante entre los depósitos analizados, mientras que la forma y la esfericidad no muestran tendencias definidas de acuerdo al mecanismo de transporte y sedimentación. Los valores de la redondez de Wadell media varían de subangular a subredondeado para las partículas de las facies de matriz de las avalanchas de escombros y para los *tills*, mientras que para las partículas de los flujos de escombros la redondez media es subredondeada. Por otro lado, los valores de la forma son por lo general poco variables, mostrando mayor rango de variación en las partículas de las facies de matriz de una avalancha de escombros, y menor rango de variación en los flujos de escombros cohesivos. Finalmente, los valores de la esfericidad son los menos variables de todos.

Tal y como se observa en el resumen de la Tabla 5.5 no hay una forma, esfericidad o redondez característica para cada tipo de DVcS. Por lo que se puede afirmar que los procesos de formación, transporte y sedimentación de las partículas no quedan reflejados explícitamente en la morfología de las partículas.

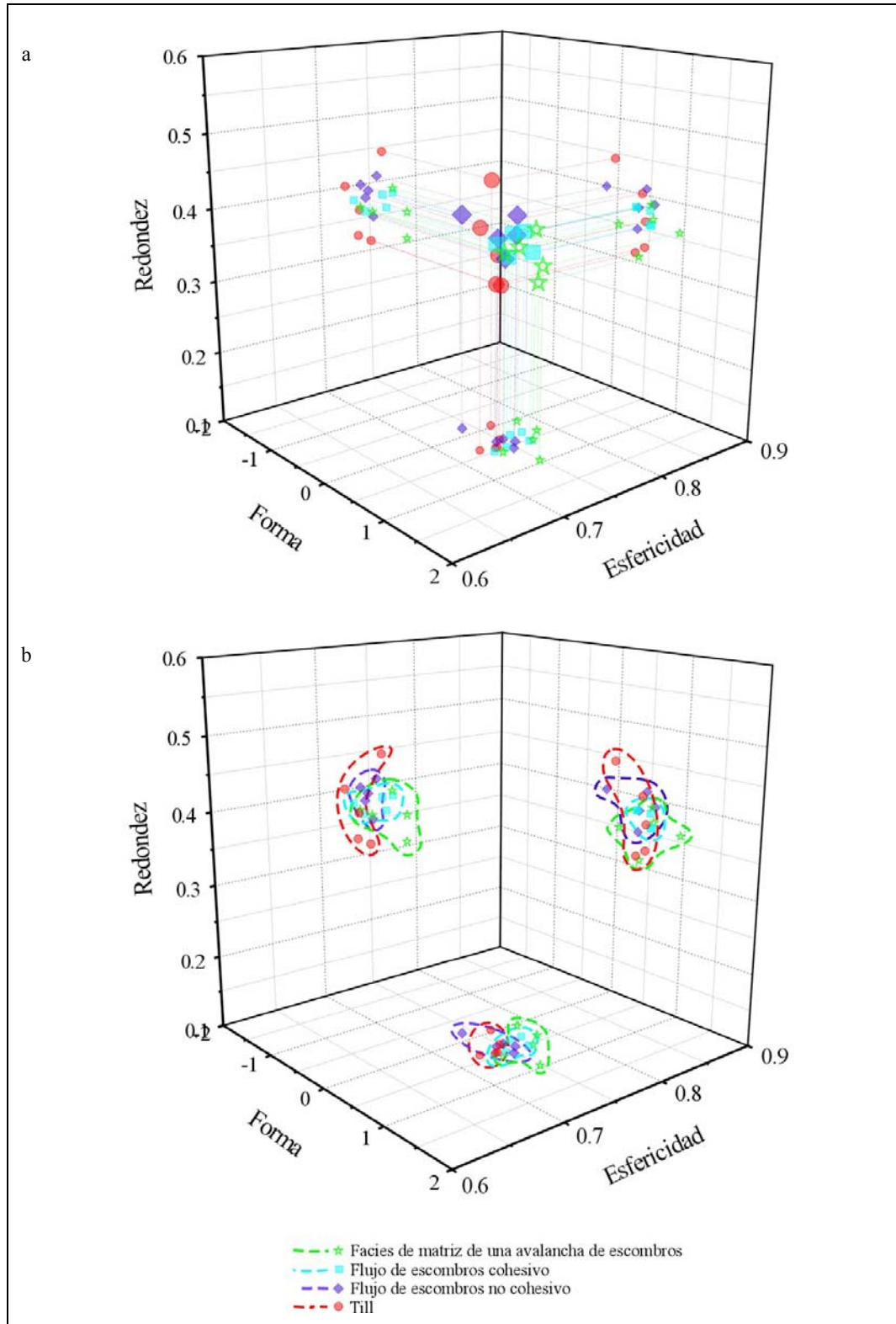


Figura 5.6. Comparativa en una proyección trivariante de los diferentes DVcS, donde cada eje corresponde a cada una de las características de la morfología de la partícula: forma (índice *Oblate-Prolate*), esfericidad (Ψ , Proyección de Máxima Esfericidad) y la redondez (índice de Wadell). En a) líneas de proyección a partir de los puntos localizados en el espacio trivariante que define cada parámetro de la morfología de la partícula, y en b) puntos de proyección en cada plano bivariante.

Grava	Avalancha de escombros (facies de matriz)	Flujos de escombros cohesivos	Flujos de escombros no cohesivos	Tills
Forma	Hoja (subplanar-subaciculada)	Hoja (subaciculada)	Hoja (subplanar-subaciculada)	Hoja (subplanar-subaciculada)
Esfericidad	Compacta	Compacta	Compacta	Compacta
Redondez	Subredondeadas a subangulosas	Subredondeadas	Subredondeadas	Subredondeadas a subangulosas
Textura superficial	Estrías , surcos, superficies concavas y convexas, superficies sin pulir, fracturas incipientes y escalones en algunas superficies.	Superficies concavas y convexas , surcos, superficies sin pulir, escalones en algunas superficies, estrías.	Estrías, surcos, superficies concavas y convexas, superficies sin pulir, fracturas incipientes, escalones en algunas superficies.	Surcos , estrías, superficies pulidas , escalones en algunas superficies, superficies concavas y convexas.

Tabla 5.5. Resumen de los resultados del análisis de la morfología de las partículas en todas sus propiedades (forma, esfericidad, redondez y textura superficial). En negrita se remarca la textura superficial más abundante en las partículas de cada tipo de depósito al compararla con los demás depósitos analizados.

Otro examen sobre la morfología de las partículas que puede servir de gran ayuda es el análisis de la covarianza entre muestras del índice C_{40} (el porcentaje de clastos con una proporción $c/a \leq 0.4$) y el índice RA (el porcentaje de los clastos muy angulares y angulares en una muestra) proporciona una información valiosa para discriminar los clastos con historias de erosión glaciár diferentes (Benn & Ballantyne, 1994). Valores bajos de C_{40} y RA corresponden a depósitos transportados activamente en un till basal, mientras que los valores altos de C_{40} y RA corresponden a clastos no modificados de meteorización por congelación (Benn & Ballantyne, 1994). Para los DVcS aquí analizados, el transporte activo de las partículas implica la interacción entre partículas o entre partículas y fluido, mientras que el transporte pasivo indica un transporte en masa de las partículas. Un alto índice de RA podría indicarnos una mayor presencia de partículas angulosas bien porque no sufren abrasión, lo que se asocia a transporte pasivo, o bien por fragmentación durante el transporte, lo que se vincula a un transporte activo. Merece la pena recordar que los valores de la redondez utilizados en este trabajo para estimar los porcentajes de angulosidad para el índice RA son los valores de la redondez de Wadell. Estos plasman el aspecto general de la partícula, por lo cual son un indicador idóneo del grado de abrasión de las partículas, es por esto que en este estudio el índice de RA con valores de redondez de Wadell reflejan directamente el poder abrasivo de un transporte activo.

La Figura 5.7-a representa el análisis de la covarianza entre el índice C_{40} y el índice RA para la grava de los diferentes DVcS, donde todas las partículas se presentan por debajo de los valores del 30% para el índice RA y por debajo del 15% para el índice C_{40} , lo que indica una muy alta proporción de partículas transportadas activamente y que los mecanismos de transporte de las partículas de los depósitos analizados tienen el potencial de modificar la forma y redondez de los clastos.

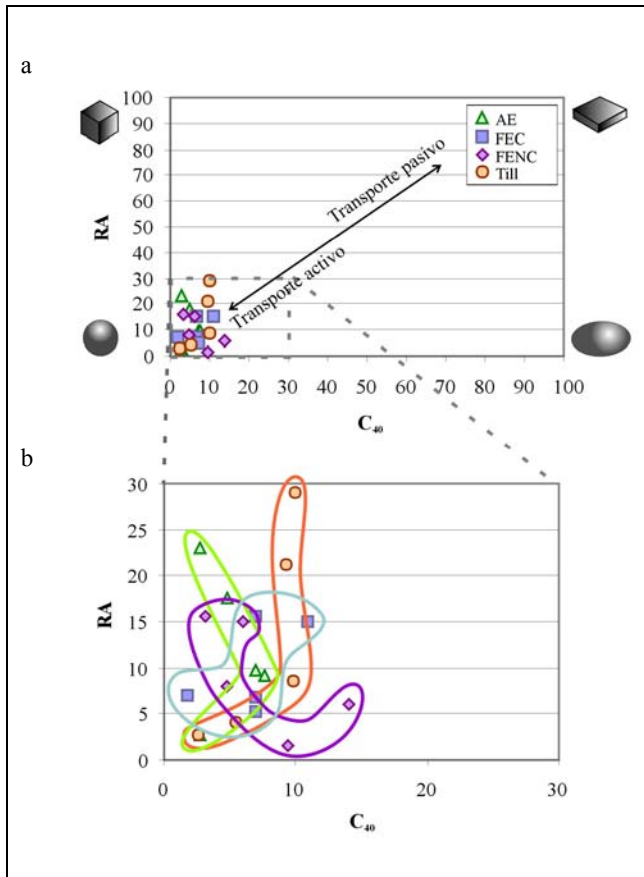


Figura 5.7: a) Covarianza entre el índice C_{40} y el índice RA de los DVcS. Las figuras geométricas indican la forma y redondez predominante en cada uno de los vértices de esta gráfica. b) Detalle analítico de la covarianza entre el índice C_{40} y el índice RA de los DVcS. Donde: AE, corresponde a partículas de facies de matriz de una avalancha de escombros; FEC, de flujos de escombros cohesivos; FENC de flujos de escombros no cohesivos; y TILL de *tills*.

Si se analiza más detenidamente la Figura 5.7-b se puede distinguir que las muestras de las facies de matriz de una avalancha de escombros y de los *tills* presentan mayor dispersión en los valores de RA de las partículas, lo cual apunta que en las muestras con valores relativamente altos de RA (hasta 30%) los sedimentos son transportados pasivamente frente a las muestras que presentan valores bajos de RA como es el caso de los flujos de escombros. Esto indica que en las muestras con valores más altos de RA hay partículas de tamaño grava que no han sufrido abrasión que las redondeen o que han sufrido una reciente fracturación que explique la presencia de vértices, aristas y/o caras angulosas. Por el contrario, los depósitos de flujos de

escombros no cohesivos presentan muestras con valores relativamente altos de RA y relativamente bajos de C_{40} , lo que sugiere que las partículas que pudieron haber sido transportadas activamente son más angulosas, mientras que los valores relativamente bajos de RA y relativamente altos de C_{40} , apunta que las partículas transportadas pasivamente son redondeadas. Finalmente las muestras de los flujos de escombros cohesivos se agrupan en valores bajos de RA y C_{40} , lo que indicaría un transporte de tipo activo. Por los resultados obtenidos a través de los índices C_{40} y RA se puede corroborar que la redondez proporciona información acerca de los ambientes de transporte.

Finalmente, cabe hacer un par de comentarios acerca de los resultados obtenidos del análisis de la textura superficial del conjunto de las gravas para cada tipo de depósito expuesto en el Apartado 5.3.3. La presencia de un mayor porcentaje de superficies sin pulir por parte de las facies de matriz de las avalanchas de escombros, flujos de escombros cohesivos y no cohesivos, puede indicar el alto índice de fracturación fresca. Mientras que un mayor porcentaje de superficies pulidas para las partículas de los depósitos de *tills* pueden indicar un alto índice de abrasión. Segundo, el bajo porcentaje de estrías en las gravas de los depósitos de *till* no es un resultado extraño, considerando que las estrías manifiestan el grado de abrasión en las partículas durante el transporte en el hielo y muy difícilmente el hielo logra pulir las partículas de grava que transporta, a no ser que haya un movimiento diferencial en la zona endoglaciaria o si dicha grava estaba localizada en el lecho glaciario, y posteriormente recogidas y transportadas. No existe la menor duda de la presencia de estrías en escombros basal o en la roca del lecho glaciario, tal y como ha sido descrito para otros glaciares de características similares (Benn & Owen, 2002) o diferentes (Sharp, 1985) a los glaciares de alta montaña tropicales, cuyos depósitos de *till* aquí se analizan, a pesar de que en nuestro trabajo de campo nunca se pudo observar el lecho por donde fluyó el glaciar.

5.5. Conclusiones.

El análisis de la morfología de la partícula (forma, esfericidad, redondez y textura superficial) de las partículas tamaño grava de los DVcS ha permitido llegar a las

siguientes conclusiones:

1. los análisis individuales de los diferentes aspectos de la morfología de las partículas de tamaño grava no muestran que haya una forma, esfericidad o redondez significativamente característica para cada tipo de DVcS;
2. los análisis individuales de los diferentes aspectos de la morfología de las partículas de tamaño grava indican que los procesos de formación, transporte y sedimentación de las mismas no quedan reflejados de manera explícita;
3. la redondez es el parámetro de la morfología de las partículas de grava más discriminante entre los DVcS, al ser el más variable;
4. el análisis de la covarianza entre el índice C_{40} y el índice RA muestra diferentes tendencias para cada tipo de DVcS que aporta información acerca del transporte de las partículas de tamaño grava;
5. en general las partículas de tamaño grava de los DVcS presentan bajos valores de los índices C_{40} (<15%) y RA (<30%), lo cual indica que las gravas de los DVcS en general fueron transportadas activamente;
6. las partículas tamaño de grava de los depósitos de facies de matriz de una avalancha de escombros reúnen características de transporte activo, bajos valores de C_{40} , aunque los altos valores de RA de algunas muestras nos indican un transporte pasivo;
7. las partículas tamaño de grava de los depósitos de *tills* se caracterizan por un transporte activo por la presencia de bajos valores de C_{40} , aunque los altos valores de RA de algunas muestras nos indican un transporte pasivo;
8. las partículas tamaño de grava de los depósitos de flujos de escombros no cohesivos se caracterizan porque las muestras que han sido transportadas pasivamente presentan las gravas más redondeadas (valores relativamente altos de C_{40} y bajos de RA) y las muestras que han sido transportadas activamente tienen las gravas relativamente más angulosas (valores relativamente bajos de C_{40} y altos de RA);
9. las partículas tamaño de grava de los flujos de escombros cohesivos se agrupan en valores bajos de RA y C_{40} , lo que indicaría un transporte de tipo activo.

VI. ANÁLISIS DE LA FÁBRICA.

La fábrica de un depósito se refiere a todas las propiedades de la dirección de un sedimento, incluyendo la orientación de las partículas, los planos de estratificación interna, los pliegues, las fallas y las superficies de erosión, entre otras (Benn, 2004_b). La mayoría de los estudios se focalizan en estudiar las fábricas del eje a , dado que las partículas se orientan cuando son sujetas a un campo de esfuerzos, por lo tanto proporcionan información de la sedimentación. Otra de las propiedades de la dirección de una partícula, analizada en algunos trabajos de depósitos de origen glaciar, es la orientación del plano $a-b$ de las partículas, el cual generalmente se orienta para minimizar la resistencia al agua o hielo de la partícula (Benn, 2004_b). El presente trabajo se limita al análisis de la propiedad de dirección del eje a , el más largo de las partículas.

El análisis de la fábrica de los sedimentos puede proporcionar información invaluable acerca de la formación de los procesos de sedimentación y ambientales, desde las direcciones de flujo de un glaciar, de un río o del viento, hasta la dinámica del flujo que dio lugar al transporte en masa (Benn, 2004_b; Trucker, 1982). He aquí la motivación de analizar y comparar las fábricas de los diferentes DVcS.

6.1. Antecedentes.

Existen trabajos muy puntuales que plantean distinguir dos depósitos desde el punto de vista de la orientación de los clastos. Uno de ellos es el que realizó Mills (1984), en el cual estudia la fábrica de un flujo de escombros no cohesivo y la compara con fábricas reportadas previamente para flujos de escombros y *tills* no volcanoclásticos.

Aparte de este trabajo, existen algunos otros que desarrollan cuantitativamente el estudio de la fábrica de algunos de los tipos de los DVcS en estudio, concretamente de los flujos de escombros cohesivos (Vallance & Scott, 1997), flujos de escombros no cohesivos

(Major & Voight, 1986; Capra *et al.*, 2004) y de los depósitos de origen glaciario (p. ej. Dowdeswell *et al.*, 1985). Una vez más, no se cuenta con datos de depósitos de *till* originados en ambiente de montañas tropicales, como es el caso de los glaciares que se desarrollaron en las laderas del Nevado de Toluca.

Del análisis cuantitativo de la fábrica de las avalanchas de escombros volcánicas, sólo se ha encontrado el trabajo de Schneider & Fisher (1998), en el cual se describe la ausencia de clastos imbricados analizando la fábrica del depósito a través del método de fábrica magnética, es decir, estudiando la anisotropía de susceptibilidad magnética (anisotropy of magnetic susceptibility, AMS) para definir la dirección del transporte.

Gracias a estos trabajos y a las observaciones cualitativas de otras publicaciones, se sabe que los depósitos de avalanchas de escombros presentan imbricación de los clastos en la dirección del flujo solo en facies muy distales (aunque esto no es sistemático), las partículas tamaño guijarro de flujos de escombros, en general, pueden presentar una orientación preferencial del eje *a* paralelos a la dirección de flujo (Mullineaux & Crandell, 1962; Vallance, 2000) y que los depósitos de *till*, que responden a la definición de *diamict*, normalmente manifiestan una orientación de los clastos preferencial paralela al flujo del hielo, sin embargo, las orientaciones transversales también son posibles (Hambrey, 1994).

6.2. Base de datos.

En este estudio, el análisis de la fábrica se realizó solamente para las partículas tamaño grava ($> -1\phi$, $> 2\text{mm}$), es decir a escala macro. El análisis de la macrofábrica es aplicado para aquellas propiedades distinguibles a simple vista. En nuestro estudio la toma de datos se restringió a obtener la orientación e inclinación de los ejes *a* de las partículas para tamaños entre -4 y -8ϕ (16 y 256 mm). El motivo es la dificultad de manipular las partículas menores a -4ϕ (16 mm) y que durante la toma del dato se añade un error que invalida el resultado. El número de clastos analizados en cada muestra fue de 50, procurando que al menos hubiese 10 partículas por cada intervalo de ϕ .

Los afloramientos seleccionados para el estudio de la fábrica son los mismos que los empleados para el análisis de la morfología de las partículas de las facies de matriz de las avalanchas de escombros y los depósitos de *till*. No se capturaron los datos de los flujos de escombros por haber suficientes datos bibliográficos que pueden proporcionar la información que se necesita.

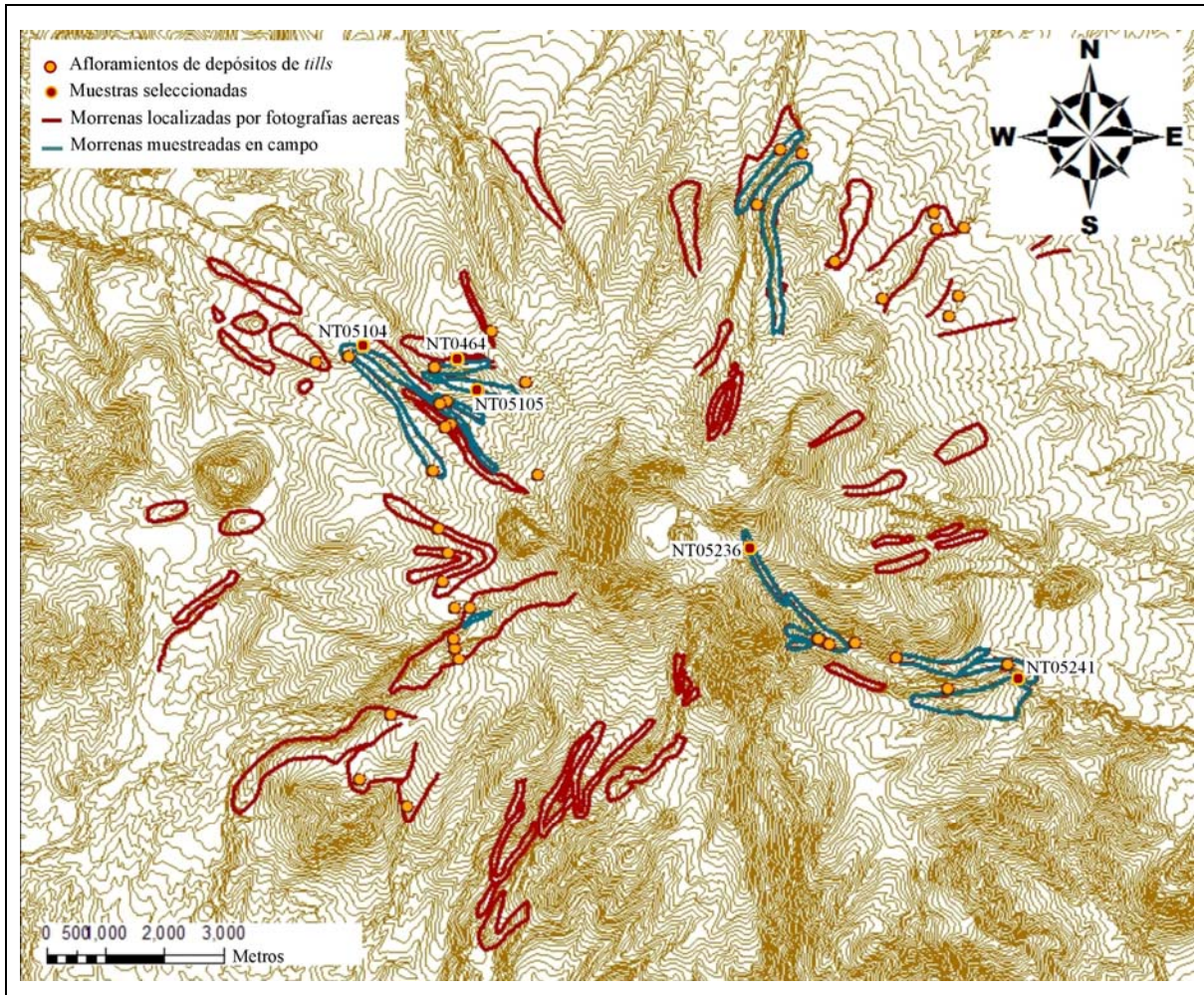


Figura 6.1. Distribución de las morrenas en el Nevado de Toluca y los afloramientos de depósitos de tills. En un círculo rojo oscuro se resaltan los depósitos elegidos para el análisis de la fábrica y la morfología de las partículas.

Aunque hay bastante información acerca de los depósitos de tills, no existe ningún trabajo previo que analice la fábrica de las morrenas de glaciares de montaña tropical. La distribución espacial de las morrenas del Nevado de Toluca ha sido reconstruida gracias al trabajo de campo realizado en base a la cartografía previa de Vázquez-Selem & Heine

(2004) y la fotointerpretación realizada en este trabajo. Desgraciadamente las morrenas no presentan los suficientes afloramientos que permiten evaluar espacialmente la fábrica de un solo cuerpo (Figura 6.1). Es por esto que se optó por realizar el análisis de la fábrica sobre los mismos afloramientos que se escogieron para el análisis de la morfología de las partículas (Tabla 5.1). Aunque no muestren la distribución de la fábrica de un solo cuerpo se puede evaluar cómo es la fábrica de las partículas para diferentes distribuciones.

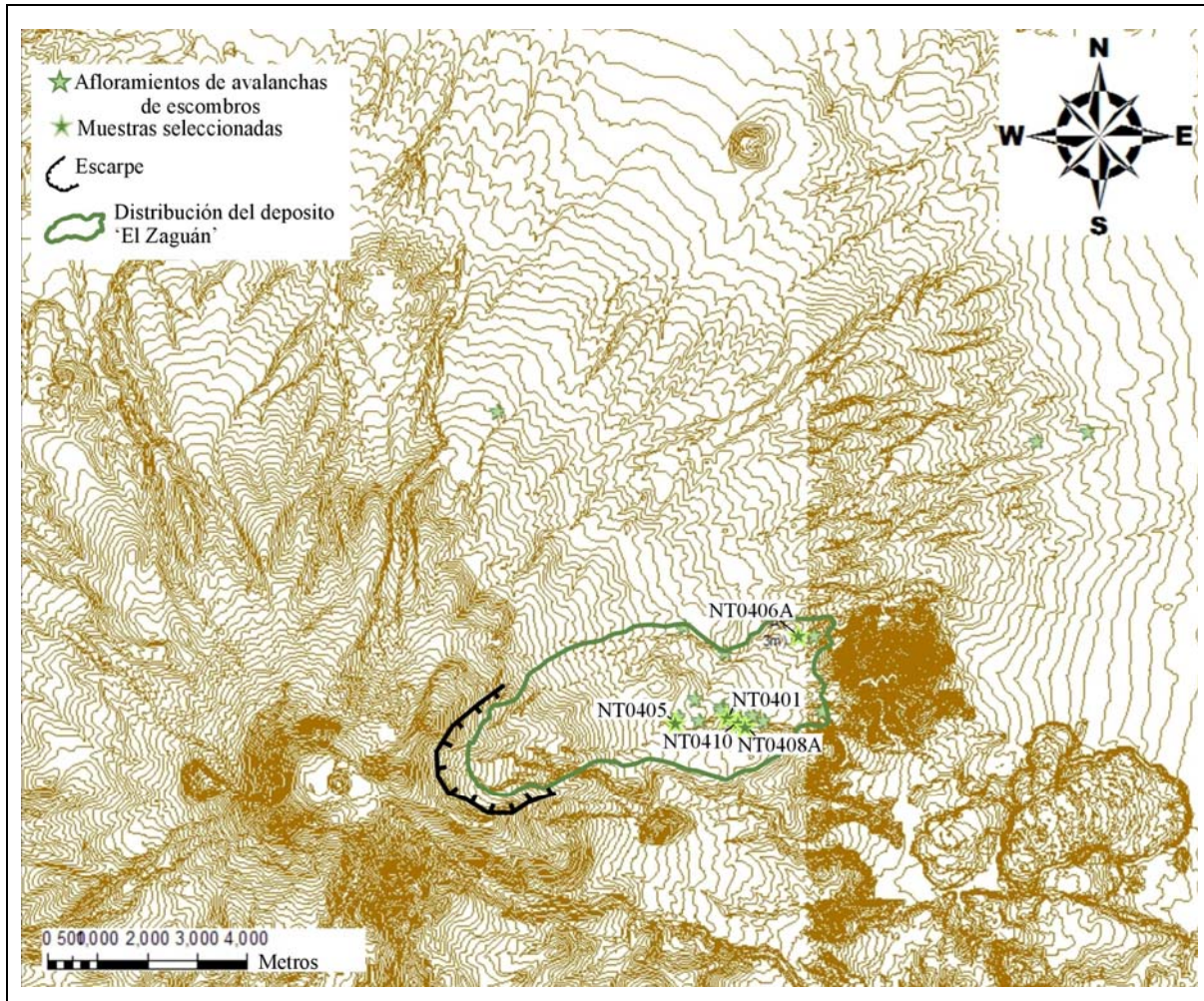


Figura 6.2. Distribución de la avalancha de escombros El Zaguán en la ladera E del Nevado de Toluca (Caballero, 2007) y los afloramientos de dicho depósito y de otras avalanchas de escombros localizadas el NE del cráter. Con una estrella verde oscuro se resaltan los depósitos elegidos para el análisis de la fábrica y la morfología de las partículas.

Como ya se mencionó en el epígrafe de Antecedentes de este capítulo, no se ha encontrado trabajo alguno que evalúe cuantitativamente la fábrica clástica (eje *a* de las partículas) del depósito de una avalancha de escombros y mucho menos las facies de matriz

de las mismas. La captura de los datos y el tratamiento de los mismos se realizaron para los 5 afloramientos de las facies de matriz de avalanchas de escombros en donde se analiza la morfología de las partículas (Tabla 5.1). Estos afloramientos corresponden a la avalancha de escombros El Zaguán y se distribuyen a lo largo del eje longitudinal O-E. donde se localizan los afloramientos NT0405, NT0401, NT0410, NT0408 en el sentido de la dirección del flujo y, por último, el afloramiento NT0406, localizado a al NE-ENE de la cicatriz del colapso (Figura 6.2).

6.3. Fábrica de los depósitos volcanoclásticos sedimentarios.

6.3.1. Fábrica de las facies de matriz de una avalancha de escombros.

Los resultados obtenidos de la fábrica para las facies de matriz de una avalancha de escombros se pueden visualizar en la Figura 6.3 y están resumidos en la Figura 6.4 y en la Tabla 6.1. Para los afloramientos NT0405, NT0401, NT0410 y NT0408 localizados en el eje del flujo, no hay una distribución unimodal de la orientación de las partículas, lo cual impide reconstruir con claridad cual es la imbricación de las gravas en relación al sentido del flujo. Mientras que para el afloramiento NT0406 si se observa una distribución unimodal de la orientación de las partículas. Este es el punto más distal de todos y el único que se encuentra fuera del eje de distribución de los demás afloramientos. La dirección predominante del eje a de las partículas en este afloramiento es al SO y existe una correlación entre la dirección e inclinación de las partículas, la cual indica la dirección de la cual proviene el flujo.

Al observar la representación gráfica de los *eigenvectors* de los afloramientos arriba analizados (Figura 6.4) se reconoce una tendencia hacia el OSO y hacia el S del *eigenvector-1*. Esto puede indicar que existe una fábrica interna dentro de las facies de matriz de las avalanchas de escombros. De hecho los *eigenvalues* S_1 y S_3 presentan valores que indican una fortaleza de la fábrica significativa al 0.05, es decir, presenta un 95% de confianza, a excepción del afloramiento NT0406 donde se reduce al 0.01, es decir, presenta un 99% de confianza (Tabla 6.1).

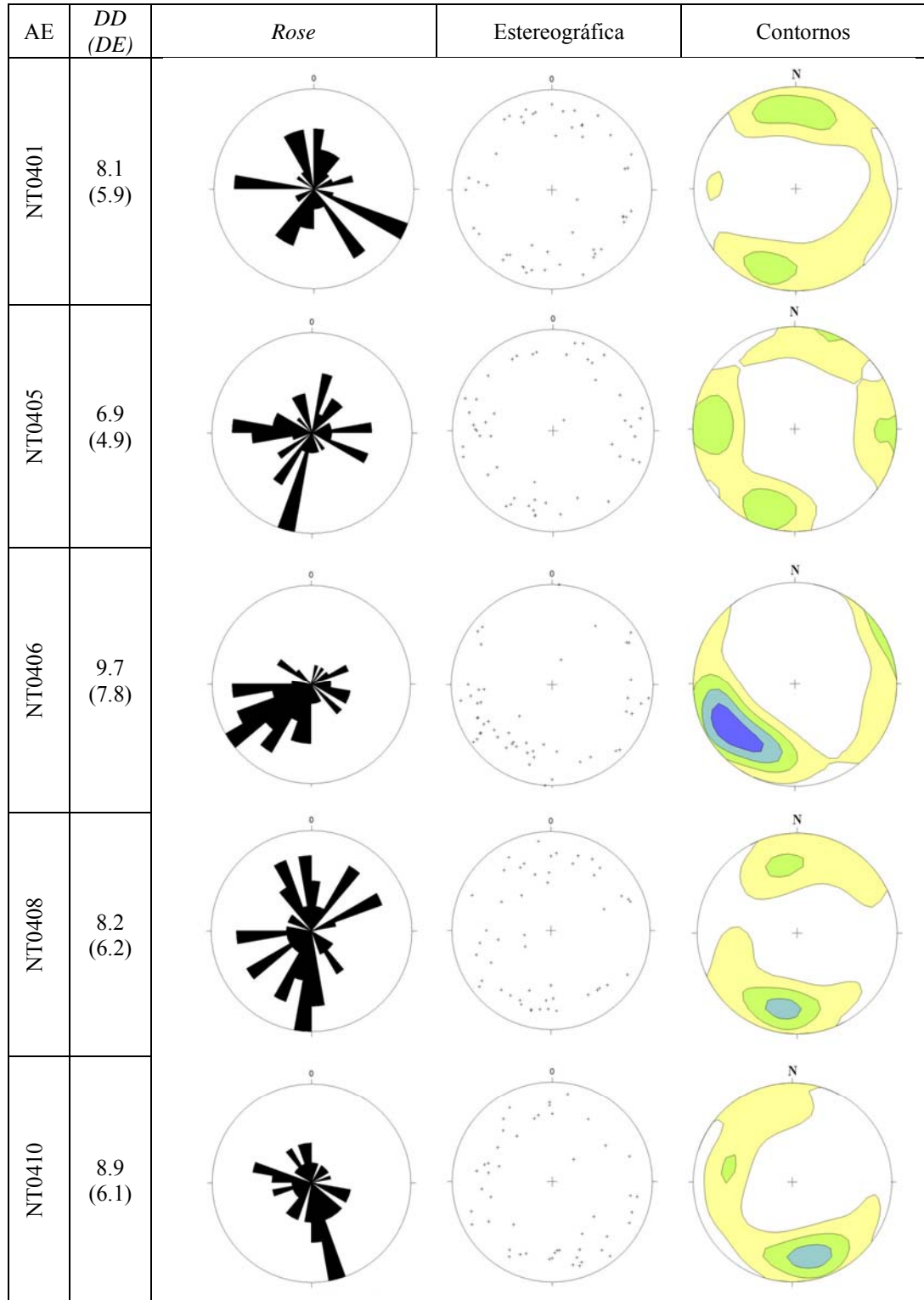


Figura 6.3. Representación gráfica de la fábrica de las partículas de los depósitos de facies de matriz de una avalancha de escombros (AE). En los diagramas de proyección estereográfica de contornos los intervalos son a 2 desviaciones estándar (Kamb, 1959). Donde: DD es distancia en kilómetros al domo actual del Nevado de Toluca y DE es la distancia en kilómetros al eje del escarpe topográfico que dejó la avalancha de escombros El Zaguán..

muestra	N	<i>eigenvectors</i>						<i>eigenvalues</i>		
		V_1		V_2		V_3		S_1	S_2	S_3
		direcc.	incl.	direcc.	incl.	direcc.	incl.			
NT0401	50	182.2	0.2	92.1	9.6	273.4	80.4	0.487	0.328	0.184
NT0405	50	241.5	7.6	331.6	0.5	65.3	82.3	0.470	0.362	0.168
NT0406A	50	236.4	19.8	139.9	17.4	11.7	63.1	0.600	0.307	0.093
NT0408A	50	193.1	5.8	287.4	36.1	95.3	53.3	0.498	0.304	0.199
NT04010	50	159.3	5.8	252.2	27.1	58.1	62.1	0.486	0.330	0.184

Tabla 6.1. Análisis de los *eigenvalue* y *eigenvector* de la fábrica de las partículas de los depósitos de facies de matriz de una avalancha de escombros del Nevado de Toluca. Los valores críticos para un nivel de significación del 0.05 son: $S_1= 0.460$ y $S_3= 0.216$, y para un nivel de significación del 0.01 son: $S_1= 0.484$ y $S_3= 0.198$, para una $N=50$ (Mark, 1973, 1974). Los valores de S_1 más grandes al valor crítico y los S_3 más pequeños al valor crítico son significativos con un 95% o 99% de confianza, respectivamente.

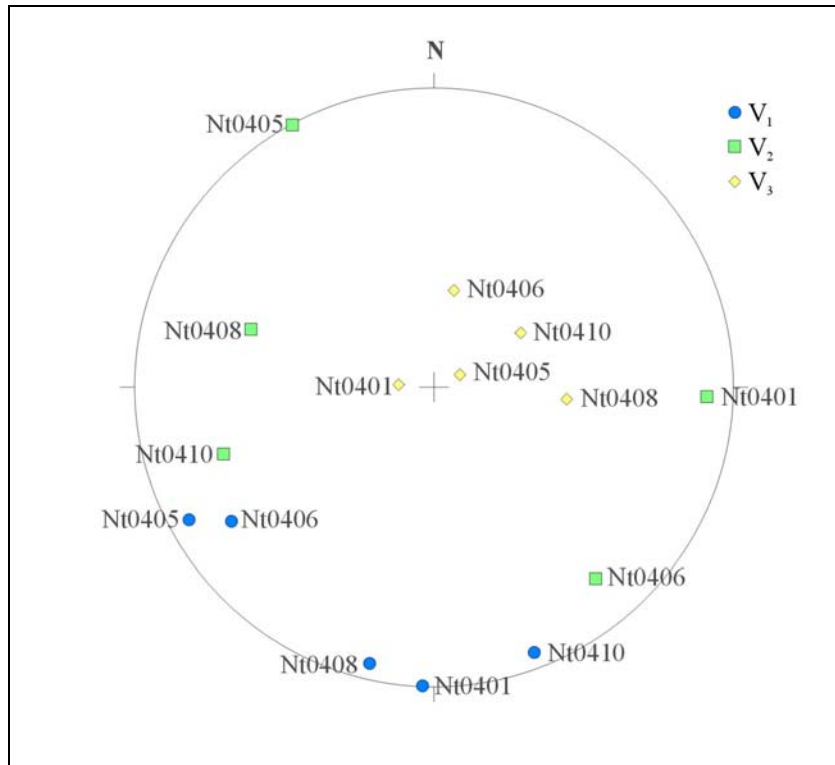


Figura 6.4. Representación de los *eigenvector* de la fábrica de las partículas de las facies de matriz de la avalancha de escombros ‘El Zaguán’ del Nevado de Toluca.

No se cuenta con datos que indiquen cual fue la dirección del flujo de la avalancha de escombros El Zaguán, tan solo se sabe la dirección relativa de los afloramientos con respecto a la cicatriz que dejó el colapso de la ladera. Caballero (2007) propone una

reconstrucción de la trayectoria del evento de avalancha de escombros en dos trazados: el primero hacia el E y el segundo hacia el ENE, esta segunda trayectoria ocasionada por la barrera topográfica del Domo de Putla. La concentración de los patrones de orientaciones (V_I , Tabla 6.1) en función de la localización de cada afloramiento (Figura 6.5) muestra que las partículas de los afloramientos NT0401, NT0408 y NT0410 presentan azimuths dentro de los 30° de una dirección corriente arriba, y las partículas de los afloramientos NT0405 y NT0406 presentan azimuths dentro de los 30° de una dirección transversal al flujo. La inclinación relativa de las partículas es prácticamente subhorizontal siendo ligeramente más inclinada para el punto NT0406 en donde la inclinación es mayor hacia el sentido de donde proviene el flujo.

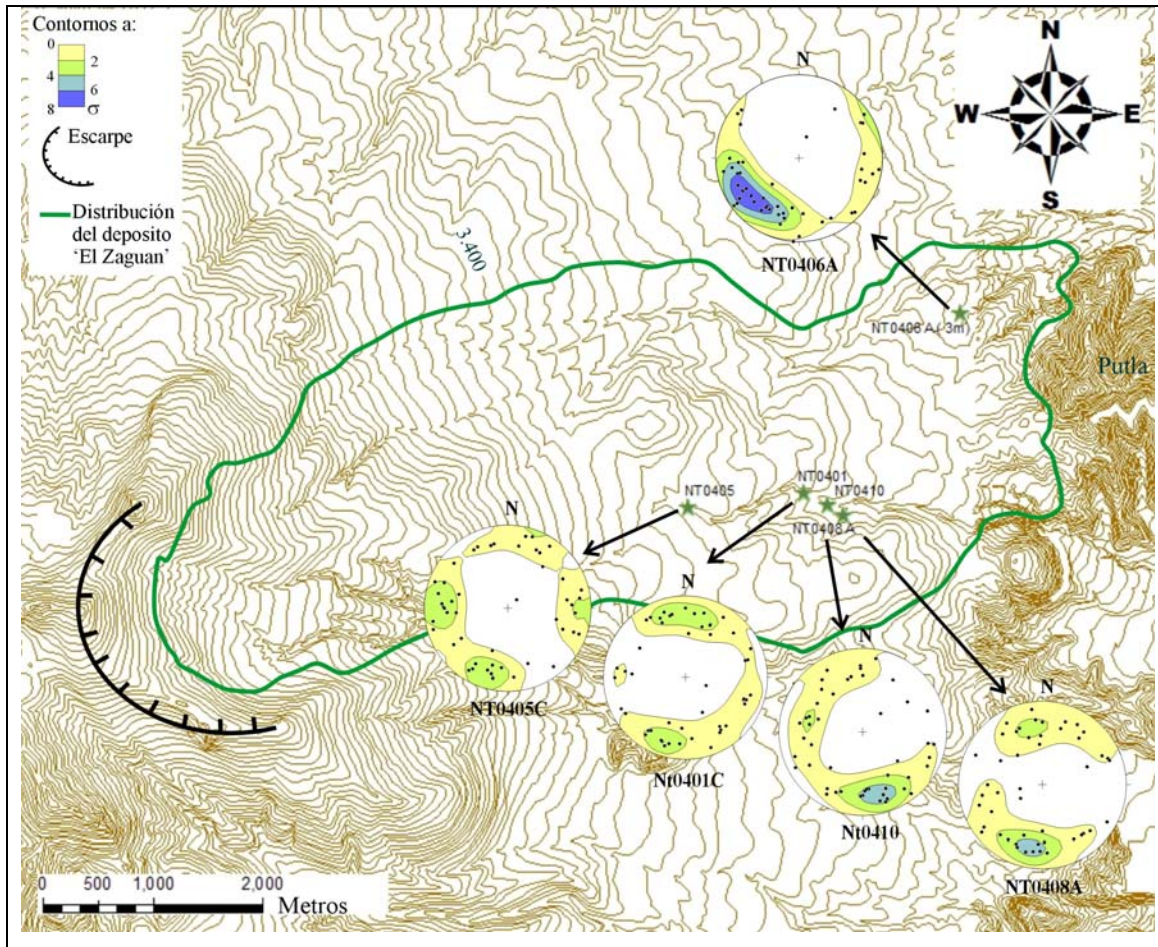


Figura 6.5. Distribución de los depósitos de facies de matriz de avalancha de escombros con su respectiva proyección estereográfica de contornos con intervalos a dos desviaciones estándar (σ) de la fábrica de sus partículas (Kamb, 1959). El número de partículas medidas es de 50 para cada muestra. La línea de distribución del depósito 'El Zaguán' es de Caballero (2007).

6.3.2. Fábrica de los flujos de escombros cohesivos.

A continuación se exponen los resultados obtenidos del análisis de la fábrica de los flujos de escombros cohesivos estudiados en el Monte Rainier por Vallance & Scott (1997) denominado *Osceola Mudflow*, con el fin de poder comparar con los demás DVcS en un próximo epígrafe.

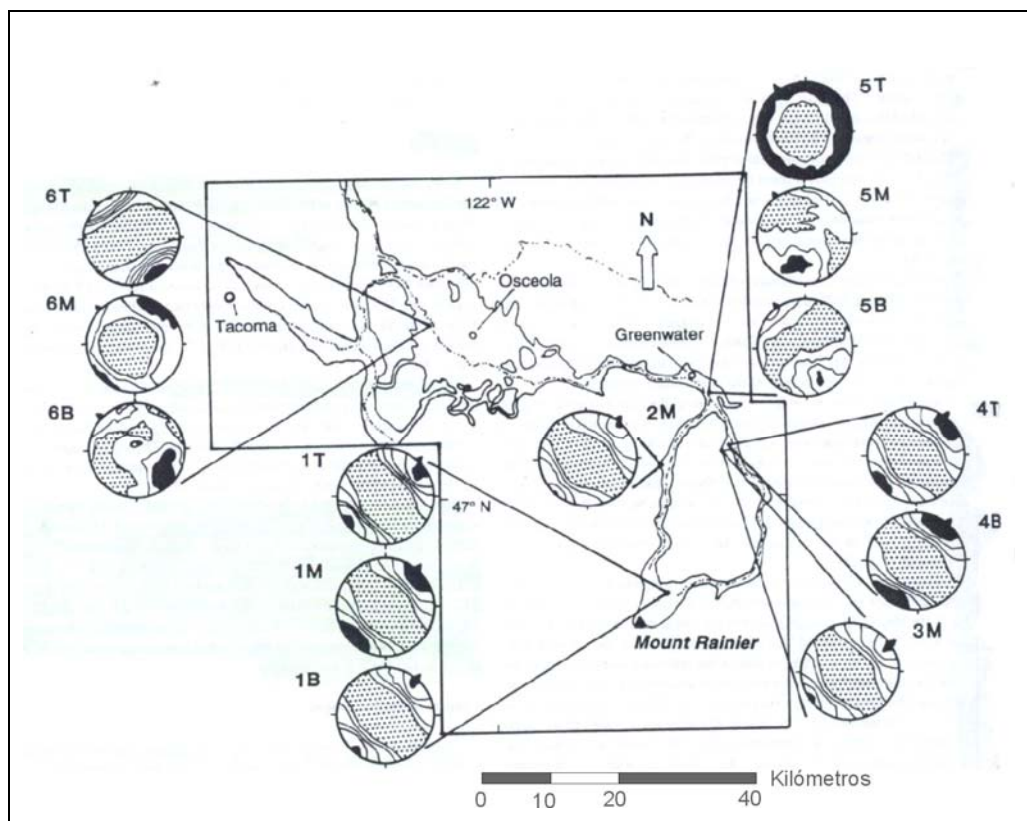


Figura 6.6. Localización de las muestras en el flujo de escombros cohesivo de *Osceola Mudflow* del Monte Rainier y la proyección estereográfica de contornos con intervalos de contornos a dos desviaciones estándar de la fábrica de sus partículas (Kamb, 1959). El número de partículas medidas es de 25, menos en el afloramiento de Greenwater donde se midieron 40. La flecha en el ecuador indica la dirección del flujo. Donde, T = techo, M = medio, B = basal (Vallance & Scott, 1997).

La parte basal del *Osceola Mudflow*, normalmente se encuentra clastosoportada y con gradación normal, se caracteriza por presentar una fábrica imbricada débil (5B y 6B, Figura 6.6). La orientación de los clastos en la parte superior del depósito axial, grueso rico en matriz, indica una débil orientación transversal del eje mayor de las partículas a la dirección de flujo (5M y 6M, Figura 6.6), una fábrica débil en banda con una dirección azimutal no preferencial (5T, Figura 6.6). Los clastos depositados en pendientes inclinadas

normalmente tienen un fuerte lineamiento de sus ejes a en la dirección de flujo inferido por la inclinación pendiente abajo (1B, 1M, 1T y 2M, Figura 6.6).

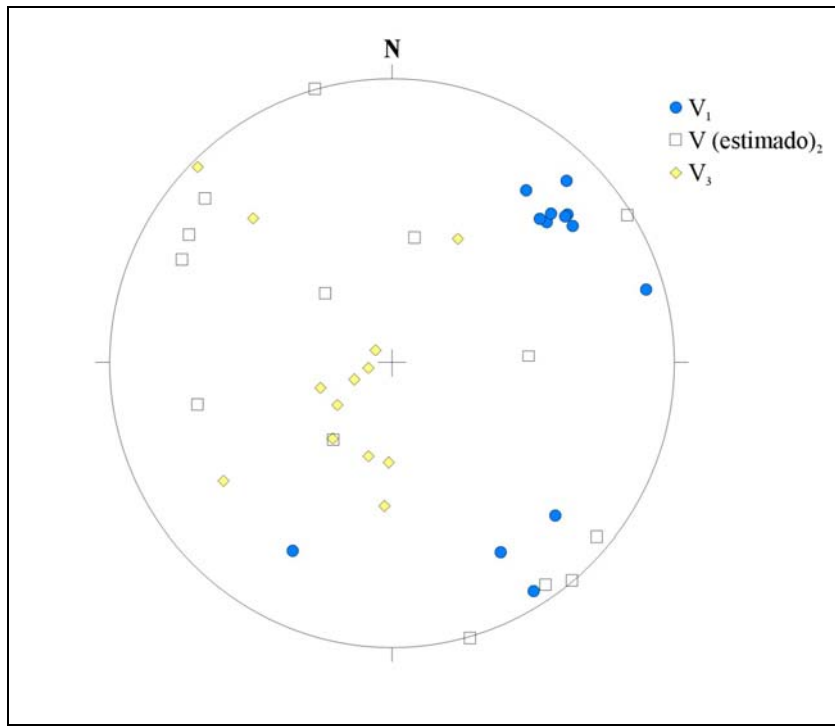


Figura 6.7. Representación de los *eigenvector* de la fábrica de las partículas de los flujos de escombros cohesivos del *Osceola Mudflow*.

muestra	facies	pendiente local	dirección del flujo	N	<i>eigenvectors</i>				<i>eigenvalues</i>	
					V_1		V_3		S_1	S_3
					direcc.	incl.	direcc.	incl.		
1Techo	Axial	4	45	25	50	20	232	70	0.817	0.067
1Medio	Axial	4	45	25	48	27	218	62	0.715	0.115
1Base	Axial	4	45	25	46	28	315	3	0.721	0.117
2Medio	FValle	7	55	25	50	21	183	48	0.686	0.116
3Medio	FValle	1.4	50	25	53	21	250	68	0.759	0.043
4Techo	Axial	1.2	45	25	38	24	182	61	0.734	0.103
4Base	Axial	1.2	45	25	47	24	194	62	0.673	0.146
5Techo	Axial	0.6	335	40	74	7	255	83	0.482	0.085
5Medio	Axial	0.6	335	40	208	26	316	30	0.534	0.165
5Base	Axial	0.6	335	40	150	24	28	49	0.589	0.172
6Techo	Axial	0.5	320	40	148	6	307	84	0.789	0.050
6Medio	Axial	0.5	320	40	44	12	245	78	0.499	0.098
6Base	Axial	0.5	320	40	133	22	235	28	0.525	0.198

Tabla 6.2. Resumen del análisis de los *eigenvalue* y *eigenvector* de la fábrica de las partículas del depósito de *Osceola Mudflow* del Monte Rainier (Vallance & Scott, 1997). Los valores críticos a un nivel de significación del 0.05 son: $S_1= 0.473$ y $S_3= 0.203$, y para un nivel de significación del 0.01 son: $S_1= 0.501$ y $S_3= 0.183$, para una $N=40$ (Mark, 1973, 1974) y $S_1= 0.515$ y $S_3= 0.160$, para una $N=25$. Los valores de S_1 más grandes al valor crítico y los S_3 más pequeños al valor crítico son significativos con un 95% de confianza. Donde, FValle corresponde a facies de flanco del valle.

A partir de los resultados obtenidos por Vallance & Scott (1997) se puede observar que la tendencia de los *eigenvectors* principales (V_1) es preferencial hacia el NE y otra secundaria hacia el SE (Figura 6.7). Esto indica la existencia de una fábrica interna dentro de los flujos de escombros cohesivos. De hecho, los *eigenvalues* S_1 y S_3 presentan valores que indican una fortaleza de la fábrica significativa al 0.05, es decir, presenta un 95% de confianza, a excepción del afloramiento 5T, 6M y 6B donde es de 0.01, es decir, presenta un 99% de confianza (Tabla 6.2).

6.3.3. Fábrica de los flujos de escombros no cohesivos.

Como ya se ha comentado, existen varios trabajos sobre flujos de escombros no cohesivos que integran el análisis de la fábrica de sus partículas (Mills, 1984; Major & Voight, 1986; Capra *et al.*, 2004). Aquí se resumen los resultados obtenidos por Mills (1984) en su estudio sobre el flujo de escombros del Río *North Fork Toutle* en el Monte Santa Elena. Dichos flujos de escombros no cohesivos se originaron a partir las partes saturadas en agua de la avalancha de escombros originada en el evento del 18 de mayo de 1980.

La mayoría de las fábricas del flujo de escombros del Río *North Fork Toutle* son unimodales, solo hay dos excepciones, las muestras 06 y 07 (Figura 6.8). Estas aparentemente tienen modas múltiples, aunque pueden reflejar simplemente la debilidad de la orientación preferencial de estas dos muestras. La concentración de los patrones de orientación (Tabla 6.3) indica que de las 11 muestras de fábrica: 4 presentan una imbricación corriente arriba; y 6 tienen una imbricación transversal al flujo. Cabe destacar que las dos fábricas de muestras más débiles, 06 y 07, tienen las localizaciones corriente arriba (Figura 6.8) donde las velocidades del flujo fueron mayores que en los lugares corriente abajo. V_1 se inclina en rangos de 6° a 28° y V_3 inclina desde 10° a 77° . El rango de las fuerzas de fábricas va desde muy débiles a moderadamente fuertes, aunque generalmente son débiles. Los niveles de significación del 0.05 muestran que 9 de los valores de S_1 y 7 de los valores de S_3 son significativos con un nivel de confianza del 95% (Tabla 6.3).

A partir de los resultados obtenidos por Mills (1984) se puede observar que en general de los *eigenvectors* principales (V_1) no indican una tendencia preferencial clara y presenta dos concentraciones una hacia en NNE y otra hacia el ESE (Figura 6.9). Esto indica la existencia de más de una dirección preferencial dentro de los flujos de escombros no cohesivos.

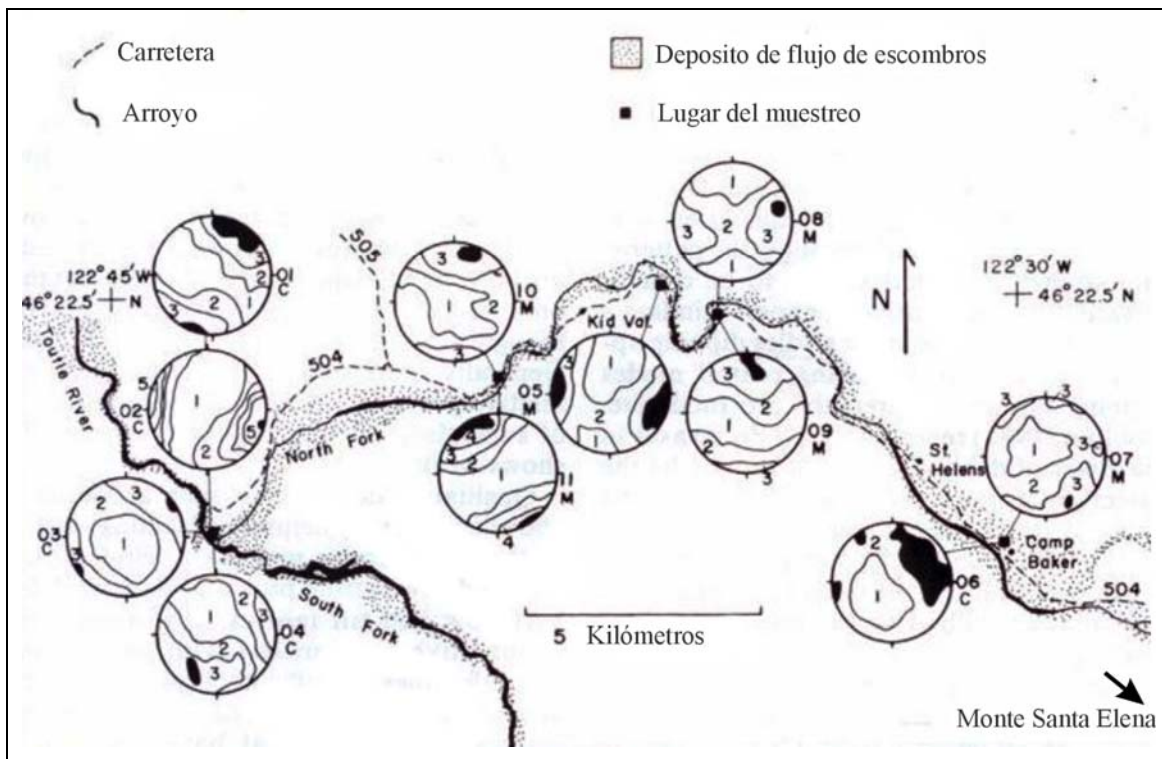


Figura 6.8 Localización de las muestras del flujo de escombros no cohesivo del Río *North Fork Toutle* y proyección estereográfica de contornos, con intervalos de dos desviaciones estándar de la fabrica de las partículas (Kamb, 1959) Las áreas negras son aquellas de alta densidad y las áreas etiquetadas con 1 son las de menor densidad. El número hace referencia al número de la línea de contorno. La C debajo de la muestra indica un depósito clastosoportado, mientras la M indica un depósito matriz soportado (Mills, 1984).

En resumen, las fábricas flujo de escombros del Río *North Fork Toutle* tienden a ser unimodales, aunque son relativamente débiles, con fábricas paralelas a la dirección del flujo, imbricada corriente arriba y transversales a la dirección del flujo.

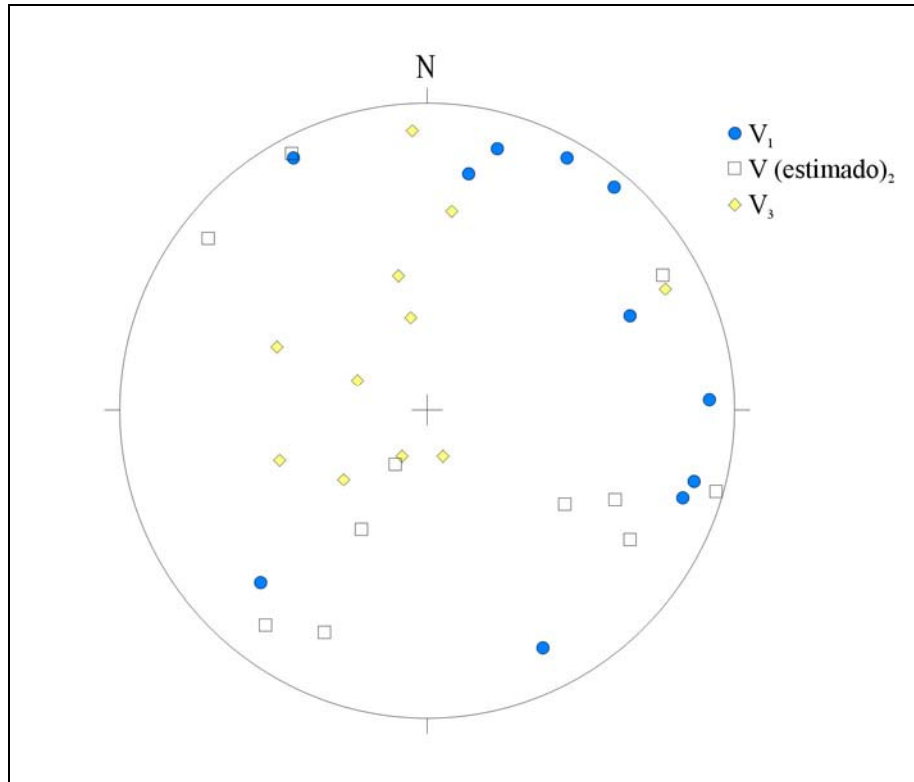


Figura 6.9. Representación de los *eigenvector* de la fábrica de las partículas de los flujos de escombros no cohesivos del Río *North Fork Toutle* del Monte Santa Elena.

muestra	soporte	dirección del flujo	N	<i>eigenvectors</i>				<i>eigenvalues</i>	
				V_1		V_3		S_1	S_3
				direcc.	incl.	direcc.	incl.		
1	Clastosp	304	25	29	7	293	46	0.604	0.151
2	Clastosp	304	50	109	13	350	65	0.648	0.101
3	Clastosp	304	25	40	6	161	77	0.545	0.102
4	Clastosp	304	25	224	23	348	53	0.516	0.124
5	Matrizsp	321	25	105	11	7	35	0.644	0.091
6	Clastosp	308	25	65	28	230	61	0.462	0.185
7	Matrizsp	308	25	154	15	293	70	0.470	0.163
8	Matrizsp	255	25	88	9	357	10	0.530	0.116
9	Matrizsp	255	25	10	23	251	48	0.554	0.209
10	Matrizsp	214	25	15	13	208	76	0.538	0.180
11	Matrizsp	214	25	332	8	63	14	0.697	0.123

Tabla 6.3. Resumen del análisis de los *eigenvalue* y *eigenvector* de la fábrica de las partículas del depósito de flujos de escombros no cohesivos del Río *North Fork Toutle* (Mills, 1984). Los valores críticos a un nivel de significación del 0.05 son: $S_1= 0.460$ y $S_3= 0.216$, para una $N=50$ (Mark, 1973, 1974) y $S_1= 0.512$ y $S_3= 0.169$, para una $N=25$. Los valores de S_1 más grandes al valor crítico y los S_3 más pequeños al valor crítico son significativos con un 95% de confianza.

Resultados muy similares a estos se obtuvieron para los flujos de escombros no cohesivos del flanco SO del Monte Santa Elena (Major & Voight, 1986). Dichos flujos de

escombros no cohesivos tienen su origen en la transformación durante el flujo de oleadas piroclásticas de la erupción catastrófica del evento del 18 mayo de 1980. Este depósito presenta fábricas débiles con orientaciones paralelas al flujo y ligeramente inclinadas corriente arriba como orientaciones transversales. La inclinación de las partículas es considerada subhorizontal a la superficie del flujo. Sin embargo, la inclinación media del eje a en los flujos de escombros del flanco SO es significativamente menos profundas que los del flujo de escombros no cohesivo del Río *North Fork Toutle*.

6.3.4. Fábrica de los *tills*.

Los resultados obtenidos en este trabajo para los *tills* del Nevado de Toluca, se pueden visualizar en la Figura 6.10 y resumidos en la Figura 6.11 y Tabla 6.4, y se describirán afloramiento por afloramiento, ya que las muestras no pertenecen a la misma morrena y la dirección del flujo de hielo es diferente para cada una (Figura 6.12).

El afloramiento NT0464 está localizado en la parte media de una morrena lateral de la vertiente NO del volcán (Figura 6.12-a). En el diagrama *Rose* no se observa ninguna distribución unimodal clara, del mismo modo se distinguen cuatro núcleos de densidad: NNE, SO, SE y ENE, en el diagrama de contornos.

El afloramiento NT05104 corresponde a la parte distal, casi frontal de una morrena lateral derecha (Figura 6.12-a). Su diagrama *Rose* y su diagrama de contornos muestra una distribución unimodal en dirección E, con dispersión hacia el ENE. Teniendo en cuenta que la reconstrucción de la lengua glaciaria que presumiblemente originó dicha morrena presenta una dirección NO, se puede afirmar que la orientación de las partículas es oblicua a la dirección del flujo de hielo.

El diagrama *Rose* y el diagrama de contornos del afloramiento NT05105 muestra una distribución unimodal al ONO con dispersión al O y al NO. Hay dos posibles direcciones en la reconstrucción de la lengua glaciaria: una al O, morrena lateral izquierda; y la otra al ONO, morrena lateral derecha (Figura 6.12-a). En cualquiera de las dos opciones

la dirección de los clastos es prácticamente paralela a la dirección de la reconstrucción de la morrena.

El afloramiento NT05236 corresponde a la parte más proximal de una morrena, de hecho corresponde al afloramiento más proximal encontrado en el borde cratérico del Nevado de Toluca (Figura 6.12-b). El diagrama en *Rose* expone una distribución con tendencia unimodal hacia el NNE. El área de máxima densidad de puntos que muestra el diagrama de contornos es al NNE, con una dispersión hacia el NNO y una concentración secundaria al ONO. La reconstrucción de la dirección principal de la lengua glacial es SE, de este modo se sabe que la orientación de las partículas es oblicua a la dirección del flujo de hielo.

El afloramiento NT05241 corresponde a la parte distal, casi frontal de una morrena lateral derecha en su posición de techo (Figura 6.12-b). La distribución que muestra el diagrama *Rose* y el diagrama de contornos es unimodal hacia el SSO. La reconstrucción de la dirección de la lengua glacial es SE y dado que este depósito corresponde a la morrena lateral derecha, la orientación de las partículas es transversal a la dirección del flujo de hielo.

Si se observa la representación gráfica de los *eigenvectors* de los afloramientos arriba analizados (Figura 6.11) se reconocen tendencias muy variadas que no se pueden comparar entre sí porque no pertenecen al mismo depósito y debido a que la distribución de la lengua glacial que originó cada depósito presentaba una distribución diferente (Figura 6.12). Se dará más valor a los datos individuales de cada afloramiento. Aun así, se puede afirmar que para cada muestra estudiada existe una fábrica interna predominante. De hecho los *eigenvalues* S_1 y S_3 presentan valores que indican una fortaleza de la fábrica significativa al 0.05, a excepción del afloramiento NT0464 donde se reduce al 0.01 (Tabla 6.4).

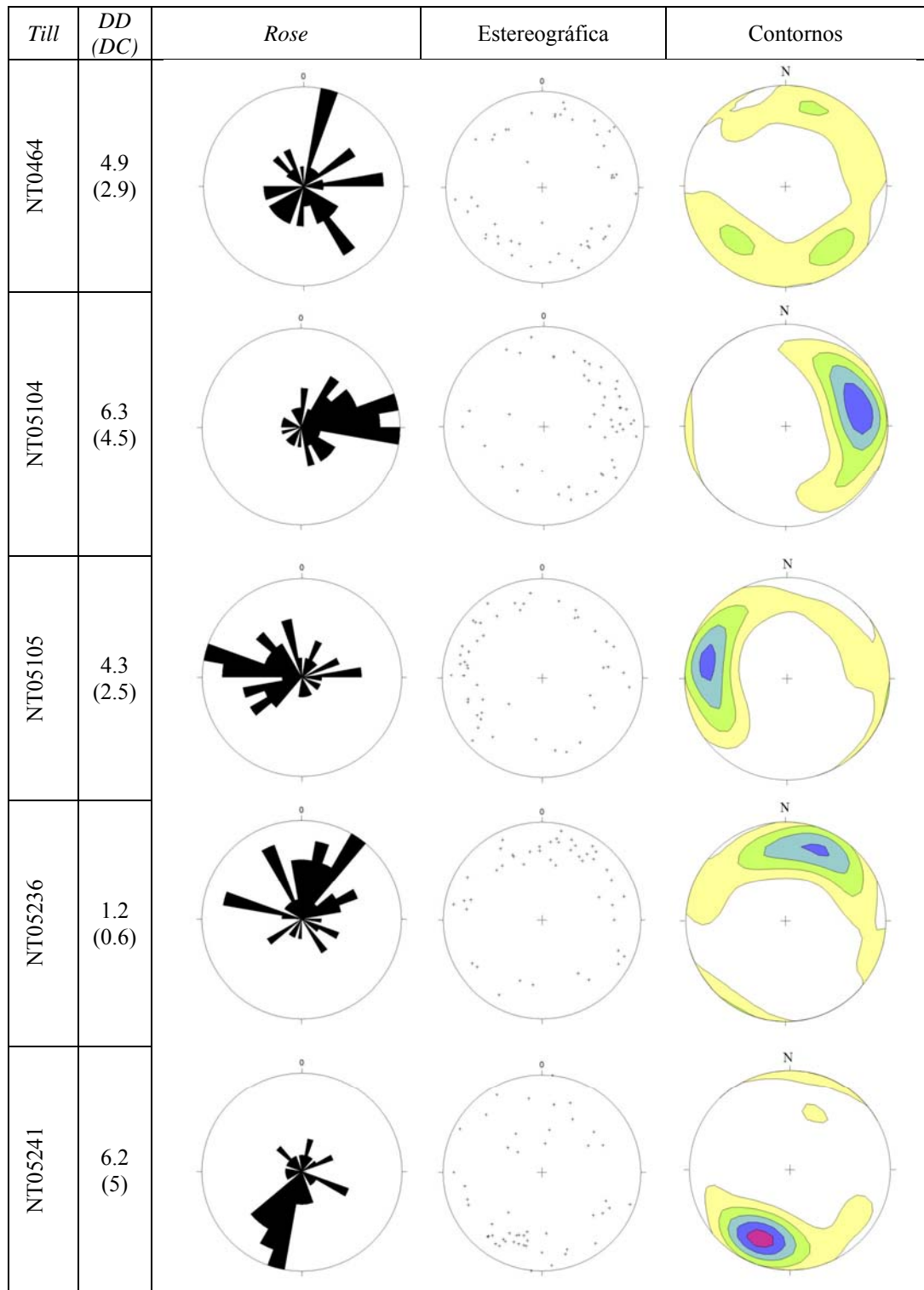


Figura 6.10. Representación gráfica de la fábrica de las partículas de los depósitos de *tills* del Nevado de Toluca. En los diagramas de proyección estereográfica de contornos los intervalos de contornos son a 2 desviaciones estándar (Kamb, 1959). Donde: DD es la distancia en kilómetros al domo actual del Nevado de Toluca y DC es la distancia a la línea de cumbres actual que delimita el cráter del Nevado de Toluca y más cercana al depósito correspondiente.

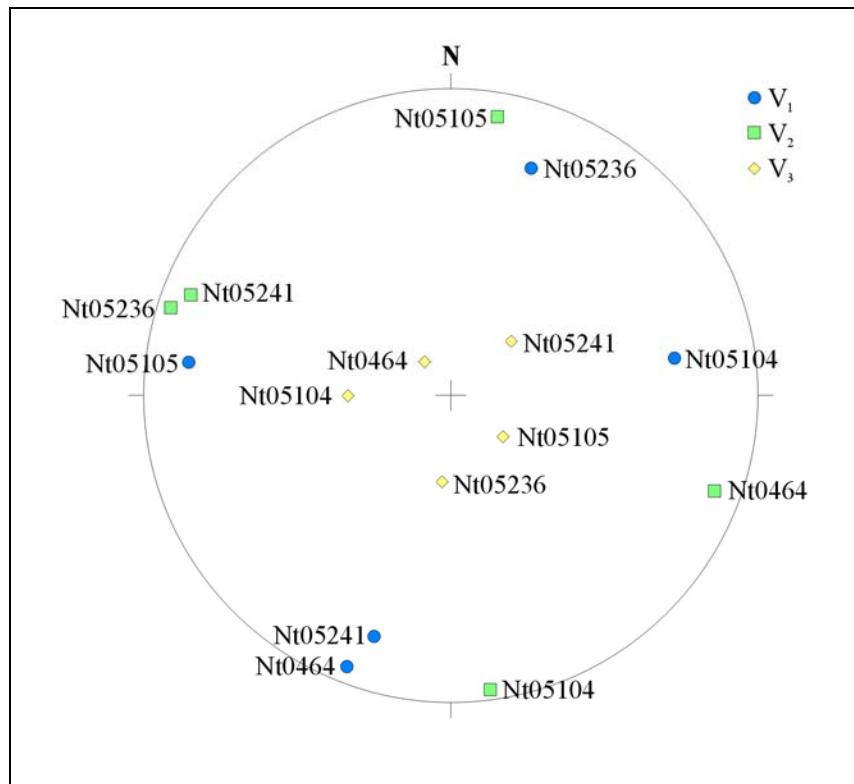


Figura 6.11. Representación de los *eigenvector* de la fábrica de las partículas de los depósitos de *tills* del Nevado de Toluca.

muestra	N	<i>eigenvectors</i>						<i>eigenvalues</i>		
		V_1		V_2		V_3		S_1	S_2	S_3
		direcc.	incl.	direcc.	incl.	direcc.	incl.			
NT0464	50	200.9	5.8	110	9.5	321.7	78.8	0.446	0.366	0.188
NT05104	50	80.6	27.1	172.4	3.6	269.4	62.6	0.561	0.292	0.147
NT05105	50	277.1	15.1	9.5	8.9	128.9	72.3	0.535	0.302	0.162
NT0236	50	19.5	22.7	287.4	5	185.7	66.7	0.531	0.343	0.126
NT05241	50	197.6	18.6	291.1	10.2	48.4	68.6	0.541	0.258	0.201

Tabla 6.4. Análisis de los *eigenvalue* y *eigenvector* de la fábrica de las partículas de los depósitos de *tills* del Nevado de Toluca. Los valores críticos para un nivel de significación del 0.05 son: $S_1 = 0.460$ y $S_3 = 0.216$, para una $N=50$ (Mark, 1973, 1974). Los valores de S_1 más grandes al valor crítico y los S_3 más pequeños al valor crítico son significativos con un 95% de confianza. Donde, N es el número de datos.

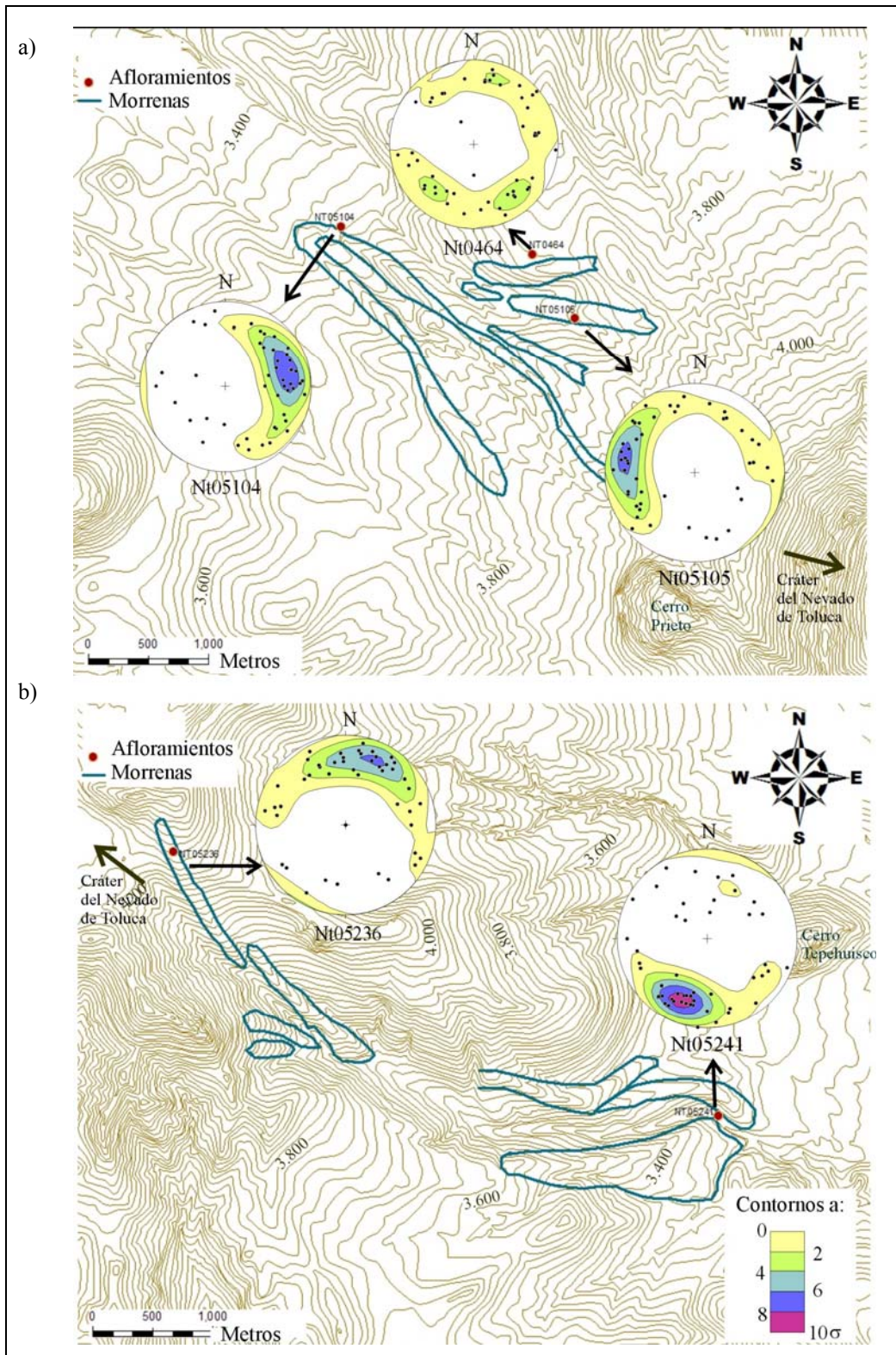


Figura 6.12. Distribución de los depósitos de *tills* con su respectiva proyección estereográfica de contornos a dos desviaciones estándar (σ) de la fábrica de sus partículas (Kamb, 1959). a) Vertiente NO del cráter, b) Valle SE con respecto al cráter del Nevado de Toluca.

6.4. Comparación y discusión de la fábrica de los depósitos volcanoclásticos sedimentarios.

La visualización de los tres *eigenvalues* como los ejes de un elipsoide proporciona la forma de la distribución de la fábrica en tres dimensiones (Woodcock, 1977; Benn, 1994). En un análisis preliminar de los datos de los *eigenvalues* (S_1 , S_2 , S_3) de los DVcS (Tablas 6.1, 6.2, 6.3, 6.4) se observa que las partículas de los DVcS no presentan fábricas isotrópicas ($S_1 \approx S_2 \approx S_3$) y que en general presentan patrones lineales, es decir, observaciones cercanas a paralelas ($S_1 \gg S_2 \approx S_3$). Tan solo en los depósitos de las facies de matriz de las avalanchas de escombros predominan las fábricas planares, es decir, con puntos regularmente distribuidos alrededor de un círculo grande ($S_1 \gg S_2 \approx S_3$).

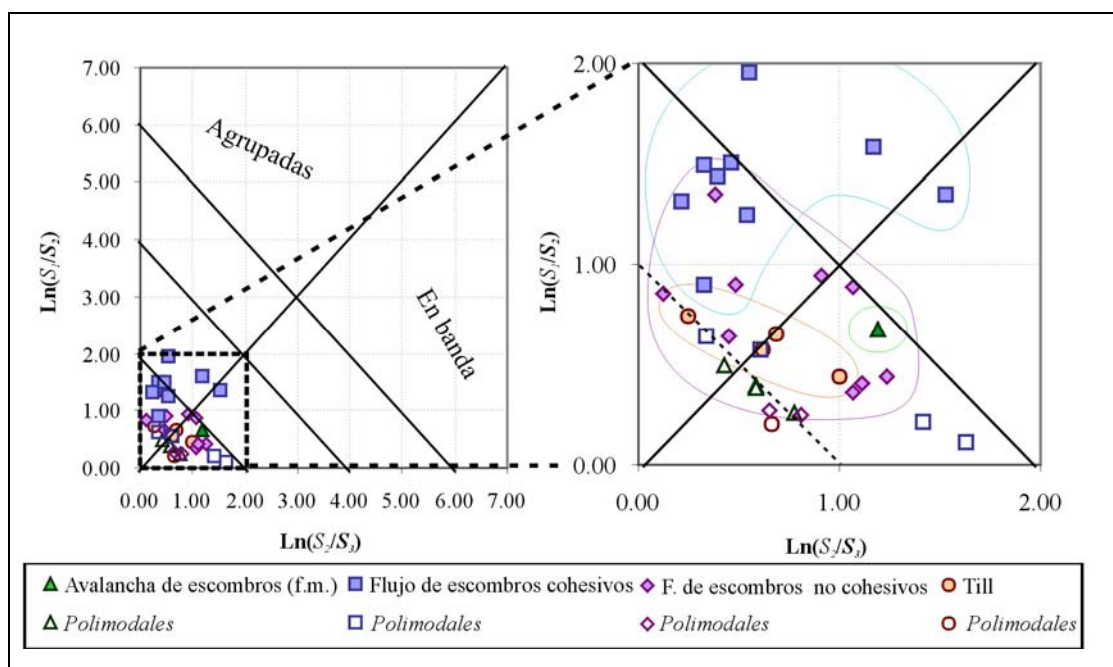


Figura 6.13. Proyecciones de los diferentes DVcS en los ejes logarítmicos de la proporción de los *eigenvalues* normalizados S_1 , S_2 y S_3 de Woodcock (1977). La orientación de las partículas se considera agrupadas (*cluster*) o en banda (*griddle*). Se proyectaron todos los afloramientos analizados, incluidos los de distribución polimodal cuyos resultados deben ser analizados con prudencia ya que los valores del *eigenvector* y el *eigenvalue* no son indicativos para este tipo de distribuciones.

El análisis de la forma de la fábrica según Woodcock (1977) se refleja en la Figura 6.13. En dicha figura se observa que, en general, los DVcS presentan datos con una baja

fortaleza en la orientación de las partículas, proyectándose todos ellos por debajo de la línea $C=3$ y que no hay una forma agrupada o en banda preferente. Al analizar en detalle cada tipo de DVcS se puede apreciar como los flujos de escombros cohesivos son los que presentan los valores con mayor fortaleza con formas de tendencia agrupada, mientras que son las facies de matriz de las avalanchas de escombros las que menos fortaleza presentan con formas de tendencia bandeada. No se puede asignar una forma de la fábrica preferente para cada tipo de DVcS.

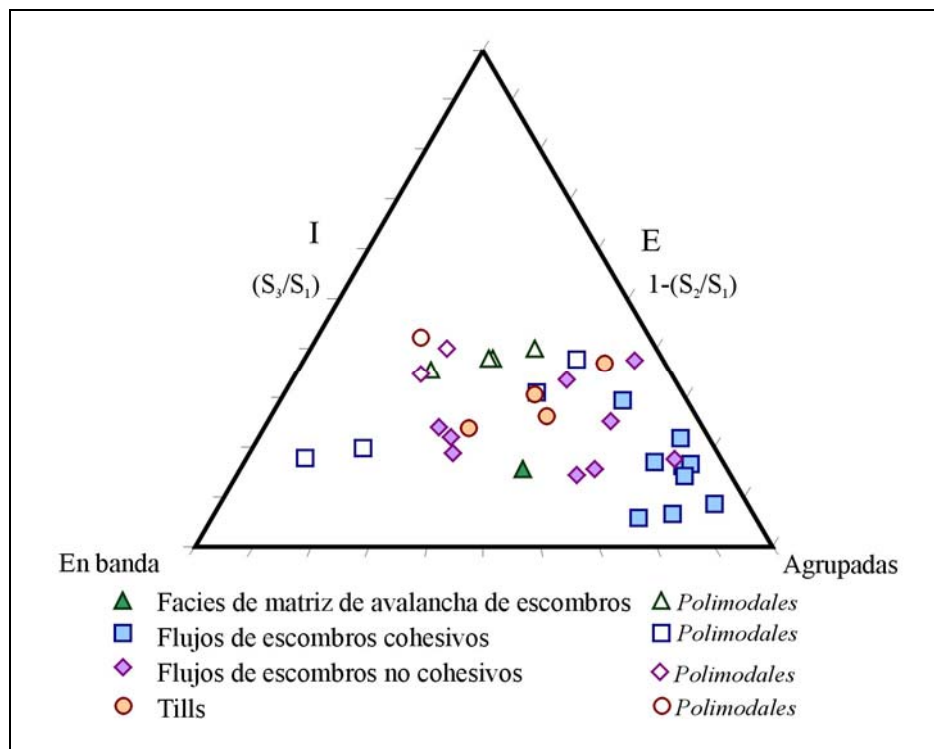


Figura 6.14. Forma de la fábrica de los DVcS en el triángulo de proyección propuesto por Benn (1994). Donde, S_1 , S_2 y S_3 son los *eigenvalues* normalizados y la proyección de estos es en función del índice de isotropía (S_3/S_1) y de elongación (S_2/S_1).

El análisis de la fábrica según el método propuesto por Benn (1994) se refleja en la Figura 6.14 y se observa que los DVcS presentan fábricas de baja isotropía (de 0.38 a 0.45) y de elongación variable (de 0.86 a 0.10), siendo los depósitos de flujos de escombros cohesivos los que presentan valores altos de isotropía (de 0.74 a 0.90) y menor grado de elongación (de 0.08 a 0.29) reflejando fábricas con formas muy agrupadas, mientras que el resto de los DVcS no presentan una elongación o isotropía característica para cada tipo.

6.5. Conclusiones.

Del estudio de la fábrica de los diferentes DVcS se concluye que:

1. las facies de matriz de las avalanchas de escombros no presentan una orientación preferencial de las partículas y donde la inclinación de las misma es prácticamente subhorizontal, solamente para el afloramiento más distal se encuentra una orientación preferencial en la dirección del flujo y una inclinación hacia el sentido de donde proviene el flujo;
2. los flujos de escombros cohesivos presentan una orientación preferencial de las partículas en la dirección del flujo con una fuerte inclinación de las mismas a favor de la inclinación pendiente abajo, excepto para las muestras de la base que se caracterizan por una fábrica imbricada débil y las muestras de techo con una fábrica débil sin orientación preferencial;
3. los flujos de escombros no cohesivos pueden presentar fábricas paralelas a la dirección del flujo (más o menos débiles), imbricada corriente arriba y transversales a la dirección del flujo;
4. los *tills* pueden presentar fábricas fuertes oblicuas o transversales a la dirección del flujo del hielo, aunque también puede presentar fábricas paralelas o fábricas muy débiles sin orientación preferencial;
5. los flujos de escombros cohesivos son los que presentan los valores de mayor fortaleza con formas de tendencia agrupada, mientras que son las facies de matriz de las avalanchas de escombros las que menor fortaleza presentan con formas de tendencia bandeada;
6. los DVcS presentan fábricas de baja isotropía (de 0.38 a 0.45) y de elongación variable (de 0.86 a 0.10);
7. los depósitos de flujos de escombros cohesivos presentan valores altos de isotropía (de 0.74 a 0.90) y el menor grado de elongación (de 0.08 a 0.29) reflejando fábricas con formas muy agrupadas;

8. para los depósitos de facies de matriz de avalancha de escombros, flujos de escombros no cohesivos y *tills* no existe una elongación o isotropía característica para cada uno de ellos.

VII. ANÁLISIS DE LA TEXTURA.

En los capítulos anteriores se analizaron las diferentes características que definen la textura de un depósito: granulometría, morfología y fábrica de las partículas. Se observó que el parámetro de la desviación estándar de la distribución granulométrica y el análisis de las proporciones de las diferentes clases granulométricas son los mejores criterios de discriminación entre los DVcS en estudio. También se vio que los aspectos que definen la morfología de las partículas (forma, esfericidad, redondez y textura superficial) el más discriminante de todos es el análisis de la redondez, especialmente a través del índice RA. Finalmente, tras analizar la fábrica y la forma de la fábrica de los diferentes DVcS no hay ningún criterio claramente discriminante entre ellos. Por esta razón, a continuación, se analizarán conjuntamente los diferentes aspectos de la textura de los depósitos para tratar de reconocer las diferencias existentes en función del origen, transporte y sedimentación de las partículas que los conforman.

7.1. Antecedentes.

En la literatura no se encuentra ningún trabajo que realice un análisis conjunto de los diferentes aspectos que definen la textura de un depósito. La discriminación entre los DVcS va más allá de descripciones cualitativas (Ui, 1989; Vallance, 2000) de análisis texturales parciales, como es el caso del trabajo de Vallance & Scott (1997) quienes realizaron un análisis granulométrico y de la fábrica del flujo de escombros cohesivo del Monte Rainier conocido como *Osceola Mudflow*; o de análisis texturales completos (granulometría, morfología de las partículas y fábrica) de un depósito, como el trabajo de Capra *et al.* (2004) sobre los depósitos de flujos de escombros no cohesivos de 1997 y el 2001 del Popocatepetl.

7.2. Comparación y discusión de la textura de los depósitos volcanoclásticos sedimentarios.

En los Capítulos IV, V y VI se describieron y se discutieron las características que presentaba la distribución granulométrica de los depósitos, las propiedades de la morfología de las partículas y la fábrica que presentaban las partículas, respectivamente, de los depósitos en estudio. A continuación, se procederá a evaluar conjuntamente, dos a dos, cada una de las características que definen la textura de un depósito.

7.2.1. Forma-esfericidad y granulometría.

En esta sección se analizan conjuntamente la granulometría y la forma y esfericidad de los DVcS desde varios puntos de vista. Para empezar, se han proyectado los valores de la media (Folk, 1974) de la distribución granulométrica frente al promedio del índice *Oblate-Prolate* (*OP*, Dobkins & Folk, 1970) (Figura 7.1-a) y frente al promedio de la Proyección de Máxima Esfericidad (Ψ_p , Sneed & Folk, 1958) para las gravas de cada afloramiento (Figura 7.1-b). En estas gráficas se reconoce lo ya observado en el Apartado 5.3.1, que las partículas de los DVcS presentan formas de hoja subaculares y esfericidades compactas, y se aprecia que no existe una relación directa entre el promedio de la forma y de la esfericidad y el tamaño medio del depósito.

También se han analizado las variaciones de la forma y esfericidad en función del tamaño de las partículas (Anexo VI, Tabla 7.1, Figura 7.2, Tabla 7.2, Tabla 7.3). Desde la Tabla 7.1 se puede apreciar que la forma presenta variaciones muy sutiles según el tamaño de grano entre formas de hoja subacicular y hoja subplanar, siendo las formas de hoja subacicular características de las fracciones tamaño gránulo y guijarro de todos los DVcS y las formas de hoja subplanar de las fracciones tamaño canto de todos los DVcS excepto los flujos de escombros no cohesivos (Figura 7.2-a). Se puede afirmar que las facies de matriz de una avalancha de escombros, los flujos de escombros cohesivos y los *tills*, presentan partículas de forma de hoja subacicular con una tendencia hacia formas más aciculares a medida que disminuye el tamaño de las partículas, mientras que para los flujos de escombros no cohesivos presentan partículas de forma de hoja subacicular con la

tendencia hacia formas planas o menos aciculares para partículas tamaño guijarro, y hacia acicular para tamaño gránulo (Figura 7.2-a). Estas variaciones no son suficientes como para considerar los valores de la forma como mal clasificadas.

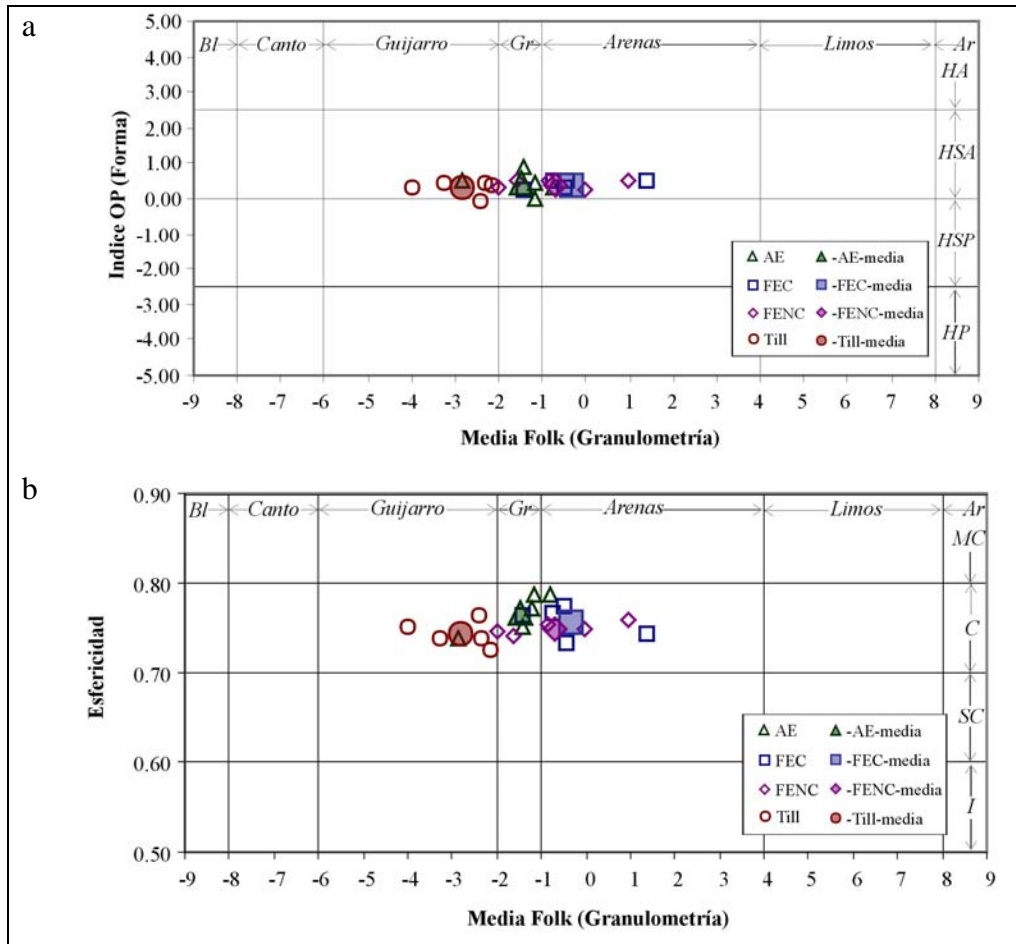


Figura 7.1. Gráficas comparativas de la granulometría frente a la morfología de las partículas a través de los parámetros de la forma y la esfericidad para el conjunto de las gravas de los DVcS del Nevado de Toluca seleccionadas en el Capítulo V para el análisis de la morfología de las partículas. a) Granulometría vs Forma a través de los valores de la media de distribución granulométrica de Folk y el promedio de los valores del índice *Oblate-Prolate* (OP). b) Granulometría vs Esfericidad a través de los valores de la media de distribución granulométrica de Folk y el promedio de los valores la Proyección de Máxima Esfericidad (Ψ). Donde, Bl es Bloque, Gr es Gránulo, Ar es Arcilla, HA es Hoja Acicular, HSA es Hoja Subacicular, HSP es hoja subplanar, HP es hoja plana, MC es Muy Compacta, C es Compacta, SC es subcompacta e I es intermedia.

Por otro lado, la esfericidad presenta valores más constantes, independientemente de la variación del tamaño de las gravas (gránulo, guijarro, canto), presentando para todas las muestras de los diferentes DVcS valores de media de esfericidades compactas (Figura 7.2-b), además se observan valores muy bajos de desviación estándar, lo que muestra la

buena clasificación de esfericidad. Pero si se analizan con detalle cada una de las curvas (Figura 7.2-b) se observan diferencias muy sutiles, como que para los flujos de escombros cohesivos y no cohesivos hay una tendencia a perder compactación a medida que disminuye el tamaño de la partícula, mientras que para avalanchas de escombros la tendencia es a mejorar la compactación y los *tills* describen una trayectoria de mejoría de canto a guijarro para después empeorar en gránulo.

			Forma			Esfericidad		
			Gránulo	Guijarro	Canto	Gránulo	Guijarro	Canto
Facies de matriz de avalancha de escombros (El Zaguán)	NT0401	Mz	0.57	0.36	-1.04	0.80	0.78	0.76
		σ	4.33	4.30	4.91	0.08	0.09	0.10
		N	50	132	14	50	132	14
	NT0405	Mz	-0.50	0.19	-0.09	0.80	0.79	0.75
		σ	4.20	3.89	5.63	0.10	0.08	0.08
		N	50	132	28	50	132	28
	NT0406	Mz	0.69	0.54	-0.77	0.76	0.78	0.78
		σ	4.28	4.03	4.62	0.08	0.09	0.10
		N	50	153	16	50	153	16
	NT0408	Mz	1.96	-0.05	0.65	0.74	0.74	0.73
		σ	4.18	4.37	4.76	0.09	0.09	0.11
		N	50	140	41	50	140	41
NT0410	Mz	1.57	0.96	-0.51	0.74	0.76	0.72	
	σ	4.84	4.43	4.59	0.09	0.09	0.11	
	N	50	129	30	50	129	30	
Flujo de escombros cohesivo (El Mogote y Pilcaya)	NT19	Mz	0.20	0.63	0.26	0.72	0.75	0.75
		σ	4.23	4.08	4.66	0.09	0.08	0.09
		N	50	140	20	50	140	20
	NT40	Mz	0.96	0.22	0.55	0.72	0.74	0.74
		σ	4.63	4.44	5.09	0.09	0.09	0.12
		N	50	92	14	50	92	14
	NT41	Mz	0.90	0.16	-0.22	0.77	0.78	0.75
		σ	4.33	3.81	3.76	0.08	0.07	0.10
		N	50	131	24	50	131	24
	NT56	Mz	2.09	-0.36	-1.20	0.77	0.76	0.77
		σ	4.46	4.06	4.51	0.11	0.08	0.11
		N	50	112	13	50	112	13
NT60	Mz	1.52	0.11	0.05	0.75	0.78	0.77	
	σ	4.51	4.68	4.28	0.11	0.10	0.09	
	N	50	94	24	50	94	24	

Tabla 7.1. Parámetros de la media (Mz) y la desviación estándar (σ) de la forma y esfericidad para cada uno de los afloramientos y tamaños de los diferentes DVcS del Nevado de Toluca. Donde: N es el número de partículas analizadas.

			Forma			Esfericidad		
			Gránulo	Guijarro	Canto	Gránulo	Guijarro	Canto
Flujo de escombros no cohesivo	NT0452B	Mz	0.97	0.07		0.74	0.76	
		σ	4.42	4.40		0.10	0.09	
		N	50	75		50	75	
	NT0533	Mz	0.92	-0.04	0.82	0.75	0.75	0.77
		σ	3.78	4.22	3.16	0.09	0.09	0.11
		N	50	136	29	50	136	29
	NT0541C	Mz	0.70	0.18	0.14	0.73	0.75	0.79
		σ	4.67	4.07	4.03	0.09	0.09	0.11
		N	50	100	12	50	100	12
	NT0552B	Mz	0.74	0.41	2.06	0.74	0.75	0.73
		σ	4.76	4.25	2.78	0.11	0.09	0.18
		N	50	123	6	50	123	6
	NT0554D	Mz	0.27	-0.50	0.40	0.73	0.74	0.77
		σ	4.70	4.50	3.90	0.09	0.09	0.12
		N	50	125	30	50	125	30
Tills	NT0464	Mz	0.99	-0.11	0.72	0.74	0.77	0.71
		σ	4.41	4.13	3.66	0.09	0.09	0.10
		N	50	125	36	50	125	36
	NT05104	Mz	1.02	-0.21	-0.85	0.75	0.77	0.77
		σ	4.21	4.18	3.88	0.08	0.09	0.07
		N	50	129	38	50	129	38
	NT05105	Mz	1.86	0.31	-1.35	0.73	0.73	0.71
		σ	4.31	4.42	5.41	0.09	0.09	0.10
		N	50	143	38	50	143	38
	NT05236	Mz	0.91	0.46	-0.28	0.74	0.74	0.71
		σ	4.97	4.33	4.74	0.08	0.09	0.10
		N	50	143	30	50	143	30
	NT05241	Mz	1.72	0.58	-1.98	0.73	0.74	0.73
		σ	3.80	4.30	4.40	0.09	0.09	0.12
		N	50	141	35	50	141	35

Tabla 7.1 (continuación). Parámetros de la media (Mz) y la desviación estándar (σ) de la forma y esfericidad para cada uno de los afloramientos y tamaños de los diferentes DVcS del Nevado de Toluca. Donde: N es el número de partículas analizadas.

Las modas de la distribución de la forma de los DVcS (Anexo VI) son muy variables, tal y como se observa en la Tabla 7.2, mientras las modas de la distribución de la esfericidad por lo general corresponden a esfericidad compacta para todas las fracciones de grava (Anexo VI), aunque algunas fracciones presentan una moda diferente (Tabla 7.3).

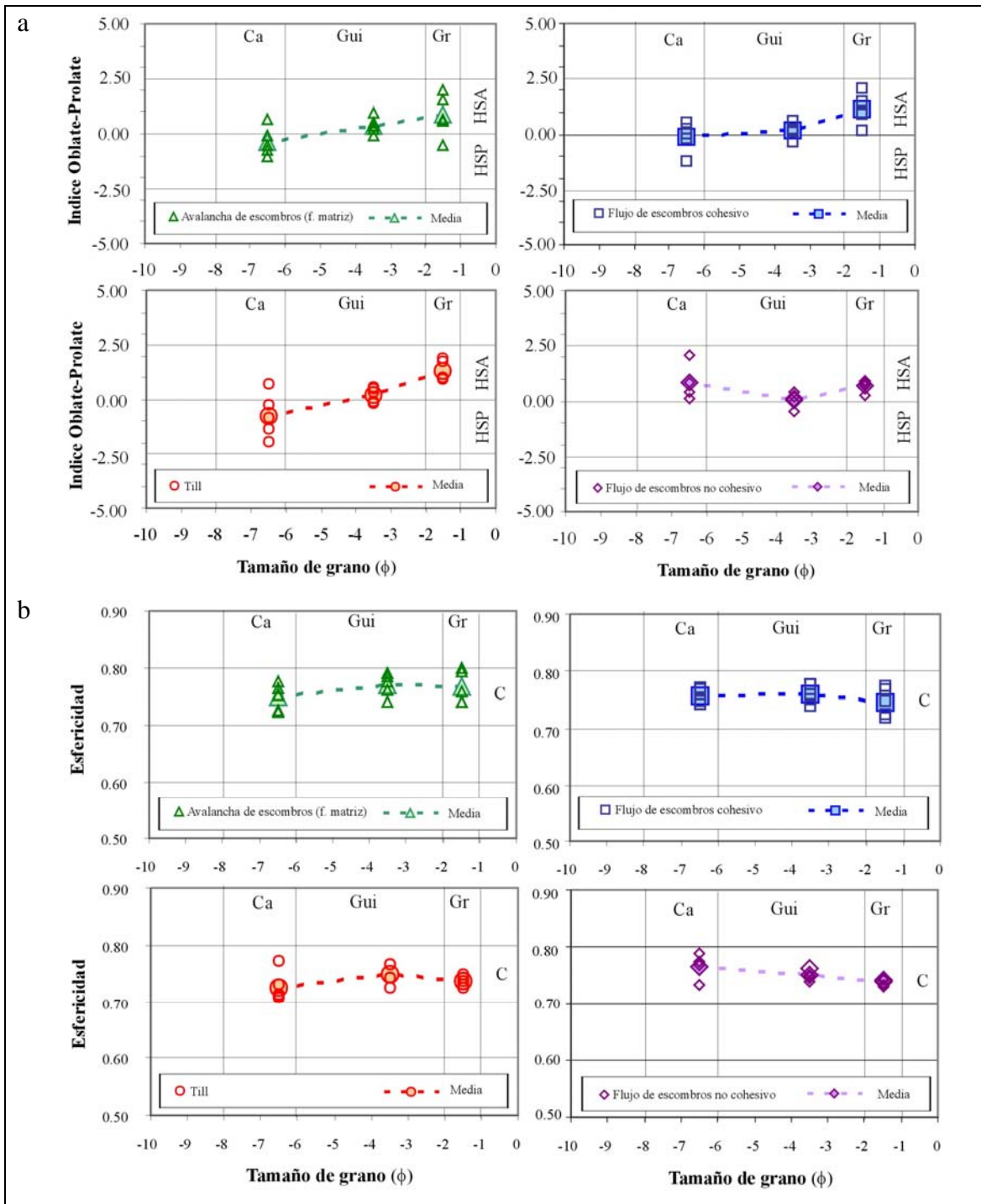


Figura 7.2. Variaciones de: a) La forma, índice *Oblate-Prolate* en función del tamaño de las gravas para cada uno de los DVcS del Nevado de Toluca; b) La esfericidad, Máxima Proyección de Esfericidad, en función del tamaño de las gravas para cada uno de los DVcS. Donde, Ca es Canto, Gui es Guijarro, Gr es Gránulo, HSA es Hoja Subacicular, HSP es hoja Subplanar; y C es Compacta.

Modas-Forma			
	Gránulo	Guijarro	Canto
Avalancha de escombros (facies de matriz)	acicular hoja subacicular hoja subplanar	hoja acicular hoja subacicular hoja subplanar hoja plana	hoja acicular hoja plana
Flujo de escombros cohesivos	acicular hoja acicular hoja subacicular	hoja acicular hoja subacicular hoja subplanar	hoja acicular hoja subacicular hoja subplanar hoja plana plana
Flujos de escombros no cohesivos	acicular hoja acicular hoja subacicular hoja subplanar	hoja subacicular hoja subplanar	acicular hoja subacicular hoja subplanar
Tills	hoja subplanar hoja subacicular acicular.	hoja subacicular hoja subplanar	hoja acicular hoja subacicular hoja planar plana

Tabla 7.2. Modas de la distribución de la forma de los diferentes DVcS del Nevado de Toluca según las diferentes fracciones de grava (resumen de las gráficas del Anexo VI).

Modas-Esfericidad			
	Gránulo	Guijarro	Canto
Avalancha de escombros (facies de matriz)		Compacta-Muy compacta	
Flujo de escombros cohesivos	Compacta	Compacta-Muy compacta	
Flujos de escombros no cohesivos	Subcompacta Compacta Muy compacta	Compacta	Compacta Muy compacta
Tills	Compacta	Compacta Subcompacta	Compacta

Tabla 7.3. Modas de la distribución de la esfericidad de los diferentes DVcS del Nevado de Toluca según las diferentes fracciones de grava (resumen de las gráficas del Anexo VI).

Otra manera de sintetizar toda la información que aporta el análisis de las variaciones de la forma y la esfericidad de las diferentes fracciones de grava de los DVcS es la que se visualiza en la Figura 7.3, la cual resume todo el análisis para cada rango granulométrico plasmado en la Tabla 7.1 y visualizado en las gráficas triangulares de Sneed & Folk y el desarrollo de los histogramas de distribución para cada fracción de tamaño de partícula dentro del rango de las gravas y que se expone en el Anexo VI.

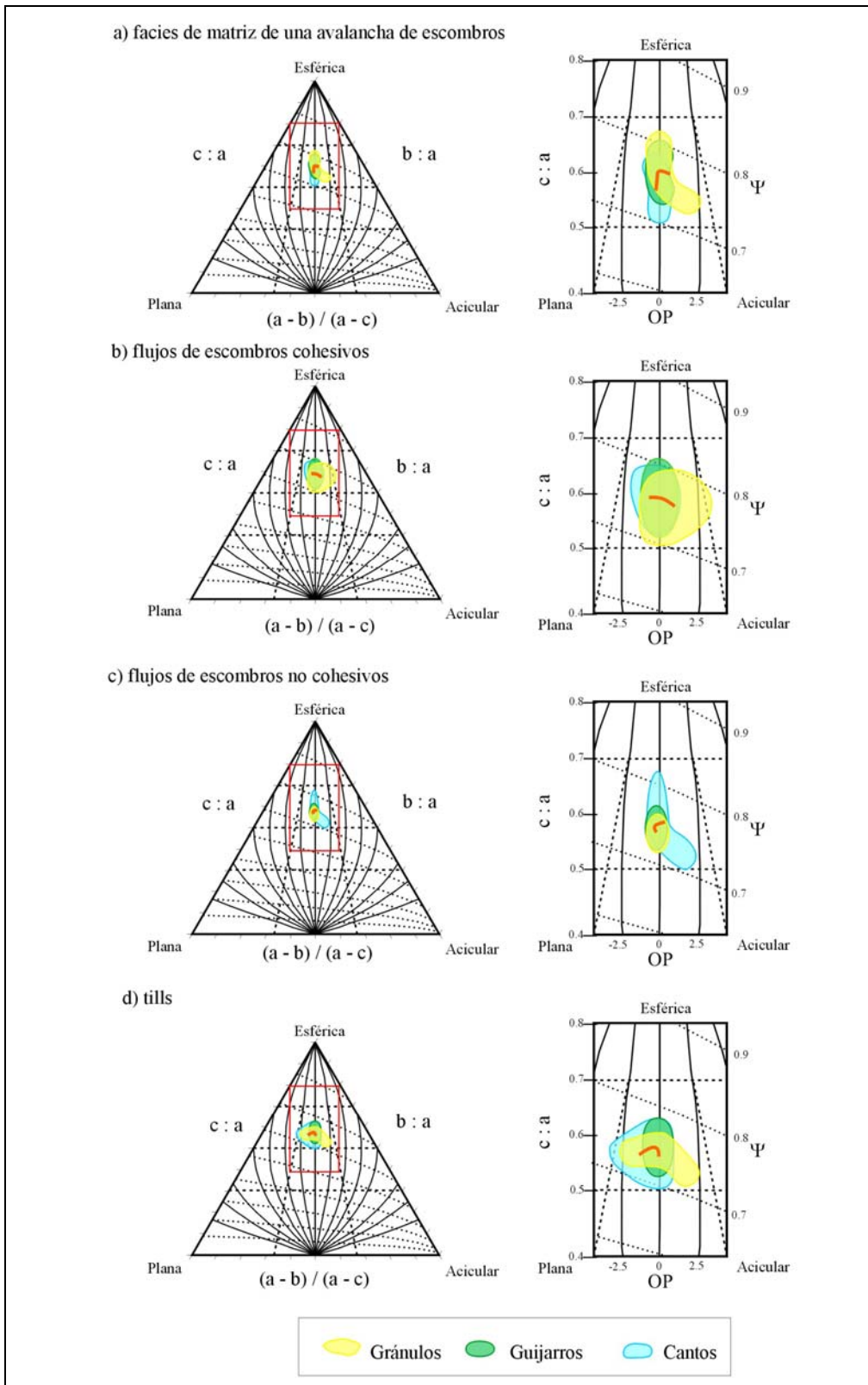


Figura 7.3. Resumen de las variaciones de la forma y esfericidad con el tamaño de las partículas dentro del rango de las gravas para cada DVcS del Nevado de Toluca. Donde: a , b y c corresponden los ejes ortogonales más largo, intermedio y más corto de una partícula, respectivamente, Ψ es Proyección de Máxima Esfericidad, y OP es índice *Oblate-Prolate*.

En la Figura 7.3 se observa que las facies de matriz de una avalancha de escombros presentan partículas que tienden a ser más aciculares y más compactas a medida que disminuye su tamaño de grano. Así mismo, los flujos de escombros cohesivos y los *till* también tienden a ser más aciculares a medida que disminuye el tamaño, pero en los flujos de escombros no cohesivos la tendencia es la contraria, las partículas tienden a ser más planares y menos compactas a menor tamaño de las partículas. Las tendencias son muy sutiles y los valores promedios del índice *Oblate-Prolate* y de la esfericidad (Ψ) no sobresalen de los límites +2.5,-2.5 y 0.7, 0.8, respectivamente. Además, se puede observar cómo las fracciones de tamaño gránulo presentan mayor dispersión en sus formas para todas las partículas de los DVcS excepto para los flujos de escombros no cohesivos, donde la máxima dispersión la presentan las partículas tamaño canto.

7.2.2. Redondez y granulometría.

El análisis comparativo entre la redondez y la granulometría se iniciará con la proyección binaria del valor de la media (Folk, 1974) de la distribución granulométrica con el valor medio del índice de Wadell para las gravas de los DVcS del Nevado de Toluca (Figura 7.4). A su vez se proyectará el promedio para cada uno de los DVcS gracias a los cuales se observa que los depósitos mejor redondeados son los flujos de escombros y los peor redondeados son las avalanchas de escombros y los *tills*. Aparentemente no existe una relación directa entre la redondez promedio y el tamaño promedio del depósito. Pero al trazar las líneas de tendencia de los datos proyectados se observa que tanto para depósitos de facies de matriz de avalancha de escombros, como para los depósitos de flujos de escombros cohesivos se describe una tendencia a la disminución de la redondez de las partículas para las muestras con medias más arenosas, por el contrario para los depósitos de flujos de escombros no cohesivos y depósitos de *till* la tendencia es contraria, ya que la redondez de las partículas mejora hacia las fracciones más pequeñas. En los depósitos de *tills* el cambio de redondez entre las diferentes muestras es muy variable en comparación con el resto de los DVcS.

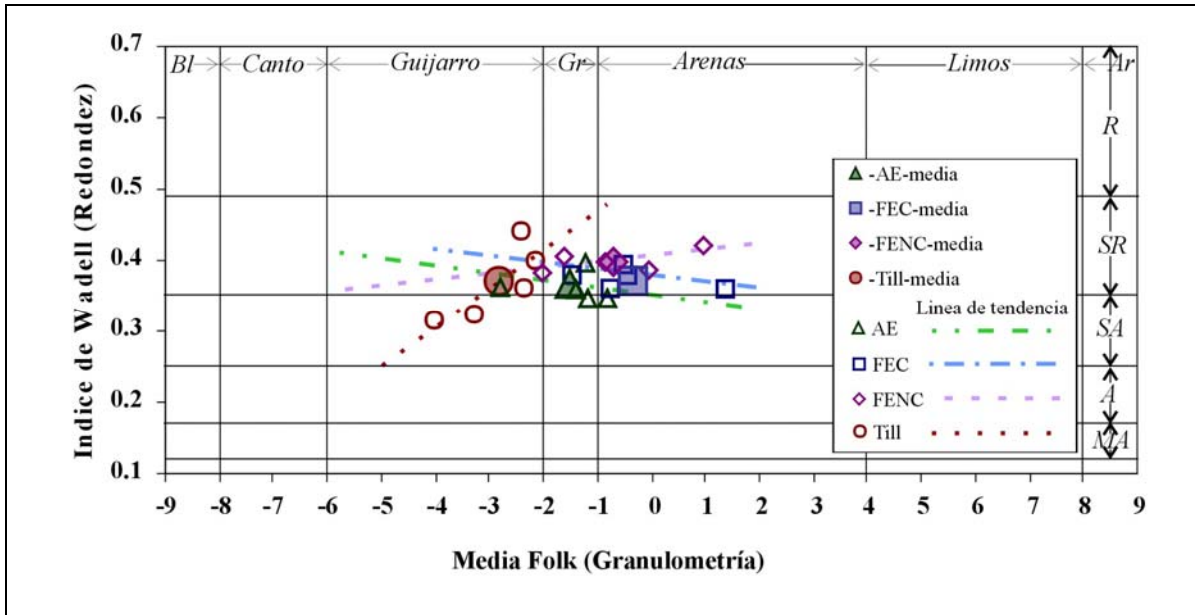


Figura 7.4. Granulometría vs Redondez a través de los valores de la media de distribución granulométrica de Folk y la media del índice de Wadell para el conjunto de las gravas de los DVcS del Nevado de Toluca. Donde, Bl es Bloque, Gr es Gránulo, Ar es Arcilla, R es redondeado, SR es subredondeado, SA es subanguloso, A es anguloso y MA es muy anguloso.

A continuación, se analizarán las variaciones de la redondez en función del tamaño de las partículas para cada afloramiento de los diferentes tipos de DVcS. Dicho análisis se realiza gracias a las observaciones sobre las tablas y figuras del Anexo VII. En las tablas (VII.1, VII.2, VII.3 y VII.4) se recopila toda la información acerca de la media y desviación estándar de los valores de la redondez y en las gráficas se proyecta el histograma de distribución de la redondez. De dichos resultados cabe destacar que los depósitos de facies de matriz de una avalancha de escombros presentan partículas de tamaño canto con una redondez media más subangulosas y partículas tamaño gránulo más subredondeadas que el resto de los DVcS, marcando una tendencia a mejorar la redondez a medida que disminuye el tamaño de la partícula (Figura 7.5). Mientras que las partículas de los flujos de escombros no cohesivos presentan una redondez media para el tamaño canto más subredondeada y para el tamaño gránulo más subangulosas que el resto de los DVcS, marcando una tendencia a empeorar la redondez a medida que disminuye el tamaño de las partículas (Figura 7.5). Otro aspecto a destacar es que las partículas tamaño guijarro son característicamente subredondeadas independientemente del tipo de muestra de DVcS que se analice.

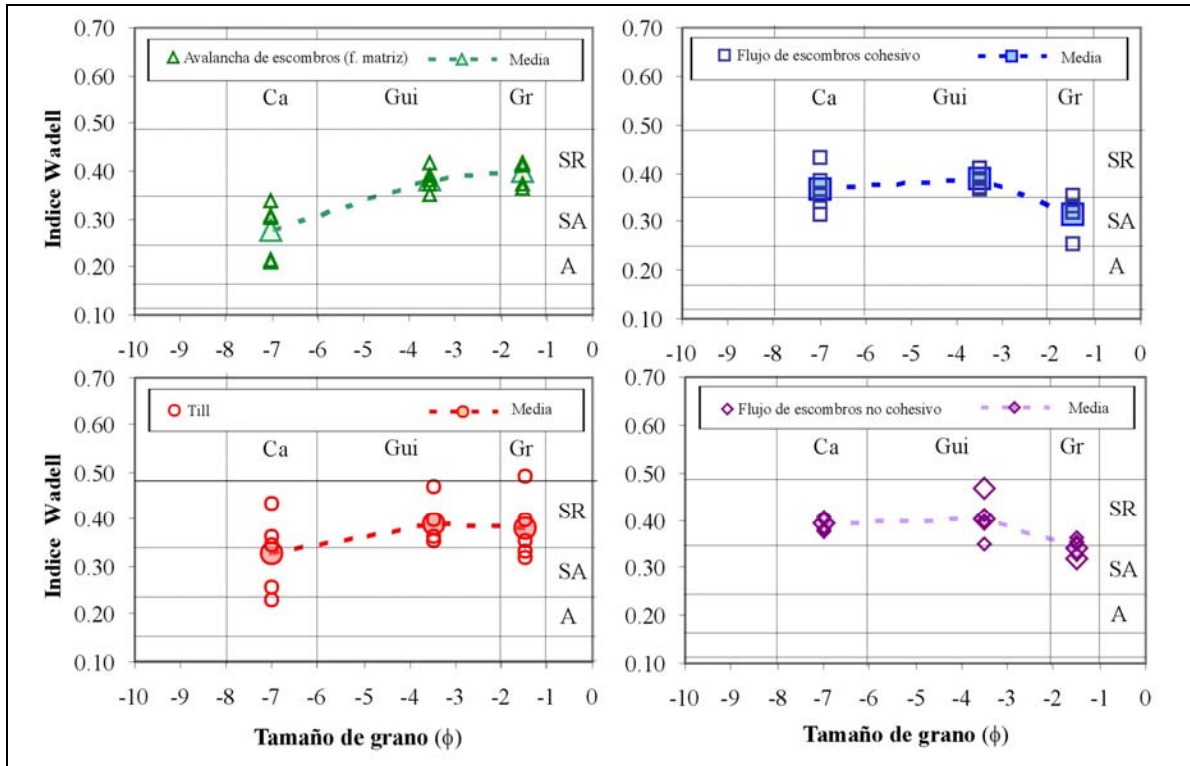


Figura 7.5. Variaciones de la redondez según Wadell en función del tamaño de las gravas para cada uno de los DVcS del Nevado de Toluca. Donde, Ca es Canto, Gui es Guijarro, Gr es Gránulo, HSA es Hoja Subacicular, HSP es hoja Subplanar, y C es Compacta.

También se observa una correlación directa entre los resultados obtenidos por los cálculos de la redondez según Wadell y según la modificada de Wentworth (Tabla 7.4) de los diferentes DVcS. Esto indica que las partículas de los DVcS son heterogéneas en su redondez presentando vértices angulosos puntuales que justifican la diferencia de resultados entre los métodos y al mismo tiempo preservan la tendencia común (Figura 7.6). Las diferencias de los valores entre los dos métodos indican que existe algún proceso que fragmenta la partícula durante el transporte, favoreciendo la presencia de ángulos responsables de los bajos valores en la redondez Modificada de Wentworth.

Redondez de Wadell y Modificada de Wentworth	Avalancha de escombros (fm)	Flujo de escombros cohesivos	Flujo de escombros no cohesivos	Tills
Covarianza	0.00	0.00	0.00	0.00
Coefficiente de correlación	0.95	0.91	0.94	0.99

Tabla 7.4. Cálculo de la covarianza y del coeficiente de correlación entre los valores de redondez calculados por el método de Wadell y la Modificada de Wentworth.

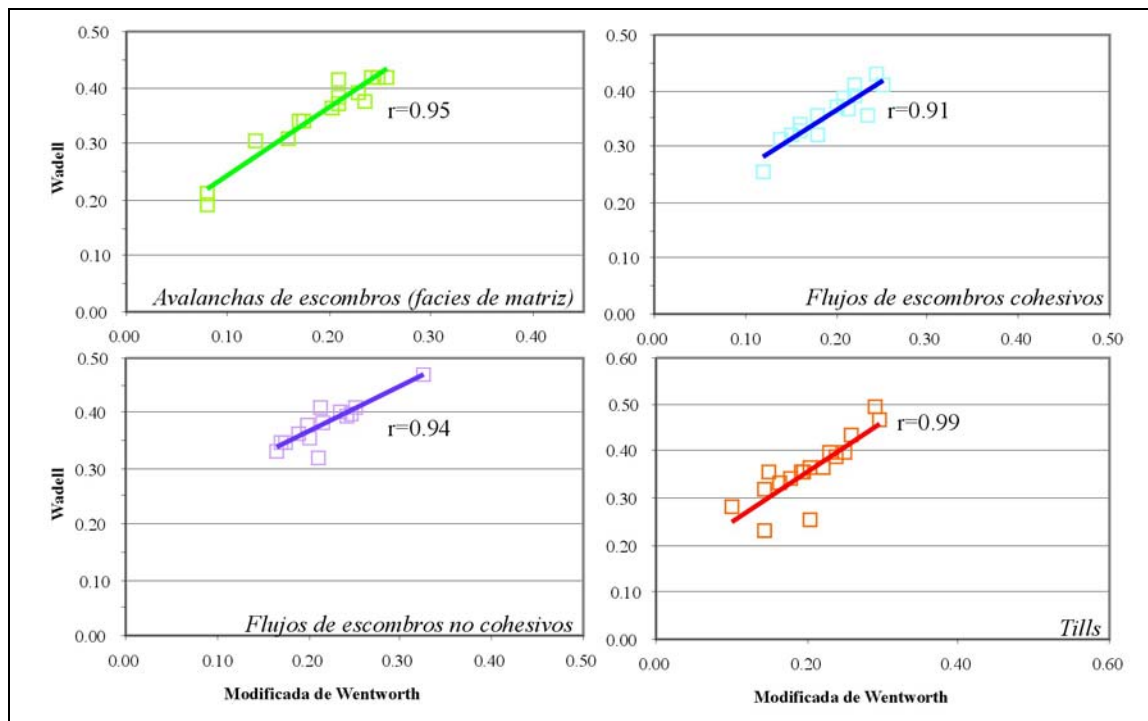


Figura 7.6. Correlación entre los valores de la redondez calculados por el método de Wadell y el de la Modificada de Wentworth para cada uno de los DVcS en estudio del Nevado de Toluca.

7.2.3. Textura superficial y granulometría.

Como ya se vio en el Capítulo IV el análisis de la textura no se puede cuantificar más allá del porcentaje de la presencia o ausencia de una determinada característica. En la Tabla 7.5 se resumen las texturas superficiales que se reconocen en las partículas de los diferentes DVcS para cada fracción dentro del rango de las gravas y en el Anexo VIII se exponen los resultados para cada afloramiento de cada tipo de los DVcS.

Un análisis de la Tabla 7.5 muestra que las estrías son más abundantes en los tamaños guijarro para todos los DVcS, mientras que la presencia de surcos es variable para cada tipo de depósito. Concretamente, para las partículas de los depósitos de las facies de matriz de las avalanchas de escombros y flujos de escombros no cohesivos la presencia de surcos es más abundante en las partículas tamaño guijarro, mientras que para los flujos de escombros cohesivos el porcentaje disminuye a medida que se incrementa el tamaño de las partículas, y para los *tills*, el porcentaje aumenta a medida que se incrementa el tamaño.

Partículas con...	Avalancha de escombros (facies de matriz)			Flujos de escombros cohesivos			Flujos de escombros no cohesivos			Tills		
	canto	guijarro	gránulo	canto	guijarro	gránulo	canto	guijarro	gránulo	canto	guijarro	gránulo
... estrías	0.5	9.0	3.6	0.0	2.2	2	1.4	2.5	0.4	3.0	4.2	1.2
... surcos	1.0	1.3	0.8	0.8	2.1	3.2	0.7	2.7	1.6	5.1	3.2	1.6
... caras planas	30.8	67.3	71.6	62.5	64.7	66.8	44.4	64.6	47.6	51.0	58.0	54.8
... una cara plana	13.8	27.0	32.4	30.2	27.9	26.4	30.2	29.8	29.2	26.4	31.6	34.4
... mas de una cara plana	9.8	29.6	25.2	38.6	33.8	34.8	12.9	24.1	16	20.5	26.9	17.2
... superficies suavizadas	21.8	11.5	2.4	32.8	19.1	15.6	11.5	11.0	6.8	18.8	8.0	4.4
... caras planas pulidas	6.9	7.2	0	17.9	15.5	7.2	7.5	13.2	2	23.1	15.4	5.2
... caras planas sin pulir	39.7	59.7	80.4	30.1	16.2	38.8	9.0	18.5	31.2	12.6	8.8	2.4
... fracturas incipientes	0.0	4.0	2	0.0	0.8	0	6.8	1.1	0	0.6	1.1	0
... fracturas incipientes que intersectan	0.0	0.3	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0
... escalones (uno o mas)	7.4	7.9	1.2	8.2	5.2	5.6	7.2	7.4	6.8	10.1	4.8	1.2
... crestas	0.0	2.0	0				3.4	0.0	0	0.0	0.0	2
... ondulaciones										6.7	0.0	0
... arañazos	6.6	3.1	1.3	5.6	1.5	0.4	0.0	1.0	2	3.3	0.6	0.5
... marcas de percusión				0.0	0.0	2	13.8	2.4	0			
... grietas				1.7	1.8	2.7						
... arrugas				2.6	0.2	0						
... aristas angulosas	0.0	0.7	0							1.4	0.4	0
... aristas redondeadas										5.8	0.2	0
... cortes frescos (no planos)				0.0	1.6	0.8	8.3	0.0	3	4.5	0.8	0
... cortes rectos en bajo relieve	0.0	0.8	0									
... marcas de concavidad							0.0	1.4	0			
N	109	658	250	94	569	250	76	608	250	177	664	250

Tabla 7.5. Resumen de las texturas superficiales descritas para cada fracción de grava de los diferentes DVcS del Nevado de Toluca. Valores expresados en % de presencia de una determinada textura superficial en las partículas de cada fracción granulométrica. Donde, N es el número de partículas analizadas.

Para todos los DVcS aumenta el número de superficies cóncavas o convexas con el incremento del tamaño de las partículas. La abundancia de caras planas pulidas difiere para cada tipo de DVcS, para las facies de matriz de una avalancha de escombros y flujos de escombros no cohesivos la abundancia se centra en los tamaños guijarro mientras que para los flujos de escombros cohesivos y *tills* aumenta al aumentar el tamaño de las partículas. Por otro lado, son más abundantes las caras sin pulir al disminuir el tamaño para las facies de matriz de avalancha de escombros, flujos de escombros cohesivos y flujos de escombros no cohesivos mientras que para los *tills* aumenta al aumentar el tamaño.

Para las partículas de los depósitos de facies de matriz de una avalancha de escombros, flujos de escombros cohesivos y *tills* la abundancia de arañazos es directamente proporcional al incremento del tamaño de las partículas, mientras que para los flujos de escombros no cohesivos es inversamente proporcional.

7.2.4. Fábrica y granulometría.

En este epígrafe se analizarán las posibles variaciones de la fábrica de un depósito en función de la granulometría. Dicho análisis solo se realizará para los depósitos de facies de matriz de una avalancha de escombros y de *tills* del Nevado de Toluca y para flujos de escombros cohesivos del Monte Rainier (Vallance & Scott, 1997). Para los flujos de escombros no cohesivos las muestras sedimentológicas tomadas del Nevado de Toluca y los trabajos encontrados en la bibliografía no presentan datos de la fábrica que nos permitan comparar estas dos variables. El análisis que se realiza a continuación es parcial e incompleto.

Para comenzar, se enfrentarán los valores de la media de la distribución granulométrica de los depósitos de facies de matriz de una avalancha de escombros y de los depósitos de *till*, frente al valor del *eigenvalue* principal (S_1). En la Figura 7.7 se puede observar dos tendencias, gracias a las fábricas unimodales de los depósitos de *tills* y de los flujos de escombros cohesivos. En los depósitos de *tills* se aprecia como el valor del *eigenvalue* principal (S_1) se mantiene constante con la media de la distribución granulométrica. Mientras que en los depósitos de flujos de escombros cohesivos se observa un incremento de la fortaleza de la fábrica en función de la disminución de la media de la distribución granulométrica. No se puede realizar ninguna observación de

las variaciones de las orientaciones de las facies de matriz de avalanchas de escombros en función de la media de la distribución granulométrica por no presentan distribuciones unimodales marcadas.

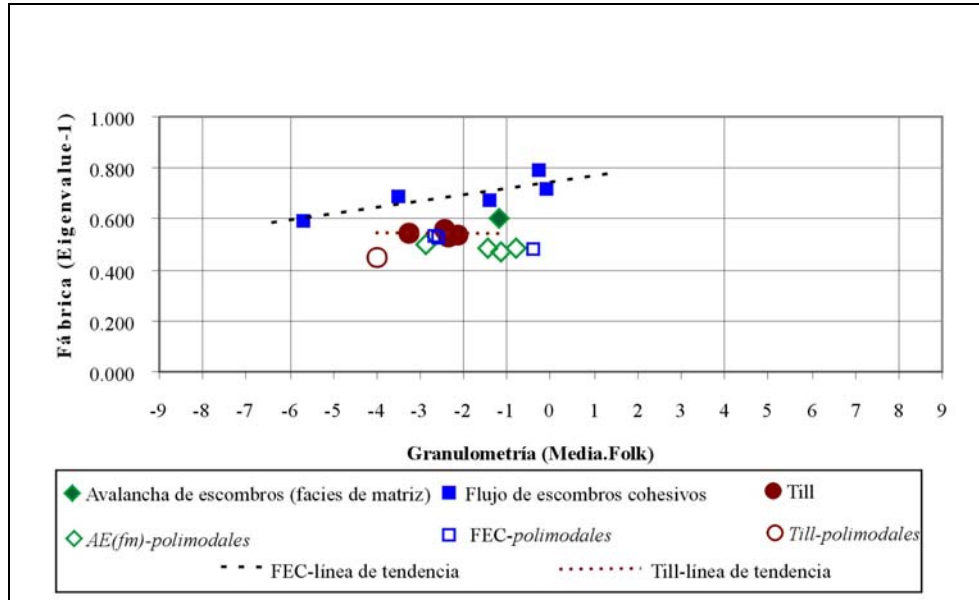


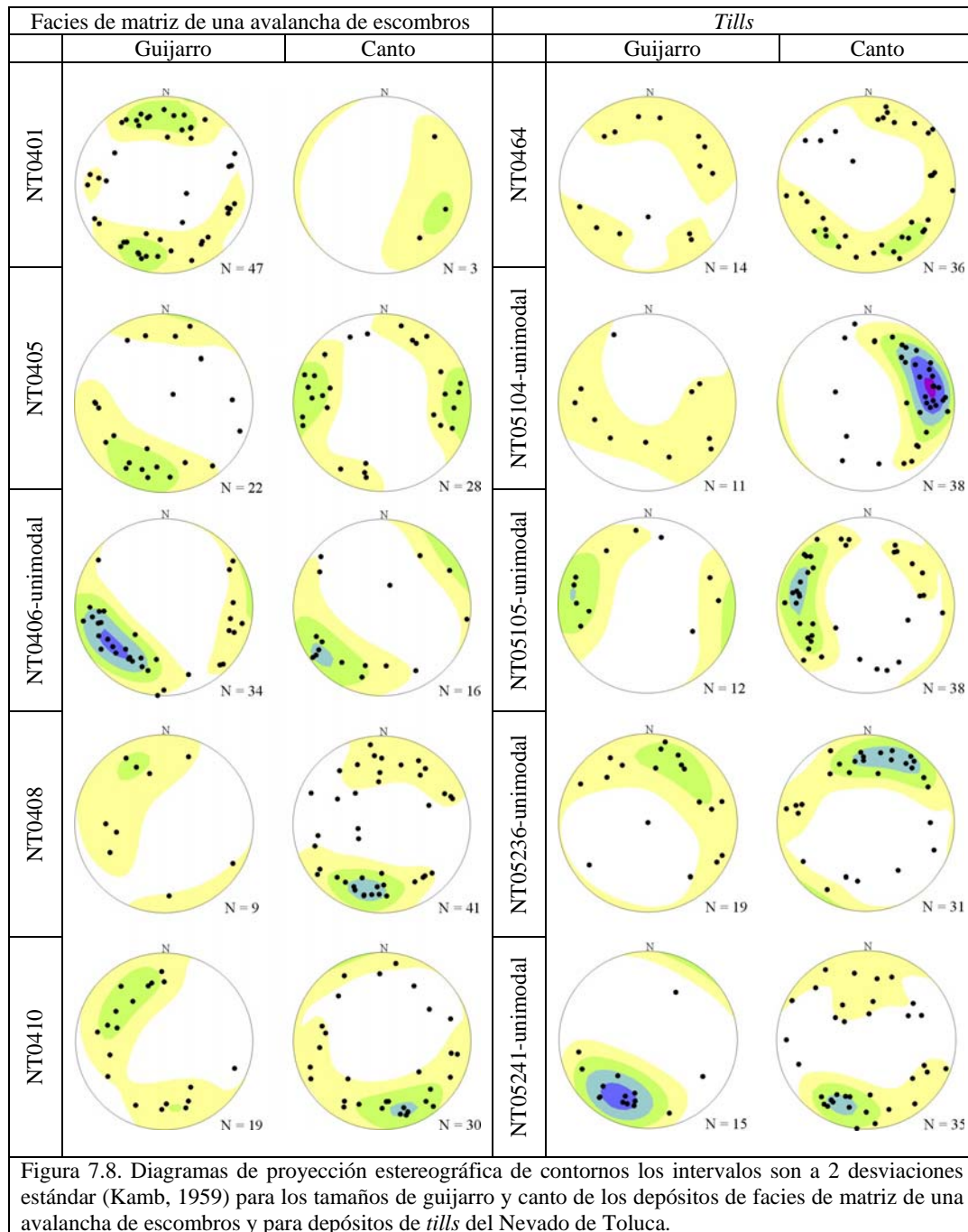
Figura 7.7. Proyección de la media de la distribución granulométrica de las muestras de las facies de matriz de la avalancha de escombros (AE(fm)) el Zaguán del Nevado de Toluca, de los *tills* de las vertientes SE y NO del Nevado de Toluca y de los flujos de escombros cohesivos (FEC) del *Osceola Mudflow* del Monte Rainier frente al *eigenvalue* principal (S_1).

A continuación, se analizará la fábrica de las diferentes clases granulométricas de las gravas (guijarro y canto) para cada muestra de los depósitos plasmados en la Figura 7.8. En esta se observa que, por lo general, la orientación de las partículas no varía en función del tamaño para las distribuciones unimodales (excepto para la muestra NT05104 de *tills*).

7.2.5. Forma-esfericidad y fábrica.

A continuación se evaluarán las variaciones de la fábrica en función de la forma y esfericidad de las partículas de los depósitos de facies de matriz de avalancha de escombros y de *tills*. Los motivos por los cuales no se incluyen los depósitos de los flujos de escombros son los mismos que los expuestos anteriormente. No se cuentan con los datos de la fábrica de las muestras de la morfología de las partículas tomadas para los depósitos de flujos de escombros del Nevado de Toluca, y los datos de las fábricas de los depósitos de flujos de escombros analizados en el Capítulo VI no cuentan con

datos de la morfología (forma, esfericidad, redondez y textura superficial) de las partículas.



Como primera aproximación, se enfrentará en un diagrama binario el índice *Oblate-Prolate* de la forma de la partícula frente al *eigenvalue* principal (S_1) de la fábrica del depósito (Figura 7.9-a) y el índice de Máxima Proyección de Esfericidad (Ψ) frente al *eigenvalue* principal (S_1) de la fábrica del depósito (Figura 7.9-b). En estos

diagramas se puede observar dos tendencias, gracias a las fábricas unimodales de los depósitos de *tills*, en ellos se aprecia un descenso en el valor del *eigenvalue* principal (S_1) con las formas más alargadas (*prolate*), mientras que se aprecia un aumento en los valores del *eigenvalue* principal (S_1) con las muestras de partículas más esféricas. Por lo que se podría afirmar que en los depósitos de *tills* con partículas de formas con tendencia a ser planas y esféricas presentan mejor orientación de sus ejes mayores (a). Lamentablemente, las orientaciones de las facies de matriz de avalanchas de escombros no presentan distribuciones unimodales marcadas, lo cual hace difícil evaluar con confianza las tendencias de los valores de la fábrica frente a la forma y esfericidad proyectados para estos depósitos.

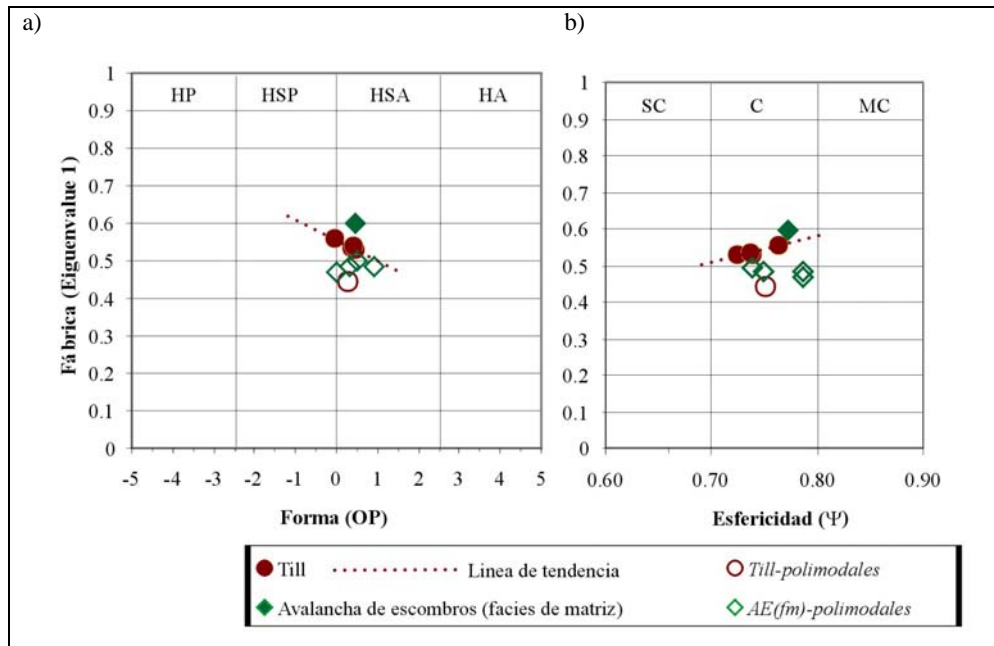


Figura 7.9. Diagramas binarios de la forma frente a la fábrica para los depósitos de facies de matriz de una avalancha de escombros y de *tills* del Nevado de Toluca. a) El índice *Oblate-Prolate* de la forma de la partícula frente al *eigenvalue* principal (S_1) de la fábrica del depósito; b) el índice de Máxima Proyección de Esfericidad (Ψ) frente al *eigenvalue* principal (S_1) de la fábrica del depósito. Donde, HP es hoja plana, HSP es hoja subplana, HSA es hoja subaciculada, HA es hoja aciculada, SC es subcompacta, C es compacta y MC es muy compacta.

Dada la homogeneidad de la forma de las partículas del conjunto de las gravas de los depósitos analizados, forma de hoja (subacicular-subplanar) y esfericidad compacta, no se procederá a realizar un análisis de las fábricas en función de las variaciones de la forma y esfericidad de las partículas.

7.2.6. Redondez y fábrica.

En este epígrafe, se analizarán las variaciones de la fábrica en función de la redondez de las partículas de los depósitos de facies de matriz de avalancha de escombros y de *tills*, por las mismas razones que se expusieron anteriormente para el análisis de la forma y la fábrica.

Al proyectar el índice de redondez de Wadell frente al *eigenvalue* principal (S_1) de la fábrica del depósito (Figura 7.10) se puede observar una tendencia, gracias a las fábricas unimodales de los depósitos de *tills*, en ellos se aprecia un aumento en el valor del *eigenvalue* principal (S_1) a medida que aumenta la redondez media de las partículas. Por lo que se podría afirmar que los depósitos de *tills* con partículas subredondeadas presentan mejor orientación de sus ejes mayores (a) que las subangulosas. Lamentablemente, las orientaciones de las facies de matriz de avalanchas de escombros no presentan distribuciones unimodales marcadas, lo cual hace difícil evaluar con confianza las tendencias de los valores de la fábrica frente a la redondez proyectados para estos depósitos.

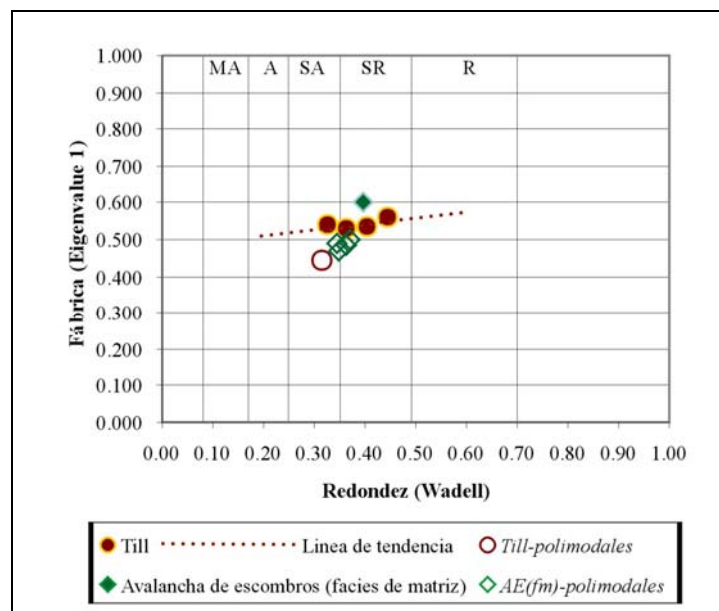
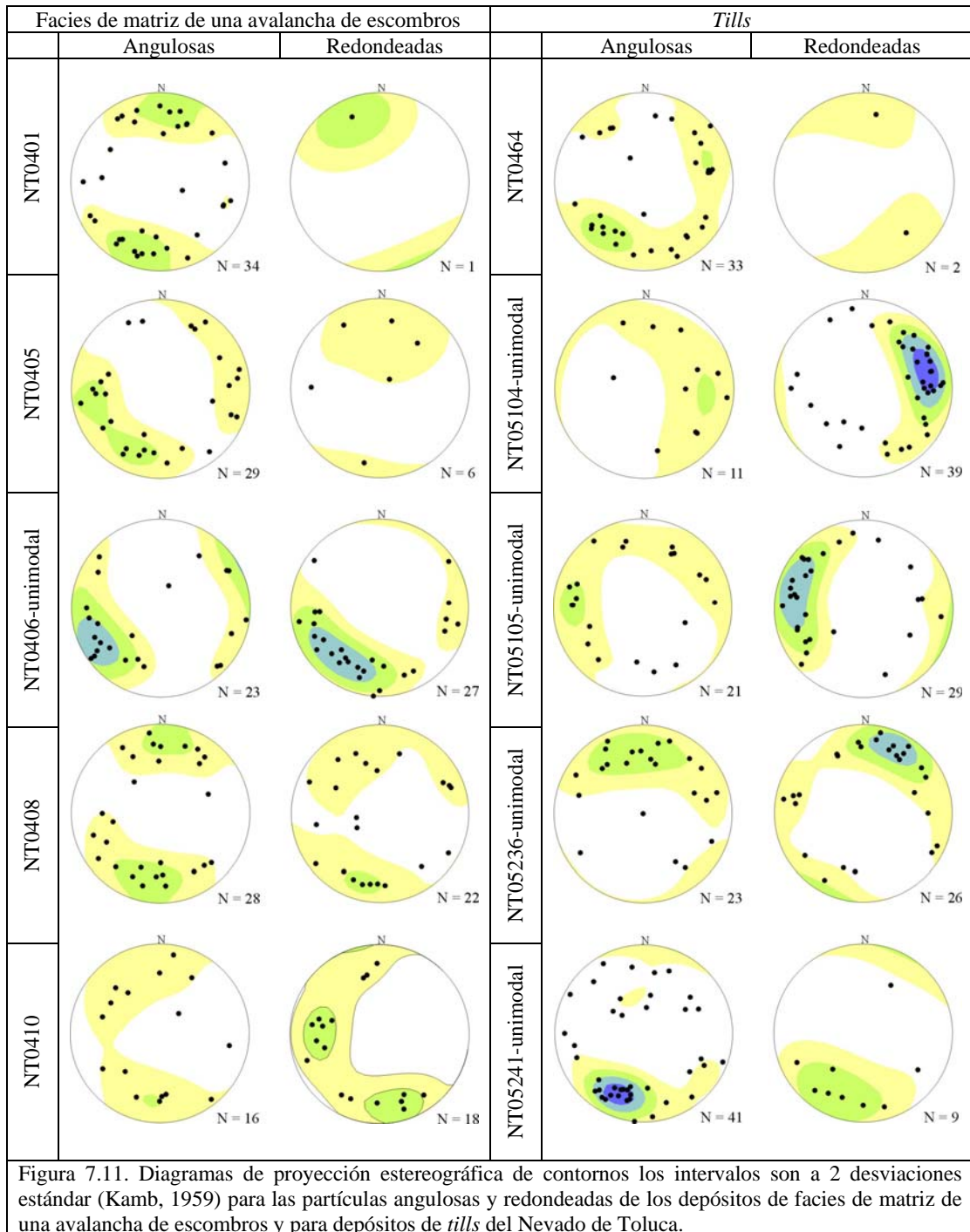


Figura 7.10. Diagramas binarios de la redondez de las partículas (índice de Wadell) frente a la fábrica (*eigenvalue* principal, S_1) de los depósitos de facies de matriz de una avalancha de escombros y de *tills* del Nevado de Toluca. Donde, MA es muy angulosa, A es angulosa, SA es angulosa, SR es subredondeada, R es redondeada.

A continuación, se procederá a comparar la redondez de las partículas con la fábrica del depósito agrupando los datos en dos conjuntos, uno donde se reflejen todas las partículas muy angulosas, angulosas y subangulosas y en otro donde se agrupen las partículas bien redondeadas, redondeadas y subredondeadas. En la Figura 7.11 se observa que para las distribuciones unimodales de la fábrica no se aprecian diferencias entre la fábrica de las partículas angulosas y redondeadas.



7.3. Discusión.

Las propiedades de la textura de un depósito analizadas de forma conjunta ofrecen la posibilidad de evaluar los procesos de transporte y sedimentación que sufren las partículas de tamaño grava que conforman los DVcS. Si se clasifican los depósitos en función de la interacción que experimentan las gravas entre ellas mismas y el medio de transporte durante el movimiento, se puede considerar que los sedimentos son transportados activamente o pasivamente.

Tras el análisis de la textura expuesto en este capítulo y considerando los mecanismos de transporte de las partículas para cada escenario que da lugar a cada uno de los DVcS en estudio, se explicaran puntualmente los resultados obtenidos del análisis de la morfología de las partículas en función de sus rangos granulométricos. La interpretación de estos resultados dependerá de las características iniciales de las gravas en el momento de su formación o heredadas del depósito fuente.

Al colapsar una porción de un edificio volcánico se generan partículas con una gran amplitud de formas en función de las debilidades estructurales y de la litología de la roca dilatada, con redondez homogénea de tendencia angulosa y con texturas superficiales que indiquen fracturación (caras planas sin pulir) Analizando los depósitos de avalanchas de escombros se puede entonces inferir los mecanismos que actuaron durante el transporte. Los resultados obtenidos apuntan que las partículas de tamaño gránulo presentan una amplia variedad de formas (Figura 7.2-a), lo cual indicaría un transporte de tipo pasivo, donde un desplazamiento en masa preservaría la heterogeneidad de las formas originales. Mientras que las partículas tamaño canto son las que presentan un amplio rango en el índice de redondez (Figura 7.5), lo cual indica que las gravas de mayor tamaño sufren interacción entre ellas capaz de modificar su redondez, típico del transporte activo. Si a estas observaciones se añade la presencia texturas superficiales que indican la interacción entre las partículas (arañazos, estrías), se puede afirmar que las gravas en las avalanchas de escombros sufren un transporte pasivo en masa mientras que los cantos presentan un comportamiento más dinámico.

Para los flujos de escombros cohesivos se parte de una situación muy similar a la de las avalanchas de escombros donde predominan partículas con formas variables, pero el alto índice de alteración de la ladera del edificio volcánico colapsada apunta a que las partículas también presentan una redondez variable y texturas superficiales características de un ambiente donde predomina la meteorización (arrugas, grietas). Las partículas tamaño gránulo presentan un amplio rango de formas que el resto de las fracciones (Figura 7.2-a), y las partículas tamaño gránulo y canto presentan una amplitud en el índice de redondez (Figura 7.5). Estas dos características muestran que el transporte de los gránulos en un flujo de escombros cohesivo fue de tipo pasivo, debido a que se preservan las características de forma y redondez de partida. No se puede afirmar lo mismo para las fracciones de guijarros ni para la de cantos, las cuales muy presumiblemente sufren mayor interacción entre ellas, aunque no lo suficiente como para homogeneizar la redondez de los cantos. La presencia de texturas superficiales indicativas de la abrasión (estrías, surcos, superficies suavizadas) en diferentes fracciones de las gravas de los flujos de escombros cohesivos, señala cierta interacción entre las gravas y el medio de transporte (agua, limo y arcilla).

El escenario de inicio para las partículas de los flujos de escombros no cohesivos esta en función de las características de las partículas que son removilizada o introducidas en el flujo. La amplia variedad de la forma de las partículas de tamaño canto de los flujos de escombros no cohesivos (Figura 7.2-a) responde muy presumiblemente a la heterogeneidad de clastos incorporados en un proceso de *bulking*; las reducidas variaciones en la redondez de los cantos (Figura 7.5) se deben a la interacción entre las partículas y el medio de transporte. La presencia de texturas superficiales indicativas de la interacción entre partículas (marcas de percusión, cortes frescos) especialmente en las fracciones de cantos, señala la interacción entre las partículas. Cabe mencionar que los indicadores texturales típicos de la abrasión por la interacción de las gravas con su medio de transporte (agua, limo y arcilla), también están presentes en todas las fracciones de gravas.

Las partículas que forman parte del las morrenas glaciares pueden presentar diferentes características en función de la fuente de origen (escombros de caída o sedimento incorporado por erosión) y la trayectoria de las gravas durante el transporte en la masa glaciaria. Es por esto, que se parte de un escenario de formas variadas y

redondez con tendencia angulosa y características texturales típicas de la abrasión del hielo. La amplia variedad en la forma (Figura 7.2-a) en las partículas tamaño canto de los *tills* responde a que son transportadas pasivamente, donde las partículas conservan la heterogeneidad en la forma y redondez que presentaban en la fuente. Pero el amplio rango de la redondez para cantos (Figura 7.5) apunta hacia una mezcla de partículas provenientes de un área donde predomina el transporte activo (subglaciar) y de un área donde predomina el transporte pasivo (supraglaciar). El registro de la textura superficial de sus partículas indica una abrasión (surcos, arañazos, superficies cóncavas y convexas, caras pulidas), la cual es más efectiva a medida que aumenta el tamaño de las partículas, lo cual refleja la activa interacción del medio de transporte con las gravas.

Gracias a los datos disponibles del análisis de la fábrica con los demás aspectos de la textura, podemos afirmar que la orientación principal de las partículas de los DVcS en estudio no se ve influenciada ni por la granulometría del mismo ni por la morfología de las partículas que lo conforman (Figura 7.8 y 7.11), por lo que se puede afirmar que el mecanismo de sedimentación no influye ni está influenciado por la abundancia relativa de una determinada fracción, ni por la morfología de las partículas. Solamente se han podido describir ligeras tendencias para los depósitos de tills por presentar una distribución de orientaciones unimodales cuya fortaleza es mayor a medida que las formas son más planas y más esféricas (Figura 7.9) y que son más redondeadas (Figura 7.10), pero no se describe variación alguna en función de la media de la distribución granulométrica (Figura 7.7).

7.4. Conclusiones.

De este capítulo se destacan las siguientes conclusiones:

1. no se observa dependencia alguna entre la distribución granulométrica (tamaño medio), la morfología de las partículas (media del índice *OP*, media de la Máxima Proyección de Esfericidad, media del índice de Wadell) y la fortaleza de la fábrica (S_I) de los DVcS;
2. las partículas de los DVcS prácticamente presentan la misma forma y esfericidad, hoja subplana–hoja subaciculada y compata, independientemente

- del tamaño de grava que se analice. Las facies de matriz de una avalancha de escombros presentan partículas que tienden a ser más aciculares y más compactas a medida que disminuye su tamaño de grano. En los flujos de escombros cohesivos y los *till* las partículas también tienden a ser más aciculares a medida que disminuye el tamaño, pero en los flujos de escombros no cohesivos la tendencia es la contraria, las partículas tienden a ser menos aciculares y menos compactas a menor tamaño de las partículas;
3. la redondez varía en función del tamaño de grava que se analice: las facies de matriz de las avalanchas de escombros mejoran la redondez a medida que disminuye el tamaño de la partícula, los depósitos de flujos de escombros no cohesivos empeoran su redondez a medida que disminuye el tamaño de las partículas;
 4. la correlación directa y las diferencias de los valores entre los dos métodos para la obtención de la redondez (Wadell y modificada de Wentworth) indican que existe algún proceso que fragmenta la partícula durante el transporte, favoreciendo la presencia de ángulos;
 5. la fábrica no varía para los diferentes tamaños de grava (guijarro y canto) ni para los diferentes grados de redondez (angulosa y redondeada) de los DVcS;
 6. las partículas de las avalanchas de escombros y los flujos de escombros cohesivos sufrieron un transporte tal que los gránulos presentan características morfológicas típicas de un movimiento pasivo en masa, mientras que los cantos se ven afectados por la interacción entre ellos respondiendo a un comportamiento más activo;
 7. las partículas de los flujos de escombros no cohesivos manifiestan características morfológicas en sus cantos que indican un transporte de tipo activo;
 8. las partículas tamaño canto de los tills muestran una mezcla de orígenes de los escombros, los cuales pudieron ser transportados en una zona supraglaciaria (pasivamente) o subglaciaria (activamente);
 9. los mecanismos de sedimentación de los DVcS no influyen, ni están influenciados, por la abundancia relativa de una determinada fracción, ni por la morfología característica de las partículas.

VIII. CONCLUSIONES.

El presente trabajo de investigación consistió en aplicar una metodología de obtención de datos y análisis de la textura (granulometría, morfología de las partículas y fabrica del depósito) de cuatro tipos de DVcS (facies de matriz de avalancha de escombros, flujos de escombros cohesivos, flujos de escombros no cohesivos y *tills*) con la finalidad de encontrar criterios de discriminación directamente asociados a su origen (formación, transporte y sedimentación).

Los parámetros de la textura más discriminantes están resumidos en la Tabla 8.1, en donde se aprecia que no hay un solo criterio que diferencie a los cuatro tipos de DVcS. Sin embargo, la presencia o ausencia de una tendencia diferente entre los distintos tipos de depósito se puede relacionar directamente con su mecanismo de transporte y sedimentación. La baja dispersión de los valores de la media y la desviación estándar de las facies de matriz de las avalanchas de escombros (Figura 8.1-b), se debe a que el soporte de las partículas durante el transporte depende del proceso de dilatación del material por la colisión inelástica que suceden entre los granos, haciendo que la fragmentación en partículas de menor tamaño sea muy limitada. El peor grado de clasificación de la media de la distribución (Figura 8.1-a) y la gran amplitud de los valores de la desviación estándar (Figura 8.2-b) de los flujos de escombros cohesivos, se debe a las fuerzas de cohesión de una matriz rica en arcilla capaz de soportar grandes bloques. Se ha encontrado una relación directa entre la clasificación y el enriquecimiento en partículas finas, cuanto mayor es el porcentaje en partículas finas, peor es la clasificación de los flujos de escombros cohesivos (Figura 4.7-a). La presencia de arcilla en la mezcla de agua y sedimentos, es la responsable de la fuerza de cohesión capaz de transportar grandes partículas (Lowe, 1982), inhibiendo la colisión y la segregación de las mismas. Los flujos de escombros no cohesivos presentan el mejor grado de clasificación (Figura 8.1-a) y la más amplia distribución de medias (Figura 8.1-b), debido a la falta de cohesión de la mezcla de agua y sedimentos lo que favorece la segregación de las partículas determinando un cambio evidente en la granulometría del depósito. Además la incorporación de sedimentos durante el flujo, hace que este se

enriquezca de un determinado tipo de tamaño. Las medias más gruesas de los depósitos de *tills* (Figura 8.1-a), muy presumiblemente responde a que los glaciares de montaña tropical se caractericen por transportan grandes fragmentos de roca incorporados supraglaciariamente y transportados pasivamente, lo que impide que ocurra una fragmentación mecánica de las partículas durante el transporte, o bien se caractericen por un reducido aporte y creación de material fino subglaciar.

	Facies de matriz de una avalancha de escombros	Flujos de escombros cohesivos	Flujos de escombros no cohesivos	<i>Tills</i>
Media de la distribución granulométrica	< variación Arena muy gruesa-Gránulo (de -3 a 0.4 ϕ)	Arena muy gruesa-Guijarro (de -3.5 a 0.8 ϕ)	> variación Arena gruesa-Guijarro (de -3.2 a 1.5 ϕ)	Mayor enriquecimiento en gravas. Arena muy gruesa-Guijarro (de -4 a 0.5 ϕ)
Desviación estándar de la distribución granulométrica	El rango más pequeño en la clasificación. De PC a MPC (2.7-4.7)	El peor grado de clasificación y el rango más amplio. De PC a MPC (2.5-6.2)	El mejor grado de clasificación. De BC a MPC (1-4.5)	De PC a MPC (2.5-4.8)
Proporciones entre arena-limo-arcilla		Enriquecimiento en arcilla	Enriquecimiento en arena	
Redondez (Media-Wadell)	Subaangulosos-Subredondeado	Subredondeado	Subredondeado	Subaangulosos-Subredondeado
Rango de Redondez del índice RA	9-23%RA	5-16%RA	2-16%RA	3-29% RA
Fabrica	Orientación preferencial más débil.	Orientación preferencial más fuerte.	Orientación preferencial fuerte.	Orientación preferencial fuerte.
Forma de la fabrica	Bandeada	Agrupada		

Tabla 8.1. Resumen de los criterios de discriminación de la textura de los DVcS. Donde, MPC, muy pobremente clasificada; PC, pobremente clasificada; BC, bien clasificada.

El reducido rango de las variaciones del índice RA de redondez para las partículas tamaño grava de los flujos de escombros cohesivos y no cohesivos responde a un transporte de tipo activo. Mientras que el amplio rango de variaciones para las facies de matriz de avalancha de escombros y tills indican que las gravas de algunos de estos depósitos pudieron transportarse pasivamente.

Las avalanchas de escombros solamente presentan orientación preferencial de las partículas tamaño grava en las posiciones más alejadas de la fuente mientras que los flujos

de escombros cohesivos presentan una orientación fuerte, en especial donde la paleotopografía es más inclinada.

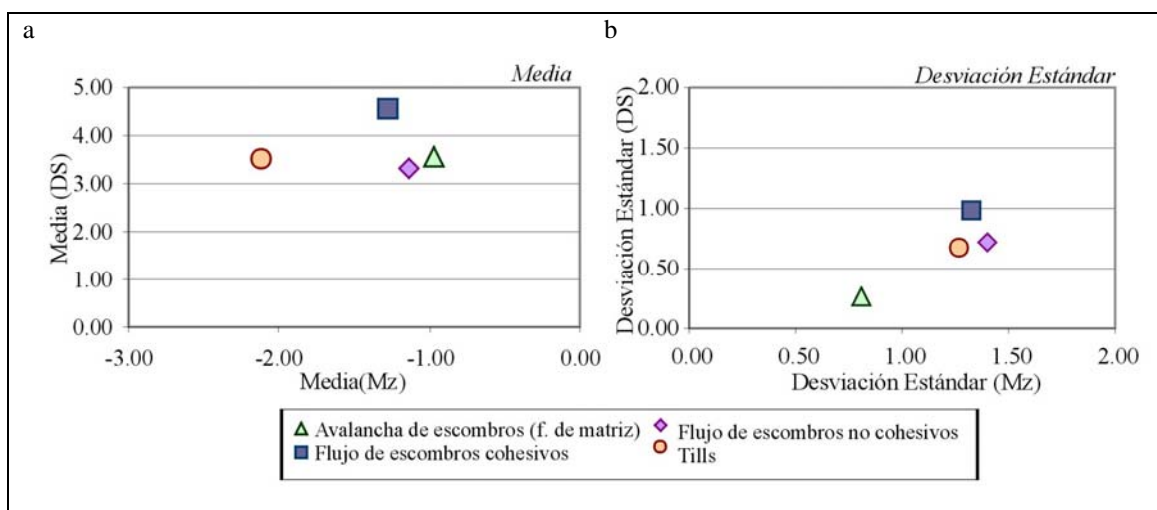


Figura 8.1. Proyección binaria de: a) la media del tamaño medio (Media (Mz)) frente a la media de la desviación estándar (Media (DS)), y b) la desviación estándar del tamaño medio (Desviación Estándar (Mz)) frente a la desviación estándar de la desviación estándar (Desviación Estándar (DS)) de la distribución granulométrica de los DVcS. Donde: Mz es la Media y DS es la Desviación Estándar.

Por los resultados obtenidos en este trabajo, se puede afirmar que los diferentes mecanismos de formación, transporte y sedimentación de los DVcS en estudio quedan reflejados en la textura del depósito, especialmente en la desviación estándar de la distribución granulométrica y en las variaciones del índice RA. Estos parámetros son suficientes para clasificar correctamente uno de los cuatro tipos de DVcS en estudio, complementando otras evidencias estratigráficas.

Una de las grandes dificultades del presente trabajo ha sido no perder la objetividad a la hora de analizar los resultados. Es evidente que la comparación de los diferentes parámetros de la textura de los DVcS en estudio, no iba a ser sencilla por su innegable similitud de facies. Aun así, las características discriminatorias encontradas entre los diferentes tipos de depósitos en estudio han sido obtenidas cuantitativamente y analizadas desde una perspectiva de los mecanismos de formación y de transporte.

Anexo I

Curvas de distribución granulométrica y los parámetros estadísticos que las definen.

Las curvas de distribución de frecuencias de los tamaños se aproximan a una curva de distribución normal (Figura I.1-a) o a una familia de curvas derivadas desde una distribución normal, siempre y cuando se proyecten como una variable del logaritmo de los diámetros, escala aritmética (Krumbein, 1936; Inman, 1952; Folk, 1966). La mayoría de los autores utilizan la escala logarítmica de tamaños de granos de Wentworth (1922), en unidades de phi (ϕ). Phi es la transformación logarítmica: $\phi = -\log_2 d$, donde d es el tamaño de grano en mm. Los intervalos de clase que se utilizan son de 1ϕ o $\frac{1}{2}\phi$, según los objetivos del estudio. Esta representación más simétrica ayuda a la correspondencia de las medidas gráficas con las teóricas (medida de los momentos). Los parámetros estadísticos obtenidos gráficamente a partir de una curva de frecuencias de tamaños acumulativos (Figura I-b) se basa en las relaciones espaciales de los puntos de la curva que coinciden con los percentiles 5, 16, 50, 75, 84 y 95 ($\phi_5, \phi_{16}, \phi_{50}, \phi_{75}, \phi_{84}$ y ϕ_{95}). El único inconveniente de las medidas gráficas es que pierden equivalencia a medida que la asimetría de la distribución aumenta (Inman, 1952).

A continuación se presenta una descripción de los parámetros estadísticos utilizados en la descripción de la distribución de las frecuencias de los tamaños de las partículas:

- ✓ Las **medidas de tendencia central** son: la media, la mediana y la moda. La moda (Mo_ϕ) es el diámetro de grano con mayor frecuencia de ocurrencia, es decir, la clase de tamaño de grano que contiene la mayor proporción de la muestra. La mediana (Md_ϕ) es el diámetro medio, es el valor del diámetro que divide la curva de distribución de frecuencias dentro de dos áreas iguales. La mediana es el diámetro del percentil 50 (ϕ_{50}) de una curva de frecuencia acumulativa, no está afectada por los valores extremos de la distribución. La media (M_ϕ) es el promedio de los diámetros de todas las partículas, es el valor del diámetro en el centro de gravedad de la distribución de frecuencias. El valor de la media está representado por el promedio de los diámetros de los percentiles 16 y 84 (ϕ_{16} y ϕ_{84}), para Inman (1952), y por el promedio de los diámetros de los percentiles 16, 50 y 84 (ϕ_{16}, ϕ_{50} y ϕ_{84}), para Folk (1974). La

media, la mediana y la moda son iguales en una distribución simétrica pero difieren la una de la otra en una distribución asimétrica. En una curva de frecuencias acumuladas la moda o modas quedan reflejadas en los puntos de inflexión de los cambios de pendientes. La media de la muestra es menos variable que la mediana de la muestra, por lo tanto la media es más eficiente en la estimación del parámetro de la población (Davis, 2002).

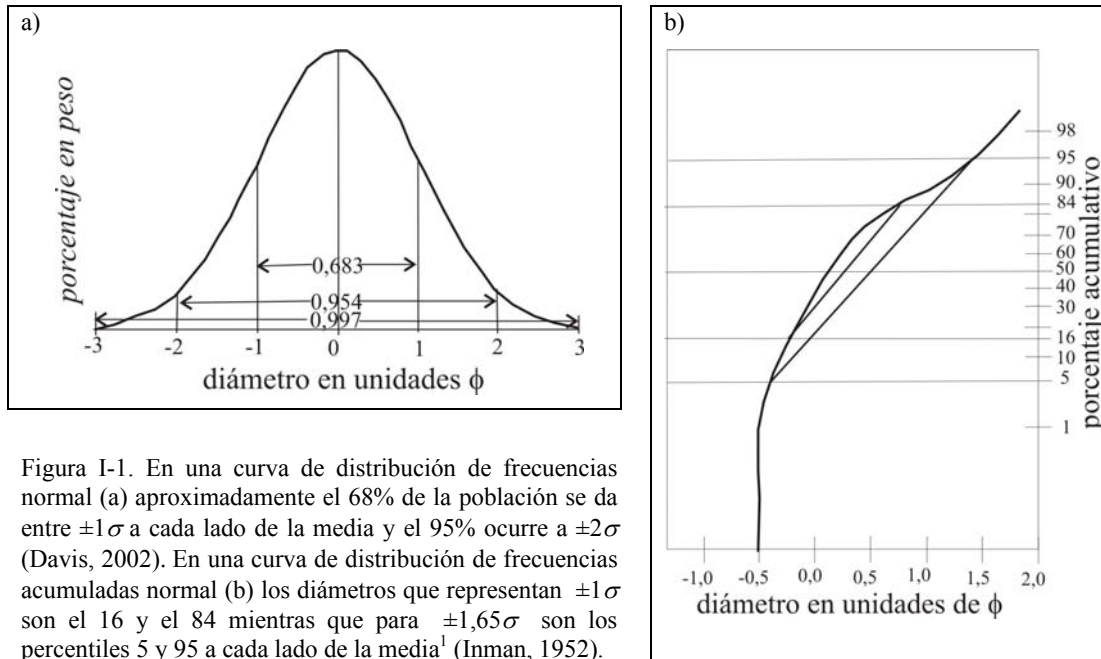


Figura I-1. En una curva de distribución de frecuencias normal (a) aproximadamente el 68% de la población se da entre $\pm 1\sigma$ a cada lado de la media y el 95% ocurre a $\pm 2\sigma$ (Davis, 2002). En una curva de distribución de frecuencias acumuladas normal (b) los diámetros que representan $\pm 1\sigma$ son el 16 y el 84 mientras que para $\pm 1,65\sigma$ son los percentiles 5 y 95 a cada lado de la media¹ (Inman, 1952).

- ✓ La **medida de dispersión** con respecto a la curva normal es la desviación estándar, refleja el grado de clasificación de los tamaños de la muestra. La desviación estándar (σ_ϕ) de una distribución de frecuencias es la medida de dispersión de los valores de una serie entorno a su media. Esta representada por la mitad de la distancia entre los diámetros de los percentiles 16 y 84 (ϕ_{16} y ϕ_{84}) en una curva de frecuencias acumuladas (Inman, 1952). Folk & Ward (1957) criticaron esta medida como inadecuada en una distribución bimodal o asimétrica y propusieron una medida más sensible a variaciones en una distribución normal que denominaron desviación gráfica inclusiva (σ_I). Esta medida abarca mejor las colas de la distribución y considera cuatro intercepciones, en vez de dos, lo que le proporciona mayor exactitud. Los

¹ Para $\pm 2\sigma$ los percentiles a considerar serían $2\frac{1}{2}$ y $97\frac{1}{2}$ los cuales son difíciles de obtener.

valores de la desviación crecen a medida que aumenta la dispersión de los datos. Estos mismos autores definieron una serie de valores que reflejan distintos grados de clasificación de la distribución de los tamaños de grano (ver Tabla I-1). La desviación estándar inclusiva (índice de clasificación) es un parámetro textural sensible al ambiente sedimentario (Friedman, 1962).

Clasificación	Clásticos	Volcanoclásticos
Muy bien clasificado	0	0
Bien clasificado	0.35	1
Moderadamente clasificado	0.50	
Pobremente clasificado	1	2
Muy pobremente clasificado	2	4
Extremadamente pobremente clasificado	4	

Tabla I-1. Clases verbales de la clasificación con sus respectivos límites de clases numéricas para depósitos clásticos (Folk & Ward, 1957) y para depósitos volcanoclásticos (Cas & Wright, 1987)

- ✓ **Medida de asimetría.** En una distribución normal simétrica la media y la mediana coinciden pero si la distribución es asimétrica, la media se aparta de la mediana y la extensión de este alejamiento puede ser medido a través de la asimetría. La medida de asimetría de phi (α_ϕ) es cero para una distribución simétrica. Para valores positivos de asimetría ($\alpha_\phi > 0$) la mediana y la moda yacen a la izquierda de la media (es decir, numéricamente mayor) y la cola de la distribución a la derecha (valores de ϕ más grandes, diámetros más pequeños). Para valores de asimetría negativa ($\alpha_\phi < 0$) la mediana y la moda están a la derecha de la media (es decir, numéricamente menor) y la cola de distribución a la izquierda (valores de ϕ más pequeños, diámetros más grandes).

La medida de la distribución esta dada por la intersección de una línea recta dibujada entre los percentiles 16 y 84 con una línea del 50% (ver Figura I-1-b). Si este punto es mayor que la mediana, la curva es de asimetría positiva. Inman (1952) presento una segunda medida de asimetría ($\alpha_{2\phi}$) para las colas de la distribución. El significado grafico es muy parecido, pero en esta ocasión la línea se dibuja entre los percentiles 5 y 95.

Folk & Ward (1957) desarrollaron una medida de asimetría combinando la primera asimetría de Inman con la media equivalente a las colas de la distribución dando lugar a la asimetría gráfica inclusiva (Sk_I^2). Como las medidas de Inman las curvas simétricas tienen un $Sk_I=0$ y las medidas varían desde -1 a +1.

Asimetría	
	-1
Asimetría muy negativa	-0.3
Asimetría negativa	-0.1
Simétrica	0
Asimetría positiva	0.1
Asimetría muy positiva	0.3
	1

Tabla I-2: Clases verbales de la asimetría con sus respectivos límites de clases numéricos (Folk & Ward, 1957).

Apuntamiento o Curtosis	
Muy Platicúrtica	0.67
Platicúrtica	0.90
Mesocúrtica	1.11
Leptocúrtica	1.50
Muy Leptocúrtica	3.00
Extremadamente Leptokurtica	

Tabla I-3: Clases verbales del apuntamiento con sus respectivos límites de clases numéricos (Folk y Ward, 1957).

- ✓ La **medida de curtosis** (β_ϕ) evalúa la dispersión de la parte central y la de las colas de la distribución. La curtosis es la extensión promedio entre los diámetros de percentiles 5, 16, 84 y 95 ($\phi_5, \phi_{16}, \phi_{84}$ y ϕ_{95}). Para una distribución normal $\beta_\phi=0.65$. Si la distribución es menos picuda que la normal (platicúrtica), las colas tienen una extensión mayor y es mayor a 0.65. Inversamente, los valores de curtosis menores a 0.65 indican que la distribución es más picuda que la normal (leptocúrtica).

Ward & Folk (1957) desarrollaron una medida de curtosis gráfica donde la curva normal tiene $K_G=1$. Los valores mas platicúrticos, poco apuntado con colas mejor clasificadas, pueden tener valores de curtosis más bajos de 0.6. Mientras que las distribuciones muy leptocúrticas, muy apuntadas con unos intervalos central muy bien clasificados, pueden tener colas de 1.5 -3.0 o más.

La distribución natural de los tamaños de grano puede ser muy compleja, mostrando más de una moda, o ninguna. Tales distribuciones pueden darse debido a la

² Las siglas Sk vienen del ingles *Skewness*, asimetría.

naturaleza del proceso involucrado en la formación de un depósito. Las distribuciones con dos modas, con frecuencia reflejan dos procesos distintos. Esta distribución bi-modal puede ser descrita formalmente usando un índice que miden la distancia entre las dos modas y sus tamaños relativos (Sambrook Smith *et al.*, 1997). El índice de bi-modalidad B^* se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$B^* = \left| \phi_2 - \phi_1 \left(\frac{F_2}{F_1} \right) \right|$$

donde el subíndice 1 se refiere a la moda principal (la más grande) y el subíndice 2 a la moda secundaria (la siguiente más pequeña). F_1 y F_2 se refieren a las proporciones de sedimentos en las dos modas.

	B^*
bimodal	$>2,0$
unimodal	$<1,5$
transicional	$1,5 < x < 2,0$

Tabla I-4. Rangos de valores de B^* que definen la distribución bimodal y unimodal.

Un sedimento bimodal implica medios de transporte y procesos de deposición distintos a los de un sedimento unimodal (Hoey, 2004).

Anexo II

Distribución granulométrica de los DVcS del Nevado de Toluca e Iztaccíhuatl.

Las representaciones gráficas más comunes en sedimentología son los histogramas de frecuencias y las curvas de frecuencias acumuladas de los porcentajes en peso de las distintas fracciones granulométricas (Wentworth, 1922). En estas se ve fácilmente si la muestra presenta una distribución unimodal, bimodal o polimodal, si es simétrica o asimétrica hacia los tamaños de granos más finos o hacia los más gruesos, si la muestra es platicúrtica o leptocúrtica.

Se realiza la representación de los datos directamente en curvas acumulativas de frecuencias ya que son más seguras como índices de la naturaleza de la distribución de los sedimentos (Krumbein, 1934), además de ser más exactas (Folk, 1966). Por otro lado, los intervalos que se escogen para el análisis granulométrico es el de 1ϕ . Aunque la representación y análisis de los datos a intervalos menores ($\frac{1}{2}\phi$, $\frac{1}{4}\phi$) son más precisos, los resultados obtenidos en los parámetros estadísticos tan solo presentan una pequeña mejoría (Swan *et al.*, 1979). Además, la representación de los datos de % en peso en curvas de frecuencias relativas acumuladas son la integral de los histogramas de frecuencias relativas y por lo tanto, la escala descriptiva de los intervalos a la cual se analicen los datos es independiente del trazado final de la curva acumulada (Krumbein, 1934).

En este anexo se exponen las representaciones gráficas las curvas de frecuencias acumuladas de los porcentajes en peso para cada tipo de DVcS (Figura II.1; Figura II.7; Figura II.13; Figura II.19) y de la distribución granulométrica de histogramas de frecuencias (a) y las curvas de frecuencias acumuladas de los porcentajes en peso (b) de las distintas fracciones de tamaño de grano para los afloramientos elegidos como muestra de cada uno de los DVcS.

Facies de matriz de una avalancha de escombros

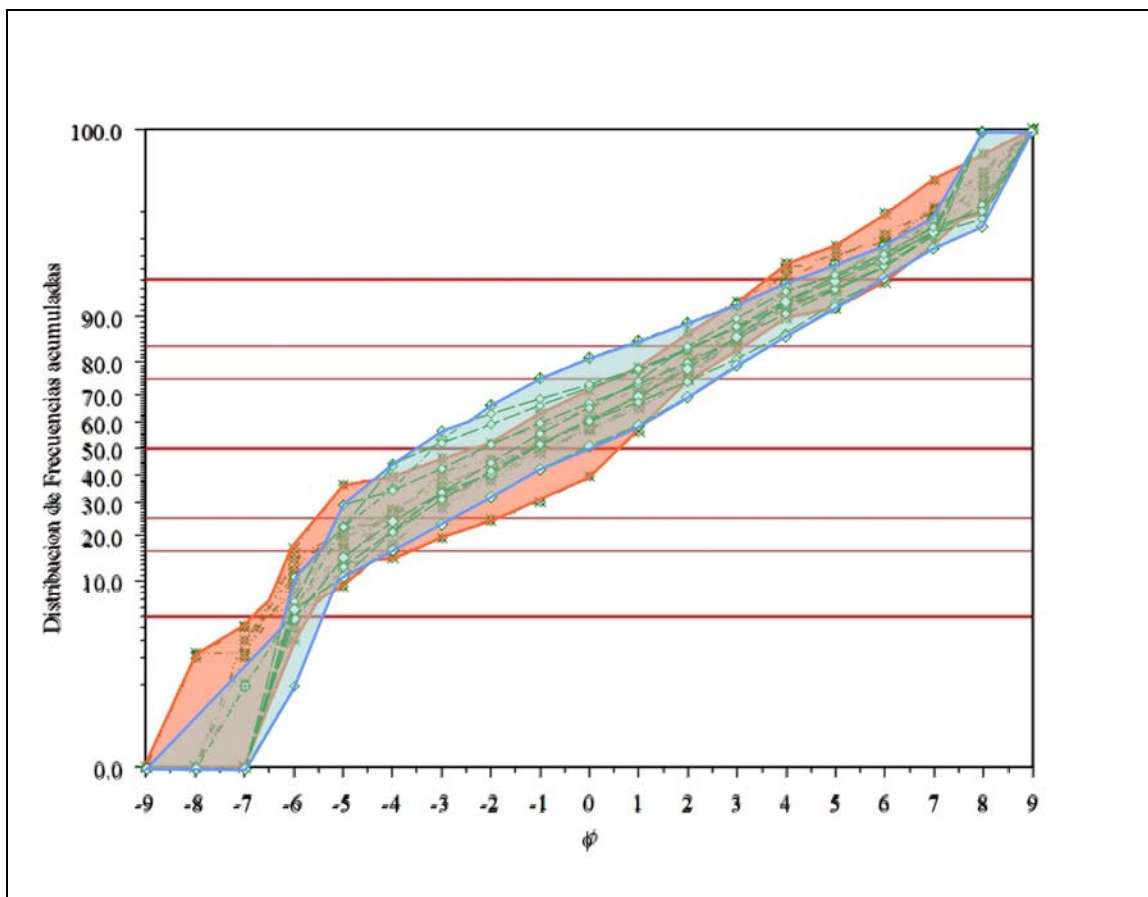


Figura II.1. Curvas de frecuencias acumuladas de las muestras correspondientes a las facies de matriz de la avalancha de escombros El Zaguán (sobra azul) y otros depósitos localizados en la vertiente Norte y NE del Nevado de Toluca (sobra roja).

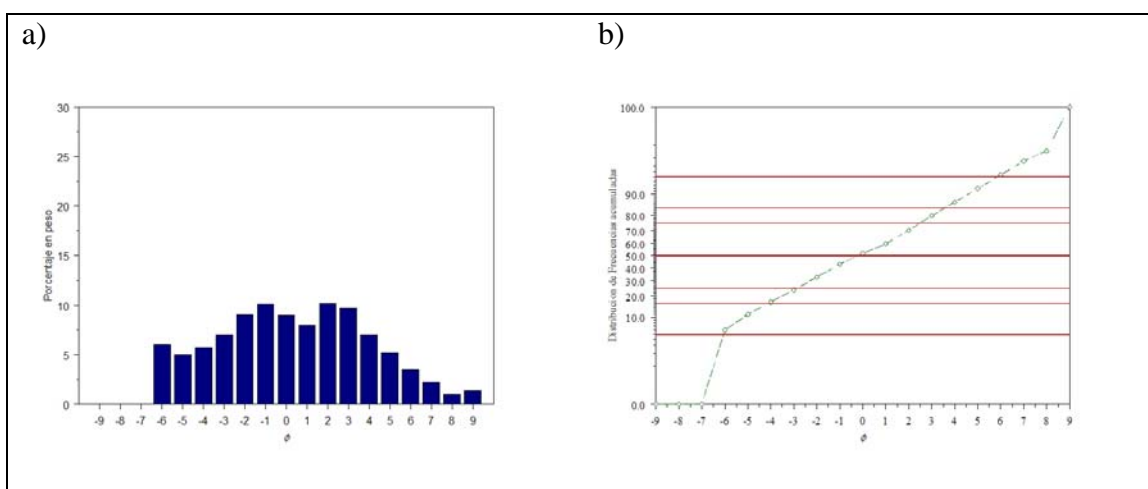


Figura II.2. Muestra NT0401: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas.

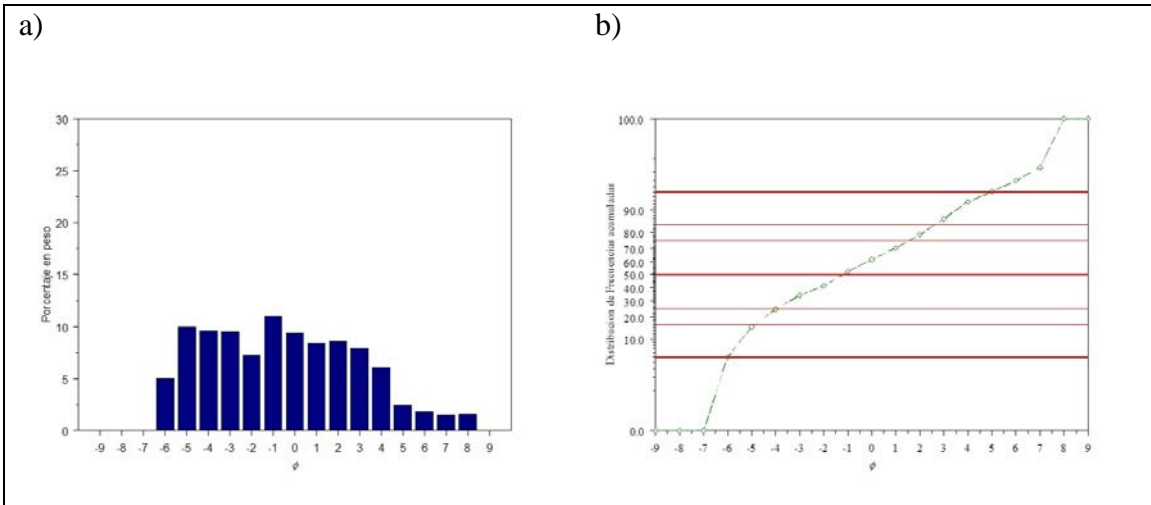


Figura II.3. Muestra NT0405: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas.

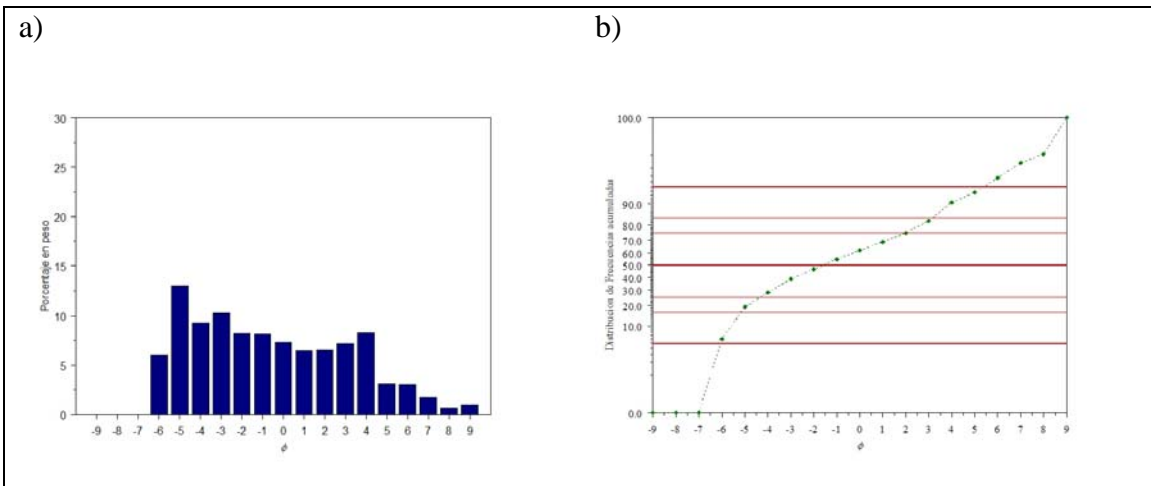


Figura II.4. Muestra NT0406: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas.

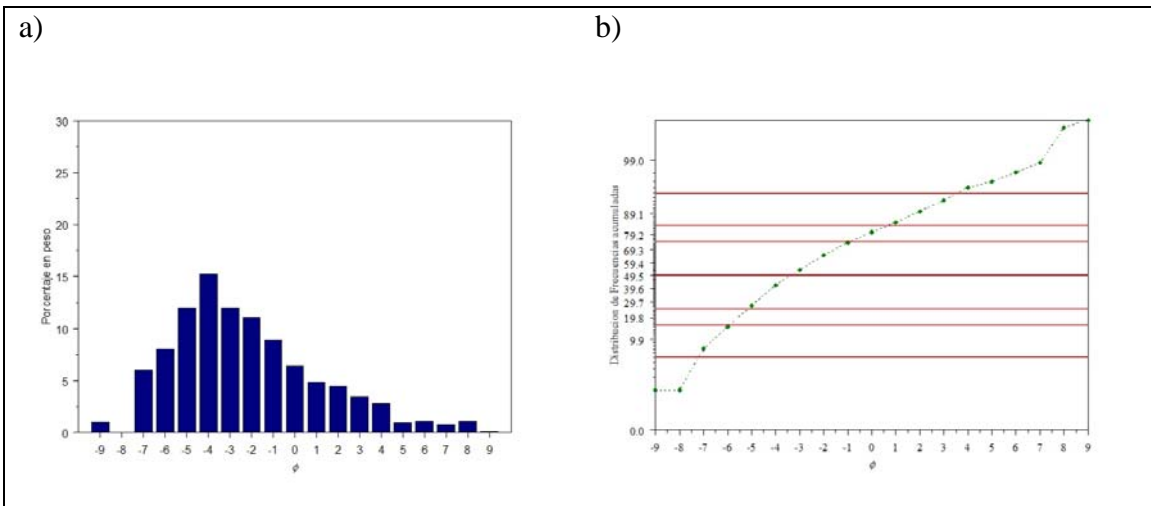


Figura II.5. Muestra NT0408: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas.

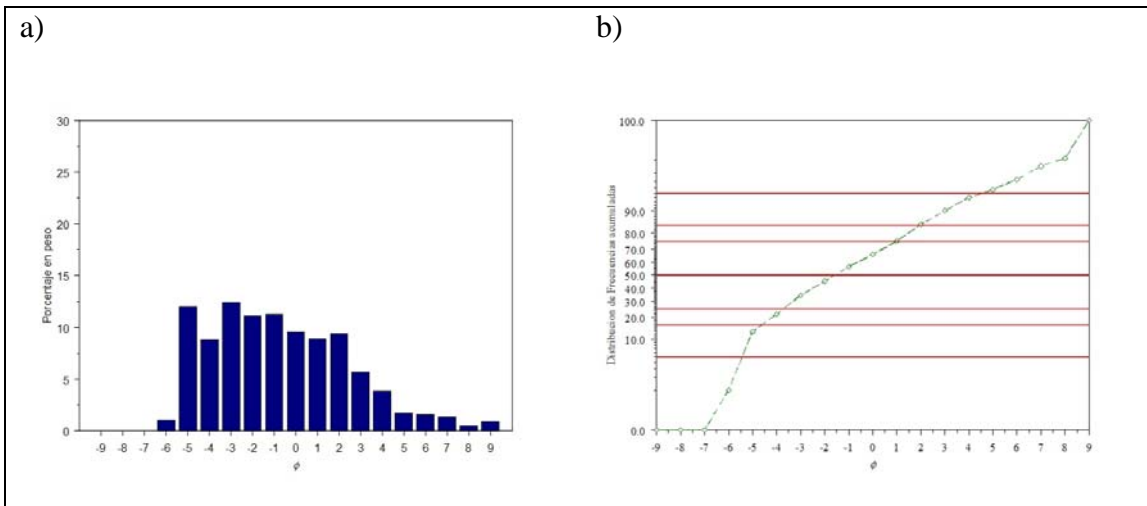


Figura II.6. Muestra NT04010: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas.

Flujos de escombros cohesivos

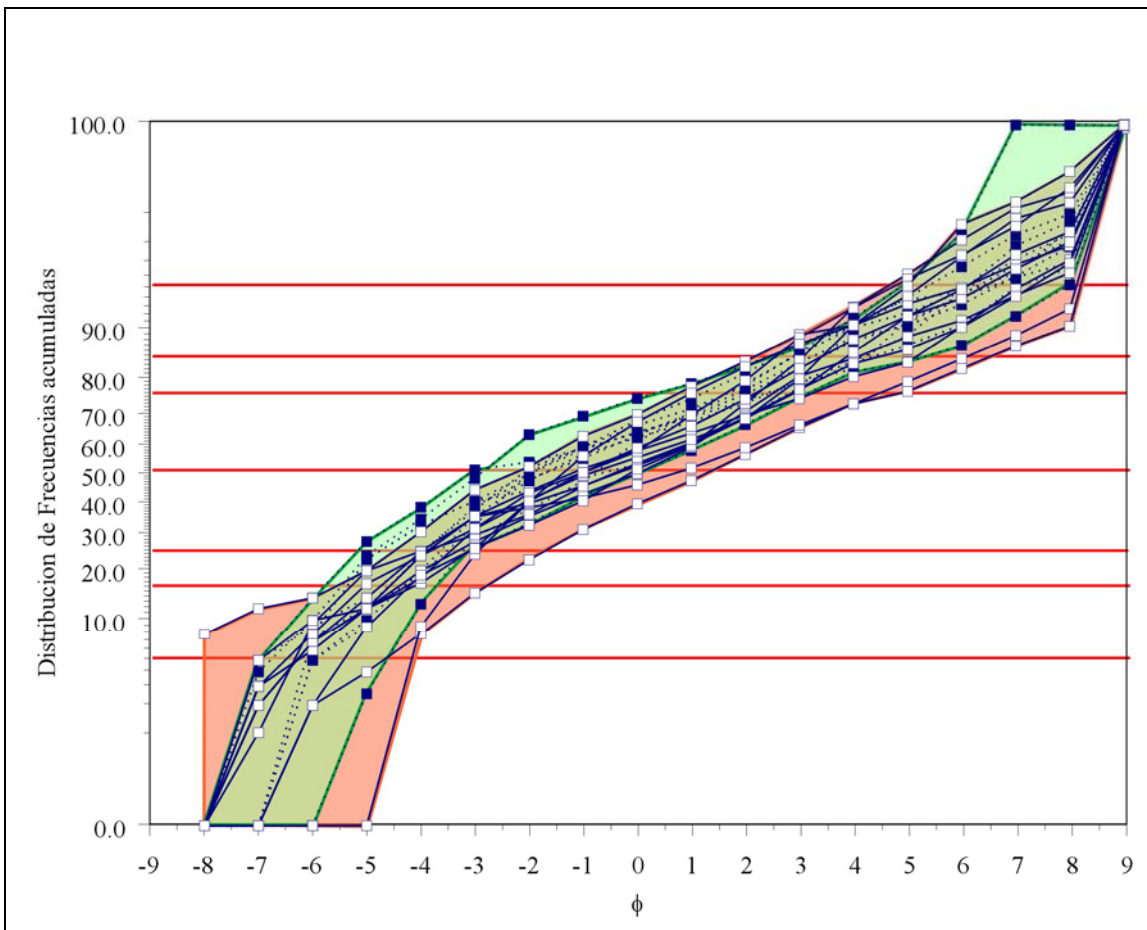


Figura II.7. Curvas de frecuencias acumuladas de las muestras correspondientes a los flujos de escombros cohesivos de Pilcaya (cuadrados blancos, sombra roja) y El Mogote (cuadrados azules, sombra verde).

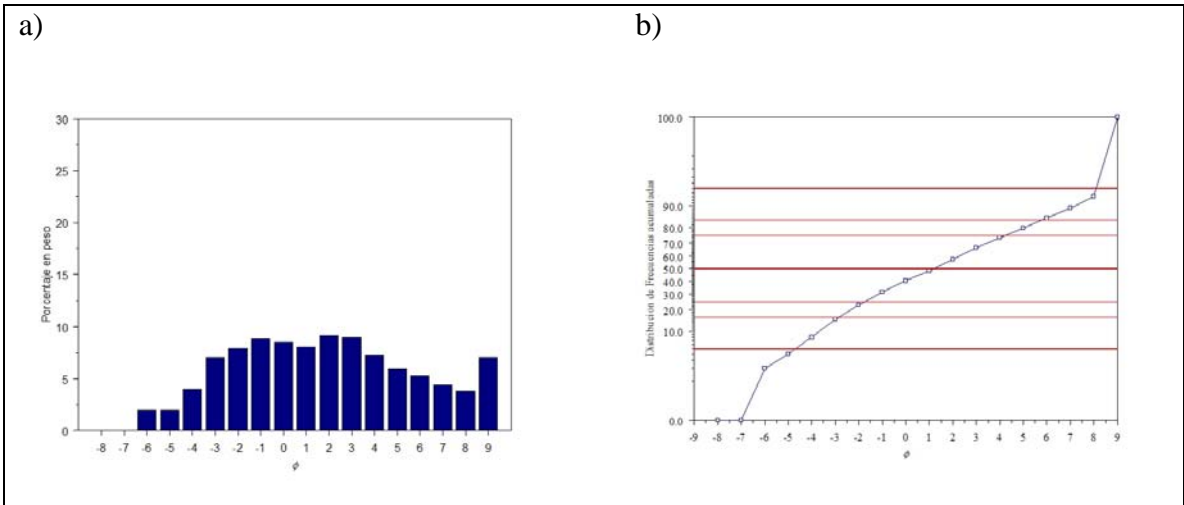


Figura II.8. Muestra NT19: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas.

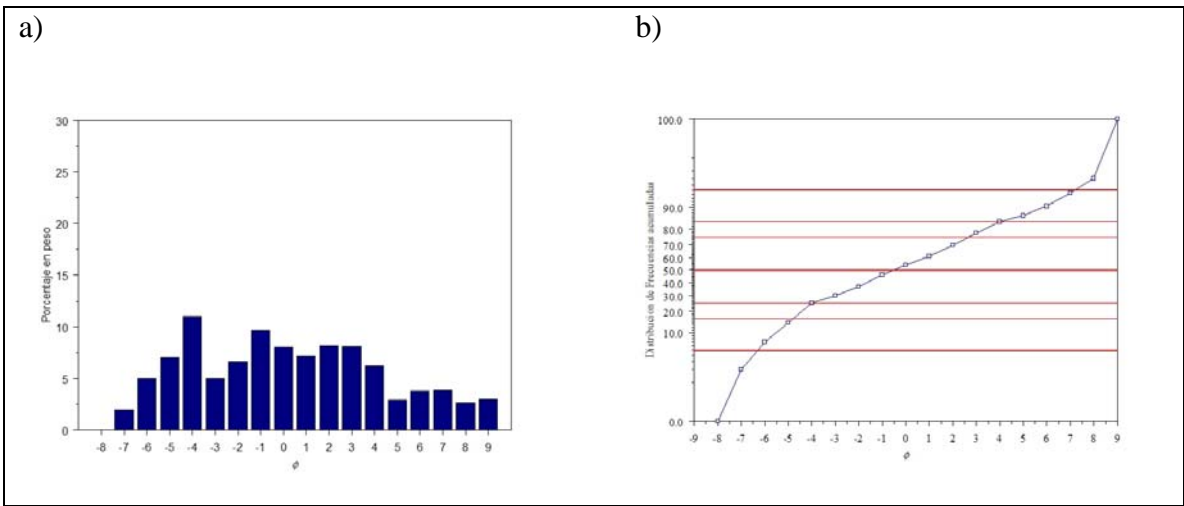


Figura II.9. Muestra NT40: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas.

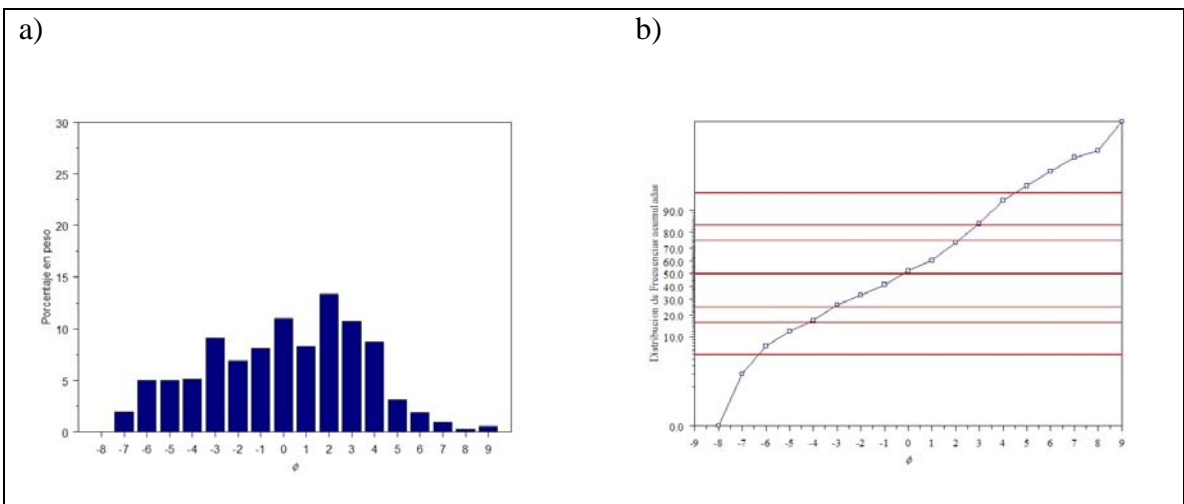


Figura II.10. Muestra NT41: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas.

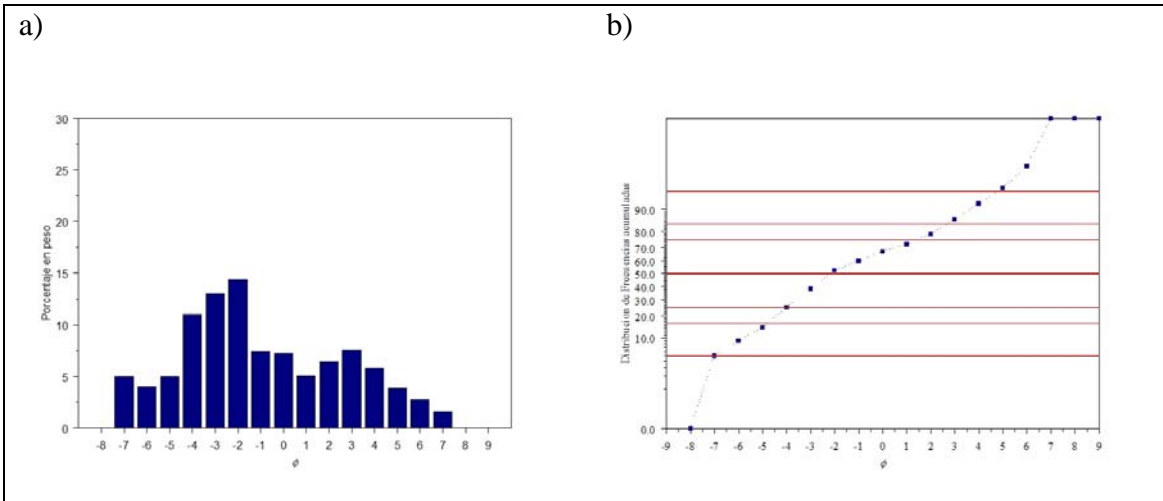


Figura II.11. Muestra NT56: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas.

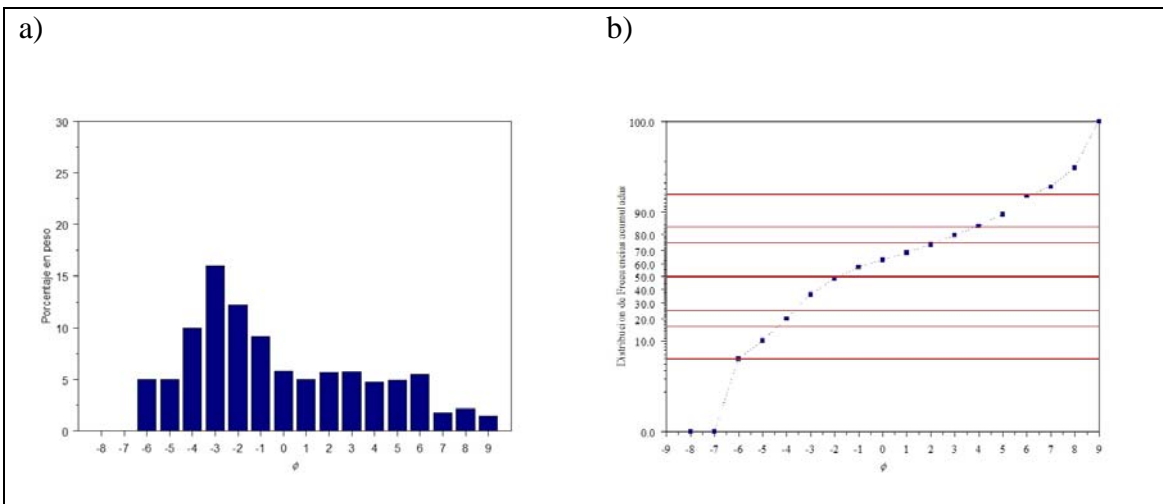


Figura II.12. Muestra NT60: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas.

Flujos de escombros no cohesivos

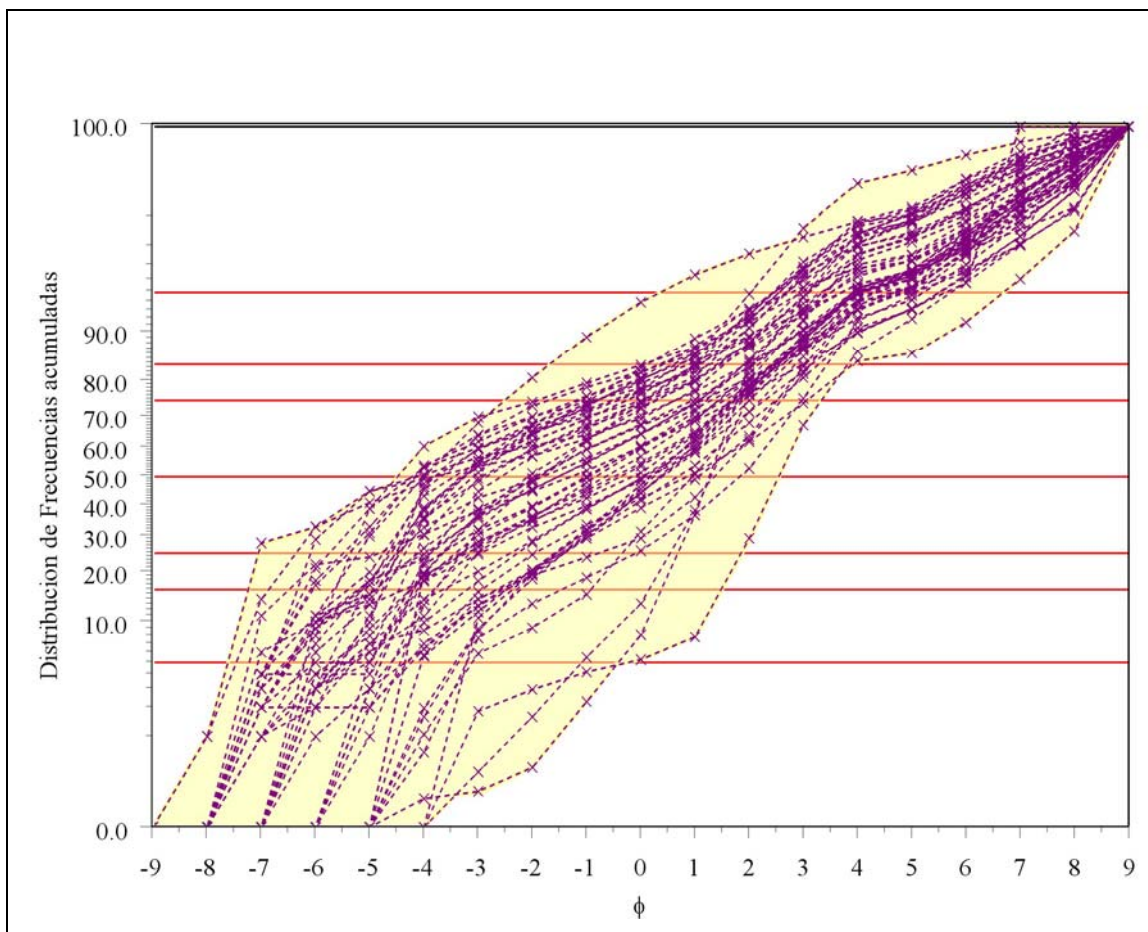


Figura II.13. Curvas de frecuencias acumuladas de las muestras correspondientes a los flujos de escombros no cohesivos muestreados en las laderas del Nevado de Toluca.

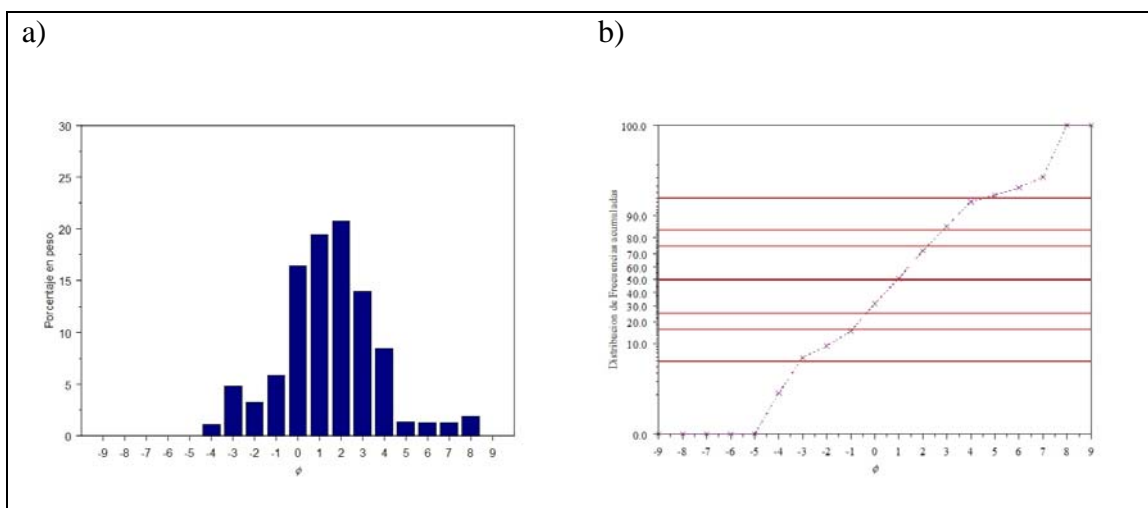


Figura II.14. Muestra NT0452B: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas.

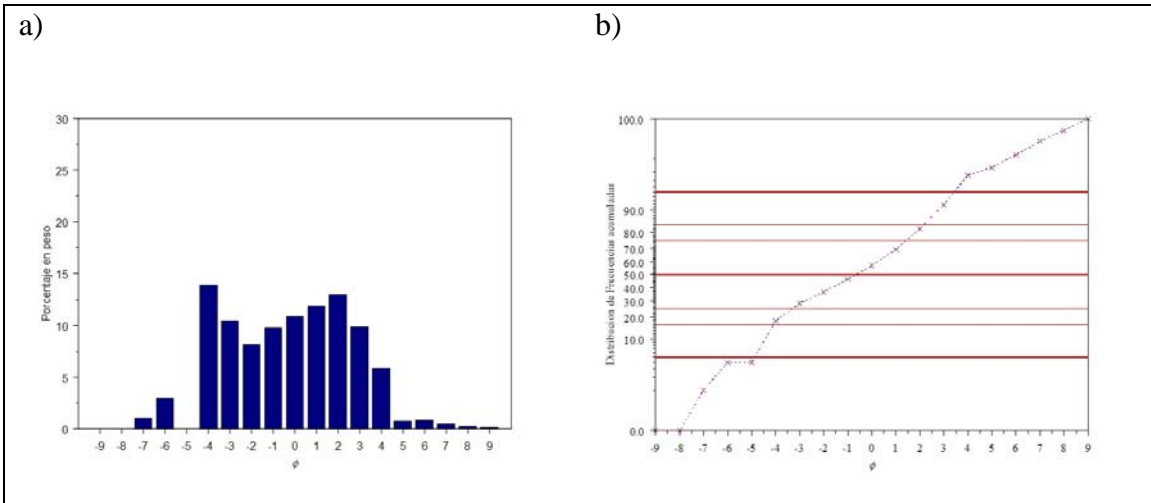


Figura II.15. Muestra NT0533: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas.

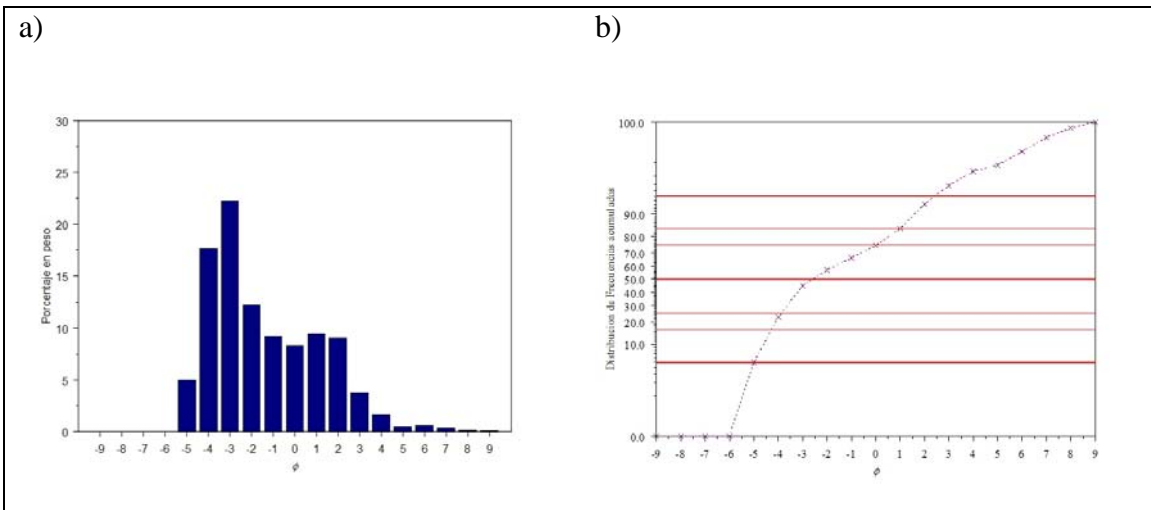


Figura II.16. Muestra NT0541C: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas.

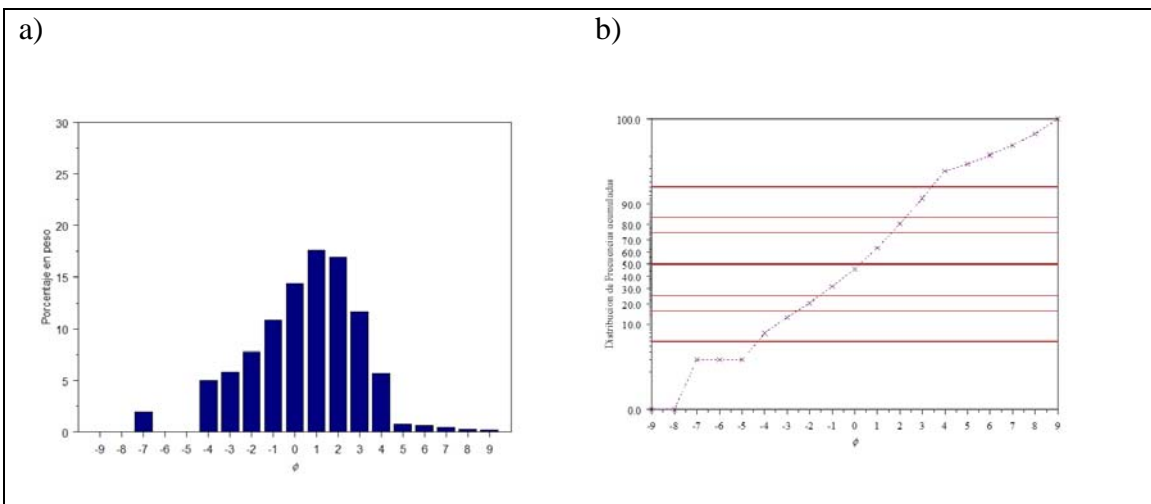


Figura II.17. Muestra NT0552B: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas.

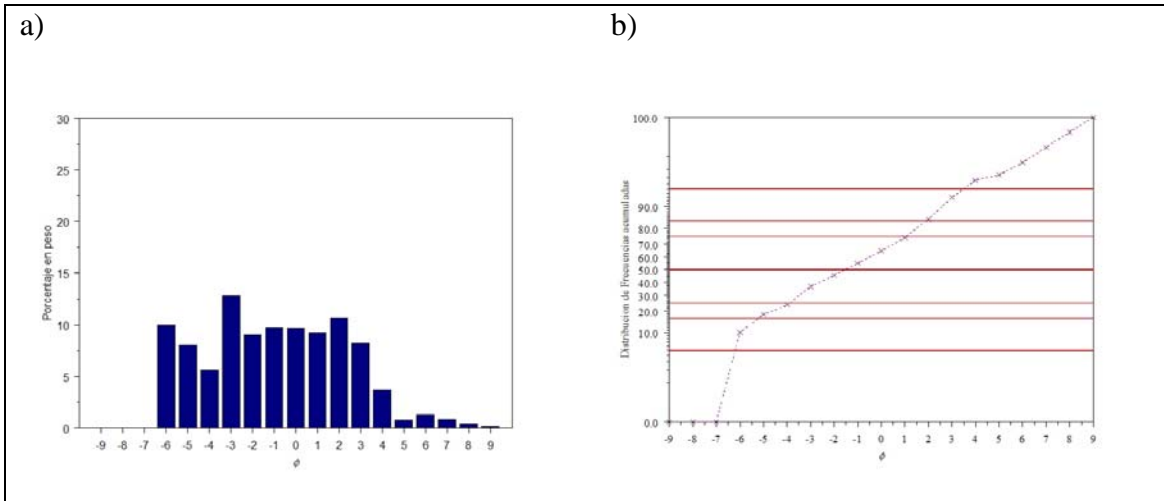


Figura II.18. Muestra NT0554D: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas.

Tills

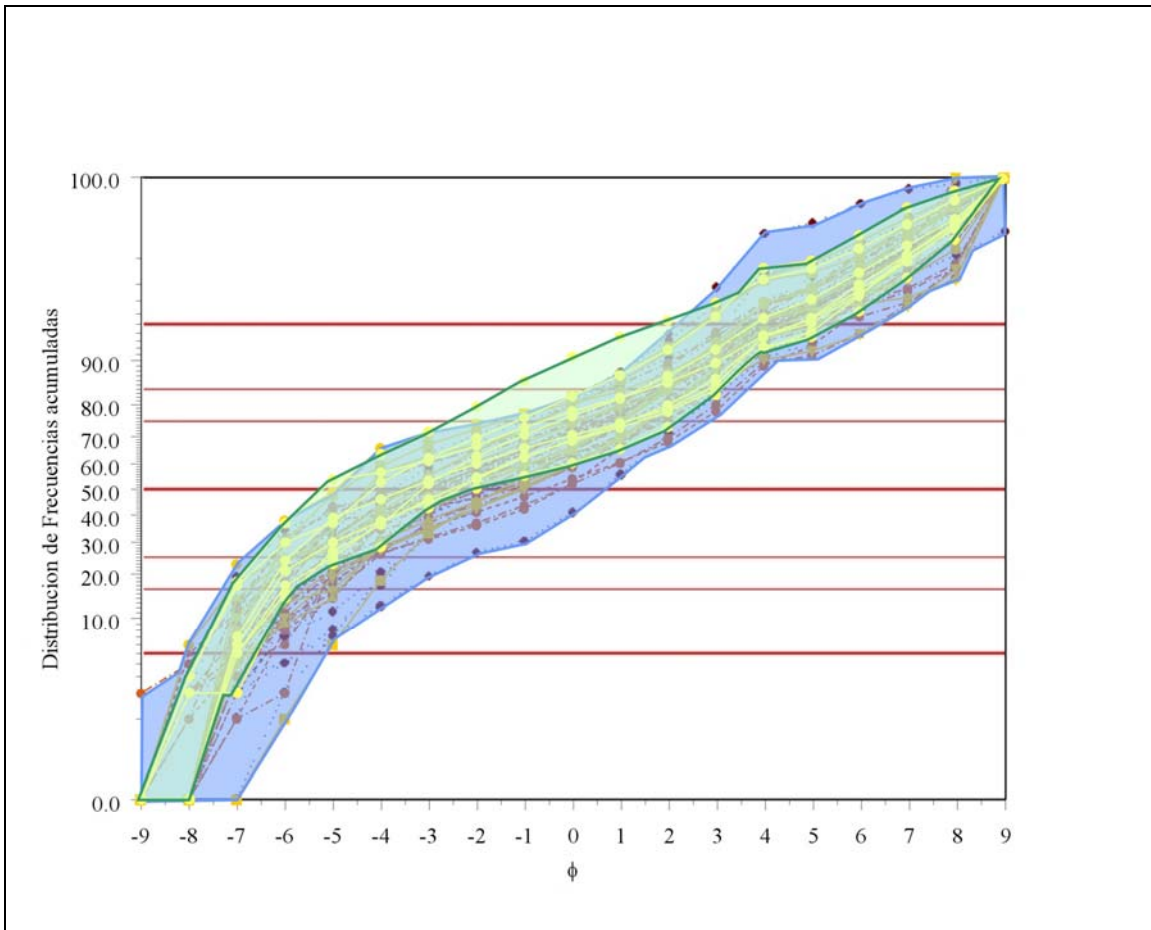


Figura II.19. Curvas de frecuencias acumuladas de las muestras correspondientes a los *tills*, el área azul corresponde a las muestras el nevado de Toluca y el área verde a las del Iztaccíhuatl.

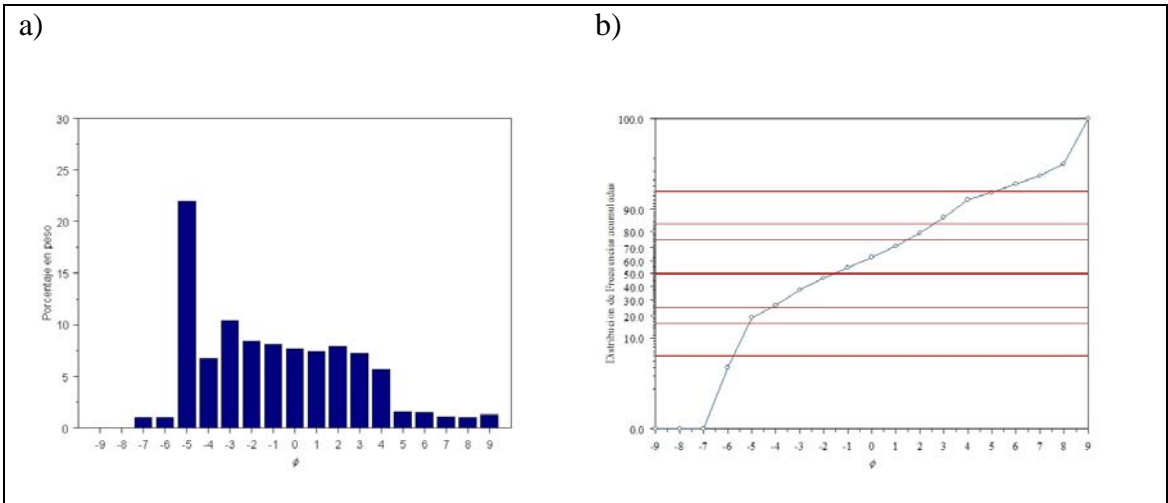


Figura II.20. Muestra NT0464: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas.

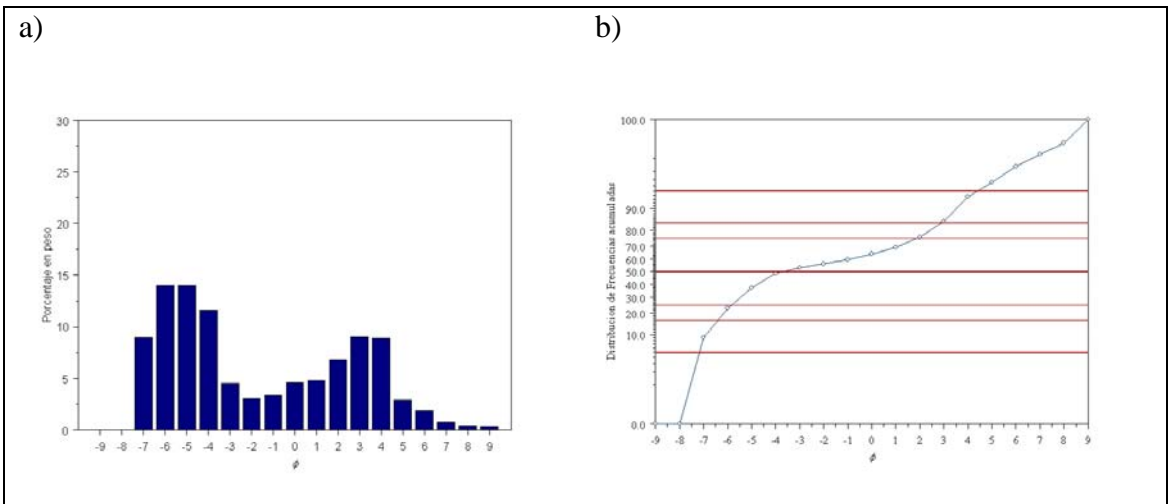


Figura II.21. Muestra NT05104: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas.

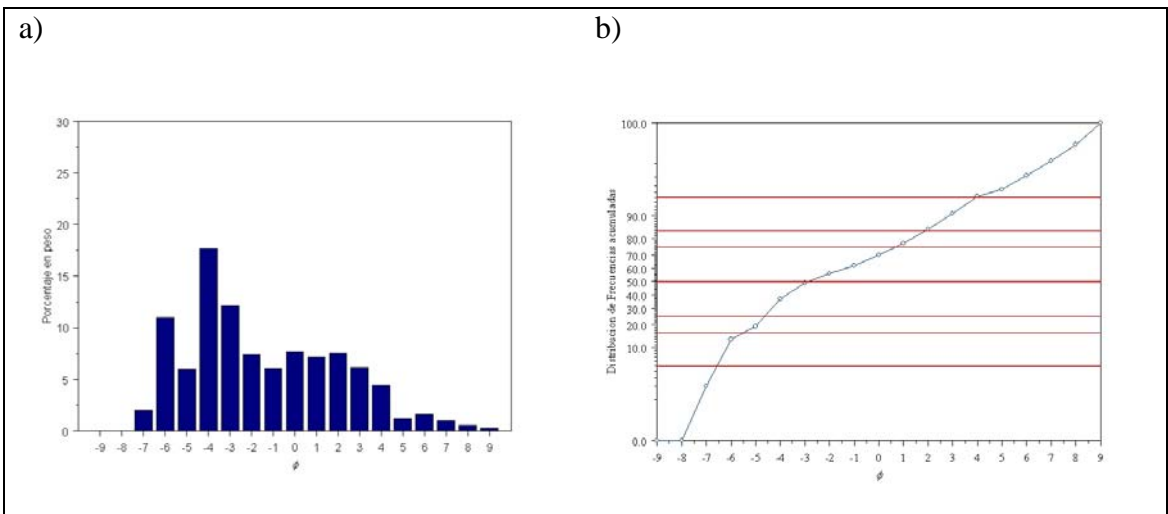


Figura II.22. Muestra NT05105: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas.

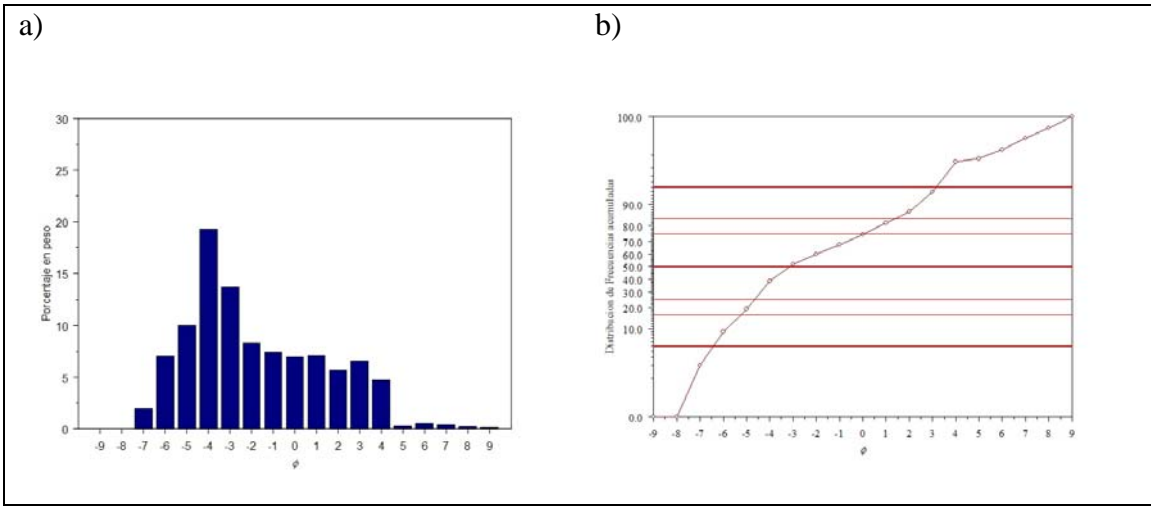


Figura II.23. Muestra NT05236: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas.

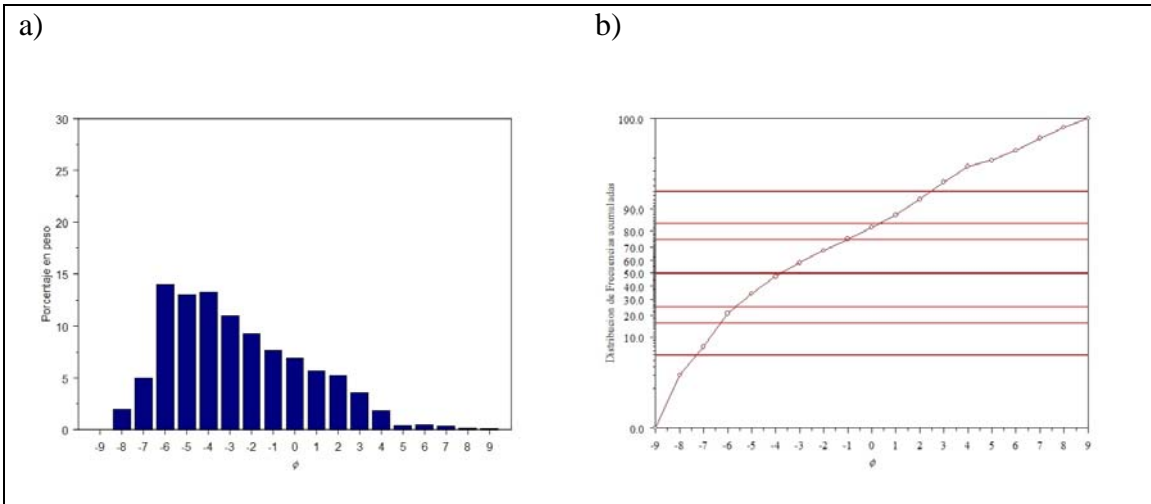


Figura II.24. Muestra NT05241: a) Histograma de frecuencias; b) Curva de frecuencias acumuladas.

Anexo III

Tablas con los datos de los parámetros estadísticos de los diferentes DVcS.

Tabla III.1-a-1. **Avalanchas de escombros**

Muestras	Parámetros estadísticos que definen la distribución granulométrica								Proporciones de las principales fracciones de tamaños						
	Inman			Folk				Sambrook Smith et al.,1997		GLA			AAL		
	Md	DS	SkG	Mz	DSI	SkGI	K	Moda	Mo	grava	arena	lodo	arena	limo	arcilla
NT0401 A2	-4.55	2.39	0.18	-4.26	2.54	0.30	1.20	Unimodal, transición	-4, -6	88.13	9.78	2.09	82.36	16.35	1.28
NT0403A	-4.87	2.53	0.41	-4.18	2.65	0.48	1.24	Unimodal	-5	85.49	12.22	2.29	84.20	14.19	1.61
NT0406 A 3m	-1.59	4.22	0.14	-1.20	3.87	0.17	0.75	Bimodal	-5, 4	54.82	35.72	9.46	79.07	18.89	2.04
NT0406A	-3.70	3.64	0.44	-2.64	3.50	0.43	1.03	Unimodal	-4	72.20	22.40	5.40	80.59	19.24	0.17
NT0406 A M Icl I	-1.77	3.31	0.28	-1.14	3.15	0.34	0.85	Unimodal, transición	-4, 6	58.02	34.13	7.85	81.30	18.70	0.00
NT0406 A M Icl II	-3.36	2.25	0.45	-2.68	2.34	0.54	1.11	Unimodal	-4	78.52	18.15	3.33	84.50	14.48	1.02
NT0408	-3.35	3.31	0.23	-2.86	3.31	0.25	1.05	Unimodal	-4	74.21	21.86	3.94	84.74	15.01	0.24
NT0412A	-0.78	3.37	0.10	-0.56	3.27	0.10	0.85	Bimodal, transición	-1, 3, -7	47.89	44.70	7.41	85.78	12.72	1.50
NT0401B	-3.23	2.99	0.27	-2.69	3.06	0.35	1.13	Unimodal	-3	76.00	18.81	5.19	78.38	21.62	0.00
NT0401C MBI	-1.25	3.98	0.18	-0.78	3.82	0.18	0.87	Unimodal, transición	-4, -2	52.60	34.73	12.67	73.27	26.73	0.00
NT0401C MV	-0.21	3.87	-0.01	-0.24	3.76	0.00	0.92	Bimodal	2, -1	42.87	43.86	13.26	76.78	20.82	2.40
NT0403C MBI	-2.26	4.11	0.19	-1.76	3.82	0.25	0.75	Unimodal, transición	-5, -2	60.64	30.25	9.12	76.84	23.16	0.00
NT0403C MV	-3.38	3.85	0.42	-2.30	3.69	0.46	0.85	Unimodal, transición	-5, 2	67.11	25.09	7.80	76.29	21.42	2.29
NT0403C Dique	-3.57	3.80	0.47	-2.38	3.62	0.47	0.91	Unimodal	-4	69.34	23.41	7.25	76.36	19.98	3.66
NT0405C	-1.21	3.78	0.03	-1.15	3.55	0.08	0.81	Polimodal	-1, -5, -1	52.29	40.38	7.34	84.63	15.37	0.00
NT0410	-1.59	3.30	0.07	-1.43	3.21	0.14	0.89	Bimodal, transición	-3, 2, -5, -1	56.62	37.37	6.02	86.13	11.79	2.07
NT0443	-2.35	4.27	0.14	-1.96	3.75	0.15	0.63	Bimodal	-5, 3	58.27	37.72	4.02	90.38	7.19	2.43
NT0426_Camp1	-0.84	4.37	-0.09	-1.10	4.15	-0.01	0.91	Polimodal	-5, -1, 2, 6	48.69	41.01	10.30	79.93	18.68	1.39
NT0426_Camp2	-0.83	3.96	-0.07	-1.01	3.79	-0.02	0.92	Polimodal	-5, -1, 2, 7	48.18	43.18	8.64	83.33	15.86	0.81
NT0426_Camp3	-1.16	3.47	0.13	-0.87	3.47	0.14	0.93	Polimodal	-3, 2, 6	51.75	39.98	8.27	82.85	16.04	1.10
NT0426_Camp4	-1.07	3.93	-0.07	-1.25	3.70	-0.02	0.82	Polimodal	-5, -1, 2, 6	50.78	42.84	6.38	87.04	12.38	0.57
NT0426_Camp5	-1.15	3.81	-0.13	-1.48	3.46	-0.10	0.74	Bimodal	2, -5	51.19	45.29	3.52	92.79	6.97	0.24
NT0426_Camp6	-1.40	4.06	0.04	-1.28	3.88	0.08	0.87	Bimodal	-3, 2	52.88	38.98	8.13	82.74	16.31	0.95
NT0426_Camp7	-0.95	4.27	-0.11	-1.28	3.97	-0.04	0.85	Polimodal	-6, -3, -1, 2	49.60	42.65	7.75	84.63	14.13	1.24
NT0426_Camp8	-2.16	3.33	0.15	-1.83	3.15	0.19	0.87	Bimodal, transición	-3, 2, -5	63.08	32.20	4.72	87.22	11.81	0.98
NT5230(dad)	0.62	3.21	-0.34	-0.11	3.21	-0.27	1.12	Bimodal	2, -6	30.18	63.53	6.29	90.99	8.64	0.37
NT0551	-1.25	3.78	0.06	-1.09	3.58	0.12	0.78	Unimodal	-4	52.16	40.03	7.81	83.67	15.51	0.82

Tabla III.1-a-2. **Avalanchas de escombros (continuación)**

Muestras	Parámetros estadísticos que definen la distribución granulométrica							Proporciones de las principales fracciones de tamaños							
	Inman			Folk				Sambrook Smith et al.,1997		GLA			AAL		
	Md	DS	SkG	Mz	DSI	SkGI	K	Moda	Mo	grava	arena	lodo	arena	limo	arcilla
NT0409FG	-3.05	2.72	0.36	-2.40	2.79	0.33	1.05	Unimodal	-4	72.36	24.46	3.18	88.50	11.50	0.00
NT0413FG	-4.66	2.24	0.14	-4.45	2.37	0.19	1.16	Unimodal	-4	90.67	8.14	1.19	87.24	12.76	0.00
NT0414FG	-3.98	1.44	0.37	-3.63	1.57	0.35	1.16	Unimodal	-4	92.23	7.00	0.77	90.14	9.86	0.00
NT05231	-3.67	3.04	0.26	-3.15	3.23	0.23	1.28	Unimodal, transición	-3, -8	78.70	18.36	2.94	86.20	13.18	0.62
NT05237	-4.79	1.88	-0.01	-4.80	2.16	0.10	1.30	Unimodal	-4	92.60	6.20	1.21	83.69	15.83	0.48
DXS-2	-2.24	4.12	0.19	-1.71	3.92	0.19	0.89			59.06	32.65	8.29	79.75	18.42	1.83
DXS-4	0.41	3.57	-0.18	-0.02	3.39	-0.07	0.82			37.22	51.44	11.34	81.94	16.44	1.62
DXS-6	-1.17	2.43	0.11	-0.98	2.65	0.04	1.17			52.65	43.74	3.61	92.38	6.78	0.84
DXS-20	1.00	2.86	0.12	1.24	2.84	0.11	0.98			21.98	60.62	17.39	77.71	18.95	3.35
DXS-21	0.04	3.86	-0.12	-0.27	3.85	-0.09	0.90			40.52	47.53	11.95	79.91	17.89	2.20
DXS-22	-0.82	4.18	0.02	-0.75	3.97	0.05	0.86			48.61	39.05	12.34	75.99	21.85	2.16
DXS-24	0.84	2.56	0.00	0.83	2.55	0.07	1.05			22.81	65.41	11.78	84.74	13.12	2.14
825-3	1.81	3.70	-0.13	1.50	3.84	-0.18	1.22			23.83	55.01	21.17	72.21	23.34	4.45
827-3	0.96	3.04	-0.02	0.92	3.01	0.01	1.01			24	60.5	15.5	79.61	17.95	2.45
MS-10	0.80	3.14	-0.08	0.64	3.06	-0.01	0.93			30.4	55.8	13.8	80.17	17.64	2.18
826-3	0.25	3.26	-0.10	0.02	3.12	-0.03	0.85			37.95	52.24	9.8	84.20	14.38	1.42
DXS-11	-0.94	3.06	-0.08	-1.11	2.81	0.03	0.77			49.35	46.05	4.6	90.92	8.63	0.45
DXS-13	-0.16	3.25	-0.20	-0.59	3.16	-0.14	0.89			41.23	52.49	6.27	89.33	9.39	1.28
DXS-14	-0.82	2.97	0.04	-0.75	2.85	0.11	0.85			48.05	45.66	6.29	87.89	11.01	1.10
DXS-16	-1.78	3.64	0.26	-1.14	3.50	0.24	0.83			56.86	34.34	8.79	79.62	18.55	1.83
DXS-23	-1.06	3.18	0.05	-0.96	3.01	0.08	0.87			50.81	43.52	5.67	88.47	10.96	0.57
DXS-25	-2.58	3.40	0.13	-2.29	3.39	0.15	0.98			65.15	30.12	4.73	86.43	12.08	1.49
DXS-27	1.08	3.24	-0.21	0.63	3.38	-0.19	1.10			27.83	59.17	13	81.99	15.31	2.70
DXS-38	-0.86	3.31	-0.02	-0.90	3.47	-0.06	1.06			47.78	45.47	6.75	87.07	11.51	1.42
825-5	-3.00	2.98	0.37	-2.27	2.94	0.30	0.95			69.08	29.29	1.63	94.73	4.79	0.49
827-2	-3.41	3.96	0.25	-2.76	3.68	0.27	1.06			66.62	28.71	4.66	86.04	12.44	1.53
MS-9	-0.69	4.04	-0.04	-0.81	4.00	-0.03	0.90			47.92	41.08	11	78.88	18.38	2.75

Tabla III.1-a-3. **Avalanchas de escombros (continuación)**

Muestras	Parámetros estadísticos que definen la distribución granulométrica							Proporciones de las principales fracciones de tamaños							
	Inman			Folk				Sambrook Smith et al.,1997		GLA			AAL		
	Md	DS	SkG	Mz	DSI	SkGI	K	Moda	Mo	grava	arena	lodo	arena	limo	arcilla
DXS-3	-2.71	4.19	0.18	-2.20	4.15	0.16	0.89			61.01	31.59	7.41	81.00	16.33	2.67
DXS-12	-6.51	2.17	0.45	-5.87	2.33	0.55	1.53			92.34	6.56	1.1	85.64	13.19	1.17
DXS-19	-1.49	3.48	0.26	-0.88	3.25	0.28	0.71			53.63	38.12	8.25	82.21	16.20	1.60
MS-1	-0.76	3.64	0.08	-0.56	3.58	0.11	0.86			48.03	41.14	10.82	79.18	17.71	3.12
DXS-17	-1.71	3.89	0.37	-0.74	3.60	0.35	0.73			55.49	31.22	13.29	70.14	28.06	1.80
826-2	-0.36	3.59	-0.03	-0.43	3.38	0.01	0.83			43.47	46.75	9.78	82.70	15.57	1.73
827-6	-0.49	3.87	-0.06	-0.65	3.99	-0.12	0.95			46.73	43.73	9.54	82.09	16.13	1.78
827-7	-0.38	3.84	-0.01	-0.39	3.74	0.02	0.82			45.91	41.55	12.54	76.82	20.63	2.55
DXS-1	-0.05	3.92	-0.06	-0.21	3.88	-0.05	0.86			42.89	43.52	13.58	76.22	21.65	2.14
DXS-8	-0.12	3.29	-0.09	-0.32	3.07	-0.03	0.79			41.53	51.23	7.24	87.62	11.15	1.23
DXS-29	-0.71	3.75	-0.03	-0.78	3.75	-0.02	0.88			47.93	42.83	9.24	82.25	14.73	3.02
DXS-30	-0.03	3.45	-0.08	-0.22	3.51	-0.06	0.95			41.26	48.11	10.64	81.89	15.76	2.35
DXS-31	0.43	3.21	-0.18	0.06	3.12	-0.11	0.92			35.72	54.97	9.31	85.52	12.60	1.88
DXS-33	-0.60	3.62	-0.07	-0.76	3.63	-0.06	0.93			46.33	45.3	8.37	84.40	14.20	1.40
DXS-34	0.26	3.54	-0.13	-0.04	3.39	-0.03	0.88			36.96	51.07	11.97	81.01	16.51	2.47
DXS-35	-1.15	3.56	0.09	-0.94	3.53	0.06	0.82			51.04	41.57	7.38	84.92	13.56	1.51
DXS-36	0.08	3.49	-0.17	-0.31	3.32	-0.15	0.84			39.07	53.76	7.18	88.22	10.72	1.07
DXS-37	0.34	3.57	-0.12	0.06	3.46	-0.03	0.94			35.32	51.88	12.79	80.22	16.42	3.36
DXS-9	-0.45	3.88	-0.10	-0.71	3.86	-0.09	0.87			46.1	44.35	9.56	82.27	15.95	1.78
DXS-26	0.06	3.66	-0.14	-0.27	3.44	-0.05	0.80			40.7	48.4	10.89	81.63	16.90	1.47
DXS-28	-0.63	3.64	0.06	-0.48	3.47	0.11	0.79			47.7	41.1	11.2	78.59	19.48	1.93
DXS-32	0.83	3.71	-0.21	0.31	3.85	-0.22	1.05			34.24	51.55	14.21	78.39	19.02	2.59
F				-0.88		3.21				48.4	47.2	4.4	91.47	6.59	1.94
G				-0.73		3.36				46.3	47.6	6.1	88.64	7.64	3.72

Tabla III.1-b-1. **Avalanchas de escombros (continuación)**

Muestras	Localización de los depósitos				Fuente de datos	
	Volcán	ladera, zoom	Altura (m.)	Km. del cráter	Coordenadas	Autor
NT0401 A2	Nevado de Toluca	E	3160	8.10	428333, 2114133	*
NT0403A	Nevado de Toluca	E	3180	7.78	428198, 2114188	*
NT0406 A 3m	Nevado de Toluca	ENE	3040	9.67	429756, 2115776	*
NT0406A	Nevado de Toluca	ENE	3040	9.67	429756, 2115776	*
NT0406 A M Icl I	Nevado de Toluca	ENE	3040	9.67	429756, 2115776	*
NT0406 A M Icl II	Nevado de Toluca	ENE	3040	9.67	429756, 2115776	*
NT0408	Nevado de Toluca	E	3120	8.23	428693, 2113937	*
NT0412A	Nevado de Toluca	E	2920	9.75	430218, 2114019	*
NT0401B	Nevado de Toluca	E	3160	8.10	428333, 2114133	*
NT0401C MBI	Nevado de Toluca	E	3160	8.10	428333, 2114133	*
NT0401C MV	Nevado de Toluca	E	3160	8.10	428333, 2114133	*
NT0403C MBI	Nevado de Toluca	E	3180	7.78	428198, 2114188	*
NT0403C MV	Nevado de Toluca	E	3180	7.78	428198, 2114188	*
NT0403C Dique	Nevado de Toluca	E	3180	7.78	428198, 2114188	*
NT0405C	Nevado de Toluca	E	3280	6.85	427283, 2114005	*
NT0410	Nevado de Toluca	E	3140	8.09	428544, 2114032	*
NT0443	Nevado de Toluca	NNE	3240	8.12	423722, 2120281	*
NT0426_Camp1	Nevado de Toluca	N	2980	12.61	418238, 2125194	**
NT0426_Camp2	Nevado de Toluca	N	2980	12.61	418238, 2125194	**
NT0426_Camp3	Nevado de Toluca	N	2980	12.61	418238, 2125194	**
NT0426_Camp4	Nevado de Toluca	N	2980	12.61	418238, 2125194	**
NT0426_Camp5	Nevado de Toluca	N	2980	12.61	418238, 2125194	**
NT0426_Camp6	Nevado de Toluca	N	2980	12.61	418238, 2125194	**
NT0426_Camp7	Nevado de Toluca	N	2980	12.61	418238, 2125194	**
NT0426_Camp8	Nevado de Toluca	N	2980	12.61	418238, 2125194	**
NT5230(dad)	Nevado de Toluca	N				**
NT0551	Nevado de Toluca	S	1940	28.32	423460, 2127004	*

Tabla III.1-b-2. **Avalanchas de escombros (continuación)**

Muestras	Localización de los depósitos				Fuente de datos	
	Volcán	ladera	Altura (m.)	Km. del cráter	Coordenadas	Autor
NT0409FG	Nevado de Toluca	E	3080	8.60	429032, 2113998	*
NT0413FG	Nevado de Toluca	ENE	3120	8.17	428280, 2115456	*
NT0414FG	Nevado de Toluca	ENE	2685	16.58	435553, 2119874	*
NT05231	Nevado de Toluca	NE	2700	15.58	434521, 2119691	*
NT05237	Nevado de Toluca	ENE	3050	10.01	430074, 2115777	*
DXS-2	Monte Santa Elena			25.3		Glicken, 1996
DXS-4	Monte Santa Elena			15.1		Glicken, 1996
DXS-6	Monte Santa Elena			15.6		Glicken, 1996
DXS-20	Monte Santa Elena			12.3		Glicken, 1996
DXS-21	Monte Santa Elena			18.4		Glicken, 1996
DXS-22	Monte Santa Elena			17.6		Glicken, 1996
DXS-24	Monte Santa Elena			13.3		Glicken, 1996
825-3	Monte Santa Elena	Spirit Lake		9.4		Glicken, 1996
827-3	Monte Santa Elena	Spirit Lake		9.7		Glicken, 1996
MS-10	Monte Santa Elena	Coldwather Lake		16.9		Glicken, 1996
826-3	Monte Santa Elena	Castle Lake		16.4		Glicken, 1996
DXS-11	Monte Santa Elena			13.5		Glicken, 1996
DXS-13	Monte Santa Elena			2.5		Glicken, 1996
DXS-14	Monte Santa Elena			2.7		Glicken, 1996
DXS-16	Monte Santa Elena			11.3		Glicken, 1996
DXS-23	Monte Santa Elena			13		Glicken, 1996
DXS-25	Monte Santa Elena			14.6		Glicken, 1996
DXS-27	Monte Santa Elena			17.7		Glicken, 1996
DXS-38	Monte Santa Elena			29.7		Glicken, 1996
825-5	Monte Santa Elena	Spirit Lake		9.4		Glicken, 1996
827-2	Monte Santa Elena	Spirit Lake		10.6		Glicken, 1996
MS-9	Monte Santa Elena	Coldwather Lake		16.9		Glicken, 1996

Tabla III.1-b-3. **Avalanchas de escombros (continuación)**

Muestras	Localización de los depósitos				Fuente de datos	
	Volcán	Ladera, zoom	Altura (m.)	Km. del cráter	Coordendas	Autor
DXS-3	Monte Santa Elena			15.7		Glicken, 1996
DXS-12	Monte Santa Elena			13.5		Glicken, 1996
DXS-19	Monte Santa Elena			11.7		Glicken, 1996
MS-1	Monte Santa Elena	Coldwather Lake		17.2		Glicken, 1996
DXS-17	Monte Santa Elena			12.4		Glicken, 1996
826-2	Monte Santa Elena	Castle Lake		16.2		Glicken, 1996
827-6	Monte Santa Elena	Castle Lake		15.9		Glicken, 1996
827-7	Monte Santa Elena	Castle Lake		15.9		Glicken, 1996
DXS-1	Monte Santa Elena			29.9		Glicken, 1996
DXS-8	Monte Santa Elena			25.8		Glicken, 1996
DXS-29	Monte Santa Elena			21.4		Glicken, 1996
DXS-30	Monte Santa Elena			22.2		Glicken, 1996
DXS-31	Monte Santa Elena			23.1		Glicken, 1996
DXS-33	Monte Santa Elena			24.5		Glicken, 1996
DXS-34	Monte Santa Elena			26.8		Glicken, 1996
DXS-35	Monte Santa Elena			28.1		Glicken, 1996
DXS-36	Monte Santa Elena			31.2		Glicken, 1996
DXS-37	Monte Santa Elena			30.7		Glicken, 1996
DXS-9	Monte Santa Elena			21.7		Glicken, 1996
DXS-26	Monte Santa Elena			17.7		Glicken, 1996
DXS-28	Monte Santa Elena			21		Glicken, 1996
DXS-32	Monte Santa Elena			23.6		Glicken, 1996
F	Nevado del Ruiz			4.5		Pierson et al., 1990
G	Nevado del Ruiz			6.2		Pierson et al., 1990

* Datos capturados en junto con Caballero

** Datos proporcionados por Bellotti

Tabla III.1-c-1. **Avalanchas de escombros (continuación)**

Características de los depósitos				
Datos del deposito				
Muestras	Nombre del deposito	Facies	Distribución espacial	Muestra a...
NT0401 A2	U. Rosa, El Zaguán	Bloques	medio	base
NT0403A	U. Rosa, El Zaguán	Bloques	medio	base
NT0406 A 3m	U. Rosa, El Zaguán	Matriz y mezcla	distal	medio
NT0406A	U. Rosa, El Zaguán	Matriz y mezcla	distal	medio
NT0406 A M Icl I	U. Rosa, El Zaguán	Matriz intraclástos	distal	medio
NT0406 A M Icl II	U. Rosa, El Zaguán	Matriz intraclástos	distal	medio
NT0408	U. Rosa, El Zaguán	Matriz y mezcla	medio	medio
NT0412A	U. Rosa, El Zaguán	Matriz y mezcla	medio	medio
NT0401B	U. Amarilla, El Zaguán	Bloques	medio	medio
NT0401C MB1	U. Deformada, El Zaguán	Matriz y mezcla	medio	medio
NT0401C MV	U. Deformada, El Zaguán	Matriz y mezcla	medio	medio
NT0403C MB1	U. Deformada, El Zaguán	Matriz y mezcla	medio	base
NT0403C MV	U. Deformada, El Zaguán	Matriz y mezcla	medio	base
NT0403C Dique	U. Deformada, El Zaguán	Matriz y mezcla	medio	medio
NT0405C	U. Deformada, El Zaguán	Matriz y mezcla	medio-proximal	medio
NT0410	U. Deformada, El Zaguán	Matriz y mezcla	medio-proximal	techo
NT0443	AE Noreste	Matriz y mezcla	desconocido	medio
NT0426_Camp1	AE Norte	Matriz y mezcla	desconocido	desconocido
NT0426_Camp2	AE Norte	Matriz y mezcla	desconocido	desconocido
NT0426_Camp3	AE Norte	Matriz y mezcla	desconocido	desconocido
NT0426_Camp4	AE Norte	Matriz y mezcla	desconocido	desconocido
NT0426_Camp5	AE Norte	Matriz y mezcla	desconocido	desconocido
NT0426_Camp6	AE Norte	Matriz y mezcla	desconocido	desconocido
NT0426_Camp7	AE Norte	Matriz y mezcla	desconocido	desconocido
NT0426_Camp8	AE Norte	Matriz y mezcla	desconocido	desconocido
NT5230(dad)	AE Norte	Matriz y mezcla	desconocido	desconocido
NT0551	AE Sur	Matriz y mezcla	desconocido	base

Tabla III.1-c-2. **Avalanchas de escombros (continuación)**

Características de los depósitos				
Datos del deposito				
Muestras	Nombre del deposito	Facies	Distribución espacial	Muestra a...
NT0409FG	Miembro Inferior, El Zaguán	Flujo granular	desconocido	medio
NT0413FG	Miembro Inferior, El Zaguán	Flujo granular	desconocido	medio
NT0414FG	Miembro Inferior, El Zaguán	Flujo granular	distal	medio
NT05231	Miembro Inferior, El Zaguán	Flujo granular	distal	techo
NT05237	FG Oriente	Flujo granular	desconocido	medio
DXS-2	U. dacítica antigua	Bloques		
DXS-4	U. dacítica antigua	Bloques		
DXS-6	U. dacítica antigua	Bloques		
DXS-20	U. dacítica antigua	Bloques		
DXS-21	U. dacítica antigua	Bloques		
DXS-22	U. dacítica antigua	Bloques		
DXS-24	U. dacítica antigua	Bloques		
825-3	U. dacítica antigua	Bloques		
827-3	U. dacítica antigua	Bloques		
MS-10	U. dacítica antigua	Bloques		
826-3	U. dacítica antigua	Bloques		
DXS-11	U. andesítica y dacítica	Bloques		
DXS-13	U. andesítica y dacítica	Bloques		
DXS-14	U. andesítica y dacítica	Bloques		
DXS-16	U. andesítica y dacítica	Bloques		
DXS-23	U. andesítica y dacítica	Bloques		
DXS-25	U. andesítica y dacítica	Bloques		
DXS-27	U. andesítica y dacítica	Bloques		
DXS-38	U. andesítica y dacítica	Bloques		
825-5	U. andesítica y dacítica	Bloques		
827-2	U. andesítica y dacítica	Bloques		
MS-9	U. andesítica y dacítica	Bloques		

Tabla III.1-c-3. **Avalanchas de escombros (continuación)**

Características de los depósitos				
Datos del deposito				
Muestras	Nombre del deposito	Facies	Distribución espacial	Muestra a...
DXS-3	U. dacítica moderna	Bloques		
DXS-12	U. dacítica moderna	Bloques		
DXS-19	U. dacítica moderna	Bloques		
MS-1	U. dacítica moderna	Bloques		
DXS-17	U. moderna indiferenciada	Bloques		
826-2	U. moderna indiferenciada	Bloques		
827-6	U. moderna indiferenciada	Bloques		
827-7	U. moderna indiferenciada	Bloques		
DXS-1	U. de mezcla de bloques y facies de matriz	Matriz y mezcla		
DXS-8	U. de mezcla de bloques y facies de matriz	Matriz y mezcla		
DXS-29	U. de mezcla de bloques y facies de matriz	Matriz y mezcla		
DXS-30	U. de mezcla de bloques y facies de matriz	Matriz y mezcla		
DXS-31	U. de mezcla de bloques y facies de matriz	Matriz y mezcla		
DXS-33	U. de mezcla de bloques y facies de matriz	Matriz y mezcla		
DXS-34	U. de mezcla de bloques y facies de matriz	Matriz y mezcla		
DXS-35	U. de mezcla de bloques y facies de matriz	Matriz y mezcla		
DXS-36	U. de mezcla de bloques y facies de matriz	Matriz y mezcla		
DXS-37	U. de mezcla de bloques y facies de matriz	Matriz y mezcla		
DXS-9	U. de mezcla de bloques marginal y facies de matriz	Matriz y mezcla		
DXS-26	U. de mezcla de bloques marginal y facies de matriz	Matriz y mezcla		
DXS-28	U. de mezcla de bloques marginal y facies de matriz	Matriz y mezcla		
DXS-32	U. de mezcla de bloques marginal y facies de matriz	Matriz y mezcla		
F	Inferior	Matriz y mezcla		
G	Avalancha Quebrada el Calvario		distal	

Tabla III.2-a-1. **Flujos de escombros cohesivos**

Muestras	Parámetros estadísticos que definen la distribución granulométrica								Proporciones de las principales fracciones de tamaños						
	Inman			Folk				Sambrook Smith et al.,1997		GLA			AAL		
	Md	DS	SkG	Mz	DSI	SkGI	K	Moda	Mo	grava	arena	lodo	arena	limo	arcilla
NTPDF19P	1.16	4.34	0.07	1.38	4.15	0.08	0.90	Polimodal	2, -1, 9	31.71	26.39	41.90	61.35	28.39	10.25
NTPDF21P	0.56	5.83	-0.02	0.48	5.19	0.02	0.73	Polimodal	-3, 9, 3, 6	42.15	26.41	31.44	54.35	29.57	16.08
NTPDF25P	-0.09	4.13	-0.07	-0.27	4.23	-0.02	1.02	Polimodal	2, -3, -6	43.51	15.06	41.43	73.34	20.28	6.38
NTPDF38P	-2.38	3.81	0.14	-2.03	4.06	0.15	1.14	Polimodal	-3, -8, 1	63.51	9.20	27.30	74.79	19.61	5.59
NTPDF39PL	-0.49	4.21	0.01	-0.47	4.02	0.04	0.78	Polimodal	-3, 4, 2	46.35	13.78	39.86	74.31	22.22	3.47
NTPDF39PU	-1.30	4.82	0.30	-0.33	4.43	0.27	0.79	Polimodal	-3, 4, 6	52.37	19.20	28.44	59.70	34.47	5.84
NTPDF40P	-0.53	4.44	0.03	-0.43	4.28	0.09	0.84	Polimodal	-4, -1, 2, 7	46.23	16.17	37.60	69.93	24.56	5.50
NTPDF41TL	-0.18	3.58	-0.13	-0.48	3.45	-0.13	0.86	Unimodal	2	41.21	6.81	51.99	88.42	10.66	0.92
NTPDF41TU	-0.99	3.86	0.13	-0.67	3.68	0.10	0.79	Bimodal	-3, 2	49.97	9.21	40.83	81.59	16.97	1.44
NTPDF44T	-1.15	3.78	-0.05	-1.27	3.60	-0.01	0.86	Polimodal	-2, -5, 1	51.10	6.86	42.04	85.98	13.09	0.94
NTPDF48D	-1.43	2.87	0.26	-0.93	2.85	0.31	1.02	Unimodal, transición	-2, 5	56.75	9.18	34.07	78.78	20.59	0.62
NTPDF53D	-1.11	3.76	0.15	-0.73	3.63	0.19	0.92	Bimodal	-2, 2	51.11	11.47	37.42	76.54	20.42	3.04
NTMDF44D	-1.82	3.85	0.26	-1.16	3.88	0.28	0.95	Unimodal, transición	-3, 6, 9	56.00	11.12	32.89	74.73	20.49	4.78
NTMDF45DL	-0.84	4.74	0.02	-0.76	4.42	0.09	0.75	Polimodal	-5, 2, 7, 9	49.28	16.06	34.67	68.34	25.27	6.38
NTMDF45DU	-2.05	4.81	0.29	-1.12	4.38	0.30	0.77	Polimodal	-5, -2, 5, 2	59.09	17.37	23.54	57.55	35.25	7.20
NTMDF47D	-3.15	4.54	0.40	-1.93	4.27	0.41	0.77	Polimodal	-5, 3, 6	59.37	11.80	28.83	70.95	24.60	4.44
NTMDF52D	-0.85	3.27	0.09	-0.64	3.28	0.19	0.93	Bimodal	-3, 0	47.90	9.56	42.54	81.66	15.33	3.01
NTMDF53DL	-2.05	3.43	0.31	-1.35	3.61	0.30	1.11	Bimodal, transición	-2, 7	59.85	8.50	31.80	78.90	17.82	3.28
NTMDF53DU	-2.93	3.85	0.32	-2.12	3.77	0.34	1.02	Bimodal, transición	-2, -5, 2, 5	69.93	9.54	20.53	68.27	28.54	3.19
NTMDF56D	-2.17	3.77	0.30	-1.42	3.68	0.24	0.89	Bimodal, transición	-2, 3, -7	59.83	8.16	32.01	79.68	20.32	0.00
NTMDF60D	-1.81	4.17	0.38	-0.75	3.93	0.35	0.85	Polimodal	-3, 3, 6	57.36	15.74	26.91	63.09	33.59	3.32
NTMDF70D	-0.07	4.61	0.08	0.18	4.41	0.12	0.93	Polimodal	-4, 2, -1, 7	42.32	17.98	39.70	68.83	23.27	7.90
1-1M	-1.70	6.10	0.41	-0.10	7.90	0.53	1.55			60.10	14.20	26.00	35.59	27.32	37.09
2	-1.80	6.00	0.38	-0.30	7.00	0.47	1.28			53.90	21.10	25.00	45.77	21.04	33.19
3-2M	-4.30	5.20	0.22	-3.50	4.80	0.28	0.79			66.80	25.20	8.00	76.00	18.00	6.00
5-3M	-2.60	5.10	0.24	-3.10	5.00	0.29	0.91			56.60	28.90	15.00	67.00	21.00	12.00
6	-4.00	5.80	0.29	-2.90	5.70	0.38	0.87			63.60	22.90	14.00	63.00	20.00	17.00

Tabla III.2-a-2. **Flujos de escombros cohesivos (continuación)**

Muestras	Parámetros estadísticos que definen la distribución granulométrica							Proporciones de las principales fracciones de tamaños							
	Inman			Folk				Sambrook Smith et al.,1997		GLA			AAL		
	Md	DS	SkG	Mz	DSI	SkGI	K	Moda	Mo	grava	arena	lodo	arena	limo	arcilla
7	-3.80	5.20	0.35	-2.60	4.90	0.38	0.80			61.20	25.00	13.00	67.00	22.00	11.00
8	-4.60	5.00	0.49	-3.00	4.70	0.49	0.75			65.40	24.00	11.00	70.00	23.00	7.00
9	0.20	4.50	-0.08	-0.03	4.30	0.00	0.84			40.90	41.90	17.00	70.00	22.00	8.00
10	-2.8	4.8	0.23	-2.1	4.60	0.28	0.76			56.90	30.00	13.00	69.00	21.00	10.00
12	-1.00	4.90	0.02	-0.90	4.90	0.12	0.94			50.00	33.90	16.00	68.00	20.00	12.00
13-5B	-7.20	4.60	0.48	-5.70	4.50	0.54	0.95			78	16.2	6	74.00	19.00	7.00
14-5M	-3.30	5.90	0.15	-2.70	5.90	0.27	0.85			59.5	26.5	14	65.00	18.00	17.00
15-5T	-0.90	5.50	0.15	-0.40	5.70	0.23	1.06			49.4	28.7	22	56.00	25.00	19.00
17	-3.10	5.40	0.24	-2.20	5.10	0.28	0.77			58.5	27.4	14	66.00	25.00	9.00
19-6B	-3.60	5.10	0.29	-2.60	4.80	0.30	0.76			59.4	29.3	11	72.00	22.00	6.00
20-5T	-0.60	5.90	0.07	-0.30	5.70	0.15	0.89			47.1	29.5	23	56.00	26.00	18.00
21	-1.00	5.10	0.11	-0.60	4.90	0.20	0.86			49.8	32	18	64.00	22.00	14.00
3	-1.49	4.00								53	35	12	74.47	21.28	4.26
4	-1.54	3.95								54	32	14	69.57	15.22	15.22
5	-2.00	3.85								55	31	14	68.89	24.44	6.67
6	3.32	3.15								6	58	36	61.70	26.60	11.70
7	0.00	4.36								43	37	20	64.91	22.81	12.28
8	1.74	4.74								28	45	27	62.50	25.00	12.50
9	-2.07	4.20								57	29	14	67.44	25.58	6.98
10	-1.85	3.94								54	40	6	86.96	0.00	13.04
11	1.32	4.95								31	40	29	57.97	24.64	17.39
12	-0.93	4.58								49	33	18	64.71	25.49	9.80
13	-0.14	5.13								55	21	24	46.67	35.56	17.78
14	0.32	4.76								42	36	22	62.07	29.31	8.62
15	-0.68	4.54								47	33	20	62.26	24.53	13.21
16	1.00	4.16								33	45	22	67.16	19.40	13.43
22	-3.64									61	27	12	69.23	25.64	5.13

Tabla III.2-a-3. **Flujos de escombros cohesivos (continuación)**

Muestras	Parámetros estadísticos que definen la distribución granulométrica							Proporciones de las principales fracciones de tamaños							
	Inman			Folk				Sambrook Smith et al.,1997		GLA			AAL		
	Md	DS	SkG	Mz	DSI	SkGI	K	Moda	Mo	grava	arena	lodo	arena	limo	arcilla
23	-2.07	4.66								55	31	14	68.89	28.89	2.22
24	2.32	4.35								23	44	33	57.14	36.36	6.49
25	-3.70	2.90								76	16	8	66.67	29.17	4.17
26	-1.00	4.97								50	32	18	64.00	32.00	4.00
27	-0.49	4.91								48	33	19	63.46	28.85	7.69
28	-2.10	4.94								56	27	17	61.36	31.82	6.82
29	-1.00	5.23								50	28	22	56.00	26.00	18.00
30	0.51	5.79								41	31	28	52.54	27.12	20.34
31	0.32	4.82								42	35	23	60.34	25.86	13.79
32	-0.68	5.25								48	31	21	59.62	23.08	17.31
33	-0.85	5.12								49	33	18	64.71	21.57	13.73
34	0.15	4.90								42	35	23	60.34	25.86	13.79
35	0.74	4.58								36	41	23	64.06	23.44	12.50
36	-0.38	4.61								44	36	20	64.29	23.21	12.50
37	0.00	4.95								44	36	20	64.29	25.00	10.71
40	3.32	5.22								25	33	42	44.00	46.67	9.33
41	-0.38	5.03								47	32	21	60.38	33.96	5.66

Tabla III.2-b-1. **Flujos de escombros cohesivos (continuación)**

Muestras	Localización de los depósitos			Fuente de datos			
	Localización			Altura (m.)	Km. del cráter	Coordenadas	Autor
	Volcán	ladera, zoom					
NTPDF19P	Nevado de Toluca	S	Pilcaya	2120	23.50	417473, 2089500	Capra, 2000; Capra & Macías, 2000
NTPDF21P	Nevado de Toluca	S	Pilcaya	1980	26.60	417263, 2086333	Capra, 2000; Capra & Macías, 2000
NTPDF25P	Nevado de Toluca	S	Pilcaya	1940	28.30	418315, 2083722	Capra, 2000; Capra & Macías, 2000
NTPDF38P	Nevado de Toluca	S	Pilcaya	1590	40.50	428233, 2072995	Capra, 2000; Capra & Macías, 2000
NTPDF39PL	Nevado de Toluca	S	Pilcaya	0	41.00	428348, 2072565	Capra, 2000; Capra & Macías, 2000
NTPDF39PU	Nevado de Toluca	S	Pilcaya	0	41.00	427907, 2072013	Capra, 2000; Capra & Macías, 2000
NTPDF40P	Nevado de Toluca	S	Pilcaya	1520	41.40	427907, 2072013	Capra, 2000; Capra & Macías, 2000
NTPDF41TL	Nevado de Toluca	S	Pilcaya	1600	35.60	430919, 2078779	Capra, 2000; Capra & Macías, 2000
NTPDF41TU	Nevado de Toluca	S	Pilcaya	1600	35.60	430919, 2078779	Capra, 2000; Capra & Macías, 2000
NTPDF44T	Nevado de Toluca	S	Pilcaya	1600	0.00		Capra, 2000; Capra & Macías, 2000
NTPDF48D	Nevado de Toluca	S	Pilcaya	1460	46.60	436008, 2068756	Capra, 2000; Capra & Macías, 2000
NTPDF53D	Nevado de Toluca	S	Pilcaya	0	0.00		Capra, 2000; Capra & Macías, 2000
NTMDF44D	Nevado de Toluca	SSE	El Mogote	1600	39.30	435653, 2076473	Capra, 2000; Capra & Macías, 2000
NTMDF45DL	Nevado de Toluca	SSE	El Mogote	1560	40.40	434887, 2074877	Capra, 2000; Capra & Macías, 2000
NTMDF45DU	Nevado de Toluca	SSE	El Mogote	1560	0.00	434887, 2074877	Capra, 2000; Capra & Macías, 2000
NTMDF47D	Nevado de Toluca	S	El Mogote	1530	45.10	435339, 2070173	Capra, 2000; Capra & Macías, 2000
NTMDF52D	Nevado de Toluca	SSE	El Mogote	1420	0.00		Capra, 2000; Capra & Macías, 2000
NTMDF53DL	Nevado de Toluca	SSE	El Mogote	0	0.00		Capra, 2000; Capra & Macías, 2000
NTMDF53DU	Nevado de Toluca	SSE	El Mogote	0	0.00		Capra, 2000; Capra & Macías, 2000
NTMDF56D	Nevado de Toluca	SSE	El Mogote	1430	52.30	442704, 2065323	Capra, 2000; Capra & Macías, 2000
NTMDF60D	Nevado de Toluca	SE	El Mogote	1110	51.00	450982, 2071755	Capra, 2000; Capra & Macías, 2000
NTMDF70D	Nevado de Toluca	SE	El Mogote	970	63.10	458076, 2062086	Capra, 2000; Capra & Macías, 2000
1-1M	Monte Rainier			0	5.00		Vallance & Scott, 1997
2	Monte Rainier			0	12.00		Vallance & Scott, 1997
3-2M	Monte Rainier			0	25.00		Vallance & Scott, 1997
5-3M	Monte Rainier			0.00	30.00		Vallance & Scott, 1997
6	Monte Rainier			0	40.00		Vallance & Scott, 1997

Tabla III.2-b-2. **Flujos de escombros cohesivos (continuación)**

Muestras	Localización de los depósitos			Fuente de datos	
	Volcán	ladera, zoom	Altura (m.)	Km. del cráter	Autor
7	Monte Rainier		0	40.00	Vallance & Scott, 1997
8	Monte Rainier		0	40.00	Vallance & Scott, 1997
9	Monte Rainier		0	40.00	Vallance & Scott, 1997
10	Monte Rainier		0	40.00	Vallance & Scott, 1997
12	Monte Rainier		0	50.00	Vallance & Scott, 1997
13-5B	Monte Rainier		0	50	Vallance & Scott, 1997
14-5M	Monte Rainier		0	50	Vallance & Scott, 1997
15-5T	Monte Rainier		0	50	Vallance & Scott, 1997
17	Monte Rainier		0	50	Vallance & Scott, 1997
19-6B	Monte Rainier		0	90	Vallance & Scott, 1997
20-6T	Monte Rainier		0	90	Vallance & Scott, 1997
21	Monte Rainier		0	100	Vallance & Scott, 1997
3	Monte Rainier	Post-Osceola en el valle West Fork			Crandell, 1971
4	Monte Rainier	Valle del río South Puyallup, unidad 3			Crandell, 1971
5	Monte Rainier	Valle del río South Puyallup, unidad 1			Crandell, 1971
6	Monte Rainier	Electron			Crandell, 1971
7	Monte Rainier	Electron			Crandell, 1971
8	Monte Rainier	Electron			Crandell, 1971
9	Monte Rainier	Valle Tahoma Creek			Crandell, 1971
10	Monte Rainier	Valle Tahoma Creek			Crandell, 1971
11	Monte Rainier	Calle del río South Puyallup, 10.000 a.			Crandell, 1971
12	Monte Rainier	Round Pass, unidad 3			Crandell, 1971
13	Monte Rainier	Round Pass			Crandell, 1971
14	Monte Rainier	Round Pass			Crandell, 1971
15	Monte Rainier	Round Pass			Crandell, 1971
16	Monte Rainier	Valle del río Puyallup, unidad 2			Crandell, 1971
22	Monte Rainier	Paradise, unidad 6			Crandell, 1971

Tabla III.2-b-3. **Flujos de escombros cohesivos (continuación)**

Muestras	Localización de los depósitos		Fuente de datos		
	Volcán	ladera, zoom	Altura (m.)	Km. del cráter	Autor
23	Monte Rainier	Paradise			Crandell, 1971
24	Monte Rainier	Paradise			Crandell, 1971
25	Monte Rainier	Paradise			Crandell, 1971
26	Monte Rainier	Paradise			Crandell, 1971
27	Monte Rainier	Paradise, unidad 4 seccion4			Crandell, 1971
28	Monte Rainier	Paradise			Crandell, 1971
29	Monte Rainier	Osceloa			Crandell, 1971
30	Monte Rainier	Osceloa			Crandell, 1971
31	Monte Rainier	Osceloa			Crandell, 1971
32	Monte Rainier	Osceloa			Crandell, 1971
33	Monte Rainier	Osceloa			Crandell, 1971
34	Monte Rainier	Osceloa			Crandell, 1971
35	Monte Rainier	Osceloa			Crandell, 1971
36	Monte Rainier	Osceloa			Crandell, 1971
37	Monte Rainier	Osceloa			Crandell, 1971
40	Monte Rainier	Van Trump Park			Crandell, 1971
41	Monte Rainier	Paradise Park			Crandell, 1971

Tabla III.2-c-1. **Flujos de escombros cohesivos (continuación)**

Características de los depósitos					
Datos del deposito					
Muestras	Nombre del deposito	Facies	Distribución espacial	Muestra a...	Composición
NTPDF19P	Pilcaya		Proximal	base	Dacitas, andesitas
NTPDF21P	Pilcaya		Proximal	base	Dacitas, andesitas
NTPDF25P	Pilcaya		Proximal	base	Dacitas, andesitas
NTPDF38P	Pilcaya		Proximal	base	Dacitas, andesitas
NTPDF39PL	Pilcaya		Proximal	base	Dacitas, andesitas
NTPDF39PU	Pilcaya		Proximal	techo	Dacitas, andesitas
NTPDF40P	Pilcaya		Proximal	base	Dacitas, andesitas
NTPDF41TL	Pilcaya		Transicional	base	Dacitas, andesitas
NTPDF41TU	Pilcaya		Transicional	techo	Dacitas, andesitas
NTPDF44T	Pilcaya		Transicional	base	Dacitas, andesitas
NTPDF48D	Pilcaya		Distal	base	Dacitas, andesitas
NTPDF53D	El Mogote		Distal	base	Dacitas, andesitas
NTMDF44D	El Mogote		Distal	techo	Dacitas, andesitas
NTMDF45DL	El Mogote		Distal	base	Dacitas, andesitas
NTMDF45DU	El Mogote		Distal	base	Dacitas, andesitas
NTMDF47D	El Mogote		Distal	techo	Dacitas, andesitas
NTMDF52D	El Mogote		Distal	base	Dacitas, andesitas
NTMDF53DL	El Mogote		Distal	base	Dacitas, andesitas
NTMDF53DU	El Mogote		Distal	base	Dacitas, andesitas
NTMDF56D	El Mogote		Distal	base	Dacitas, andesitas
NTMDF60D	El Mogote		Distal	base	Dacitas, andesitas
NTMDF70D			Distal	base	Dacitas, andesitas
1-1M		Axial	Proximal	50m sfv	Andesitas
2		Axial	Proximal	25m sfv	Andesitas
3-2M		Flanco del valle	Media	110m sfv	Andesitas
5-3M		Hummocky	Media	50m sfv	Andesitas
6		Axial	Media	20m sfv	Andesitas

Tabla III.2-c-2. **Flujos de escombros cohesivos (continuación)**

Características de los depósitos					
Datos del deposito					
Muestras	Nombre del deposito	Facies	Distribución espacial	Muestra a...	Composición
7		de Axial a Hummocky	Media	22m sfv	Andesitas
8		de Axial a Hummocky	Media	24m sfv	Andesitas
9		Hummocky	Media	25m sfv	Andesitas
10		Hummocky	Media	25m sfv	Andesitas
12			Cohesiva	Infrayacente al Osceola BR	Andesitas
13-5B		Axial	Media	Base de un deposito de 8m BR	Andesitas
14-5M		Axial	Media	Medio de un deposito de 8m BR	Andesitas
15-5T		Axial	Media	Techo de un deposito de 8m BR	Andesitas
17		Flanco del valle	Media	80m sfv	Andesitas
19-6B		Axial	Media	Puget Sound, drift plain, Base del depósito	Andesitas
20-6T		Axial	Media	Puget Sound, drift plain, Techo del depósito	Andesitas
21	Post-Osceola en el valle West Fork	Axial	Media	Puget Sound.	Andesitas
3	Valle del río South Puyallup, unidad 3				Andesitas
4	Valle del río South Puyallup, unidad 1				Andesitas
5	Electron				Andesitas
6	Electron			techo	Andesitas
7	Electron			base	Andesitas
8	Valle Tahoma Creek				Andesitas
9	Valle Tahoma Creek				Andesitas
10	Calle del río South Puyallup, 10.000 a.				Andesitas
11	Round Pass, unidad 3				Andesitas
12	Round Pass				Andesitas
13	Round Pass				Andesitas
14	Round Pass				Andesitas
15	Valle del río Puyallup, unidad 2				Andesitas
16	Paradise, unidad 6				Andesitas
22	Paradise				Andesitas

sfv=sobre el fondo del valle; BR= barra de río

Tabla III.2-c-2. **Flujos de escombros cohesivos (continuación)**

Características de los depósitos					
Datos del deposito					
Muestras	Nombre del deposito	Facies	Distribución espacial	Muestra a...	Composición
23	Paradise				Andesitas
24	Paradise				Andesitas
25	Paradise				Andesitas
26	Paradise, unidad 4 seccion4				Andesitas
27	Paradise				Andesitas
28	Osceloa				Andesitas
29	Osceloa				Andesitas
30	Osceloa				Andesitas
31	Osceloa				Andesitas
32	Osceloa				Andesitas
33	Osceloa				Andesitas
34	Osceloa				Andesitas
35	Osceloa				Andesitas
36	Osceloa				Andesitas
37	Van Trump Park				Andesitas
40	Paradise Park				Andesitas
41					Andesitas

Tabla III.3-a-1. **Flujos de escombros no cohesivos**

Muestras	Parámetros estadísticos que definen la distribución granulométrica							Proporciones de las principales fracciones de tamaños							
	Inman			Folk				Sambrook Smith et al.,1997		GLA			AAL		
	Md	DS	SkG	Mz	DSI	SkGI	K	Moda	Mo	grava	arena	lodo	arena	limo	arcilla
NT0403	-1.01	3.66	0.10	-0.78	3.43	0.18	0.79	Bimodal	-4, 7	50.14	39.92	9.94	80.07	19.93	0.00
NT0406	-4.00	2.05	0.15	-3.79	2.09	0.20	1.04	Unimodal	-4	89.38	9.52	1.10	89.65	9.65	0.69
NT0413Cmz	0.68	2.87	-0.08	0.53	2.81	0.00	0.92	Bimodal	2, -3	30.51	59.72	9.77	85.94	12.88	1.19
NT0413Ccl	-1.53	3.64	-0.01	-1.56	3.43	0.01	0.86	Bimodal	-3, 0	54.72	40.61	4.67	89.69	9.74	0.56
NT0413Y	0.85	3.44	-0.10	0.61	3.39	-0.02	0.90	Bimodal	3, -2	33.65	51.13	15.23	77.05	20.87	2.08
NT0442	-4.49	3.17	0.43	-3.58	3.09	0.47	1.05	Unimodal	-4	79.66	17.72	2.62	87.12	10.95	1.93
NT0444	-3.58	3.86	0.29	-2.84	3.58	0.31	0.81	Bimodal	-6, 2	70.23	25.90	3.87	86.99	13.01	0.00
NT0451	-4.23	3.52	0.57	-2.89	3.17	0.53	0.70	Bimodal	-5, 2	70.21	27.94	1.85	93.78	6.22	0.00
NT0452B	0.95	1.91	0.01	0.97	2.14	-0.02	1.22	Unimodal	2	14.99	79.10	5.91	93.05	6.95	0.00
NT0453	0.94	3.22	-0.28	0.35	3.22	-0.17	1.02	Bimodal	3, -3	30.34	61.04	8.63	87.62	11.08	1.30
NT0512	-3.25	2.66	0.39	-2.56	2.65	0.36	0.95	Unimodal	-4	73.22	24.83	1.94	92.75	6.79	0.46
NT0513	-0.97	3.40	0.06	-0.83	3.34	0.06	0.88	Bimodal	-4, 0	49.63	43.48	6.88	86.33	13.01	0.66
NT0519	-1.83	3.83	0.14	-1.48	3.54	0.19	0.75	Polimodal	-5, 0, 2	56.43	36.89	6.68	84.66	14.91	0.43
NT0527	-1.83	3.83	0.14	-1.48	3.54	0.19	0.75	Unimodal, transicional	-3, -1	48.00	45.29	6.71	87.10	12.23	0.67
NT0533	-0.65	3.17	-0.10	-0.86	2.87	-0.05	0.73	Bimodal	-4, 2	46.24	51.41	2.35	95.62	4.16	0.21
NT0535	-0.39	3.42	-0.14	-0.71	3.18	-0.12	0.80	Bimodal	2, -4	44.00	51.21	4.79	91.44	8.08	0.48
NT0541 A	0.18	2.41	-0.05	0.10	2.33	-0.02	0.92	Unimodal	2	32.09	63.30	4.61	93.21	6.53	0.26
NT0541 B	0.34	2.36	-0.10	0.18	2.33	-0.07	0.96	Unimodal	2	30.34	64.72	4.94	92.91	6.85	0.24
NT0541 C	-2.58	2.69	0.33	-1.99	2.48	0.34	0.78	Unimodal,	-3, 1	66.25	32.15	1.60	95.27	4.59	0.14
NT0541 D	-3.27	2.84	0.55	-2.23	2.58	0.56	0.80			71.55	26.92	1.53	94.62	5.15	0.23
NT0541 D	1.82	2.50	-0.32	1.29	2.53	-0.27	1.13	Unimodal, transicional	3, -3	18.68	73.08	8.23	89.87	9.64	0.48
NT0550A	0.39	2.64	-0.10	0.21	2.61	-0.08	0.96			32.28	61.97	5.76	91.50	8.19	0.32
NT0552A	-3.83	4.23	0.37	-2.79	3.77	0.40	0.66	Bimodal	-6, 2	63.19	31.78	5.04	86.31	13.31	0.38
NT0552B	0.24	2.45	-0.15	-0.01	2.43	-0.16	0.99	Unimodal	1	31.43	66.26	2.32	96.62	3.11	0.27
NT0553	-3.33	2.77	0.33	-2.71	2.76	0.33	1.05	Unimodal	2	76.00	22.02	1.98	91.76	7.78	0.45
NT0554A	0.37	2.55	-0.12	0.15	2.56	-0.13	1.04	Unimodal	2	29.40	65.54	5.06	92.83	6.97	0.20
NT0554B	-1.30	4.23	-0.24	-1.97	3.78	-0.19	0.74	Polimodal	2, -6, -3	52.12	44.99	2.89	93.97	5.87	0.16

Tabla III.3-a-2. **Flujos de escombros no cohesivos (continuación)**

Muestras	Parámetros estadísticos que definen la distribución granulométrica								Proporciones de las principales fracciones de tamaños						
	Inman			Folk				Sambrook Smith et al.,1997		GLA			AAL		
	Md	DS	SkG	Mz	DSI	SkGI	K	Moda	Mo	grava	arena	lodo	arena	limo	arcilla
NT0554C	-3.45	3.03	0.34	-2.76	2.91	0.32	0.95	Unimodal	-4	73.65	24.93	1.41	94.64	5.05	0.31
NT0554D	-1.53	3.59	-0.04	-1.61	3.32	-0.01	0.83	Polimodal	-3, -6, 2	55.13	41.47	3.41	92.41	7.22	0.37
NT0555A	-0.50	3.18	-0.05	-0.61	3.02	-0.06	0.79	Bimodal	-3, 2	45.26	50.16	4.58	91.64	7.83	0.53
NT0555B	1.36	2.9	-0.37	0.63	2.79	-0.31	1.05	Bimodal	2, -3	23.91	69.86	6.22	91.82	8.01	0.17
NT0555C	1.30	1.28	0.07	1.36	1.46	0.08	1.49	Unimodal	2	5.50	89.31	5.19	94.50	5.32	0.18
NT0556 A-	1.29	0.91	-0.11	1.22	1.01	-0.05	1.21	Unimodal	2	2.27	96.28	1.45	98.52	1.45	0.04
NT0556 B-	-3.80	3.83	0.19	-3.31	3.39	0.20	0.68	Bimodal	-6, 2	72.33	27.3	0.38	98.64	1.28	0.08
NT0557	-2.94	3.04	0.46	-2.02	2.83	0.43	0.79	Unimodal	-4	66.94	30.75	2.31	93.02	6.59	0.39
NT0558A	0.04	3.13	-0.19	-0.35	3.05	-0.08	0.94	Bimodal	2, -4	39.01	55.23	5.76	90.55	8.68	0.76
NT0558B	-0.16	3.40	-0.22	-0.65	3.16	-0.18	0.78	Unimodal	-3	42.67	52.45	4.88	91.48	8.18	0.34
NT0561	-1.20	3.28	0.04	-1.12	3.10	0.04	0.82	Bimodal	-3, 2	52.2	43.71	4.09	91.45	8.14	0.41
NT05232A	0.05	2.90	-0.13	-0.21	2.76	-0.12	0.85	Unimodal	2	38.73	56.61	4.67	92.38	6.36	1.25
NT05232 B	-1.86	2.44	0.19	-1.55	2.32	0.21	0.87	Unimodal	-3	62.22	36.71	1.07	97.16	2.73	0.12
NT05232 b	-2.00	4.00	0.00	-2.00	3.00	0.00	1.00	Bimodal, transicional	-4, 2, -6	62.44	35.37	2.19	94.16	5.50	0.34
NT05238A	0.13	3.79	-0.20	-0.36	3.74	-0.15	0.95	Polimodal	2, -6, -2	39.87	50.97	9.16	84.76	14.45	0.79
NT05238C	-3.09	2.46	0.31	-2.59	2.51	0.35	0.99	Unimodal	-4	74.47	22.43	3.1	87.85	11.33	0.82
NT05238D	-2.09	2.89	0.25	-1.61	2.77	0.29	0.89	Unimodal	-3	62.61	33.14	4.24	88.65	10.25	1.10
NT05240	-3.69	3.02	0.52	-2.64	3.03	0.46	1.05	Unimodal	-4	73.9	22.91	3.19	87.76	11.66	0.58
NT05243I	-2.85	3.18	0.35	-2.11	3.12	0.25	0.89	Unimodal	-4	67.73	30.8	1.47	95.44	4.22	0.34
NT05244	-1.87	3.50	0.13	-1.57	3.36	0.12	0.85	Bimodal	-3	59.65	35.28	5.07	87.44	11.69	0.86
NT05245	-4.16	3.73	0.47	-3.00	3.45	0.47	0.93	Unimodal, transicional	-3, 2	74.64	21.69	3.67	85.54	13.86	0.60
NT05246	-4.17	3.39	0.44	-3.18	3.13	0.43	0.91	Unimodal, transicional	-4, 2	76.17	22.6	1.23	94.84	4.97	0.19
NT05247 A	-3.80	2.62	0.61	-2.74	2.58	0.57	1.18	Unimodal	-4	78.59	20.24	1.17	94.53	5.24	0.24
NT05249 C	-1.95	3.34	0.33	-1.21	3.19	0.39	0.85	Bimodal	-4, 2	59.56	32.61	7.83	80.63	18.46	0.91
NT05250	-3.28	3.01	0.44	-2.39	3.11	0.38	1.00	Unimodal	-4	69.53	26.18	4.29	85.92	13.16	0.92
NT05255A	-4.14	4.52	0.27	-3.33	3.92	0.30	0.58	Bimodal	-7, 2	64.41	33.75	1.83	94.85	4.93	0.22
NT05259	1.06	2.87	-0.31	0.47	2.91	-0.32	0.98	Unimodal, transicional	3, -4, 0	29.41	64.65	5.93	91.60	7.93	0.48

Tabla III.3-a-3. **Flujos de escombros no cohesivos (continuación)**

Muestras	Parámetros estadísticos que definen la distribución granulométrica							Proporciones de las principales fracciones de tamaños							
	Inman			Folk				Sambrook Smith et al.,1997		GLA			AAL		
	Md	DS	SkG	Mz	DSI	SkGI	K	Moda	Mo	grava	arena	lodo	arena	limo	arcilla
NT05260	-1.50	3.11	0.11	-1.26	2.94	0.12	0.80	Bimodal, transicional	-3, 2, -1	55.59	41.21	3.2	92.79	7.02	0.20
P3510a				-2.65	3.56	0.58	0.65			63.28	33.75	2.16	93.98	5.46	0.56
P3510b				1.54	1.61	-0.06	1.11			7.42	87.6	4.98	94.62	5.38	0.00
P3490a				-0.24	2.46	0.16	1.06			39.76	50.1	10.14	83.17	15.31	1.53
P3490b				1.49	1.88	-0.30	1.02			12.11	85.05	2.45	97.20	2.80	0.00
P3460a				-4.22	3.30	0.57	1.61			79.58	19.78	0.62	96.96	2.89	0.15
P3380b				-0.59	3.15	-0.28	0.81			40.1	56.38	3.52	94.12	5.88	0.00
P3310c				-0.42	2.69	-0.01	0.81			42.51	52.57	4.93	91.44	8.26	0.30
P3195a				-2.88	3.53	0.59	0.67			65.52	30.06	3.51	89.52	10.18	0.30
P3170a				-0.58	3.40	0.11	0.68			48.42	42.57	9.02	82.52	16.79	0.70
P3170b				2.38	2.43	-0.20	1.26			9.24	69.88	20.88	76.99	23.01	0.00
P3140a				-0.01	2.65	-0.16	0.69			37.86	59.5	3.08	95.08	4.92	0.00
P3140b				1.68	1.43	0.10	0.97			1.95	93.85	4.2	95.72	4.19	0.09
P3070b				-0.78	3.76	-0.02	0.71			46.88	43.02	10.1	80.99	19.01	0.00
P3010a				-2.63	2.82	0.66	0.91			73.69	24.67	1.84	92.92	6.93	0.15
P3010b				-2.10	3.11	0.40	0.79			67.83	29.27	2.89	91.01	8.99	0.00
P2965a				-2.30	2.94	0.30	0.77			66.82	30.53	2.65	92.01	7.99	0.00
P2965b				0.72	2.91	-0.33	1.24			20.91	71.32	7.77	90.18	9.82	0.00
P2860a				1.48	1.72	-0.07	1.06			8.58	86.72	4.70	94.86	5.14	0.00
P2850a				1.81	1.38	0.12	1.09			1.41	92.76	5.83	93.92	5.90	0.18
P3620				-1.14	3.70	0.34	0.68			56.85	32.70	10.43	75.80	23.25	0.95
P3510c				-2.73	3.63	0.59	1.03			74.53	18.72	0.30	74.20	24.61	1.19
P3490c				-0.93	3.92	0.35	0.70			55.66	27.96	0.73	63.86	34.47	1.67
P3460b				-1.94	3.57	0.51	0.83			68.64	24.32	7.03	77.60	21.31	1.08
P3380c				0.45	3.36	-0.10	0.74			36.62	48.59	14.80	76.65	22.42	0.93
P3310d				0.34	3.17	-0.07	0.74			37.60	50.38	12.02	80.74	18.51	0.75
P3195b				-1.19	3.93	0.47	0.75			60.16	25.02	14.81	62.82	37.18	0.00

Tabla III.3-a-4. **Flujos de escombros no cohesivos (continuación)**

Muestras	Parámetros estadísticos que definen la distribución granulométrica							Proporciones de las principales fracciones de tamaños							
	Inman			Folk				Sambrook Smith et al., 1997		GLA			AAL		
	Md	DS	SkG	Mz	DSI	SkGI	K	Moda	Mo	grava	arena	lodo	arena	limo	arcilla
P3170c				1.24	2.39	0.10	0.92			17.81	68.51	13.68	83.35	16.27	0.39
P3140c				0.75	3.26	-0.08	0.74			34.71	48.70	16.60	74.58	24.23	1.19
P3070c				-0.41	3.79	0.20	0.70			49.66	34.14	16.19	67.83	32.17	0.00
P2965c				0.99	3.03	-0.11	0.81			29.58	54.79	15.62	77.82	21.20	0.98
P2860b				-0.70	3.43	0.33	0.66			53.33	35.95	10.72	77.03	22.13	0.84
P2850b				0.53	3.29	-0.04	0.71			37.51	46.71	15.78	74.75	23.96	1.30
a				-0.40	3.77	0.17	0.78			40.00	47.00	13.00	100.00	0.00	0.00
b				-3.28	4.15	0.52	0.82			68.50	25.00	6.50	100.00	0.00	0.00
c				0.09	3.70	0.15	0.73			34.00	51.00	15.00	100.00	0.00	0.00
d				-0.67	3.73	0.19	0.72			44.00	44.00	12.00	100.00	0.00	0.00
e				-1.12	3.90	0.21	0.77			49.00	41.00	10.00	100.00	0.00	0.00
f				-0.72	3.91	0.17	0.74			43.00	43.00	14.00	100.00	0.00	0.00
g				-0.98	4.26	0.11	0.85			46.00	43.00	11.00	100.00	0.00	0.00
h				-0.65	3.83	0.11	0.73			42.00	45.00	13.00	100.00	0.00	0.00
i				0.27	3.70	0.63	0.82			31.00	54.00	15.00	100.00	0.00	0.00
j				-2.37	3.95	0.44	0.75			59.00	33.00	8.00	100.00	0.00	0.00
k				1.10	3.45	0.16	0.96			23.00	55.00	22.00	100.00	0.00	0.00
l				0.20	3.87	0.05	0.86			29.00	55.00	16.00	100.00	0.00	0.00
m				-1.48	3.69	0.14	1.00			47.50	45.00	7.50	100.00	0.00	0.00
n				2.23	3.24	0.19	0.91			11.00	58.00	31.00	100.00	0.00	0.00
p				-3.17	5.62	0.02	0.88			57.00	35.00	8.00	100.00	0.00	0.00
q				-3.67	4.83	0.02	0.78			63.00	31.00	6.00	100.00	0.00	0.00
r				-4.15	3.86	0.78	0.54			76.00	19.00	5.00	100.00	0.00	0.00
s				-1.97	4.48	0.14	0.78			52.00	38.00	10.00	100.00	0.00	0.00
t				-3.48	4.96	0.28	0.70			60.50	32.00	7.50	100.00	0.00	0.00
1				-1.76	3.41	0.42	0.71			63.00	31.00	6.00	100.00	0.00	0.00
2				-1.44	3.59	0.21	0.73			56.00	38.00	6.00	100.00	0.00	0.00

Tabla III.3-a-5. **Flujos de escombros no cohesivos (continuación)**

Muestras	Parámetros estadísticos que definen la distribución granulométrica							Proporciones de las principales fracciones de tamaños							
	Inman			Folk				Sambrook Smith et al., 1997		GLA			AAL		
	Md	DS	SkG	Mz	DSI	SkGI	K	Moda	Mo	grava	arena	lodo	arena	limo	arcilla
3				-0.96	3.68	0.09	0.67			51.00	39.00	10.00	100.00	0.00	0.00
4				-1.67	3.95	0.22	0.73			57.00	34.00	9.00	100.00	0.00	0.00
5				-1.60	4.10	0.05	0.72			54.00	37.00	9.00	100.00	0.00	0.00
6				-1.25	3.95	0.04	0.72			52.00	40.00	8.00	100.00	0.00	0.00
7				-1.33	3.72	0.19	0.74			55.00	36.00	8.00	100.00	0.00	0.00
8				-1.31	3.85	0.03	0.73			53.00	38.00	9.00	100.00	0.00	0.00
9				-1.49	4.12	-0.08	0.71			51.00	41.00	8.00	100.00	0.00	0.00
10				-0.98	3.82	0.03	0.74			50.00	40.00	9.00	100.00	0.00	0.00
11				-1.83	3.91	0.16	0.75			59.00	34.00	7.00	100.00	0.00	0.00
12				-1.59	3.98	0.14	0.76			55.00	36.00	8.00	100.00	0.00	0.00
2				-1.72	4.08	0.04	0.75			55.00	39.00	39.00	100.00	0.00	0.00
3				-1.60	3.68	0.34	0.65			59.00	33.00	33.00	100.00	0.00	0.00
4				-1.98	4.06	0.25	0.73			60.00	31.00	31.00	100.00	0.00	0.00
5				-2.26	4.22	0.08	0.73			60.00	33.00	33.00	100.00	0.00	0.00
6				-1.03	4.05	-0.12	0.76			49.00	43.00	43.00	100.00	0.00	0.00
7				-1.11	3.95	-0.08	0.72			50.00	42.00	42.00	100.00	0.00	0.00
8				-1.71	3.99	0.11	0.73			55.00	37.00	37.00	100.00	0.00	0.00
9				-1.30	4.22	-0.13	0.74			49.00	41.00	41.00	100.00	0.00	0.00
10				-1.21	3.86	0.01	0.78			52.00	40.00	40.00	100.00	0.00	0.00
11				-2.07	3.99	0.13	0.74			60.00	34.00	34.00	100.00	0.00	0.00
12				-2.14	4.15	0.16	0.72			60.00	33.00	33.00	100.00	0.00	0.00
2				-1.44	3.30	0.42	0.72			60.00	34.00	6.00	100.00	0.00	0.00
3				-0.87	3.74	0.03	0.67			50.00	39.00	11.00	100.00	0.00	0.00
4				-1.80	3.90	0.26	0.72			58.00	35.00	7.00	100.00	0.00	0.00
5				-1.05	3.97	-0.05	0.71			50.00	40.00	10.00	100.00	0.00	0.00
6				-1.58	3.86	0.21	0.73			57.00	36.00	7.00	100.00	0.00	0.00
7				-1.57	3.29	0.45	0.75			61.00	32.00	7.00	100.00	0.00	0.00

Tabla III.3-a-6. **Flujos de escombros no cohesivos (continuación)**

Muestras	Parámetros estadísticos que definen la distribución granulométrica							Proporciones de las principales fracciones de tamaños							
	Inman			Folk				Sambrook Smith et al.,1997		GLA			AAL		
	Md	DS	SkG	Mz	DSI	SkGI	K	Moda	Mo	grava	arena	lodo	arena	limo	arcilla
8				-1.01	3.83	-0.01	0.72			51.00	39.00	10.00	100.00	0.00	0.00
9				-1.88	4.11	0.12	0.72			56.00	36.00	8.00	100.00	0.00	0.00
10				-1.38	3.59	0.19	0.74			55.00	38.00	7.00	100.00	0.00	0.00
11				-1.72	3.77	0.25	0.78			58.00	36.00	6.00	100.00	0.00	0.00
12				-1.48	3.74	0.18	0.79			55.00	38.00	7.00	100.00	0.00	0.00
AL7				0.56		1.82				10.90	82.10	7.00	92.14	6.17	1.68
MN4				-0.05		2.41				29.60	64.30	6.10	91.34	7.39	1.28
Cerca a MN6				0.93		2.81				21.60	65.60	12.80	83.67	13.78	2.55
MN7				0.23		2.73				30.80	62.70	6.50	90.61	8.24	1.16
MN8				-1.38		2.20				63.30	34.00	2.70	92.64	6.27	1.09
MN8				-0.03		3.08				34.70	58.00	7.30	88.82	9.80	1.38
MN9				-1.76		2.47				66.10	31.50	2.40	92.92	6.19	0.88
A1				-1.66		2.12				64.10	34.80	1.10	96.94	2.51	0.56
A3				-0.53		3.11				42.80	49.30	7.90	86.19	12.06	1.75
AL3				1.06		2.57				18.10	70.50	11.40	86.08	10.74	3.17
AL3				-0.26		3.42				36.70	54.20	9.10	85.62	11.06	3.32
MN7				-0.58		3.14				41.70	53.50	4.80	91.77	7.20	1.03
MN8				-0.92		2.78				50.50	46.00	3.50	92.93	6.06	1.01
MN9				-2.13		2.85				67.10	29.80	3.10	90.58	8.21	1.22
AL1				-1.11		2.53				46.70	51.40	1.70	96.80	2.64	0.56
MN4				-3.80		2.52				84.60	13.60	1.80	88.31	10.39	1.30
MN7				-3.03		3.46				73.70	22.30	4.00	84.79	12.93	2.28
MN8				-0.92		2.78				50.50	46.00	3.50	92.93	6.06	1.01
A1				-2.91		2.16				79.10	20.90	0.00	100.00	0.00	0.00
AL3				0.03		2.75				31.30	63.60	5.10	92.58	5.97	1.46
MN4				-1.48		2.66				60.70	35.70	3.60	90.84	7.63	1.53
AL4				0.08		3.24				32.90	58.30	8.80	86.89	10.13	2.98

Tabla III.3-a-7. **Flujos de escombros no cohesivos (continuación)**

Muestras	Parámetros estadísticos que definen la distribución granulométrica							Proporciones de las principales fracciones de tamaños							
	Inman			Folk				Sambrook Smith et al.,1997		GLA			AAL		
	Md	DS	SkG	Mz	DSI	SkGI	K	Moda	Mo	grava	arena	lodo	arena	limo	arcilla
AL4				-0.63		3.36				40.60	53.30	6.10	89.73	7.58	2.69
AL4				0.60		3.06				28.40	62.10	9.50	86.73	10.06	3.21
AL4				0.82		2.72				21.50	68.40	10.10	87.13	10.06	2.80
AL7				-0.76		2.27				55.60	38.60	5.80	86.94	10.59	2.48
1	0.32	4.35								37.00	49.00	14.00	77.78	15.87	6.35
2	0.74	2.78								25.00	60.00	15.00	80.00	14.67	5.33
17	-1.00	3.43								50.00	43.00	7.00	86.00	0.00	14.00
18	-1.68	3.56								57.00	38.00	5.00	88.37	0.00	11.63
21	-0.58	4.80								47.00	37.00	16.00	69.81	28.30	1.89
38	-1.00	4.38								50.00	36.00	14.00	72.00	24.00	4.00
39	0.00	3.53								40.00	51.00	9.00	85.00	0.00	15.00

Tabla III.3-b-1. **Flujos de escombros no cohesivos (continuación)**

Muestras	Localización de los depósitos				Fuente de datos	
	Volcán	ladera, zoom	Altura (m.)	Km. del cráter	Coordenadas	Autor
NT0403	Nevado de Toluca	E, base AE-O	3180	7.78	428198, 2114188	
NT0406	Nevado de Toluca	ENE, base AE-O	3040	9.67	429756, 2115776	
NT0413Cmz	Nevado de Toluca	ENE	3120	8.17	428280, 2115456	
NT0413Ccl	Nevado de Toluca	ENE	3120	8.17	428280, 2115456	
NT0413Y	Nevado de Toluca	ENE	3120	8.17	428280, 2115456	
NT0442	Nevado de Toluca	NNE	3260	8.01	423684, 2120187	
NT0444	Nevado de Toluca	NNE	3560	4.87	421773, 2117517	
NT0451	Nevado de Toluca	NNE	3900	14.50	423460, 2127004	
NT0452B	Nevado de Toluca	NNE	3860	15.02	423591, 2127484	
NT0453	Nevado de Toluca	NNE	3020	10.62	423115, 2123122	
NT0512	Nevado de Toluca	NE	2980	11.31	426953, 2122134	
NT0513	Nevado de Toluca	NNE	3120	9.74	425412, 2121213	
NT0519	Nevado de Toluca	NE	2920	11.77	426553, 2122952	
NT0527	Nevado de Toluca	NE	2820	14.47	429522, 2124169	
NT0533	Nevado de Toluca	NE	3140	8.57	426509, 2118934	
NT0535	Nevado de Toluca	NE	3100	9.50	427401, 2119357	
NT0541 A	Nevado de Toluca	NE	2830	14.54	430403, 2123457	
NT0541 B	Nevado de Toluca	NE	2830	14.54	430403, 2123457	
NT0541 C	Nevado de Toluca	NE	2830	14.54	430403, 2123457	
NT0541 D	Nevado de Toluca	NE	2830	14.54	430403, 2123457	
NT0541 D	Nevado de Toluca	NE	2830	14.54	430403, 2123457	
NT0550A	Nevado de Toluca	SSE	1620	38.89	426614, 2074316	
NT0552A	Nevado de Toluca	S	1840	25.80	430753, 2089051	
NT0552B	Nevado de Toluca	S	1840	25.80	430753, 2089051	
NT0553	Nevado de Toluca	SE	2300	15.90	431822, 2101544	
NT0554A	Nevado de Toluca	E, Pueblo Nuevo	2940.00	9.69	430153, 2111695	
NT0554B	Nevado de Toluca	E, Pueblo Nuevo	2940	9.69	430153, 2111695	

Tabla III.3-b-2. **Flujos de escombros no cohesivos (continuación)**

Muestras	Localización de los depósitos				Fuente de datos	
	Volcán	ladera, zoom	Altura (m.)	Km. del cráter	Coordenadas	Autor
NT0554C	Nevado de Toluca	E, Pueblo Nuevo	2940	9.69	430153, 2111695	
NT0554D	Nevado de Toluca	E, Pueblo Nuevo	2940	9.69	430153, 2111695	
NT0555A	Nevado de Toluca	NE	2900	13.04	429442, 2122324	
NT0555B	Nevado de Toluca	NE	2900	13.04	429442, 2122324	
NT0555C	Nevado de Toluca	NE	2900	13.04	429442, 2122324	
NT0556 A-	Nevado de Toluca	N	3010	11.34	420272, 2124132	
NT0556 B-	Nevado de Toluca	N	3010	11.34	420272, 2124132	
NT0557	Nevado de Toluca	N	2940	12.97	419806, 2125755	
NT0558A	Nevado de Toluca	N	3000	13.37	417562, 2125847	
NT0558B	Nevado de Toluca	N	3000	13.37	417562, 2125847	
NT0561	Nevado de Toluca	NE	3200	8.01	426918, 2117773	
NT05232A	Nevado de Toluca	NE	2710	15.62	434523, 2119837	
NT05232 B	Nevado de Toluca	NE	2710	15.62	434523, 2119837	
NT05232 b	Nevado de Toluca	NE	2710	15.62	434523, 2119837	
NT05238A	Nevado de Toluca	ENE	2800	13.99	432983, 2119235	
NT05238C	Nevado de Toluca	ENE	2800	13.99	432983, 2119235	
NT05238D	Nevado de Toluca	ENE	2800	13.99	432983, 2119235	
NT05240	Nevado de Toluca	E	3060	10.03	429491, 2117313	
NT05243I	Nevado de Toluca	ESE	3260	5.97	426096, 2110630	
NT05244	Nevado de Toluca	E	3000	8.85	429341, 2112044	
NT05245	Nevado de Toluca	E	3060	8.3	428809, 2112463	
NT05246	Nevado de Toluca	E	3220	7.11	427606, 2112475	
NT05247 A	Nevado de Toluca	E	3220	7.09	427592, 2112441	
NT05249 C	Nevado de Toluca	ESE	3230	8.25	428665, 2111601	
NT05250	Nevado de Toluca	E	3280	6.06	426613, 2112576	
NT05255A	Nevado de Toluca	SW	3380	6.22	416850, 2107806	
NT05259	Nevado de Toluca	SE	3520	3.93	423839, 2110604	

Tabla III.3-b-3. **Flujos de escombros no cohesivos (continuación)**

Muestras	Localización de los depósitos				Fuente de datos	
	Volcán	ladera, zoom	Altura (m.)	Km. del cráter	Coordendas	Autor
NT05260	Nevado de Toluca	SE	3520	4.03	423873, 2110516	
P3510a	Popocatepetl		3500			Capra et al., 2004
P3510b	Popocatepetl		3500			Capra et al., 2004
P3490a	Popocatepetl		3500			Capra et al., 2004
P3490b	Popocatepetl		3500			Capra et al., 2004
P3460a	Popocatepetl		3400			Capra et al., 2004
P3380b	Popocatepetl		3400			Capra et al., 2004
P3310c	Popocatepetl		3300			Capra et al., 2004
P3195a	Popocatepetl		3200			Capra et al., 2004
P3170a	Popocatepetl		3180			Capra et al., 2004
P3170b	Popocatepetl		3180			Capra et al., 2004
P3140a	Popocatepetl		3140			Capra et al., 2004
P3140b	Popocatepetl		3140			Capra et al., 2004
P3070b	Popocatepetl		3080			Capra et al., 2004
P3010a	Popocatepetl		3020			Capra et al., 2004
P3010b	Popocatepetl		3020			Capra et al., 2004
P2965a	Popocatepetl		3000			Capra et al., 2004
P2965b	Popocatepetl		3000			Capra et al., 2004
P2860a	Popocatepetl		2900			Capra et al., 2004
P2850a	Popocatepetl		2800			Capra et al., 2004
P3620	Popocatepetl		3600			Capra et al., 2004
P3510c	Popocatepetl		3500			Capra et al., 2004
P3490c	Popocatepetl		3500			Capra et al., 2004
P3460b	Popocatepetl		3400			Capra et al., 2004
P3380c	Popocatepetl		3400			Capra et al., 2004
P3310d	Popocatepetl		3300			Capra et al., 2004
P3195b	Popocatepetl		3200			Capra et al., 2004

Tabla III.3-b-4. **Flujos de escombros no cohesivos (continuación)**

Muestras	Localización de los depósitos			Fuente de datos		
	Volcán	ladera, zoom	Altura (m.)	Km. del cráter	Coordendas	Autor
P3170c	Popocatépetl		3180			Capra et al., 2004
P3140c	Popocatépetl		3140			Capra et al., 2004
P3070c	Popocatépetl		3080			Capra et al., 2004
P2965c	Popocatépetl		3000			Capra et al., 2004
P2860b	Popocatépetl		2900			Capra et al., 2004
P2850b	Popocatépetl		2800			Capra et al., 2004
a	Monte Santa Helena	Blue Lake		3.20		Major & Voight, 1986
b	Monte Santa Helena	Blue Lake		3.23		Major & Voight, 1986
c	Monte Santa Helena	Blue Lake		3.48		Major & Voight, 1986
d	Monte Santa Helena	Blue Lake		3.48		Major & Voight, 1986
e	Monte Santa Helena	Blue Lake		3.50		Major & Voight, 1986
f	Monte Santa Helena	Blue Lake		3.81		Major & Voight, 1986
g	Monte Santa Helena	Blue Lake		3.93		Major & Voight, 1986
h	Monte Santa Helena	Blue Lake		4.27		Major & Voight, 1986
i	Monte Santa Helena	Blue Lake		4.33		Major & Voight, 1986
j	Monte Santa Helena	Blue Lake		4.90		Major & Voight, 1986
k	Monte Santa Helena	Blue Lake		4.90		Major & Voight, 1986
l	Monte Santa Helena	Blue Lake		5.20		Major & Voight, 1986
m	Monte Santa Helena	Blue Lake		5.30		Major & Voight, 1986
n	Monte Santa Helena	Alto en cono		0.65		Major & Voight, 1986
p	Monte Santa Helena	Medio		2.25		Major & Voight, 1986
q	Monte Santa Helena	Medio		2.80		Major & Voight, 1986
r	Monte Santa Helena	Medio		3.45		Major & Voight, 1986
s	Monte Santa Helena	Medio		3.93		Major & Voight, 1986
t	Monte Santa Helena	Medio		4.33		Major & Voight, 1986
1	Monte Santa Helena	Blue Lake		1.74		Major & Voight, 1986
2	Monte Santa Helena	Blue Lake		2.38		Major & Voight, 1986

Tabla III.3-b-5. **Flujos de escombros no cohesivos (continuación)**

Localización de los depósitos				Fuente de datos		
Muestras	Localización		Altura (m.)	Km. del cráter	Coordendas	Autor
	Volcán	ladera, zoom				
3	Monte Santa Helena	Blue Lake		3.53		Major & Voight, 1986
4	Monte Santa Helena	Blue Lake		3.56		Major & Voight, 1986
5	Monte Santa Helena	Blue Lake		4.12		Major & Voight, 1986
6	Monte Santa Helena	Blue Lake		4.66		Major & Voight, 1986
7	Monte Santa Helena	Medio		2.88		Major & Voight, 1986
8	Monte Santa Helena	Medio		3.90		Major & Voight, 1986
9	Monte Santa Helena	Medio		4.08		Major & Voight, 1986
10	Monte Santa Helena	Butte Canyon		2.65		Major & Voight, 1986
11	Monte Santa Helena	Butte Canyon		4.38		Major & Voight, 1986
12	Monte Santa Helena	Butte Canyon		5.10		Major & Voight, 1986
2	Monte Santa Helena	Blue Lake		2.38		Major & Voight, 1986
3	Monte Santa Helena	Blue Lake		3.53		Major & Voight, 1986
4	Monte Santa Helena	Blue Lake		3.56		Major & Voight, 1986
5	Monte Santa Helena	Blue Lake		4.12		Major & Voight, 1986
6	Monte Santa Helena	Blue Lake		4.66		Major & Voight, 1986
7	Monte Santa Helena	Medio		2.88		Major & Voight, 1986
8	Monte Santa Helena	Medio		3.90		Major & Voight, 1986
9	Monte Santa Helena	Medio		4.08		Major & Voight, 1986
10	Monte Santa Helena	Butte Canyon		2.65		Major & Voight, 1986
11	Monte Santa Helena	Butte Canyon		4.38		Major & Voight, 1986
12	Monte Santa Helena	Butte Canyon		5.10		Major & Voight, 1986
2	Monte Santa Helena	Blue Lake		2.38		Major & Voight, 1986
3	Monte Santa Helena	Blue Lake		3.53		Major & Voight, 1986
4	Monte Santa Helena	Blue Lake		3.56		Major & Voight, 1986
5	Monte Santa Helena	Blue Lake		4.12		Major & Voight, 1986
6	Monte Santa Helena	Blue Lake		4.66		Major & Voight, 1986
7	Monte Santa Helena	Medio		2.88		Major & Voight, 1986

Tabla III.3-b-6. **Flujos de escombros no cohesivos (continuación)**

Muestras	Localización de los depósitos			Fuente de datos		
	Volcán	ladera, zoom	Altura (m.)	Km. del cráter	Coordenadas	Autor
8	Monte Santa Helena	Medio		3.90		Major & Voight, 1986
9	Monte Santa Helena	Medio		4.08		Major & Voight, 1986
10	Monte Santa Helena	Butte Canyon		2.65		Major & Voight, 1986
11	Monte Santa Helena	Butte Canyon		4.38		Major & Voight, 1986
12	Monte Santa Helena	Butte Canyon		5.10		Major & Voight, 1986
AL7	Nevado del Ruiz	Deposito de abanico distal				Pierson et al., 1990
MN4	Nevado del Ruiz	Zona de Flujo Superior	2400	16.40		Pierson et al., 1990
cerca a MN6	Nevado del Ruiz	Zona de Flujo Superior		34.60		Pierson et al., 1990
MN7	Nevado del Ruiz	Zona de Flujo Superior	1130	47.40		Pierson et al., 1990
MN8	Nevado del Ruiz	Zona de Flujo Superior, fuera de la curva	940	58.90		Pierson et al., 1990
MN8	Nevado del Ruiz	Zona de Flujo Superior, dentro de la curva	940	58.90		Pierson et al., 1990
MN9	Nevado del Ruiz	Zona de Flujo Superior	830	68.60		Pierson et al., 1990
A1	Nevado del Ruiz	Zona de Flujo Superior	4200	3.70		Pierson et al., 1990
A3	Nevado del Ruiz	Zona de Flujo Superior		15.40		Pierson et al., 1990
AL3	Nevado del Ruiz	Zona de Flujo Superior, fuera de la curva	380	69.30		Pierson et al., 1990
AL3	Nevado del Ruiz	Zona de Flujo Superior, dentro de la curva	380	69.30		Pierson et al., 1990
MN7	Nevado del Ruiz	Zona del Flujo Intermedio	1130	47.40		Pierson et al., 1990
MN8	Nevado del Ruiz	Zona del Flujo Intermedio	940	58.90		Pierson et al., 1990
MN9	Nevado del Ruiz	Zona del Flujo Intermedio	830	68.60		Pierson et al., 1990
AL1	Nevado del Ruiz	Zona del Flujo Intermedio	1020	49.50		Pierson et al., 1990
MN4	Nevado del Ruiz	Zona del Flujo Inferior	2400	16.40		Pierson et al., 1990
MN7	Nevado del Ruiz	Zona del Flujo Inferior	1130	47.40		Pierson et al., 1990
MN8	Nevado del Ruiz	Zona del Flujo Inferior	940	58.90		Pierson et al., 1990
A1	Nevado del Ruiz	Zona del Flujo Inferior	4200	3.70		Pierson et al., 1990
AL3	Nevado del Ruiz	Zona del Flujo Inferior	380	69.30		Pierson et al., 1990
MN4	Nevado del Ruiz	Estadio de decaimiento	2400	16.40		Pierson et al., 1990
AL4	Nevado del Ruiz	Estadio de decaimiento		70.30		Pierson et al., 1990

Tabla III.3-b-7. **Flujos de escombros no cohesivos (continuación)**

Muestras	Localización de los depósitos			Fuente de datos			
	Localización			Altura (m.)	Km. del cráter	Coordendas	Autor
AL4	Nevado del Ruiz	Deposito de abanico proximal, unidad marrón		70.30			Pierson et al., 1990
AL4	Nevado del Ruiz	Deposito de abanico proximal, unidad marrón		70.30			Pierson et al., 1990
AL4	Nevado del Ruiz	Deposito de abanico proximal, unidad gris		70.30			Pierson et al., 1990
AL7	Nevado del Ruiz	Deposito de abanico distal		87.00			Pierson et al., 1990
1	Monte Rainier	Kautz Creek					Crandell, 1971
2	Monte Rainier	Kautz Creek					Crandell, 1971
17	Monte Rainier	Valle Muddy Fork					Crandell, 1971
18	Monte Rainier	Valle del río Nisqually					Crandell, 1971
21	Monte Rainier	Valle del río Nisqually					Crandell, 1971
38	Monte Rainier	Valle del río Nisqually, unidad 1 sección 4					Crandell, 1971
39	Monte Rainier	Valle del río White					Crandell, 1971

Tabla III.3-c-1. **Flujos de escombros no cohesivos (continuación)**

Características de los depósitos						
Datos del depósito						
Muestras	Nombre del depósito	Facies	Distribución espacial	Muestra a...	Composición	Observaciones
NT0403			medio	techo		
NT0406			desconocida	medio		no se ve el contacto con la AE
NT0413Cmz			desconocida	medio		rica en matriz
NT0413Ccl			desconocida	medio		rica en clastos
NT0413Y						
NT0442			desconocida	medio		
NT0444			desconocida	medio		Terraza en un valle glacial
NT0451			desconocida	techo		
NT0452B			desconocida	medio		Proviene de un FP de pómez
NT0453			desconocida	techo		No puedo clasificarlo de otra forma
NT0512			desconocida	techo		Se parece al FENC de Pueblo Nuevo
NT0513			desconocida	techo		
NT0519			desconocida	medio		
NT0527			distal	techo		
NT0533			desconocida	techo		Presenta exóticos
NT0535			desconocida	techo		Presenta exóticos
NT0541 A			desconocida	medio		
NT0541 B			desconocida	medio		
NT0541 C			desconocida	base		Proviene de un FP
NT0541 D			proximal	medio		Transición desde un FP
NT0541 D			proximal	medio		Transición desde un FP
NT0550A			desconocida	techo		
NT0552A			desconocida	base		
NT0552B			desconocida	techo		
NT0553			desconocida	medio		
NT0554A			desconocida	medio		rica en matriz
NT0554B			desconocida	medio		rica en clastos

Tabla III.3-c-2. **Flujos de escombros no cohesivos (continuación)**

Características de los depósitos						
Datos del deposito						
Muestras	Nombre del deposito	Facies	Distribución espacial	Muestra a...	Composición	Observaciones
NT0554C			desconocida	medio		
NT0554D			desconocida	medio		
NT0555A			desconocida	techo		FP de ByC de 38 ka
NT0555B			desconocida	medio		Transición desde un FP, FByC de 13 ka
NT0555C			desconocida	medio		Proviene de un FP de pómez, PTI
NT0556 A-			desconocida	medio		Proviene de un FP de pómez, PTS
NT0556 B-			desconocida	techo		Limite entre fv y FENC
NT0557			desconocida	techo		
NT0558A			desconocida	medio		
NT0558B			desconocida	medio		
NT0561			desconocida	techo		
NT05232A			desconocida	medio		
NT05232 B			desconocida	medio		
NT05232 b			desconocida	techo		Transición entre un FG y un FENC
NT05238A			desconocida	medio		
NT05238C			desconocida	base		
NT05238D			desconocida	medio		
NT05240			desconocida	techo		
NT05243I			desconocida	medio		En el valle glaciar del ESE
NT05244			desconocida	techo		
NT05245			desconocida	medio		
NT05246			desconocida	medio		
NT05247 A			desconocida	techo		
NT05249 C			desconocida	medio		
NT05250			desconocida	medio		
NT05255A			distal	medio		
NT05259			desconocida	medio		

Tabla III.3-c-3. **Flujos de escombros no cohesivos (continuación)**

Características de los depósitos						
Datos del depósito						
Muestras	Nombre del depósito	Facies	Distribución espacial	Muestra a...	Composición	Observaciones
NT05260			desconocida	base		
P3510a	1997		proximal		andesita	fusión glaciár
P3510b	1997		proximal		andesita	fusión glaciár
P3490a	1997		proximal		andesita	fusión glaciár
P3490b	1997		proximal		andesita	fusión glaciár
P3460a	1997		proximal		andesita	fusión glaciár
P3380b	1997		medio		andesita	fusión glaciár
P3310c	1997		medio		andesita	fusión glaciár
P3195a	1997		medio		andesita	fusión glaciár
P3170a	1997		medio		andesita	fusión glaciár
P3170b	1997		medio		andesita	fusión glaciár
P3140a	1997		distal		andesita	fusión glaciár
P3140b	1997		distal		andesita	fusión glaciár
P3070b	1997		distal		andesita	fusión glaciár
P3010a	1997		distal		andesita	fusión glaciár
P3010b	1997		distal		andesita	fusión glaciár
P2965a	1997		distal		andesita	fusión glaciár
P2965b	1997		distal		andesita	fusión glaciár
P2860a	1997		distal		andesita	fusión glaciár
P2850a	1997		distal		andesita	fusión glaciár
P3620	2001		proximal		pómez y andesita	de un flujo de pómez
P3510c	2001		proximal		pómez y andesita	de un flujo de pómez
P3490c	2001		proximal		pómez y andesita	de un flujo de pómez
P3460b	2001		proximal		pómez y andesita	de un flujo de pómez
P3380c	2001		medio		pómez y andesita	de un flujo de pómez
P3310d	2001		medio		pómez y andesita	de un flujo de pómez
P3195b	2001		medio		pómez y andesita	de un flujo de pómez

Tabla III.3-c-4. **Flujos de escombros no cohesivos (continuación)**

Características de los depósitos						
Datos del deposito						
Muestras	Nombre del deposito	Facies	Distribución espacial	Muestra a...	Composición	Observaciones
P3170c	2001		medio		pómez y andesita	de un flujo de pómez
P3140c	2001		distal		pómez y andesita	de un flujo de pómez
P3070c	2001		distal		pómez y andesita	de un flujo de pómez
P2965c	2001		distal		pómez y andesita	de un flujo de pómez
P2860b	2001		distal		pómez y andesita	de un flujo de pómez
P2850b	2001		distal		pómez y andesita	de un flujo de pómez
a			medio		dacita-andesita	de una oleada piroclástica
b			medio		dacita-andesita	de una oleada piroclástica
c			medio		dacita-andesita	de una oleada piroclástica
d			medio		dacita-andesita	de una oleada piroclástica
e			medio		dacita-andesita	de una oleada piroclástica
f			distal		dacita-andesita	de una oleada piroclástica
g			distal		dacita-andesita	de una oleada piroclástica
h			distal		dacita-andesita	de una oleada piroclástica
i			distal		dacita-andesita	de una oleada piroclástica
j			distal		dacita-andesita	de una oleada piroclástica
k			distal		dacita-andesita	de una oleada piroclástica
l			distal		dacita-andesita	de una oleada piroclástica
m			distal		dacita-andesita	de una oleada piroclástica
n			proximal		dacita-andesita	de una oleada piroclástica
p			proximal		dacita-andesita	de una oleada piroclástica
q			proximal		dacita-andesita	de una oleada piroclástica
r			medio		dacita-andesita	de una oleada piroclástica
s			distal		dacita-andesita	de una oleada piroclástica
t			distal		dacita-andesita	de una oleada piroclástica
1			proximal		dacita-andesita	de una oleada piroclástica
2			proximal		dacita-andesita	de una oleada piroclástica

Tabla III.3-c-5. **Flujos de escombros no cohesivos (continuación)**

Características de los depósitos						
Datos del deposito						
Muestras	Nombre del deposito	Facies	Distribución espacial	Muestra a...	Composición	Observaciones
3			medio		dacita-andesita	de una oleada piroclástica
4			medio		dacita-andesita	de una oleada piroclástica
5			distal		dacita-andesita	de una oleada piroclástica
6			distal		dacita-andesita	de una oleada piroclástica
7			medio		dacita-andesita	de una oleada piroclástica
8			distal		dacita-andesita	de una oleada piroclástica
9			distal		dacita-andesita	de una oleada piroclástica
10			proximal		dacita-andesita	de una oleada piroclástica
11			distal		dacita-andesita	de una oleada piroclástica
12			distal		dacita-andesita	de una oleada piroclástica
2			proximal	techo	dacita-andesita	de una oleada piroclástica
3			medio	techo	dacita-andesita	de una oleada piroclástica
4			medio	techo	dacita-andesita	de una oleada piroclástica
5			distal	techo	dacita-andesita	de una oleada piroclástica
6			distal	techo	dacita-andesita	de una oleada piroclástica
7			medio	techo	dacita-andesita	de una oleada piroclástica
8			distal	techo	dacita-andesita	de una oleada piroclástica
9			distal	techo	dacita-andesita	de una oleada piroclástica
10			proximal	techo	dacita-andesita	de una oleada piroclástica
11			distal	techo	dacita-andesita	de una oleada piroclástica
12			distal	techo	dacita-andesita	de una oleada piroclástica
2			proximal	base	dacita-andesita	de una oleada piroclástica
3			medio	base	dacita-andesita	de una oleada piroclástica
4			medio	base	dacita-andesita	de una oleada piroclástica
5			distal	base	dacita-andesita	de una oleada piroclástica
6			distal	base	dacita-andesita	de una oleada piroclástica
7			medio	base	dacita-andesita	de una oleada piroclástica

Tabla III.3-c-6. **Flujos de escombros no cohesivos (continuación)**

Características de los depósitos						
Datos del depósito						
Muestras	Nombre del depósito	Facies	Distribución espacial	Muestra a...	Composición	Observaciones
8			distal	base	dacita-andesita	de una oleada piroclástica
9			distal	base	dacita-andesita	de una oleada piroclástica
10			proximal	base	dacita-andesita	de una oleada piroclástica
11			distal	base	dacita-andesita	de una oleada piroclástica
12			distal	base	dacita-andesita	de una oleada piroclástica
AL7			distal, abanico	entero	líticos-pómez y ceniza	de flujos y oleadas piroclásticas que interactúan con un glaciar
MN4			medio	medio	líticos-pómez y ceniza	
cerca a MN6			distal	techo	líticos-pómez y ceniza	
MN7			distal	entero	líticos-pómez y ceniza	
MN8			distal	techo y medio	líticos-pómez y ceniza	
MN8			distal	techo y medio	líticos-pómez y ceniza	
MN9			distal	entero	líticos-pómez y ceniza	
A1			proximal	medio	líticos-pómez y ceniza	
A3			proximal	techo y medio	líticos-pómez y ceniza	
AL3			medio	medio	líticos-pómez y ceniza	
AL3			medio	techo	líticos-pómez y ceniza	
MN7			distal	entero	líticos-pómez y ceniza	
MN8			distal	techo	líticos-pómez y ceniza	
MN9			distal	entero	líticos-pómez y ceniza	
AL1			medio	entero	líticos-pómez y ceniza	
MN4			medio	techo y medio	líticos-pómez y ceniza	
MN7			distal	medio	líticos-pómez y ceniza	
MN8			distal	techo	líticos-pómez y ceniza	
A1			proximal	medio	líticos-pómez y ceniza	
AL3			distal	techo	líticos-pómez y ceniza	
MN4			medio	entero	líticos-pómez y ceniza	
AL4			distal		líticos-pómez y ceniza	

Tabla III.3-c-7. **Flujos de escombros no cohesivos (continuación)**

Características de los depósitos						
Datos del depósito						
Muestras	Nombre del depósito	Facies	Distribución espacial	Muestra a...	Composición	Observaciones
AL4		abanico proximal	distal	entero	líticos-pómez y ceniza	de flujos y oleadas piroclásticas que interactúan con un glaciar
AL4		abanico proximal	distal	techo y medio	líticos-pómez y ceniza	
AL4		abanico proximal	distal	techo	líticos-pómez y ceniza	
AL7		abanico distal	distal	techo	líticos-pómez y ceniza	
1					andesitas	
2					andesitas	
17					andesitas	
18					andesitas	
21					andesitas	
38					andesitas	
39					andesitas	

Tabla III.4-a-1. *Tills*

Muestras	Parámetros estadísticos que definen la distribución granulométrica								Proporciones de las principales fracciones de tamaños						
	Inman			Folk				Sambrook Smith et al.,1997		GLA			AAL		
	Md	DS	SkG	Mz	DSI	SkGI	K	Moda	Mo	grava	arena	lodo	arena	limo	arcilla
IZ0501	-4.19	3.70	0.22	-3.65	3.46	0.27	0.84	Bimodal	-4, -7	76.37	22.34	1.29	94.54	4.81	0.65
IZ0502 A	-2.25	4.05	0.34	-1.33	3.88	0.30	0.83	Bimodal	-3, 4	59.38	31.43	9.19	77.38	18.81	3.81
IZ0502 B	-4.55	1.00	0.01	-4.54	1.04	0.09	1.26	Unimodal	-4	96.14	2.34	1.52	60.63	33.79	5.58
IZ0502 C	-2.12	4.73	0.11	-1.77	4.24	0.15	0.66	Bimodal	-6, 3	55.58	36.36	8.06	81.86	16.14	2.00
IZ0502 D	2.45	1.14	-0.02	2.44	1.23	0.02	1.22	Unimodal	3	0.76	92.23	7.01	92.94	5.89	1.18
IZ0503	-3.50	4.66	0.36	-2.37	4.17	0.37	0.71	Bimodal	-6, 4	65.94	27.55	6.50	80.90	15.90	3.20
IZ0504	-5.24	4.35	0.56	-3.60	4.08	0.57	0.86	Unimodal, transición	-6, 0	73.12	20.57	6.30	76.55	19.53	3.92
IZ0505	-3.15	3.64	0.26	-2.52	3.43	0.29	0.89	Unimodal, transición	-3, -5	70.67	24.83	4.50	84.67	12.87	2.46
IZ0506	-2.53	4.33	0.18	-1.99	3.95	0.21	0.78	Bimodal	-4, 4	62.62	30.87	6.51	82.59	14.99	2.42
IZ0507	-5.24	2.91	0.35	-4.56	2.92	0.40	0.98	Unimodal	-6	86.02	12.20	1.78	87.27	10.42	2.32
IZ0508	-2.40	4.44	0.22	-1.76	4.13	0.24	0.86	Polimodal	-3, -6, 4	62.90	29.21	7.88	78.75	16.70	4.55
NT0505	-1.39	3.68	0.05	-1.26	3.46	0.02	0.74	Bimodal	-4, 2	52.87	42.97	4.16	91.18	8.20	0.62
NT0507	-4.83	3.47	0.49	-3.70	3.25	0.50	0.87	Unimodal	-6	77.55	20.67	1.78	92.08	7.31	0.62
NT0523	-2.14	3.52	0.19	-1.70	3.41	0.15	0.84	Bimodal	-3, 2	59.35	36.25	4.39	89.19	10.45	0.35
NT0524	-1.16	4.07	-0.10	-1.43	3.92	-0.05	0.86	Polimodal	2, -1, -5	51.39	42.20	6.41	86.82	12.50	0.68
NT0532	-2.68	4.04	0.09	-2.43	3.60	0.11	0.67	Bimodal	-6, 2	59.95	36.89	3.16	92.10	7.58	0.31
NT0559	-3.49	3.72	0.11	-3.23	3.42	0.15	0.83	Bimodal	-7, -4	73.04	25.34	1.62	93.99	5.70	0.30
NT0560	-1.55	3.04	0.13	-1.29	2.83	0.14	0.78	Bimodal	-3, 2	55.61	41.26	3.13	92.94	6.72	0.34
NT0445 II	-3.26	4.37	0.11	-2.95	3.99	0.14	0.80	Bimodal	-4, 7	68.01	27.83	4.16	86.99	7.52	5.49
NT0445	-4.94	4.25	0.42	-3.75	3.95	0.44	0.97	Bimodal	-4, 7	77.48	18.05	4.47	80.15	16.52	3.32
NT0446	-4.31	4.23	0.47	-2.98	3.92	0.47	0.84	Unimodal, transición	-4, 3	71.30	23.01	5.70	80.15	19.85	0.00
NT0447	-1.04	4.06	-0.06	-1.20	4.03	0.03	0.92	Bimodal, transición	1, -4, 7	50.30	39.88	9.82	80.25	17.05	2.70
NT05102	-2.13	4.07	0.09	-1.89	3.71	0.10	0.76	Polimodal	-4, 0, 6	53.85	41.07	5.09	88.98	10.51	0.51
NT05103	-3.02	3.65	0.38	-2.10	3.46	0.37	0.85	Unimodal	-4	65.51	28.92	5.57	83.85	15.16	0.99
NT05104	-3.69	4.71	0.40	-2.42	4.16	0.39	0.63	Bimodal, transición	-6 y -5, 3, -4	59.51	34.14	6.35	84.33	14.79	0.88
NT05105	-2.85	3.71	0.28	-2.15	3.47	0.28	0.82	Bimodal	-4, 2	62.31	32.98	4.72	87.49	11.75	0.77
NT05106	-0.24	3.93	-0.34	-1.13	3.55	-0.29	0.72	Bimodal	2, -5	42.37	54.37	3.26	94.34	5.41	0.25
NT05107	-3.45	3.63	0.16	-3.07	3.48	0.21	0.92	Bimodal	-3, -7	73.20	23.44	3.35	87.49	11.58	0.93

Tabla III.4-a-2. *Tills* (continuación)

Muestras	Parámetros estadísticos que definen la distribución granulométrica								Proporciones de las principales fracciones de tamaños						
	Inman			Folk				Sambrook Smith et al., 1997		GLA			AAL		
	Md	DS	SkG	Mz	DSI	SkGI	K	Moda	Mo	grava	arena	lodo	arena	limo	arcilla
NT05108	-3.09	3.62	0.25	-2.49	3.37	0.25	0.80	Bimodal	-4, 2	64.15	32.82	3.03	91.55	7.96	0.49
NT05109	-3.02	3.96	0.23	-2.43	3.73	0.27	0.88	Unimodal, transición	-4, -6	65.68	28.28	6.03	82.42	16.53	1.05
NT05110	-1.44	4.14	0.09	-1.2	3.87	0.1	0.79	Polimodal	-3, 4, 6	53.64	39.43	6.93	85.06	13.87	1.07
NT05112	-0.63	4.19	-0.01	-0.65	3.93	0.02	0.72	Polimodal	-4, 4, 0	47.37	41.76	10.87	79.34	19.64	1.02
NT05113	-1.87	4.48	0.08	-1.64	4.17	0.10	0.78	Polimodal	-4, 0, 4	55.852	35.6511	8.49692	80.75	18.10	1.14
NT05114	-2.91	4.10	0.17	-2.45	3.71	0.21	0.74	Polimodal	-6, 0, 2	64.0502	30.9589	4.99092	86.12	12.74	1.14
NT05115A	1.34	1.39	-0.16	1.19	1.53	-0.21	1.35	Unimodal, transición	2, 1	9.75278	87.9465	2.30068	97.45	2.43	0.12
NT05115C	-0.26	4.16	-0.12	-0.59	4.06	-0.05	0.81	Polimodal	-4, 3, 6	43.8232	45.8561	10.3207	81.63	16.12	2.25
NT05116B	-5.00	2.76	0.51	-4.07	2.44	0.43	0.64	Bimodal	-5, 0	81	19	0	100.00	0.00	0.00
NT05116C	-3.52	3.98	0.34	-2.62	3.63	0.35	0.80	Bimodal	-5, 3	69.1709	26.868	3.96102	87.15	12.27	0.58
NT05117	-1.33	4.34	-0.11	-1.65	3.87	-0.05	0.63	Bimodal	-5, 2	51.6304	42.7896	5.58008	88.46	11.02	0.52
NT05118	-2.45	4.15	0.19	-1.92	3.77	0.20	0.70	Polimodal	-5, 0, 3	58.7369	35.6772	5.5859	86.46	12.83	0.70
NT0450	-1.56	3.90	0.07	-1.38	3.62	0.15	0.80	Unimodal, transición	-6, 2	74	23.41	2.58	90.06	8.44	1.50
NT0462	-4.23	3.82	0.54	-2.86	3.74	0.54	0.93	Unimodal	-5	71.1595	22.8035	6.03705	79.07	15.08	5.85
NT0463	-2.60	4.48	0.09	-2.32	4.03	0.13	0.67	Polimodal	-6, -1, 2, -3	60.44	33.95	5.6	85.83	14.17	0.00
NT0464	-5.71	4.03	0.64	-3.99	3.65	0.63	0.74	Bimodal	-5, 2	54.87	38.17	6.96	84.58	12.41	3.01
NT0465 ok	-1.08	4.69	-0.18	-1.65	4.25	-0.13	0.70	Bimodal	-5, 2	50.5589	42.942	6.49915	86.85	10.83	2.32
NT05236	-3.14	3.36	0.36	-2.34	3.17	0.33	0.85	Unimodal, transición	-4, 1	67.5861	30.9456	1.46828	95.47	4.16	0.37
NT05241 D	-3.75	3.35	0.22	-3.26	3.18	0.24	0.87	Unimodal	-6	75.1639	23.287	1.54907	93.76	5.90	0.34
NT05242	-3.37	3.83	0.39	-2.37	3.51	0.38	0.77	Bimodal	-4, 2	65.8722	29.9266	4.20115	87.69	11.66	0.65
NT05243D	-2.85	2.72	0.26	-2.39	2.89	0.25	1.17	Unimodal	-3	73.3551	23.4085	3.23636	87.85	10.92	1.23
NT05248	-4.27	3.46	0.34	-3.47	3.21	0.35	0.85	Unimodal, transición	-4, 2	76.2788	23.2585	0.46271	98.05	1.85	0.10
NT05251	-1.67	3.83	0.10	-1.41	3.50	0.09	0.73	Bimodal	-4, 1	54.807	40.4845	4.70841	89.58	9.74	0.68
NT05252	-1.75	3.13	0.25	-1.23	3.20	0.26	1.00	Unimodal	-3	58.3269	35.0449	6.62816	84.09	14.66	1.25
NT05253	-2.24	3.22	0.31	-1.58	3.22	0.24	0.88	Bimodal	-3, -7	61.2506	33.7994	4.95005	87.23	12.07	0.71
NT05254	0.63	3.32	-0.23	0.12	3.37	-0.17	1.02	Unimodal, transición	2, -2	30.214	60.2252	9.56082	86.30	13.28	0.42
NT05257	-3.22	4.87	0.19	-2.61	4.35	0.23	0.65	Bimodal	-7, 2	59.3001	33.179	7.08654	82.40	16.39	1.21
NT05258	-1.32	3.11	0.05	-1.21	2.92	0.07	0.80	Bimodal, transición	-3, 2, -1	53.7284	43.1256	3.14601	93.20	6.50	0.30

Tabla III.4-b-1. *Tills* (continuación)

Muestras	Localización de los depósitos				Fuente de datos	
	Volcán	ladera, zoom	Altura (m.)	Km. del cráter	Coordendas	Autor
IZ0501	Iztaccíhuatl				530946, 2126574	
IZ0502 A	Iztaccíhuatl				534406, 2127094	
IZ0502 B	Iztaccíhuatl				534406, 2127094	
IZ0502 C	Iztaccíhuatl				534406, 2127094	
IZ0502 D	Iztaccíhuatl				534406, 2127094	
IZ0503	Iztaccíhuatl				537129, 2129159	
IZ0504	Iztaccíhuatl				536891, 2129219	
IZ0505	Iztaccíhuatl				533380, 2122888	
IZ0506	Iztaccíhuatl				533350, 2123274	
IZ0507	Iztaccíhuatl				532981, 2124829	
IZ0508	Iztaccíhuatl				532641, 2124931	
NT0505	Nevado de Toluca	NE	3480	5.39	423145, 2117519	
NT0507	Nevado de Toluca	NE	3460	5.32	423949, 2116878	
NT0523	Nevado de Toluca	NE	3300	7.03	424842, 2118342	
NT0524	Nevado de Toluca	NE	3300	6.83	424872, 2118069	
NT0532	Nevado de Toluca	NE	3240	7.16	425340, 2118093	
NT0559	Nevado de Toluca	NE	3420	5.93	425093, 2116584	
NT0560	Nevado de Toluca	NE, Valle NE	3880	6.30	425256, 2116931	
NT0445 II	Nevado de Toluca	NNE, Valle NE	3500	5.85	421808, 2118491	
NT0445	Nevado de Toluca	NNE	3500	5.85	421808, 2118491	
NT0446	Nevado de Toluca	NNE	3400	6.85	422207, 2119434	
NT0447	Nevado de Toluca	NNE	3450	6.88	422576, 2119383	
NT05102	Nevado de Toluca	WNW	3520	6.95	414289, 2115805	
NT05103	Nevado de Toluca	WNW	3520	6.45	414863, 2115885	
NT05104	Nevado de Toluca	WNW	3520	6.33	415115, 2116071	
NT05105	Nevado de Toluca	NW	3720.00	4.27	417063, 2115304	
NT05106	Nevado de Toluca	WNW	3740	4.64	416524, 2115129	
NT05107	Nevado de Toluca	WNW	3700	4.72	416403, 2115076	

Tabla III.4-b-2. *Tills* (continuación)

Muestras	Localización de los depósitos				Fuente de datos	
	Volcán	ladera, zoom	Altura (m.)	Km. del cráter	Coordenadas	Autor
NT05108	Nevado de Toluca	WNW	3760	4.39	416602, 2114724	
NT05109	Nevado de Toluca	WNW	3740	4.45	416497, 2114679	
NT05110	Nevado de Toluca	WNW	3800	4.40	416293, 2113936	
NT05112	Nevado de Toluca	W	3820	4.15	416391, 2112954	
NT05113	Nevado de Toluca	W	3830	3.99	416544, 2112522	
NT05114	Nevado de Toluca	W	3830	4.15	416450, 2112031	
NT05115A	Nevado de Toluca	WSW-Morfología SW	3780	4.30	416664, 2110911	
NT05115C	Nevado de Toluca	WSW	3780	4.30	416664, 2110911	
NT05116B	Nevado de Toluca	WSW-Morfología SW	3760	4.25	416639, 2111070	
NT05116C	Nevado de Toluca	WSW-Morfología SW	3760	4.25	416639, 2111070	
NT05117	Nevado de Toluca	WSW	3820	4.04	416663, 2111590	
NT05118	Nevado de Toluca	NW	3680	5.15	416317, 2115714	
NT0450	Nevado de Toluca	NNW	3820	4.71	417282, 2116147	
NT0462	Nevado de Toluca	NW	4000	2.87	418062, 2114209	
NT0463	Nevado de Toluca	NNW	3830	3.75	417875, 2115446	
NT0464	Nevado de Toluca	NW	3740	4.89	416710, 2115843	
NT0465 ok	Nevado de Toluca	WSW	3800	3.8	416913, 2111599	
NT05236	Nevado de Toluca	ESE	4260	1.2	421707, 2112620	
NT05241 D	Nevado de Toluca	ESE	3300	6.21	426264, 2110401	
NT05242	Nevado de Toluca	ESE	3500	5.26	425073, 2110206	
NT05243D	Nevado de Toluca	ESE	3260	5.97	426096, 2110630	
NT05248	Nevado de Toluca	ESE	3620	4.22	424193, 2110733	
NT05251	Nevado de Toluca	WSW	3660	5.8	415575, 2109762	
NT05252	Nevado de Toluca	WSW	3720	4.34	416726, 2110724	
NT05253	Nevado de Toluca	SW	3560	6.88	415040, 2108664	
NT05254	Nevado de Toluca	SW	3420	6.55	415865, 2108214	
NT05257	Nevado de Toluca	SE	3640	3.12	423048, 2110968	
NT05258	Nevado de Toluca	SE	3580	3.48	423466, 2110861	

Tabla III.4-c-1. *Tills* (continuación)

Características de los depósitos				
Datos del depósito				
Muestras	Nombre del depósito	Facies	Distribución espacial	Muestra a...
IZ0501		Facies marginales de <i>Till</i>	Desconocido	techo
IZ0502 A		Facies marginales de <i>Till</i>	Distal	todo
IZ0502 B			Distal	todo
IZ0502 C		Facies marginales de <i>Till</i>	Distal	medio
IZ0502 D			Distal	techo
IZ0503			Desconocido	medio
IZ0504			Desconocido	techo
IZ0505			Desconocido	techo
IZ0506			Desconocido	techo
IZ0507			Desconocido	techo
IZ0508			Desconocido	techo
NT0505			Desconocido	techo
NT0507			Desconocido	techo
NT0523			Desconocido	medio
NT0524			Desconocido	techo
NT0532			Desconocido	techo
NT0559			Desconocido	techo
NT0560			Desconocido	techo
NT0445 II			Desconocido	medio
NT0445			Desconocido	techo
NT0446			Distal	medio
NT0447			Distal	techo
NT05102			Desconocido	techo
NT05103			Distal	techo
NT05104			Distal	medio
NT05105			Medio	medio
NT05106			Medio	techo
NT05107			Proximal	techo

Tabla III.4-c-2. *Tills* (continuación)

Características de los depósitos				
Datos del depósito				
Muestras	Nombre del depósito	Facies	Distribución espacial	Muestra a...
NT05108			Medio	medio
NT05109			Medio	techo
NT05110			Proximal	techo
NT05112			Medio	techo
NT05113			Medio	techo
NT05114		Facies marginales de <i>Till</i>	medio	techo
NT05115A			medio	medio
NT05115C		Facies marginales de <i>Till</i>	medio	medio
NT05116B			medio	medio
NT05116C			medio	medio
NT05117			medio	techo
NT05118			distal	techo
NT0450			desconocido	techo
NT0462			desconocido	techo
NT0463			desconocido	techo
NT0464			medio	base
NT0465 ok			distal	medio
NT05236			proximal	techo
NT05241 D			distal	techo
NT05242			distal	techo
NT05243D			distal	base
NT05248			medio	techo
NT05251			medio	techo
NT05252			desconocido	medio
NT05253		Periglaciario	distal	techo
NT05254			desconocido	techo
NT05257			distal	base
NT05258			desconocido	medio

Anexo IV

Análisis de la forma y esfericidad de las gravas en función de los afloramientos de los diferentes DVcS.

Análisis de la forma y esfericidad en función de los afloramientos de las facies de matriz de las avalanchas de escombros:

NT0401

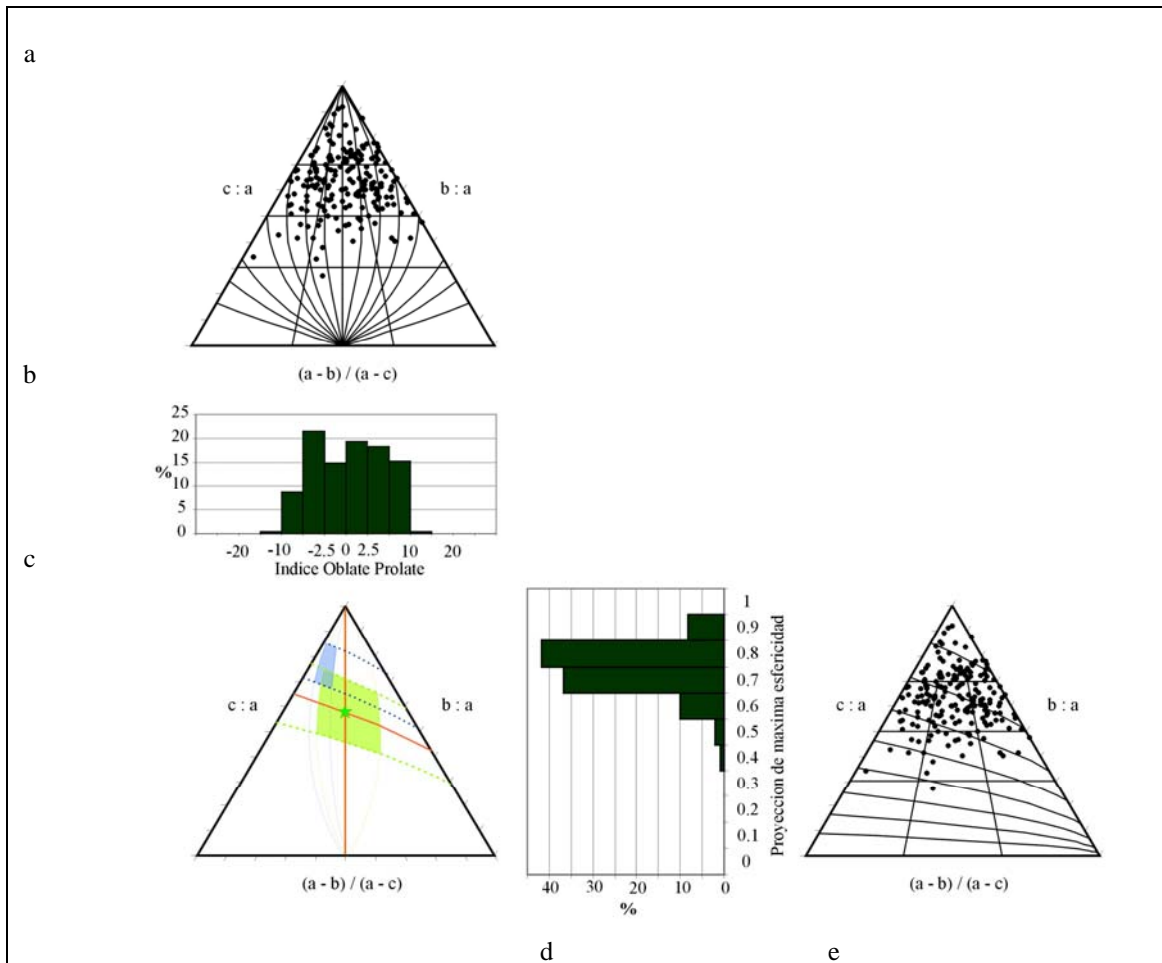


Figura IV.1: Análisis de la forma y esfericidad de la muestra NT0401:

- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función del índice *Oblate-Prolate*.
- Histograma de distribución de frecuencias del índice *Oblate-Prolate*.
- Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la forma y esfericidad de las partículas de la muestra.
- Histograma de distribución de frecuencias de la Proyección de Máxima Esfericidad.
- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución de la esfericidad.

De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la forma de las partículas es de **hoja planar** y su esfericidad es de **hoja muy compacta**.

NT0405

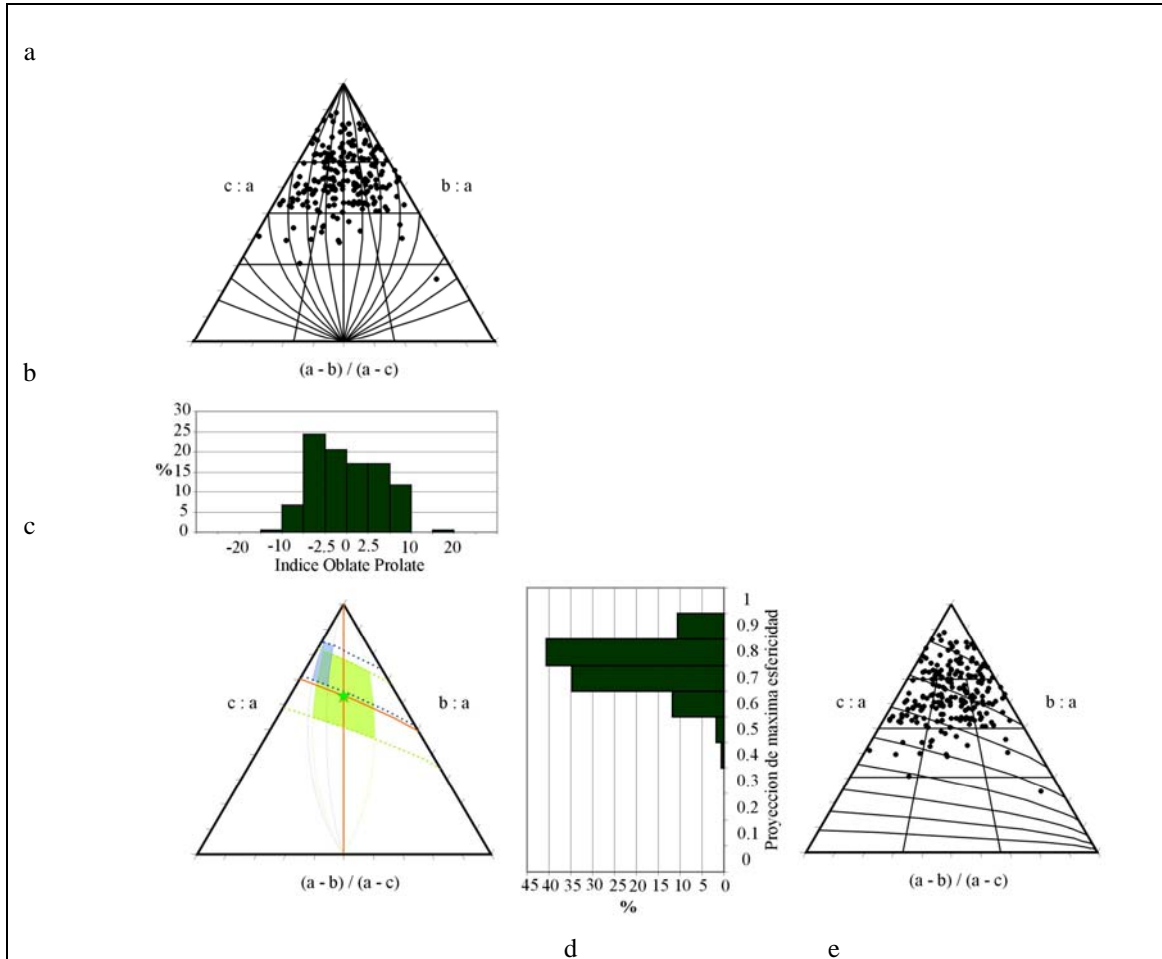


Figura IV.2: Análisis de la forma y esfericidad de la muestra NT0405:

- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función del índice *Oblate-Prolate*.
- Histograma de distribución de frecuencias del índice *Oblate-Prolate*.
- Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la forma y esfericidad de las partículas de la muestra.
- Histograma de distribución de frecuencias de la Proyección de Máxima Esfericidad.
- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución de la esfericidad.

De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la forma de las partículas es de **hoja planar** y su esfericidad es de **hoja muy compacta**.

NT0406

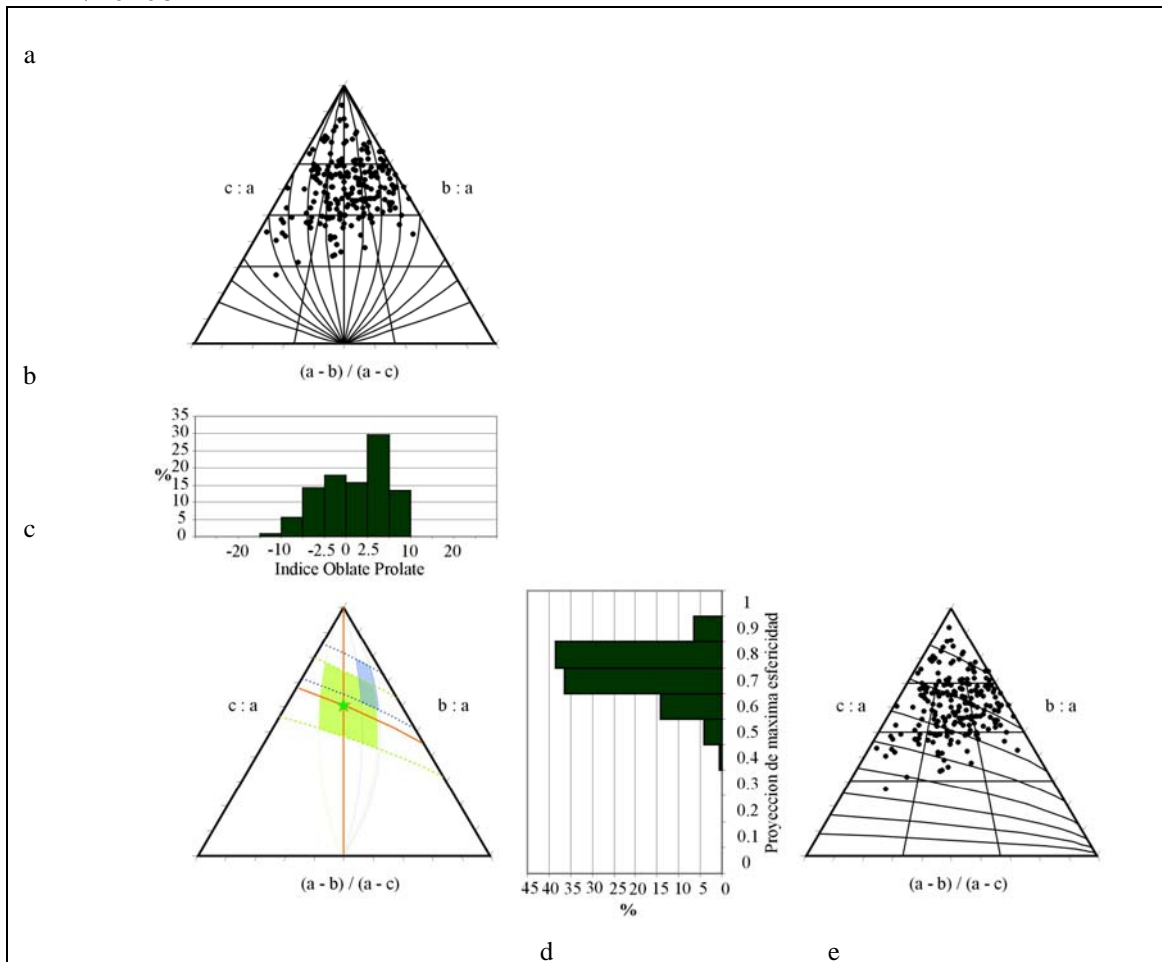


Figura IV.3: Análisis de la forma y esfericidad de la muestra NT0406:

- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función del índice *Oblate-Prolate*.
- Histograma de distribución de frecuencias del índice *Oblate-Prolate*.
- Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la forma y esfericidad de las partículas de la muestra.
- Histograma de distribución de frecuencias de la Proyección de Máxima Esfericidad.
- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución de la esfericidad.

De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la forma de las partículas es de **hoja acicular** y su esfericidad es de **hoja muy compacta**.

NT0408

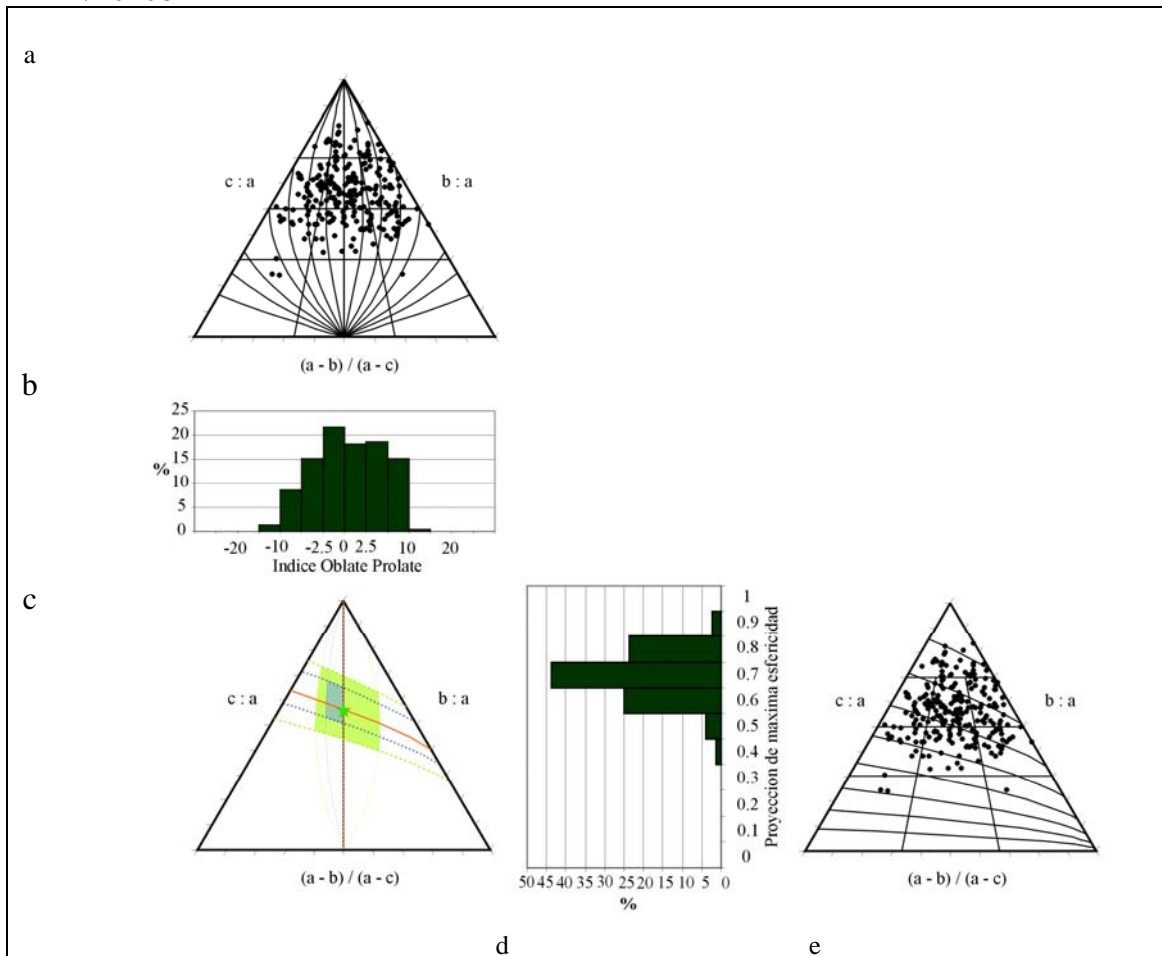


Figura IV.4: Análisis de la forma y esfericidad de la muestra NT0408:

- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función del índice *Oblate-Prolate*.
- Histograma de distribución de frecuencias del índice *Oblate-Prolate*.
- Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la forma y esfericidad de las partículas de la muestra.
- Histograma de distribución de frecuencias de la Proyección de Máxima Esfericidad.
- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución de la esfericidad.

De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la forma de las partículas es de **hoja planar** y su esfericidad es de **hoja compacta**.

NT0410

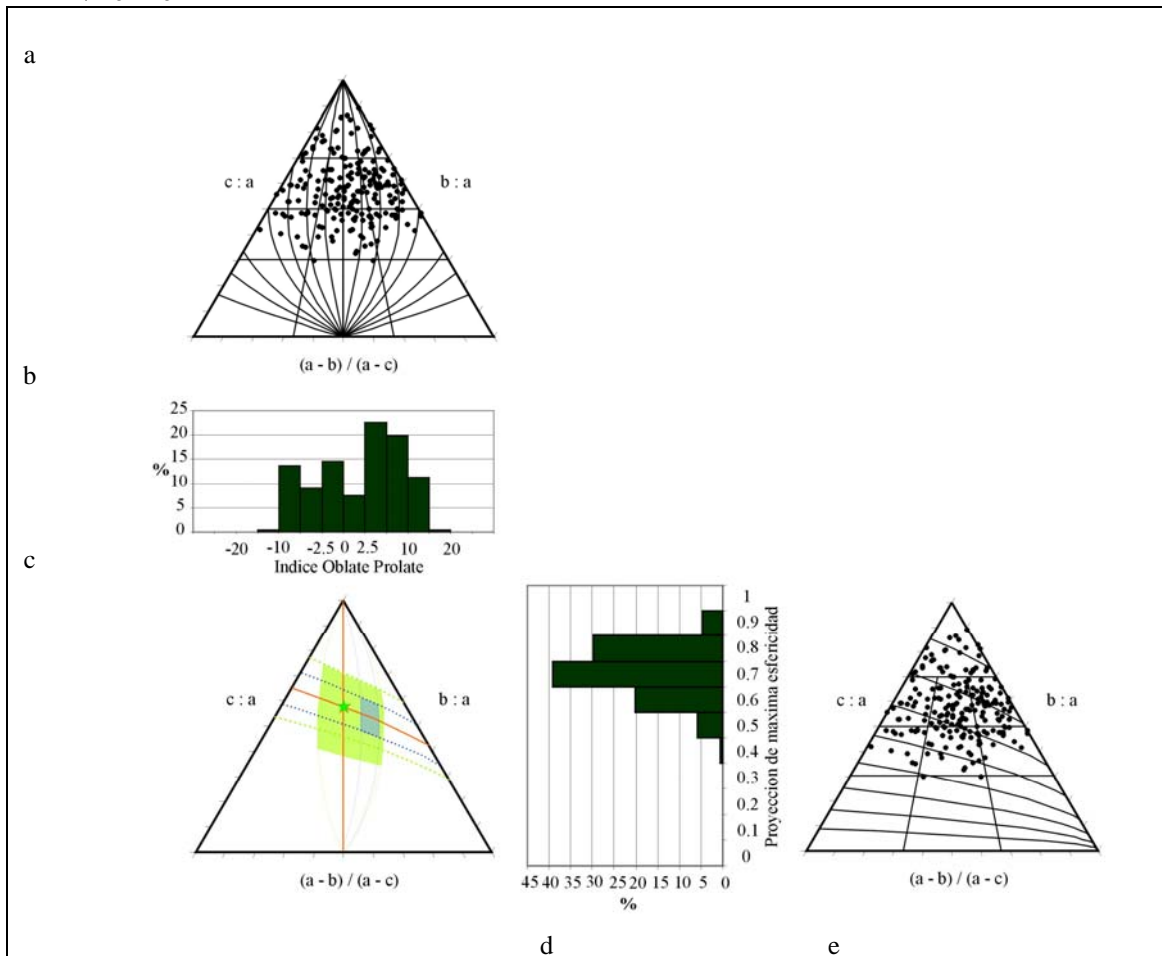


Figura IV.5: Análisis de la forma y esfericidad de la muestra NT0410:

- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función del índice *Oblate-Prolate*.
- Histograma de distribución de frecuencias del índice *Oblate-Prolate*.
- Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la forma y esfericidad de las partículas de la muestra.
- Histograma de distribución de frecuencias de la Proyección de Máxima Esfericidad.
- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución de la esfericidad.

De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la forma de las partículas es de **hoja acicular** y su esfericidad es de **hoja compacta**.

**Análisis de la forma y esfericidad en función de los afloramientos
de los flujos de escombros cohesivos:**

NT19

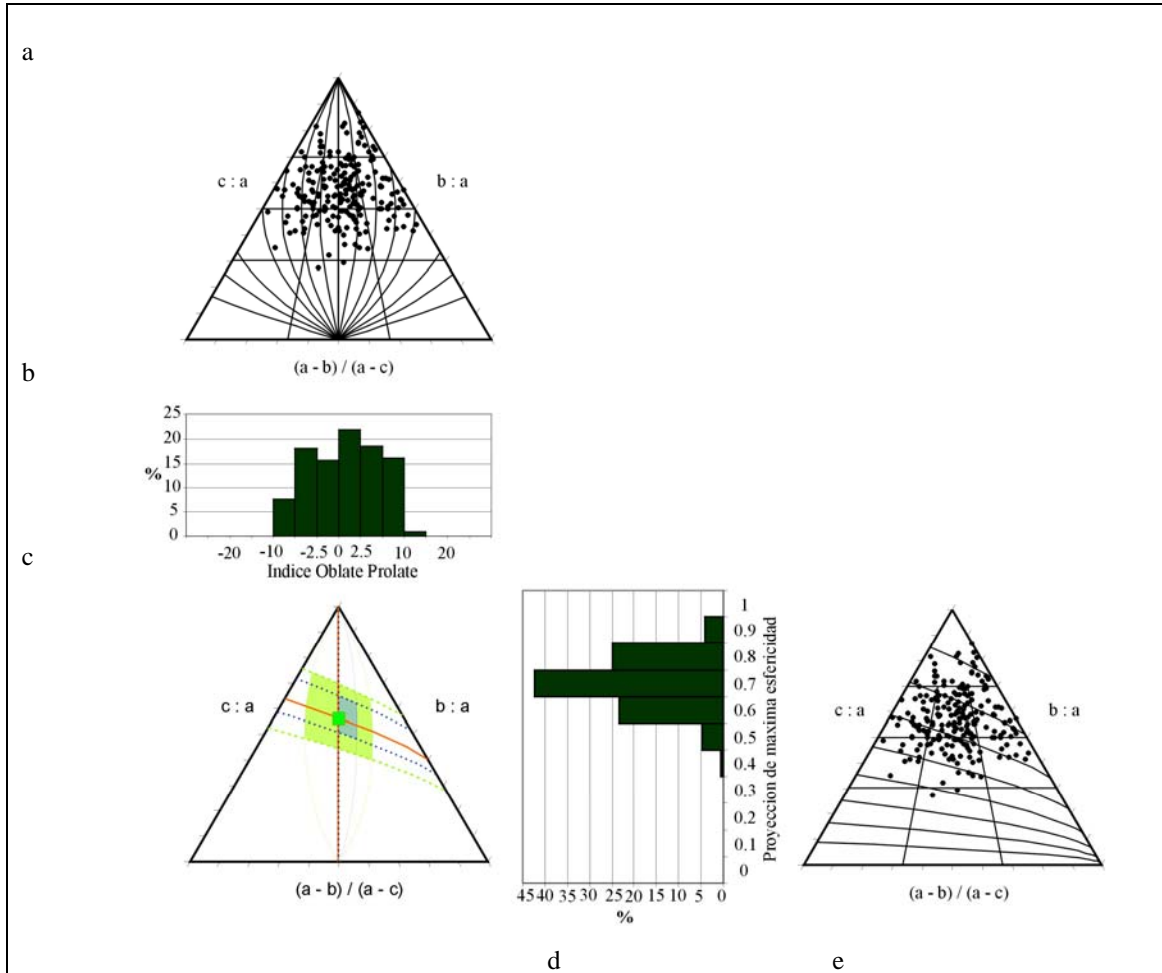


Figura IV.6: Análisis de la forma y esfericidad de la muestra NT19:

- a. Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función del índice *Oblate-Prolate*.
- b. Histograma de distribución de frecuencias del índice *Oblate-Prolate*.
- c. Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la forma y esfericidad de las partículas de la muestra.
- d. Histograma de distribución de frecuencias de la Proyección de Máxima Esfericidad.
- e. Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución de la esfericidad.

De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la forma de las partículas es de **hoja acicular** y su esfericidad es de **hoja compacta**.

NT40

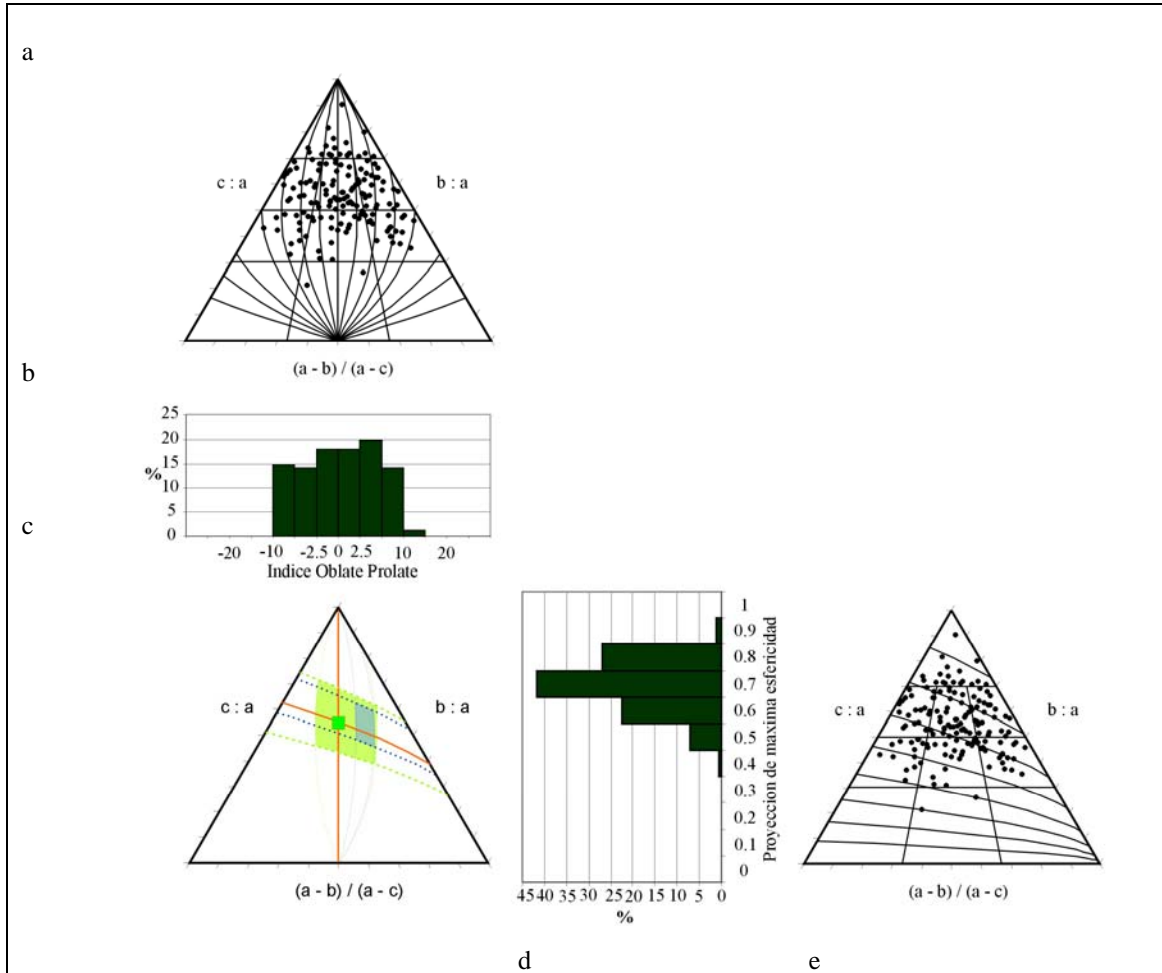


Figura IV.7: Análisis de la forma y esfericidad de la muestra NT40:

- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función del índice *Oblate-Prolate*.
- Histograma de distribución de frecuencias del índice *Oblate-Prolate*.
- Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la forma y esfericidad de las partículas de la muestra.
- Histograma de distribución de frecuencias de la Proyección de Máxima Esfericidad.
- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución de la esfericidad.

De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la forma de las partículas es de **hoja acicular** y su esfericidad es de **hoja compacta**.

NT41

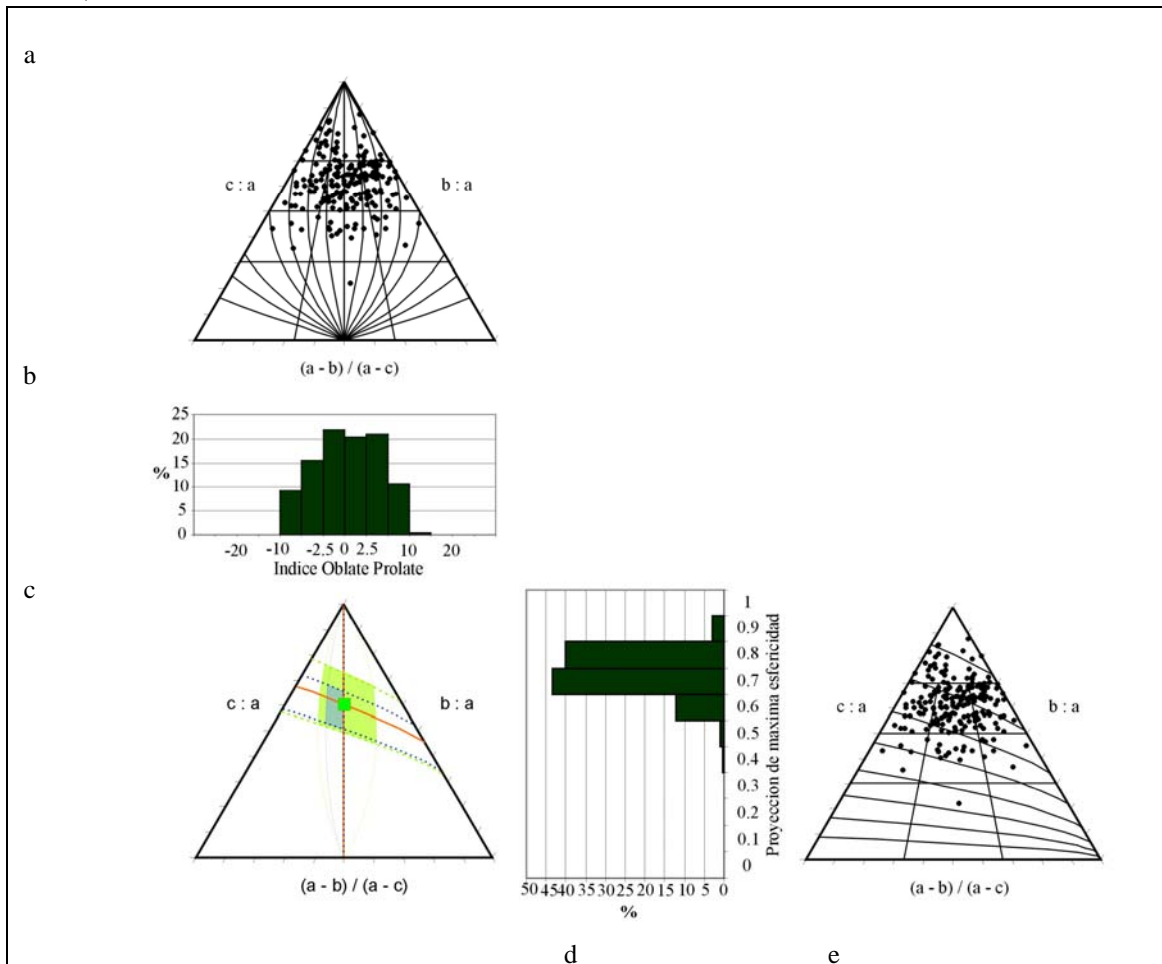


Figura IV.8: Análisis de la forma y esfericidad de la muestra NT41:

- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función del índice *Oblate-Prolate*.
- Histograma de distribución de frecuencias del índice *Oblate-Prolate*.
- Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la forma y esfericidad de las partículas de la muestra.
- Histograma de distribución de frecuencias de la Proyección de Máxima Esfericidad.
- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución de la esfericidad.

De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la forma de las partículas es de **hoja planar** y su esfericidad es de **hoja compacta**.

NT56

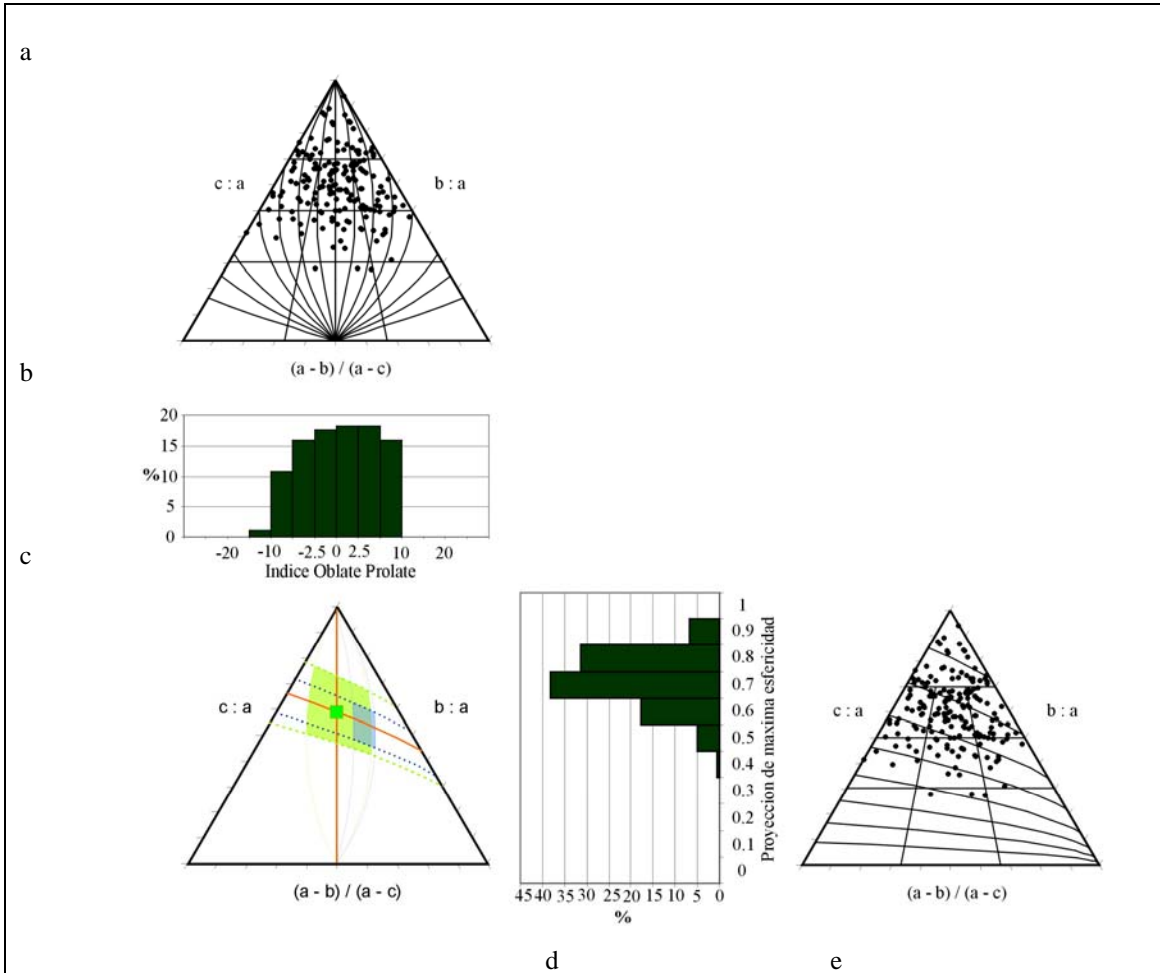


Figura IV.9: Análisis de la forma y esfericidad de la muestra NT56:

- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función del índice *Oblate-Prolate*.
- Histograma de distribución de frecuencias del índice *Oblate-Prolate*.
- Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la forma y esfericidad de las partículas de la muestra.
- Histograma de distribución de frecuencias de la Proyección de Máxima Esfericidad.
- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución de la esfericidad.

De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la forma de las partículas es de **hoja acicular** y su esfericidad es de **hoja compacta**.

NT60

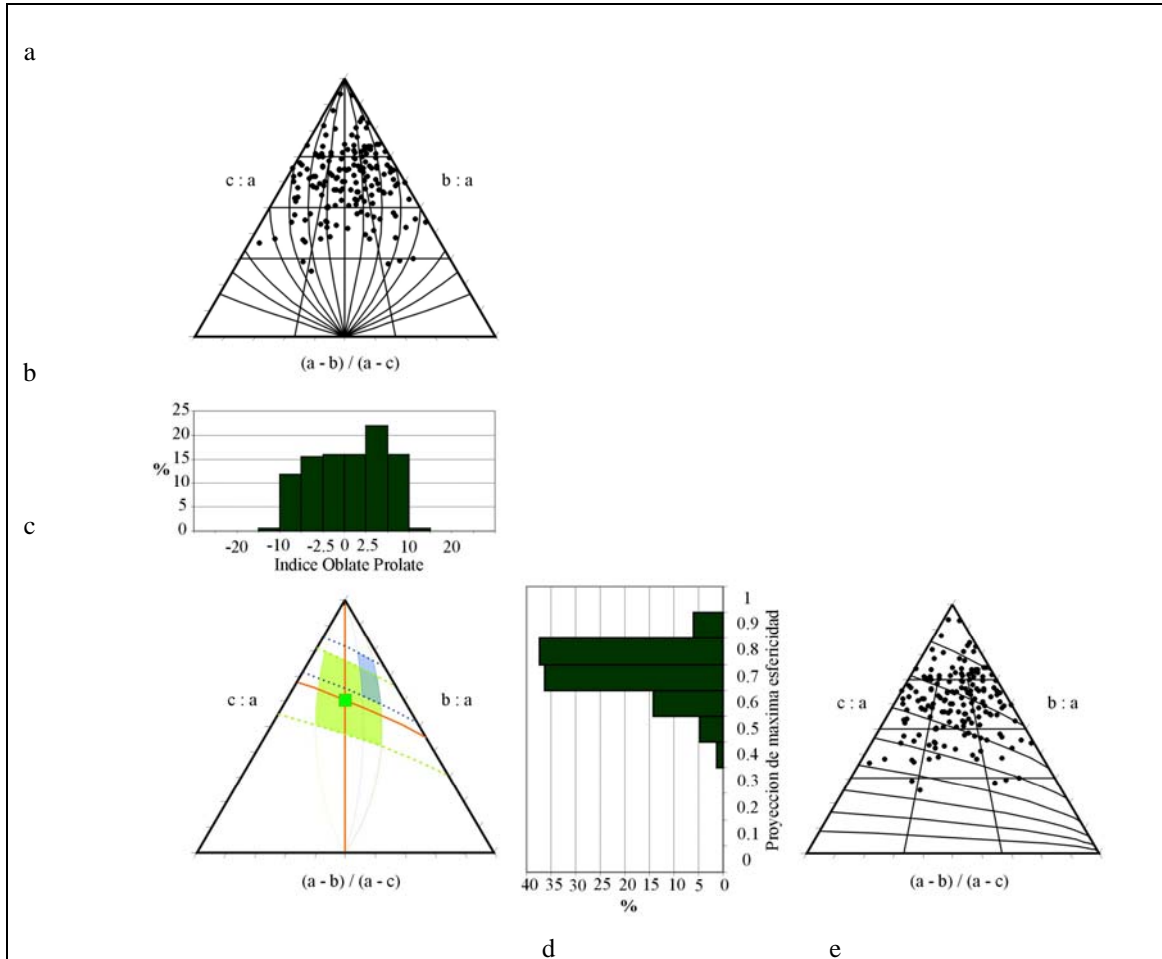


Figura IV.10: Análisis de la forma y esfericidad de la muestra NT60:

- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función del índice *Oblate-Prolate*.
- Histograma de distribución de frecuencias del índice *Oblate-Prolate*.
- Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la forma y esfericidad de las partículas de la muestra.
- Histograma de distribución de frecuencias de la Proyección de Máxima Esfericidad.
- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución de la esfericidad.

De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la forma de las partículas es de **hoja acicular** y su esfericidad es de **hoja muy compacta**.

**Análisis de la forma y esfericidad en función de los afloramientos
de los flujos de escombros no cohesivos:**

NT0452

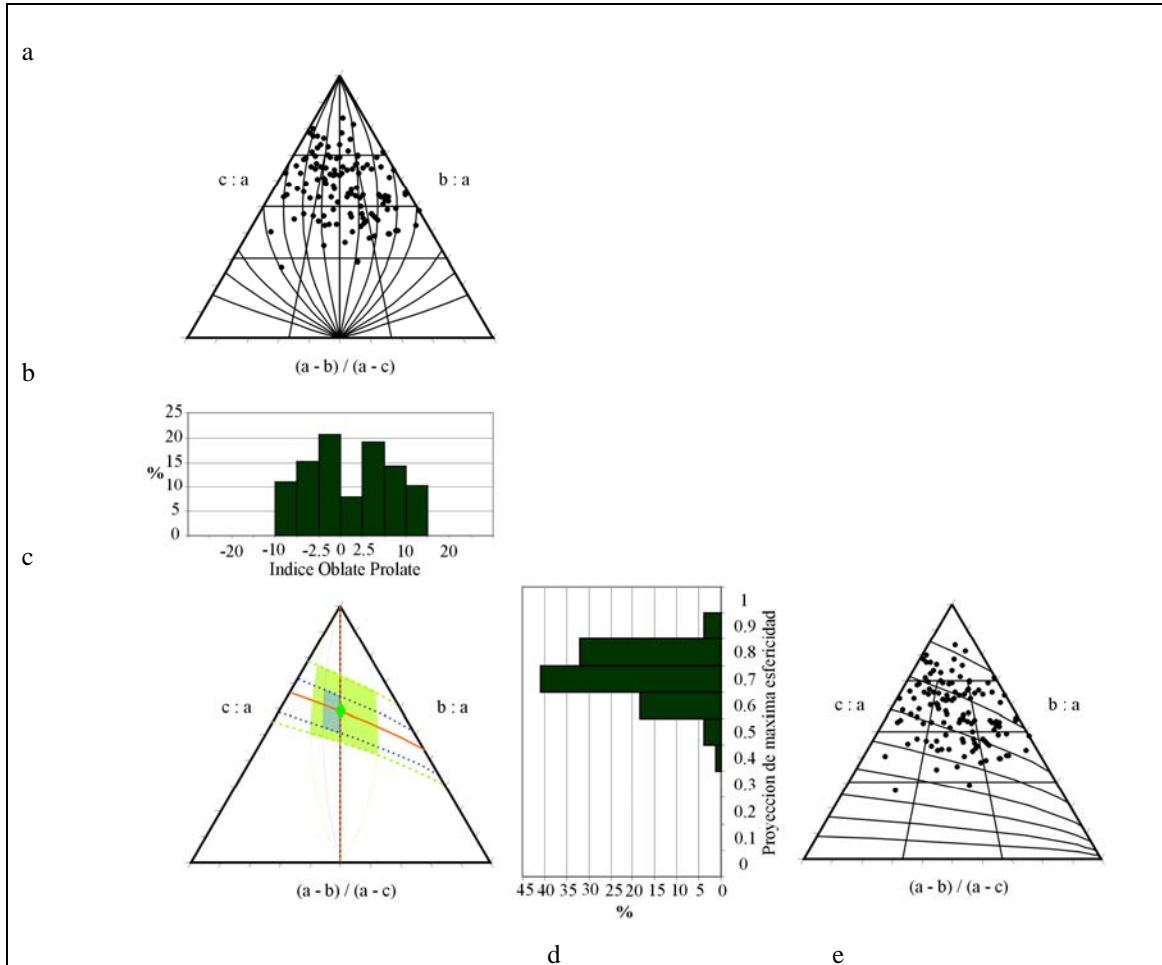


Figura IV.11: Análisis de la forma y esfericidad de la muestra NT0452:

- a. Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función del índice *Oblate-Prolate*.
- b. Histograma de distribución de frecuencias del índice *Oblate-Prolate*.
- c. Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la forma y esfericidad de las partículas de la muestra.
- d. Histograma de distribución de frecuencias de la Proyección de Máxima Esfericidad.
- e. Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución de la esfericidad.

De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la forma de las partículas es de **hoja planar** y su esfericidad es de **hoja compacta**.

NT0533

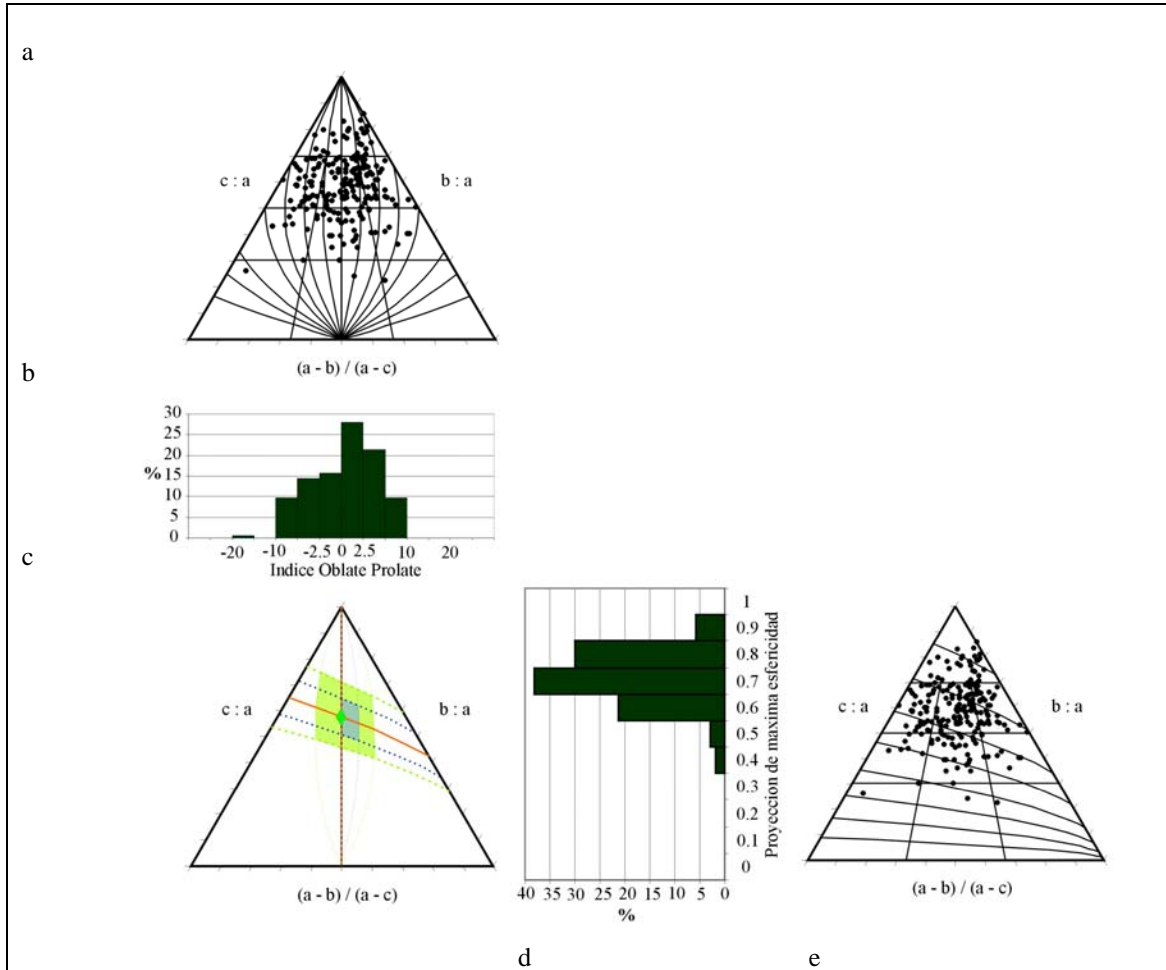


Figura IV.12: Análisis de la forma y esfericidad de la muestra NT0533:

- a. Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función del índice *Oblate-Prolate*.
- b. Histograma de distribución de frecuencias del índice *Oblate-Prolate*.
- c. Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la forma y esfericidad de las partículas de la muestra.
- d. Histograma de distribución de frecuencias de la Proyección de Máxima Esfericidad.
- e. Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución de la esfericidad.

De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la forma de las partículas es de **hoja acicular** y su esfericidad es de **hoja compacta**.

NT0541

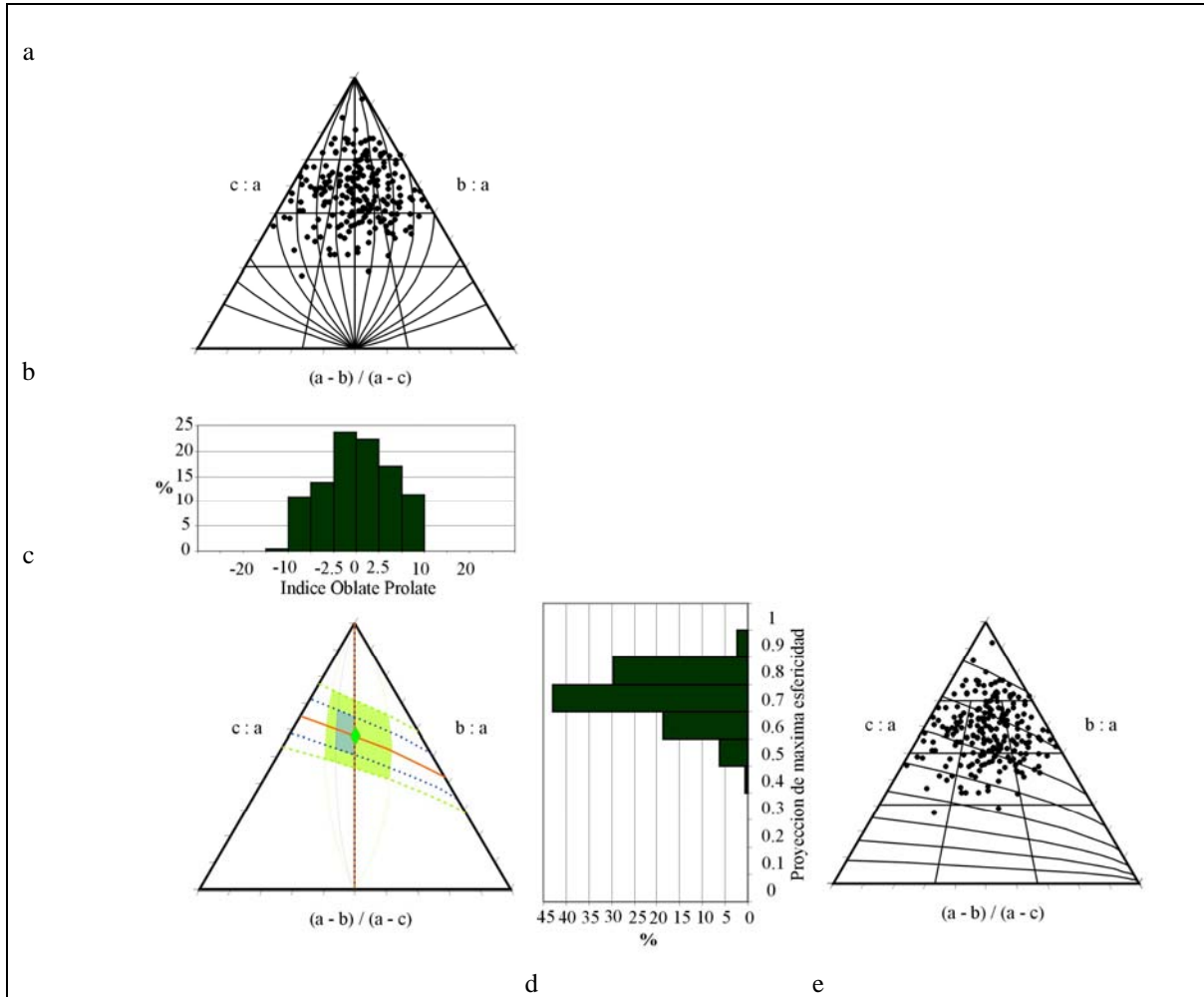


Figura IV.13: Análisis de la forma y esfericidad de la muestra NT0541:

- a. Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función del índice *Oblate-Prolate*.
- b. Histograma de distribución de frecuencias del índice *Oblate-Prolate*.
- c. Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la forma y esfericidad de las partículas de la muestra.
- d. Histograma de distribución de frecuencias de la Proyección de Máxima Esfericidad.
- e. Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución de la esfericidad.

De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la forma de las partículas es de **hoja planar** y su esfericidad es de **hoja compacta**.

NT0552

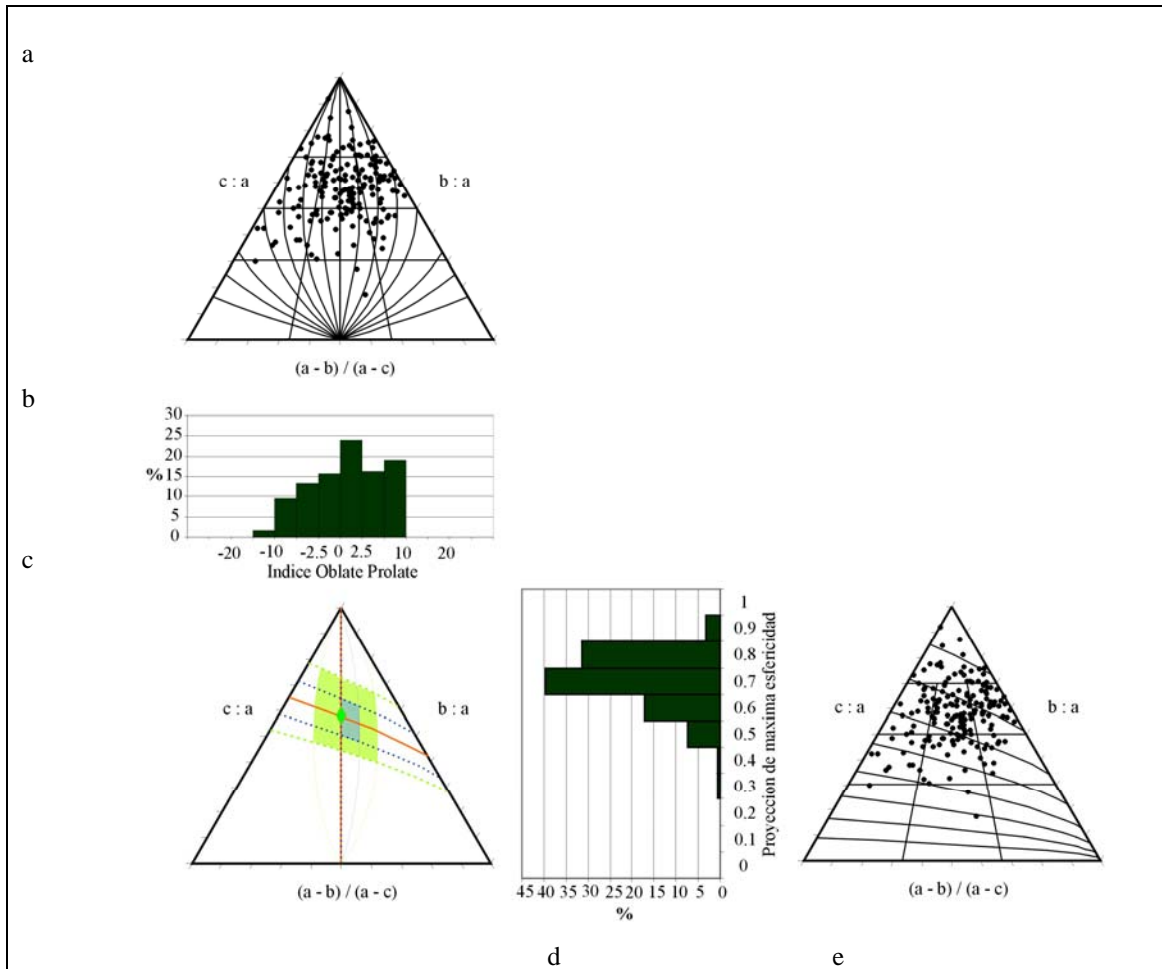


Figura IV.14: Análisis de la forma y esfericidad de la muestra NT0552:

- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función del índice *Oblate-Prolate*.
- Histograma de distribución de frecuencias del índice *Oblate-Prolate*.
- Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la forma y esfericidad de las partículas de la muestra.
- Histograma de distribución de frecuencias de la Proyección de Máxima Esfericidad.
- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución de la esfericidad.

De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la forma de las partículas es de **hoja acicular** y su esfericidad es de **hoja compacta**.

NT0554D

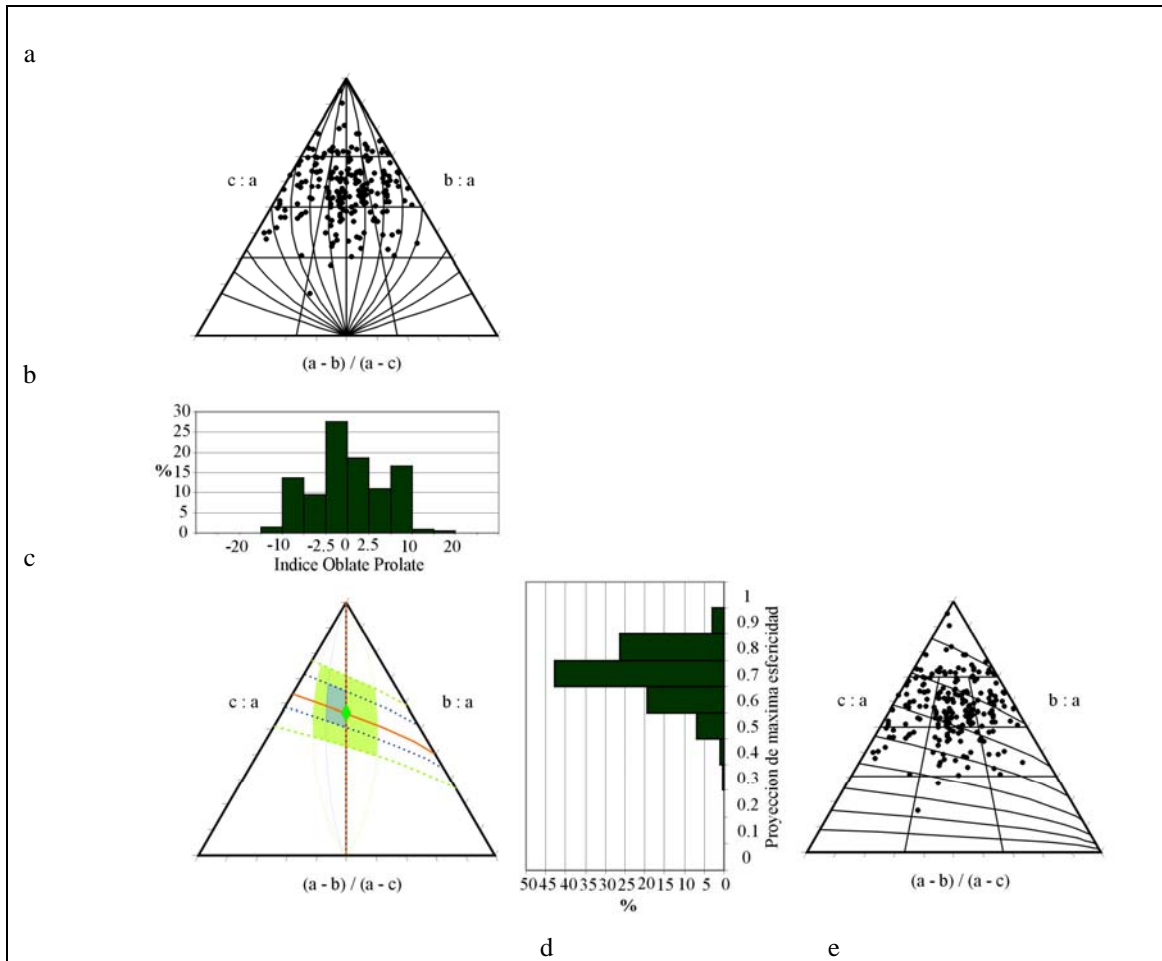


Figura IV.15: Análisis de la forma y esfericidad de la muestra NT0554D:

- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función del índice *Oblate-Prolate*.
- Histograma de distribución de frecuencias del índice *Oblate-Prolate*.
- Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la forma y esfericidad de las partículas de la muestra.
- Histograma de distribución de frecuencias de la Proyección de Máxima Esfericidad.
- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución de la esfericidad.

De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la forma de las partículas es de **hoja planar** y su esfericidad es de **hoja compacta**.

Análisis de la forma y esfericidad en función de los afloramientos de los tills:

NT0464

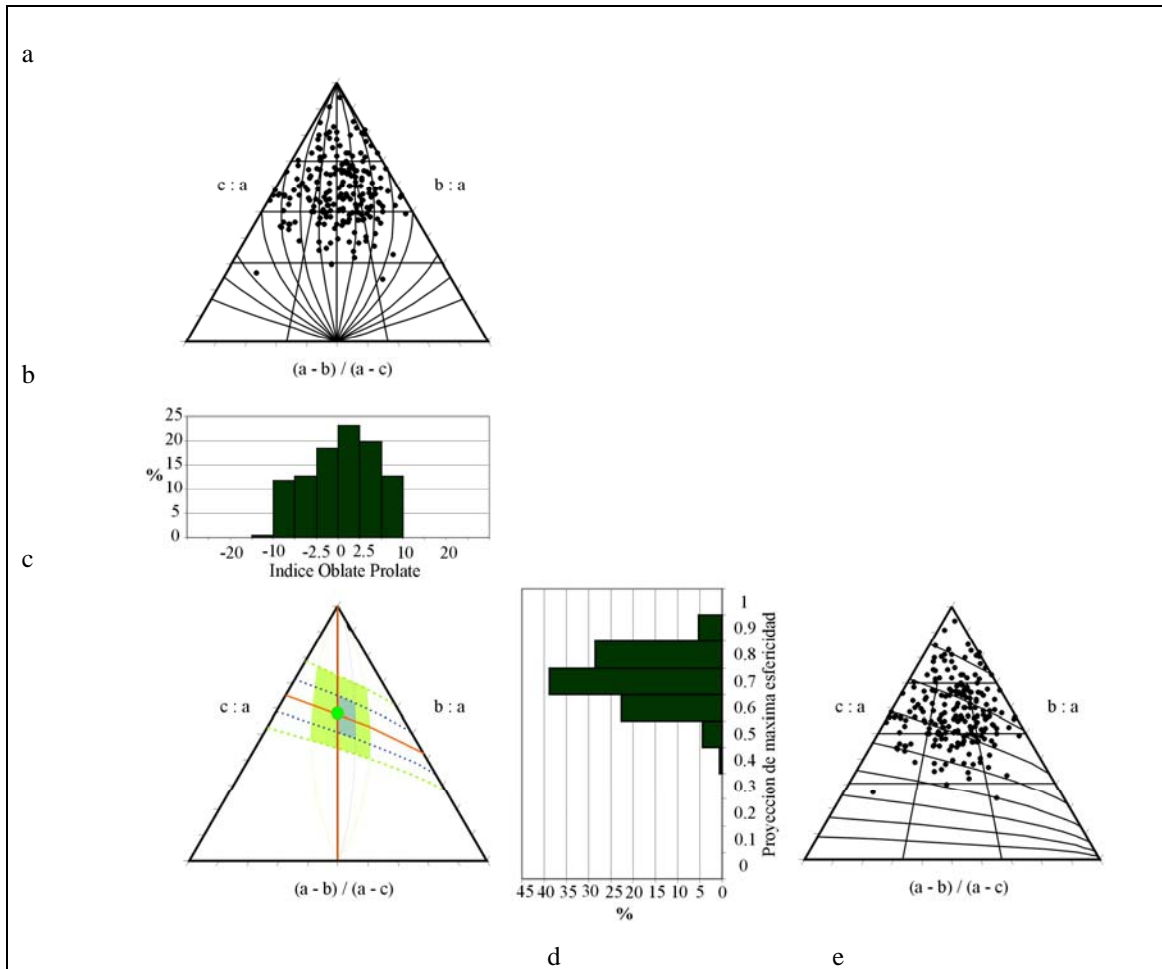


Figura IV.16: Análisis de la forma y esfericidad de la muestra NT0464:

- a. Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función del índice *Oblate-Prolate*.
- b. Histograma de distribución de frecuencias del índice *Oblate-Prolate*.
- c. Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la forma y esfericidad de las partículas de la muestra.
- d. Histograma de distribución de frecuencias de la Proyección de Máxima Esfericidad.
- e. Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución de la esfericidad.

De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la forma de las partículas es de **hoja acicular** y su esfericidad es de **hoja compacta**.

NT05104

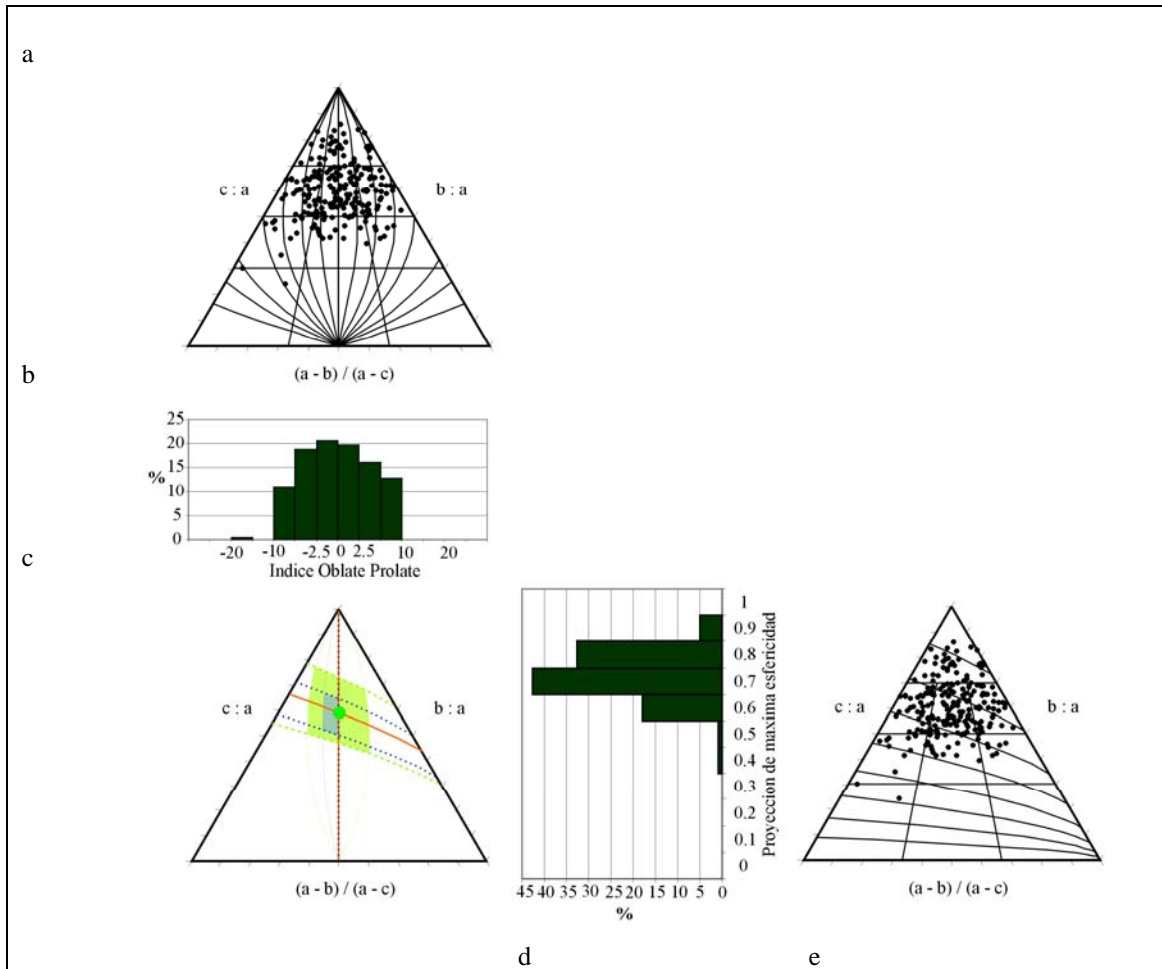


Figura IV.17: Análisis de la forma y esfericidad de la muestra NT05104:

- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función del índice *Oblate-Prolate*.
- Histograma de distribución de frecuencias del índice *Oblate-Prolate*.
- Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la forma y esfericidad de las partículas de la muestra.
- Histograma de distribución de frecuencias de la Proyección de Máxima Esfericidad.
- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución de la esfericidad.

De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la forma de las partículas es de **hoja planar** y su esfericidad es de **hoja compacta**.

NT05105

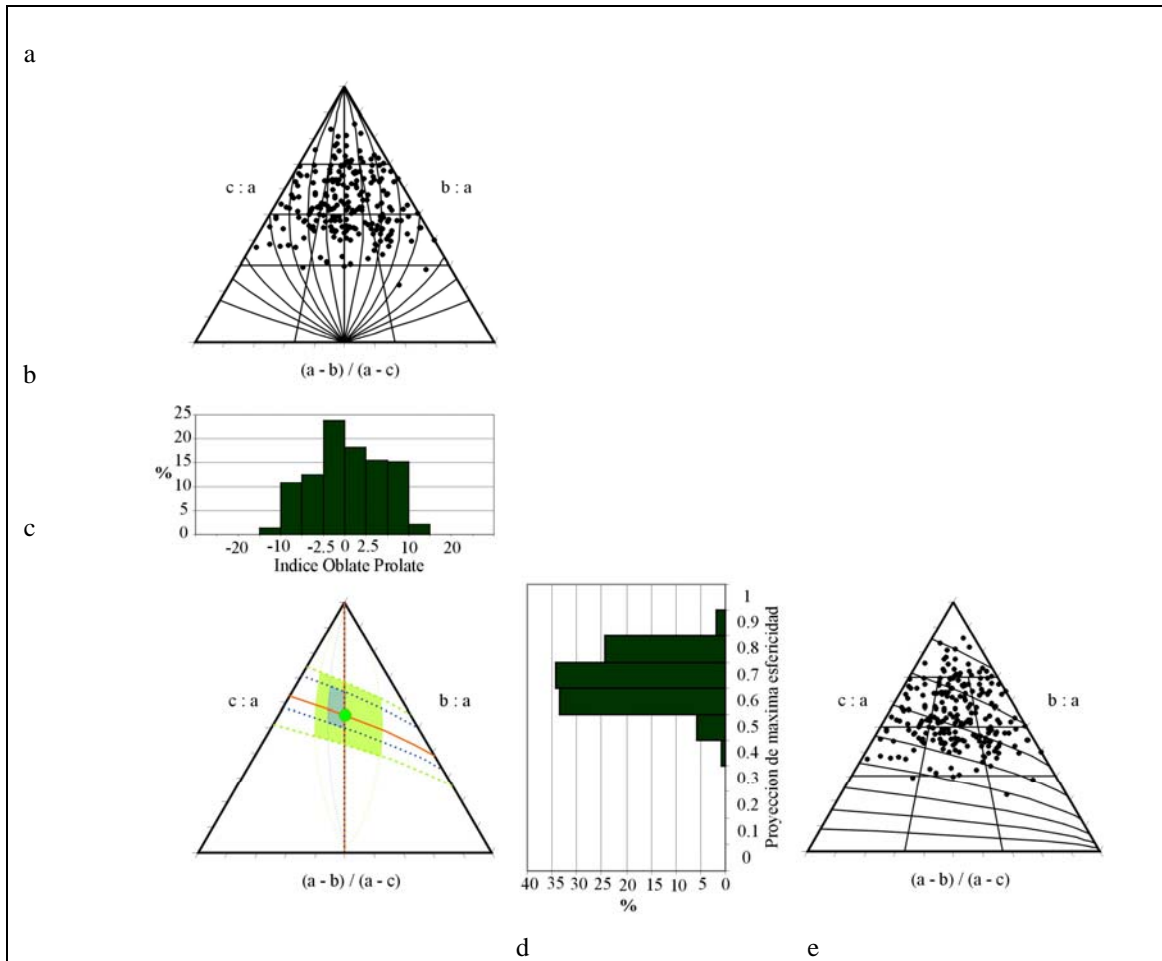


Figura IV.18: Análisis de la forma y esfericidad de la muestra NT05105:

- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función del índice *Oblate-Prolate*.
- Histograma de distribución de frecuencias del índice *Oblate-Prolate*.
- Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la forma y esfericidad de las partículas de la muestra.
- Histograma de distribución de frecuencias de la Proyección de Máxima Esfericidad.
- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución de la esfericidad.

De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la forma de las partículas es de **hoja planar** y su esfericidad es de **subcompacta**.

NT05236

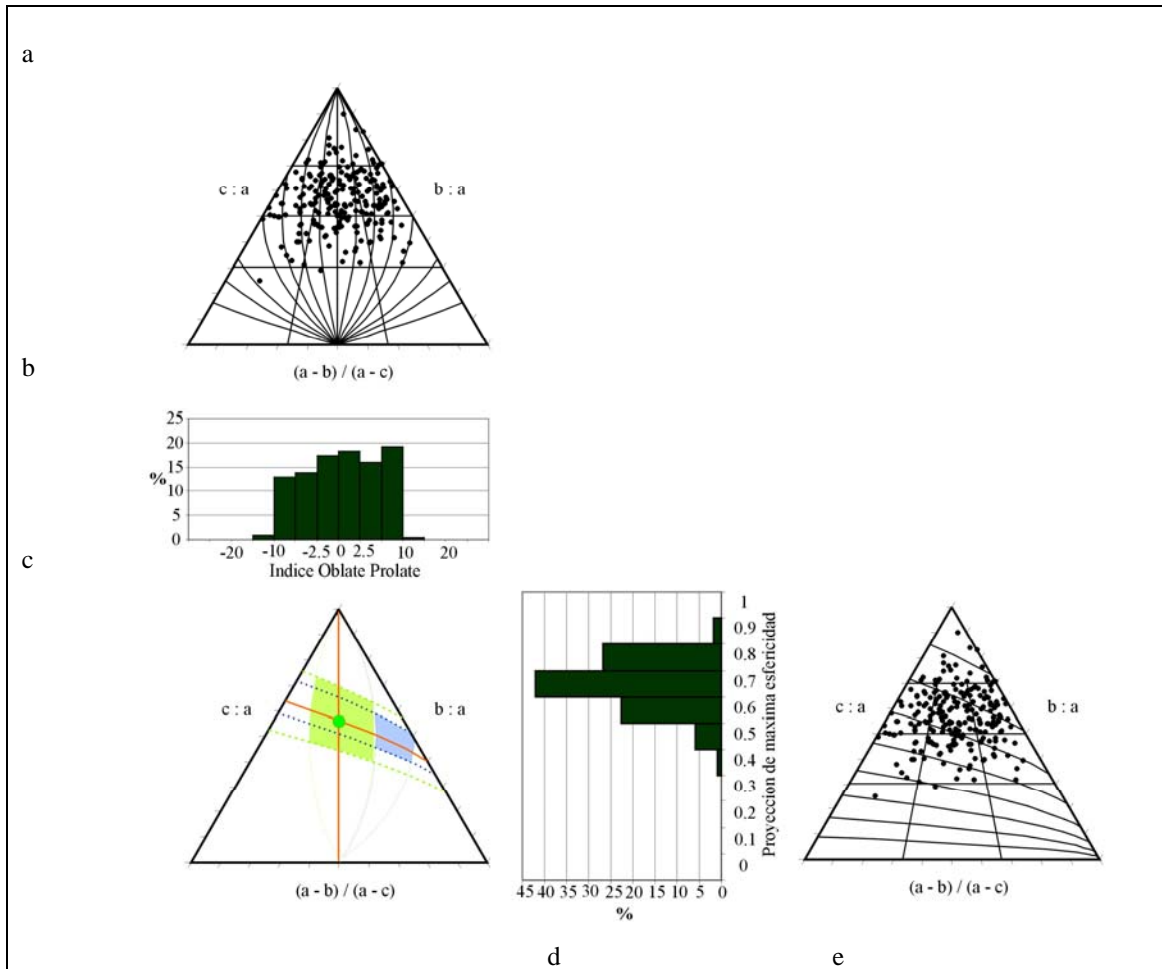


Figura IV.19: Análisis de la forma y esfericidad de la muestra NT05236:

- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función del índice *Oblate-Prolate*.
- Histograma de distribución de frecuencias del índice *Oblate-Prolate*.
- Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la forma y esfericidad de las partículas de la muestra.
- Histograma de distribución de frecuencias de la Proyección de Máxima Esfericidad.
- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución de la esfericidad.

De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la forma de las partículas es de **acicular-hoja acicular** y su esfericidad es de **hoja compacta**.

NT05241

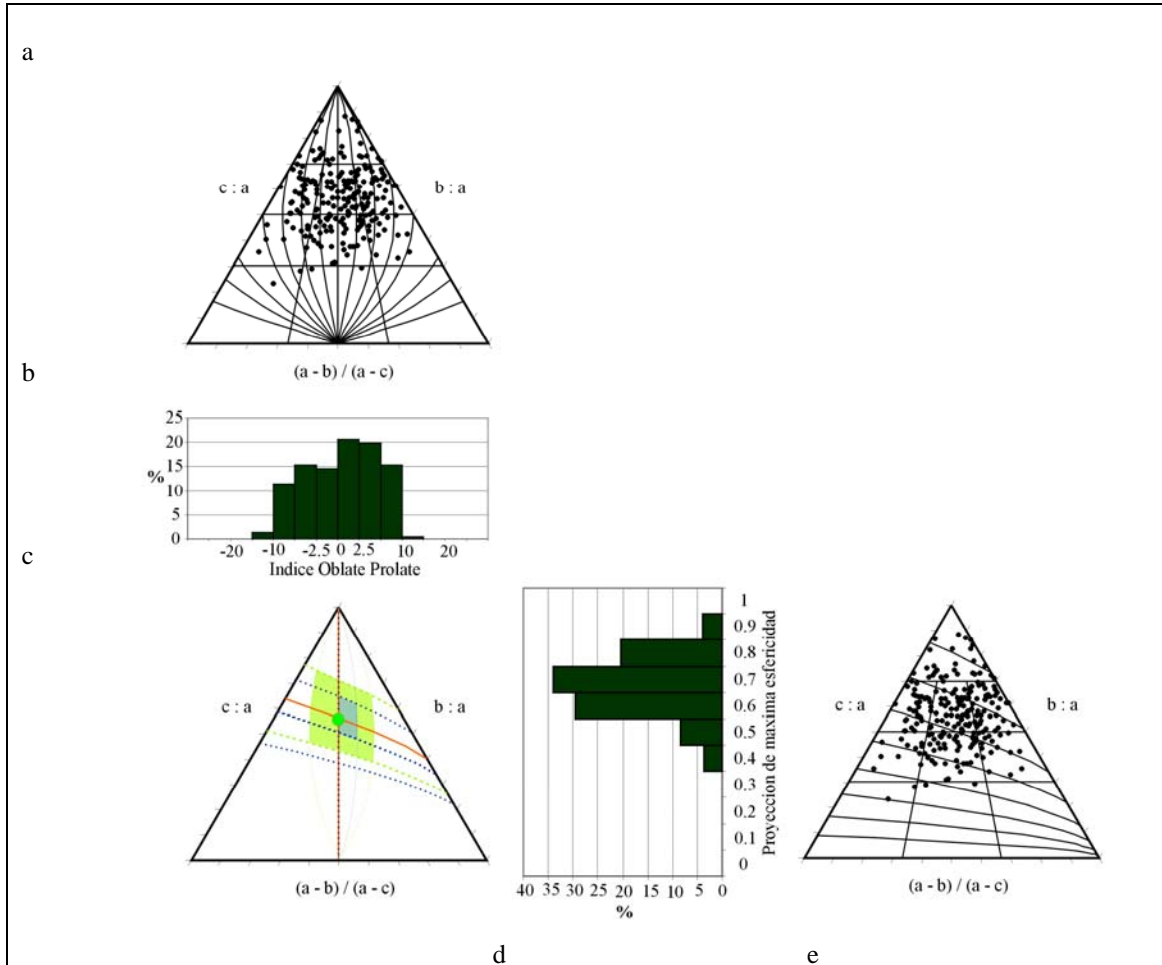


Figura IV.20: Análisis de la forma y esfericidad de la muestra NT05241:

- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función del índice *Oblate-Prolate*.
- Histograma de distribución de frecuencias del índice *Oblate-Prolate*.
- Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la forma y esfericidad de las partículas de la muestra.
- Histograma de distribución de frecuencias de la Proyección de Máxima Esfericidad.
- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución de la esfericidad.

De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la forma de las partículas es de **hoja acicular** y su esfericidad es de **hoja compacta**.

Anexo V

Textura superficial de las partículas tamaño grava de los DVcS para cada uno de las muestras de cada tipo de deposito

Tabla V.1. Textura superficial de las gravas de los depósitos de facies de matriz de una avalancha de escombros:

Partículas con...	NT0401	NT0405	NT0406	NT0408	NT0410
... estrías	1.5	2.4	9.1	11.7	9.3
... surcos	2.0			1.7	2.5
... caras planas	71.9	40.0	71.7	81.0	63.4
... una cara plana	22.4	22.4	22.4	38.5	29.8
... mas de una cara plana	7.1	13.8	39.3	39.4	34.8
... superficies suavizadas	1.0	2.4	8.7	15.6	23.0
... caras planas pulidas	6.1	5.7	10.0	2.2	3.7
... caras planas sin pulir	76.0	94.3	29.7	80.5	24.2
... fracturas incipientes	4.6	2.4	1.4	1.3	5.6
... mas de una fractura incipiente que intersectan	0.5	0.5			
... escalones (uno o mas)	1.0	1.4	5.0	13.4	11.2
... crestas					1.2
... ondulaciones					
... arañazos			1.9	2.6	5.0
... marcas de percusión					
... grietas					
... arrugas					
... aristas angulosas			0.5		
... aristas redondeadas					
... cortes frescos (no planos)					
... cortes rectos en bajo relieve	0.5				
... marcas de concavidad					
N	196	210	219	231	161

Tabla V.2. Textura superficial de las gravas de los depósitos de flujos de escombros cohesivos:

Partículas con...	NT19	NT40	NT41	NT56	NT60
... estrías	2.4	3.9	1.0	1.1	1.2
... surcos	2.9	3.2	2.4	2.3	0.6
... caras planas	52.9	67.7	74.6	64.9	65.5
... una cara plana	33.3	32.3	28.3	24.1	20.2
... mas de una cara plana	25.7	25.2	42.9	40.8	38.1
... superficies suavizadas	20.5	21.9	24.4	18.4	12.5
... caras planas pulidas	12.4	11.0	22.9	9.2	11.9
... caras planas sin pulir	15.7	38.7	13.2	39.7	17.9
... fracturas incipientes		0.6	0.5	0.6	0.6
... mas de una fractura incipiente que intersectan					
... escalones (uno o mas)	5.7	11.0	2.9	5.2	3.0
... crestas					
... ondulaciones					
... arañazos	1.0	1.9	2.0	0.6	2.4
... marcas de percusión	0.5				
... grietas	3.3	1.9	0.5		
... arrugas	0.5			0.6	
... aristas angulosas					
... aristas redondeadas					
... cortes frescos (no planos)	2.9	0.6	0.5	1.7	0.6
... cortes rectos en bajo relieve					
... marcas de concavidad					
N	210	155	205	174	168

Tabla V.3. Textura superficial de las gravas de los depósitos de flujos de escombros no cohesivos:

Partículas con...	NT0452	NT0533	NT0541	NT0552	NT0554
... estrías		3.7	2.9	0.6	2.4
... surcos		0.5	3.8	0.6	6.3
... caras planas	76.8	46.0	63.3	42.5	66.3
... una cara plana	28.0	28.8	30.0	27.4	36.6
... mas de una cara plana	24.8	15.3	25.2	14.0	26.8
... superficies suavizadas	6.4	5.6	4.8	14.5	19.0
... caras planas pulidas	7.2	7.0	14.3	4.5	16.1
... caras planas sin pulir	21.6	1.9	57.6	10.6	16.6
... fracturas incipientes		1.9	2.9	0.6	2.0
... mas de una fractura incipiente que intersectan					
... escalones (uno o mas)	4.0	6.0	13.3	3.4	11.2
... crestas					0.5
... ondulaciones					
... arañazos	1.6	0.5			1.5
... marcas de percusión					3.4
... grietas					
... arrugas					
... aristas angulosas					
... aristas redondeadas					
... cortes frescos (no planos)	2.4			0.6	
... cortes rectos en bajo relieve					
... marcas de concavidad			1.0		
N	125	215	210	179	205

Tabla V.4. Textura superficial de las gravas de los depósitos de *tills*:

Partículas con...	NT0464	NT05104	NT05105	NT05236	NT05241
... estrías		1.4	6.2	5.8	3.1
... surcos	1.9	4.8	3.5	2.2	3.1
... caras planas	45.0	55.6	55.8	49.8	73.0
... una cara plana	31.8	35.3	25.7	28.3	35.0
... mas de una cara plana	11.8	19.3	29.2	25.6	32.3
... superficies suavizadas	7.1	9.2	9.3	6.3	12.8
... caras planas pulidas	5.2	14.0	21.2	17.5	13.3
... caras planas sin pulir	14.2	2.9	4.4	15.7	3.1
... fracturas incipientes	0.5	1.0	0.4	0.4	1.3
... mas de una fractura incipiente que intersectan					
... escalones (uno o mas)	1.9	4.8	4.4	6.7	5.8
... crestas					
... ondulaciones				0.9	
... arañazos	0.5			1.8	0.9
... marcas de percusión					
... grietas					
... arrugas					
... aristas angulosas					0.9
... aristas redondeadas		1.4		0.9	0.9
... cortes frescos (no planos)	2.4		0.9		0.4
... cortes rectos en bajo relieve					
... marcas de concavidad					
N	211	207	226	223	226

Anexo VI

Análisis de la forma y esfericidad en función del tamaño de las partículas de los diferentes DVcS.

Resumen de las variaciones de la forma y la esfericidad de las partículas para cada tamaño de grano en función de los diferentes afloramientos:

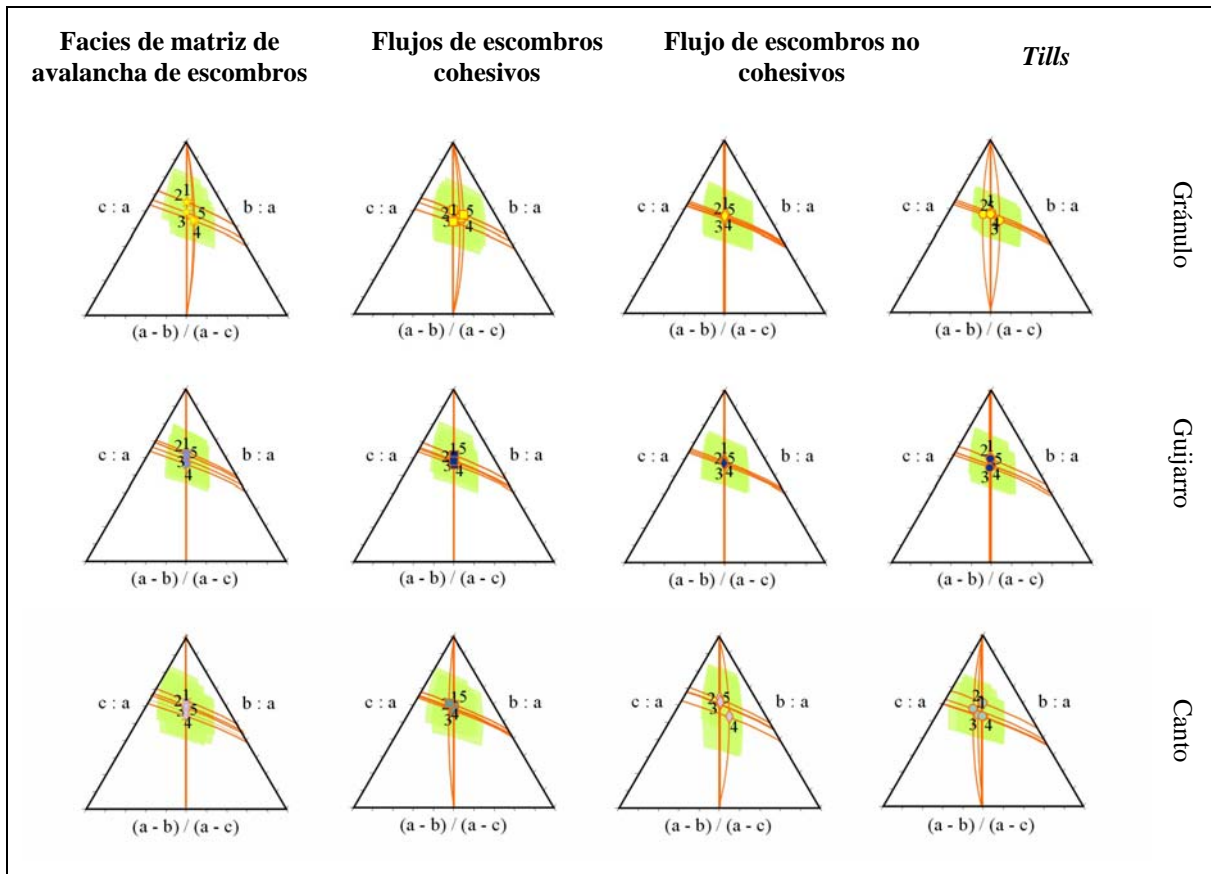


Figura VI.1.El punto corresponde al valor medio (1, 2, 3, 4 y 5), la sombra verde corresponde al área de una desviación estándar de los datos.

AE: 1, NT0464; 2, NT05104; 3, NT05105; 4, NT05236; y 5, NT05241.

FEC: 1, NT19; 2, NT40; 3, NT41; 4, NT56; y 5, NT60.

FENC: 1, NT0452; 2, NT0533; 3, NT0541; 4, NT0552; y 5, NT0554.

TILL: 1, NT0464; 2, NT05104; 3, NT05105; 4, NT05236; y 5, NT05241.

Facies de matriz de una avalancha de escombros

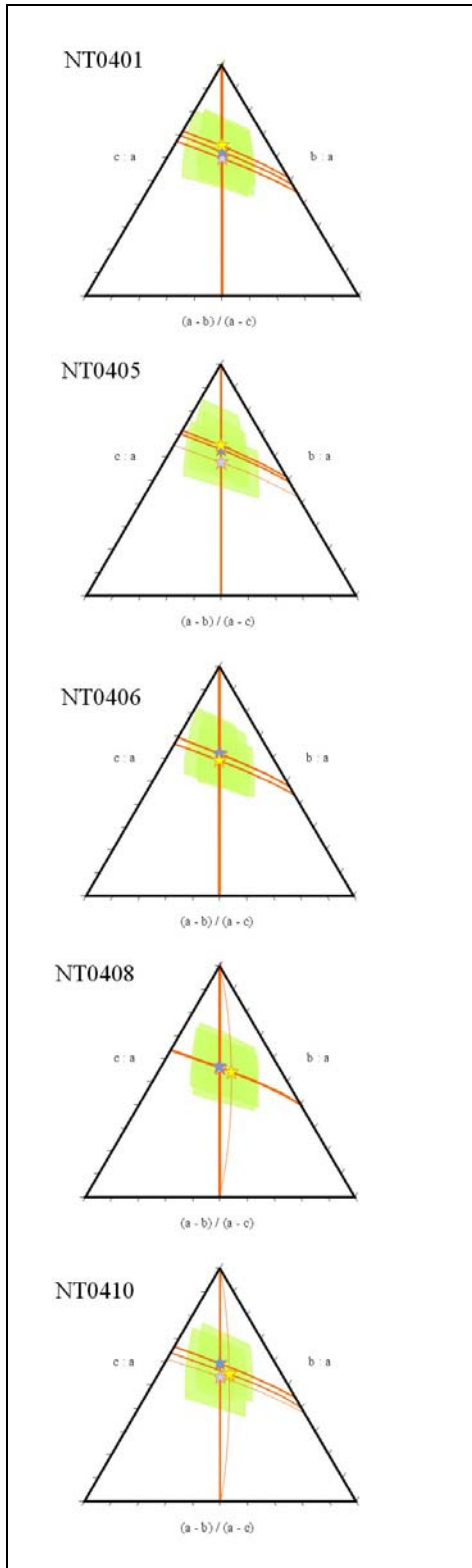


Figura VI.2. En las variaciones de la forma y la esfericidad de las partículas con el tamaño de grano de los 5 afloramientos de cada uno de los depósitos de las facies de matriz de las avalanchas de escombros se observan dos tendencias. Una refleja un ligero aplanamiento de las partículas al disminuir los valores de esfericidad con el incremento del tamaño de las partículas (NT0401 y NT0405), la otra muestra una tendencia a formas más compactas de gránulo a guijarro (NT0406, NT0408 y NT0410).

El punto corresponde al valor medio (Amarillo, gránulo; Azul oscuro, guijarro; Azul claro, canto), la sombra verde corresponde al área de una desviación estándar.

Análisis de la forma en función del tamaño de las partículas de las facies de matriz de las avalanchas de escombros:

Gránulo

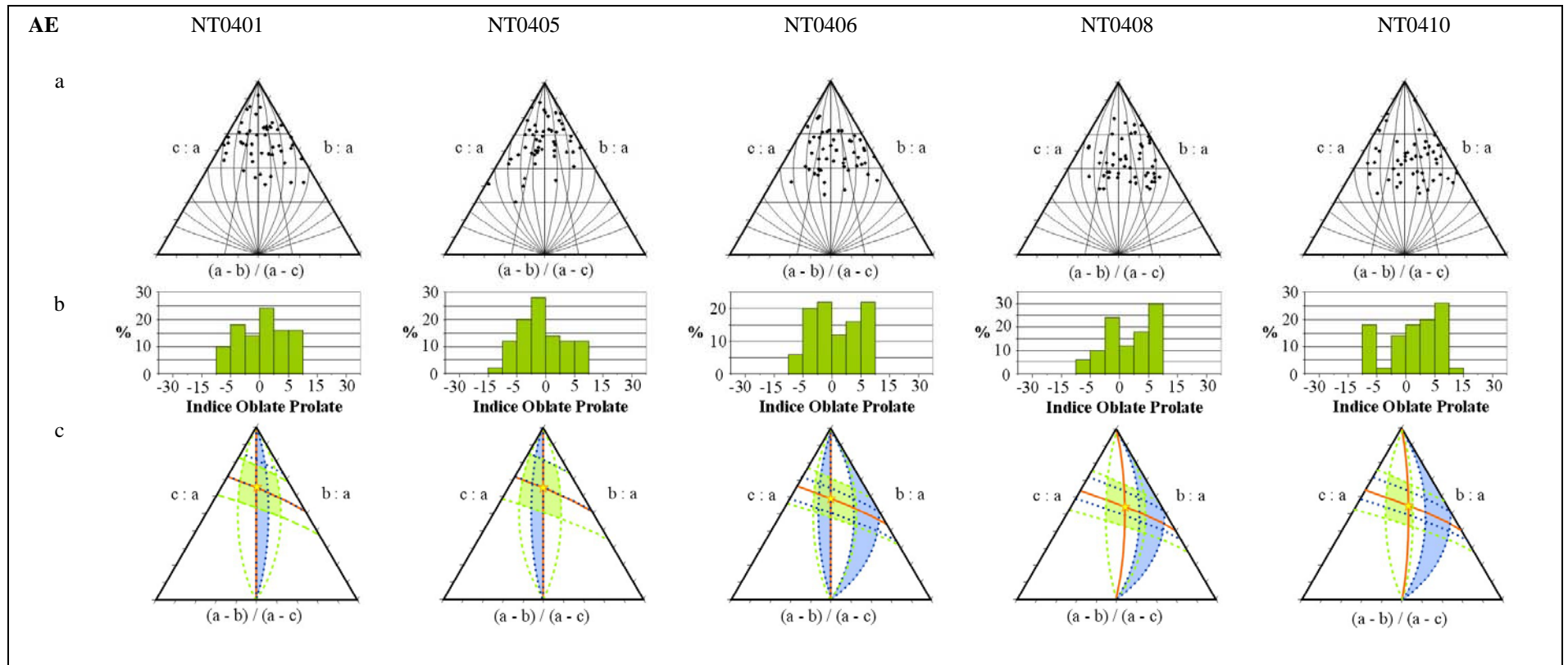


Figura VI.3. Análisis de la forma en función del tamaño de las partículas:

- a. Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función del índice *Oblate-Prolate*.
- b. Histograma de distribución de frecuencias del índice *Oblate-Prolate*.
- c. Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la forma de las partículas de la muestra.

De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la forma de las partículas tamaño gránulo que pueden ser **acicular**, **hoja subacicular** u **hoja subplanar**.

Guijarro

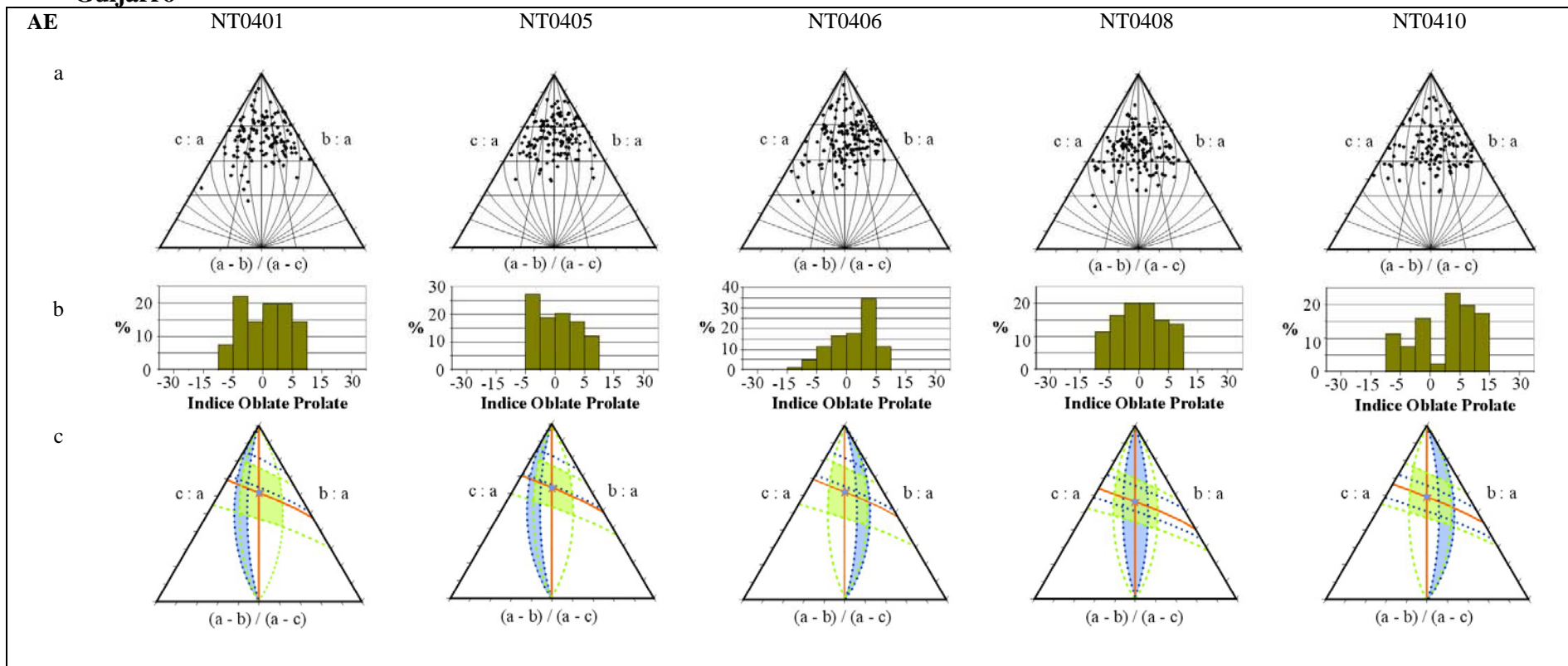


Figura VI.4. Análisis de la forma en función del tamaño de las partículas:

- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función del índice *Oblate-Prolate*.
- Histograma de distribución de frecuencias del índice *Oblate-Prolate*.
- Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la forma de las partículas de la muestra.

De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la forma de las partículas tamaño guijarro pueden ser **hoja acicular**, **hoja subacicular**, **hoja subplanar** u **hoja planar**.

Canto

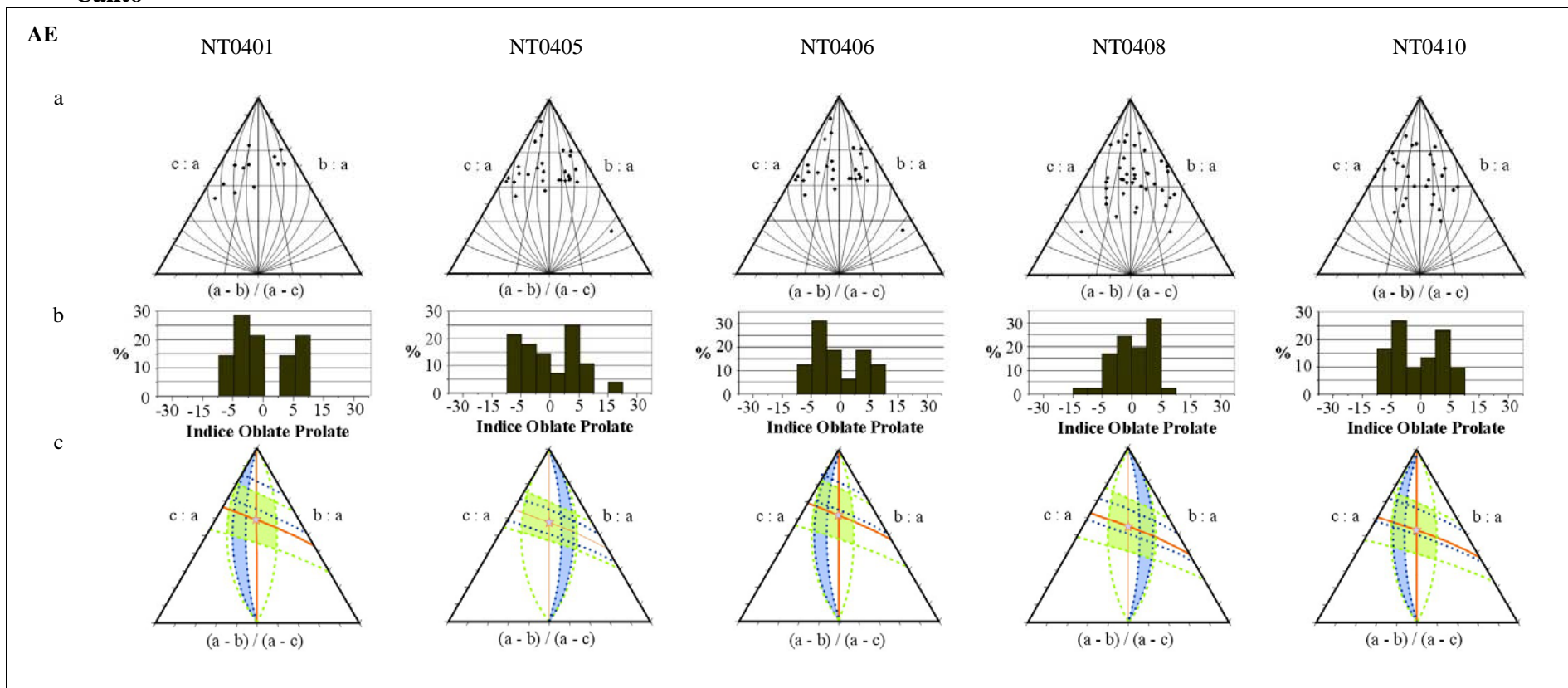


Figura VI.5. Análisis de la forma en función del tamaño de las partículas:

- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función del índice *Oblate-Prolate*.
- Histograma de distribución de frecuencias del índice *Oblate-Prolate*.
- Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la forma de las partículas de la muestra.

De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la forma de las partículas tamaño canto va de **hoja acicular** a **hoja planar**.

Análisis de la esfericidad en función del tamaño de las partículas de las facies de matriz de las avalanchas de escombros:

A continuación se exponen una serie de gráficas visualizadas para cada intervalo de tamaños el siguiente análisis de la esfericidad en función del tamaño de las partículas:

- a. Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función de la Proyección de Máxima Esfericidad (Ψ).
- b. Histograma de frecuencias de la Proyección de Máxima Esfericidad (Ψ).
- c. Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la esfericidad de las partículas de la muestra.

Gránulo

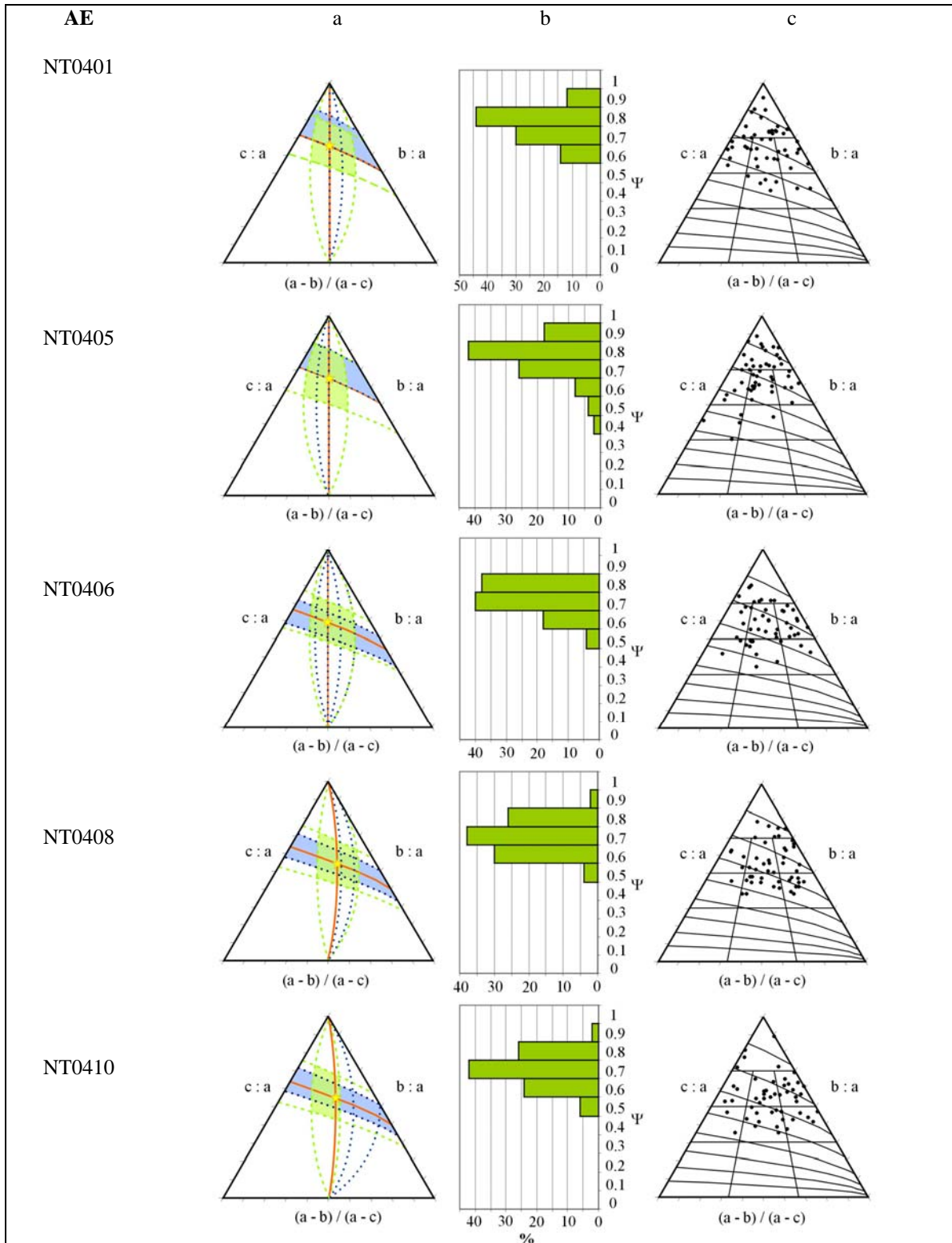


Figura VI.6. De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la esfericidad de las partículas tamaño gránulo de las facies de matriz de una avalancha de escombros va de **compacta a muy compacta**.

Guijarro

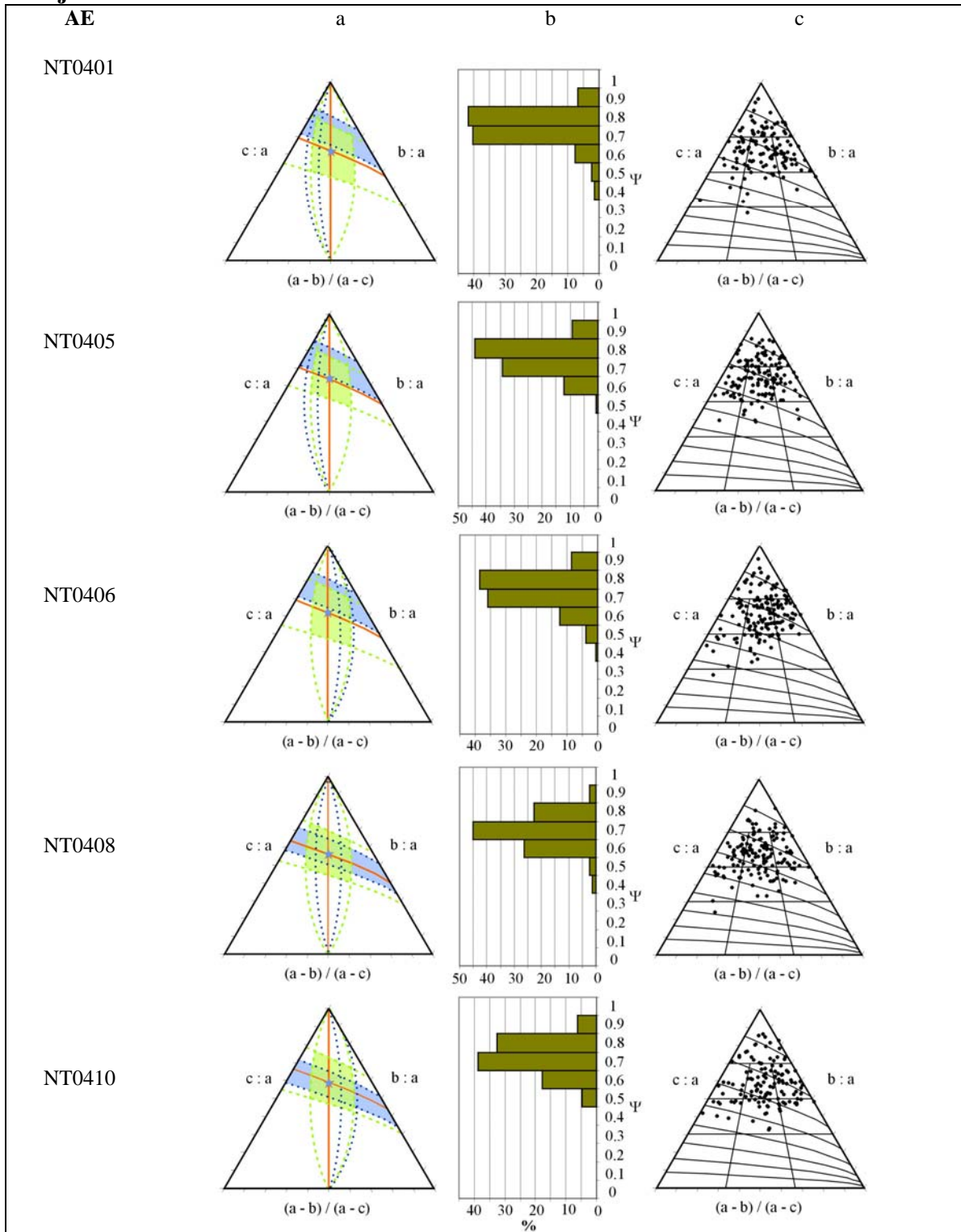


Figura VI.7. De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la esfericidad de las partículas tamaño guijarro de las facies de matriz de una avalancha de escombros va de compacta a muy compacta.

Canto

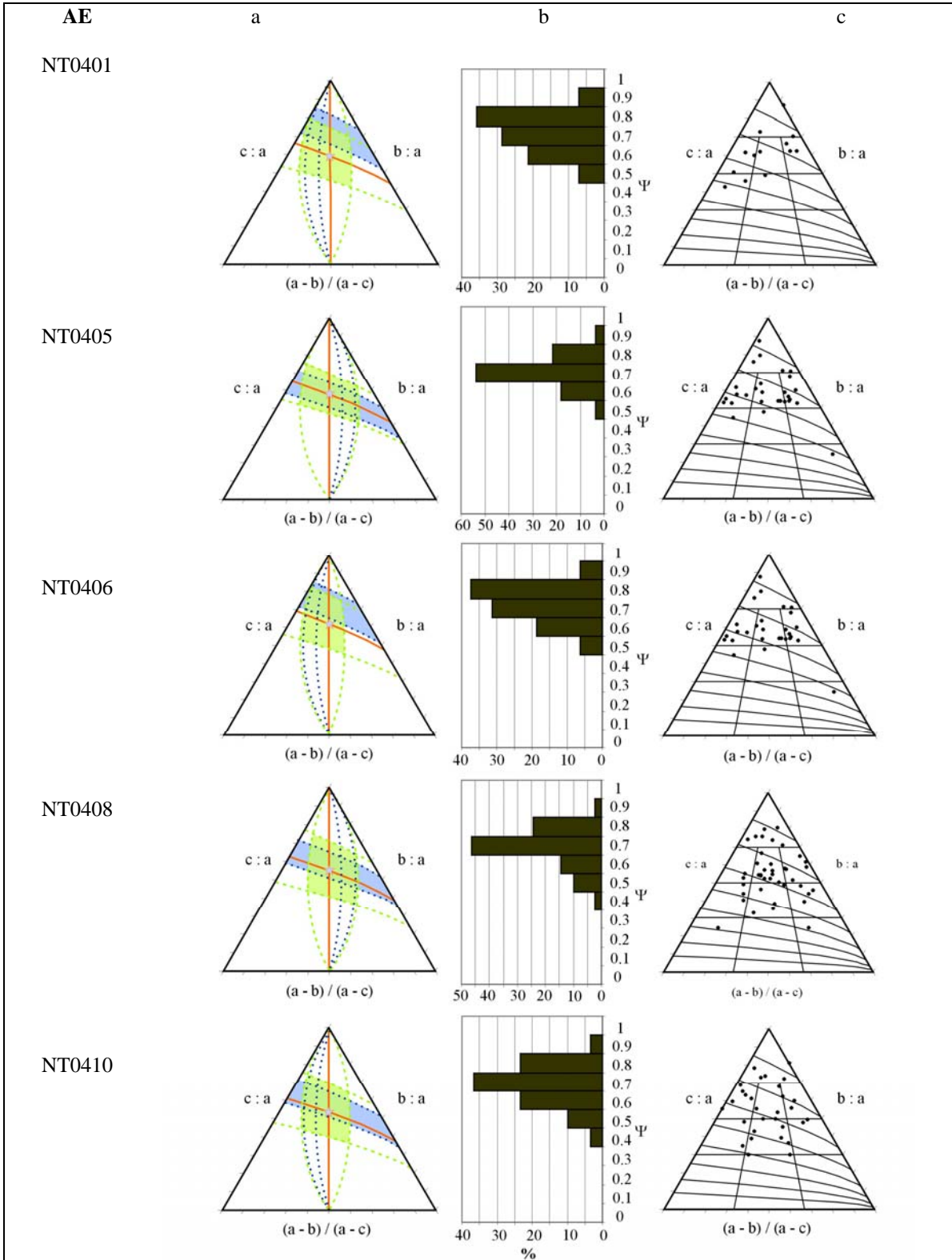


Figura VI.8. De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la esfericidad de las partículas tamaño canto de las facies de matriz de una avalancha de escombros va de **compacta a muy compacta**.

Flujo de escombros cohesivos

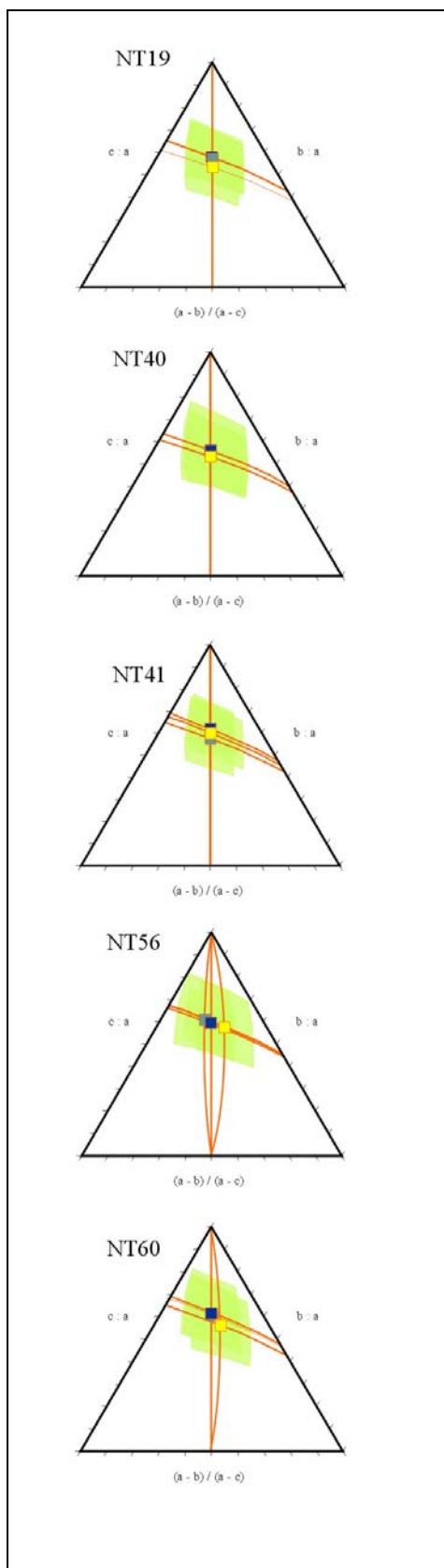


Figura VI.9. En las variaciones de la forma y la esfericidad de las partículas con el tamaño de grano de los 5 afloramientos de cada uno de los depósitos de flujos de escombros cohesivos se observan dos tendencias principales al aumentar el tamaño de grano de gránulo a guijarro. Una refleja una ligera compactación de las partículas al aumentar los valores de esfericidad (NT19, NT40 y NT41), y la otra muestra una tendencia a formas más compactas y aplanadas (NT56, NT60). Por otro lado no existe una tendencia predominante al incrementar el tamaño de las partículas de guijarro a canto.

El punto corresponde al valor medio (Amarillo, gránulo; Azul oscuro, guijarro; Azul claro, canto), la sombra verde corresponde al área de una desviación estándar.

Análisis de la forma en función del tamaño de las partículas de los flujos de escombros cohesivos:

Gránulo

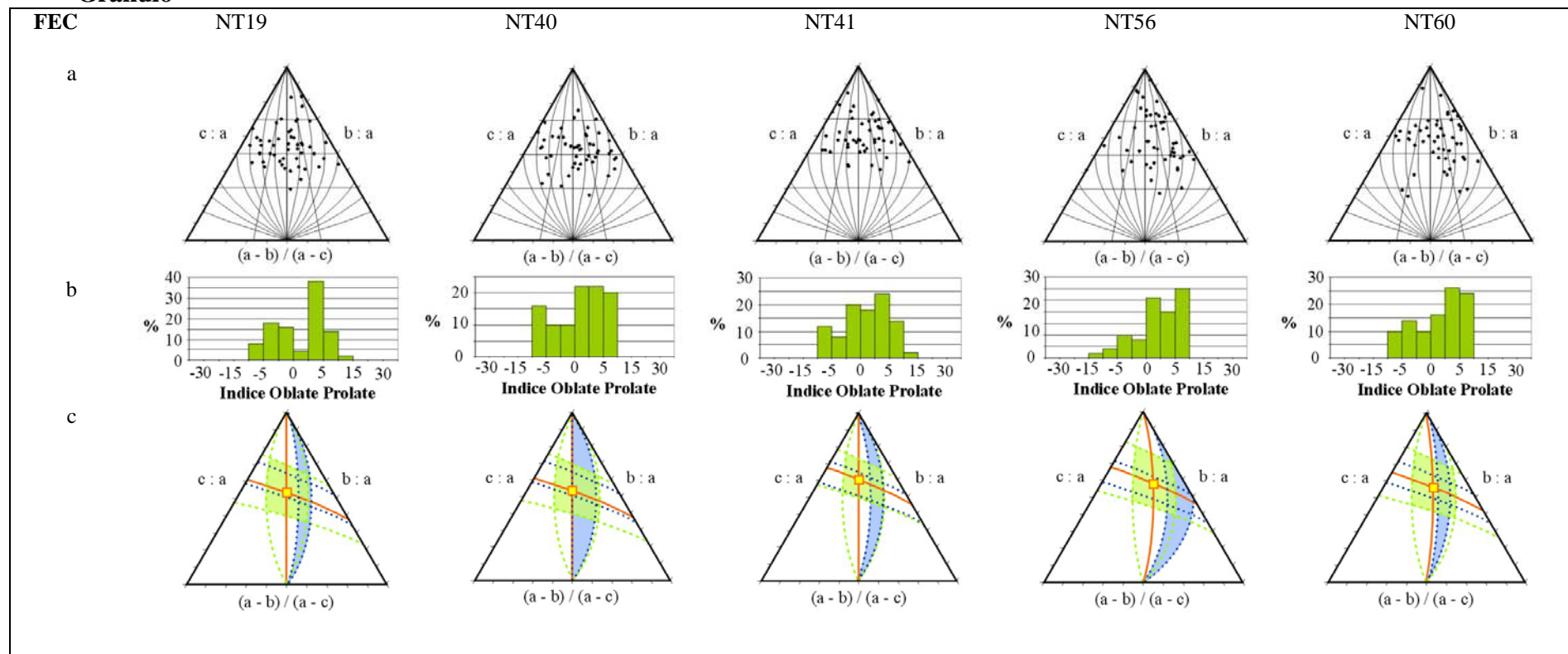


Figura VI.10. Análisis de la forma en función del tamaño de las partículas:

- a. Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función del índice *Oblate-Prolate*.
- b. Histograma de distribución de frecuencias del índice *Oblate-Prolate*.
- c. Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la forma de las partículas de la muestra.

De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la forma de las **partículas tamaño gránulo pueden ser acicular, hoja acicular a hoja subacicular.**

Guijarro

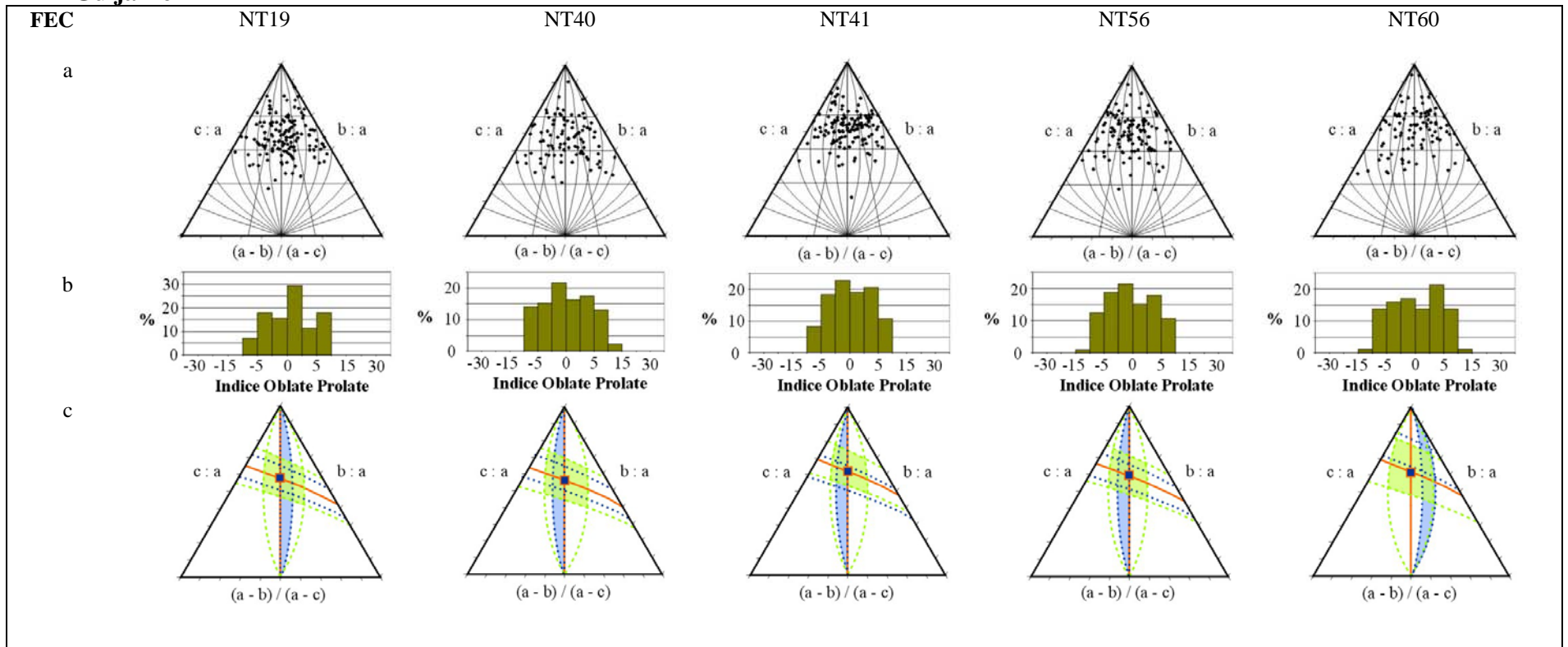


Figura VI.11. Análisis de la forma en función del tamaño de las partículas:

- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función del índice *Oblate-Prolate*.
- Histograma de distribución de frecuencias del índice *Oblate-Prolate*.
- Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la forma de las partículas de la muestra.

De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la forma de las partículas tamaño guijarro pueden ser **hoja acicular**, **hoja subacicular** u **hoja subplanar**.

Canto

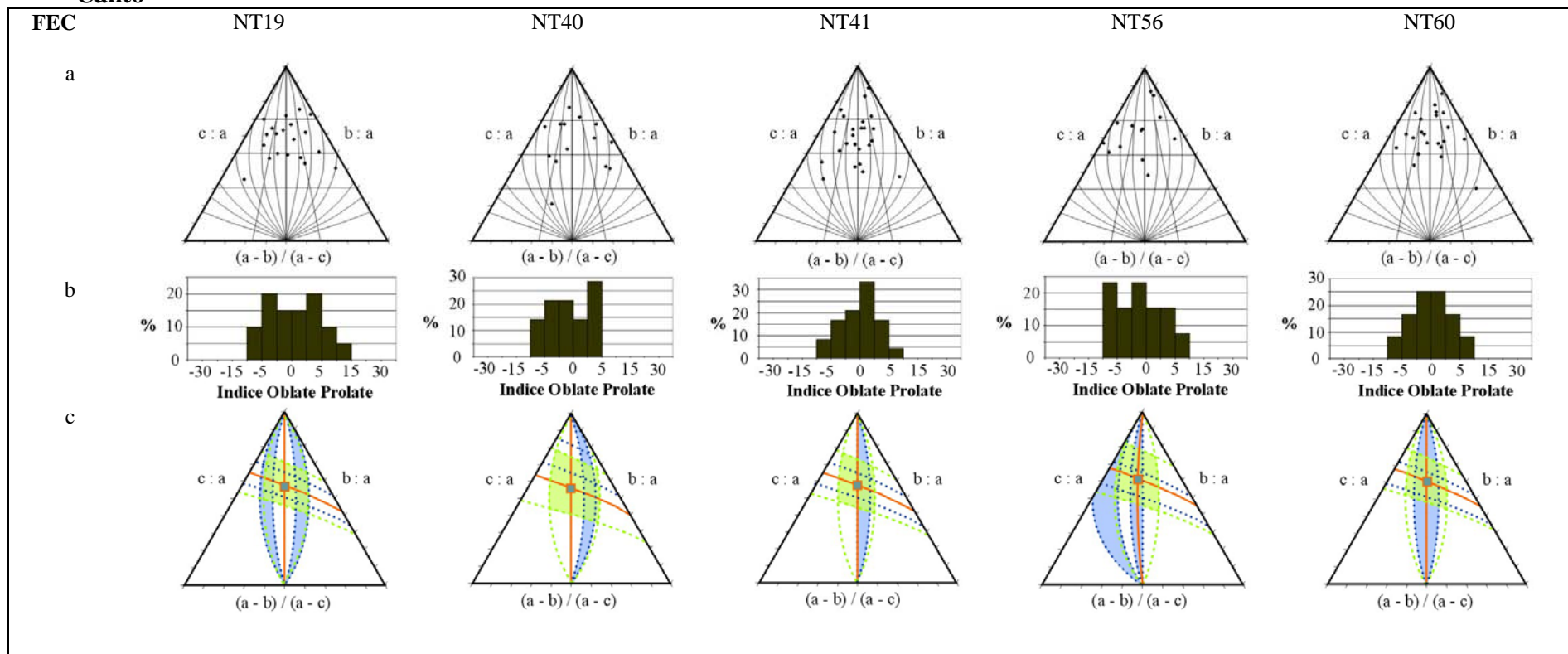


Figura VI.12. Análisis de la forma en función del tamaño de las partículas:

- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función del índice *Oblate-Prolate*.
- Histograma de distribución de frecuencias del índice *Oblate-Prolate*.
- Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la forma de las partículas de la muestra.

De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la forma de las partículas tamaño canto puede ser **hoja acicular**, **hoja subacicular**, **hoja subplanar**, **hoja planar** o **planar**.

Análisis de la esfericidad en función del tamaño de las partículas de los flujos de escombros cohesivos:

A continuación se exponen una serie de gráficas visualizadas para cada intervalo de tamaños el siguiente análisis de la esfericidad en función del tamaño de las partículas:

- a. Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función de la Proyección de Máxima Esfericidad (Ψ).
- b. Histograma de frecuencias de la Proyección de Máxima Esfericidad (Ψ).
- c. Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la esfericidad de las partículas de la muestra.

Gránulo

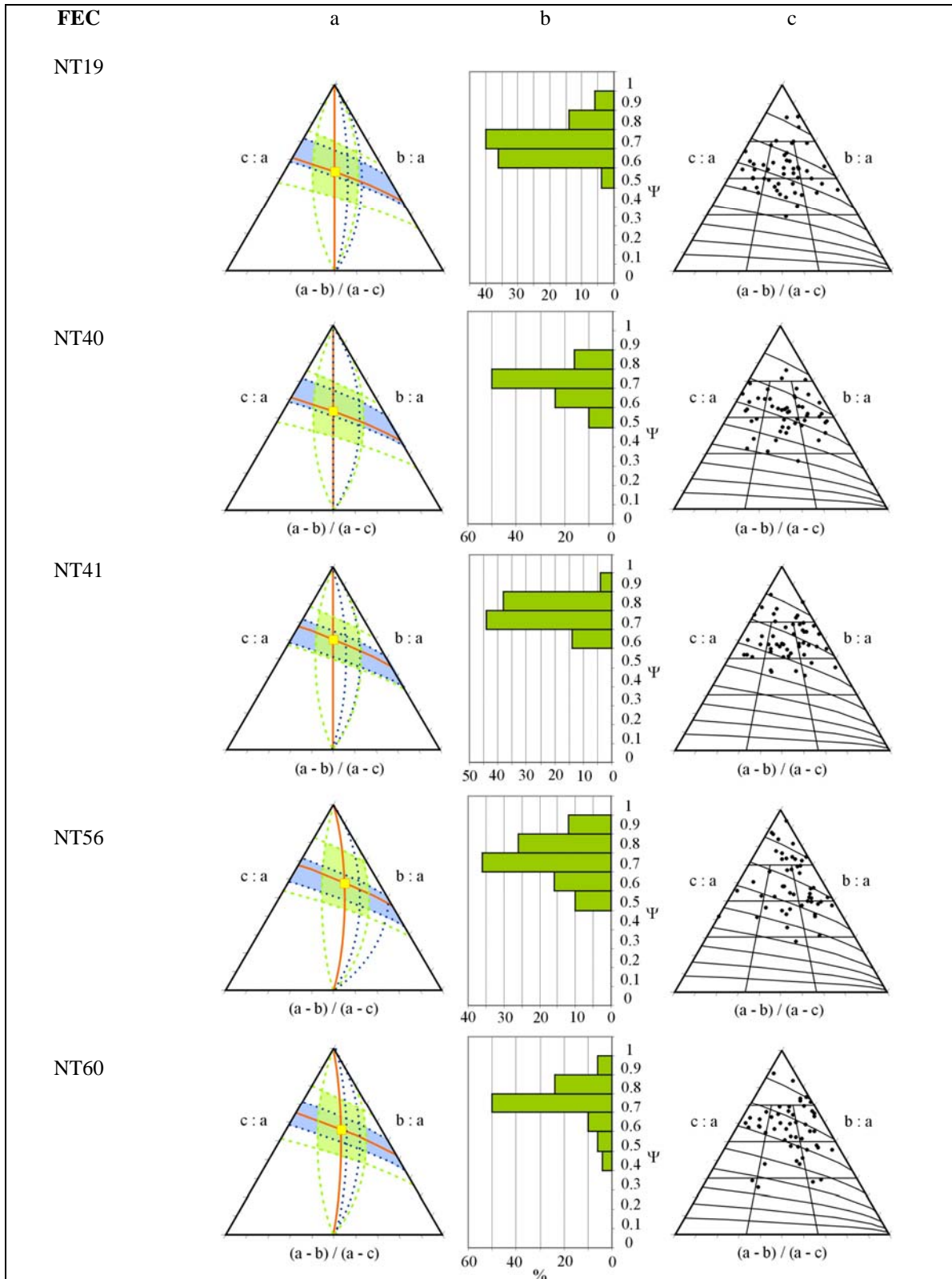


Figura VI.13. De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la esfericidad de las partículas tamaño gránulo de los flujos de escombros cohesivos es **compacta**.

Guijarro

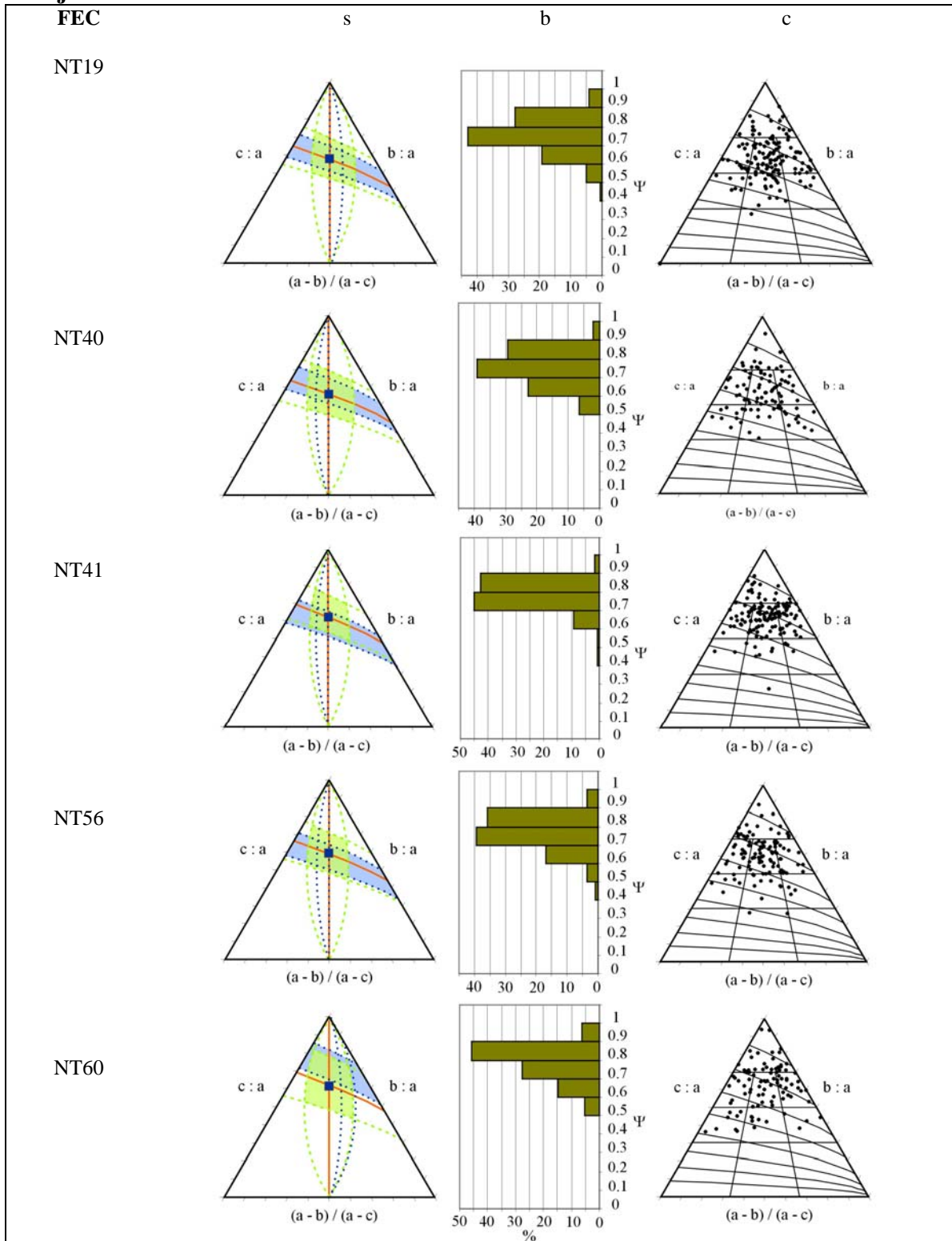


Figura VI.14. De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la esfericidad de las partículas tamaño guijarro de los flujos de escombros cohesivos va de **compacta** a **muy compacta**.

Canto

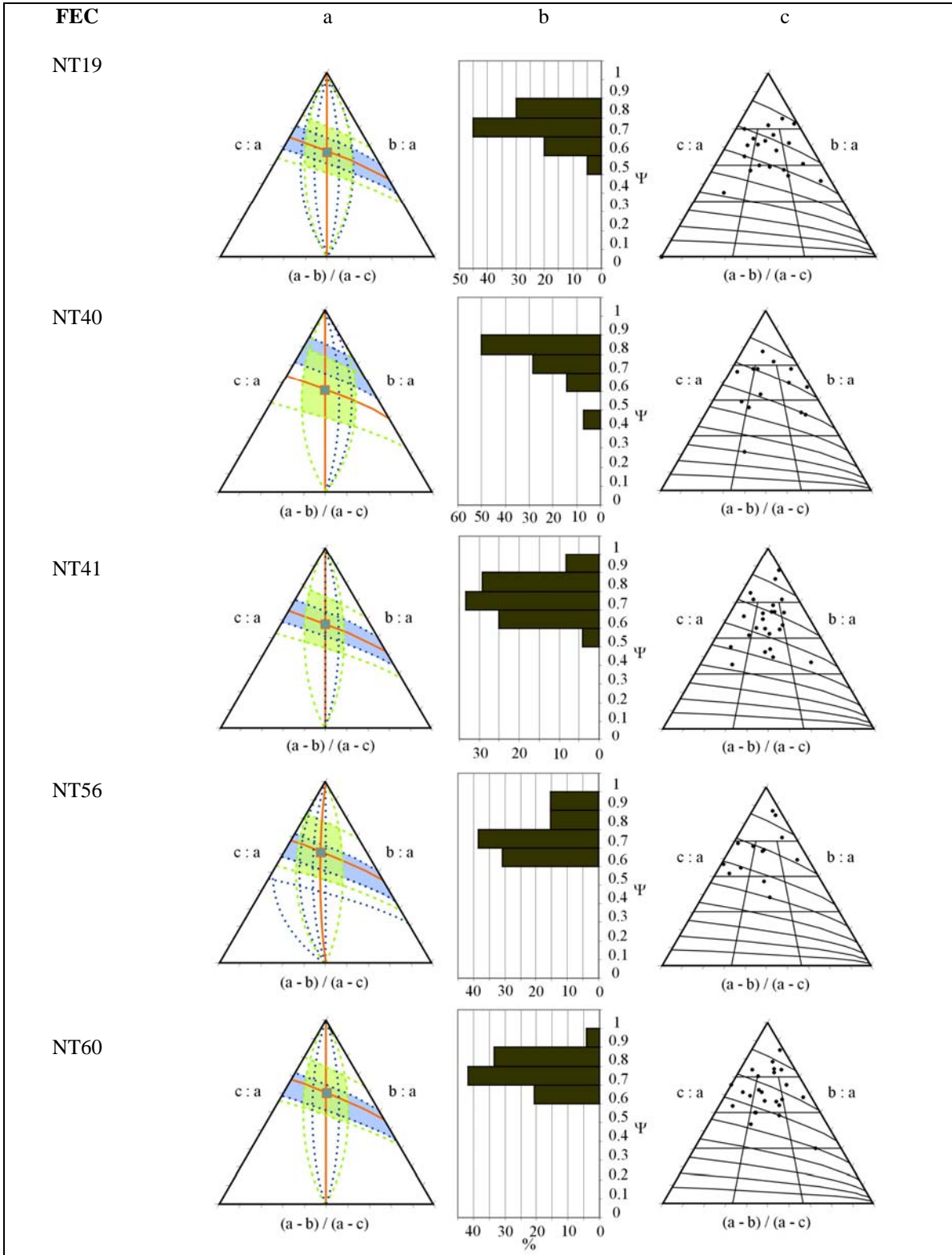


Figura VI.15. De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la esfericidad de las partículas tamaño canto de flujos de escombros cohesivos va de **compacta** a **muy compacta**.

Flujo de escombros no cohesivos

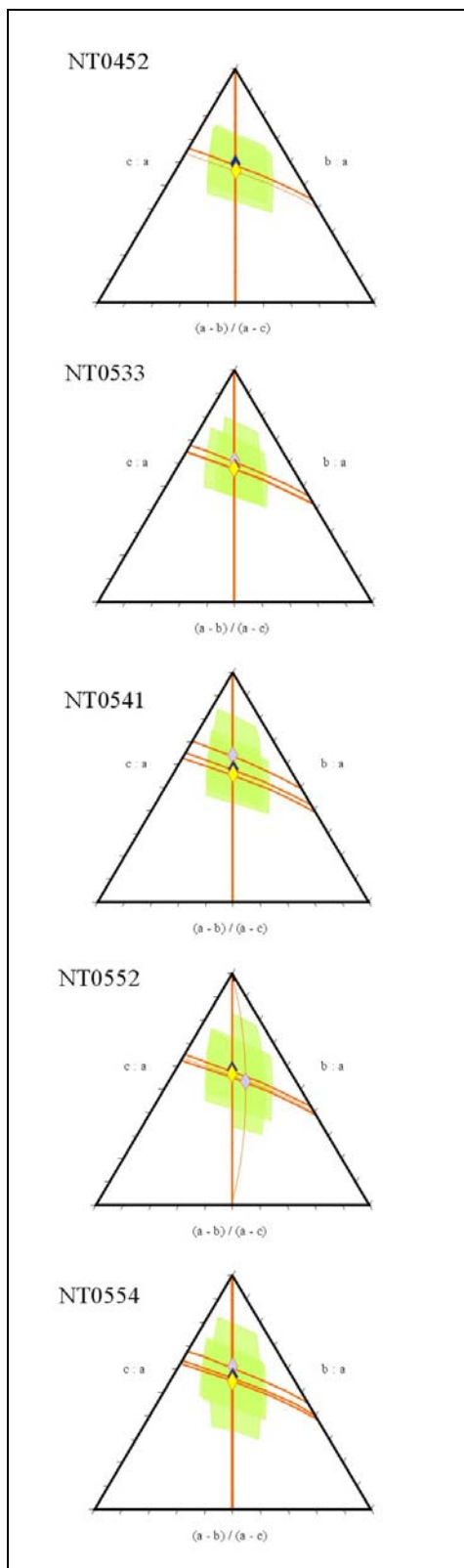


Figura VI.16. Variaciones de la forma y la esfericidad de las partículas con el tamaño de grano de los 5 afloramientos de cada uno de los depósitos de flujos de escombros no cohesivos se observan una tendencia generalizada a una compactación de las partículas a medida que aumenta el tamaño de las partículas. Tan solo se cuenta con la excepción del afloramiento NT0552 en el cual de guijarro a canto la tendencia cambia a partículas más aciculares.

El punto corresponde al valor medio (Amarillo, gránulo; Azul oscuro, guijarro; Azul claro, canto), la sombra verde corresponde al área de una desviación estándar.

Análisis de la forma en función del tamaño de las partículas de flujos de escombros no cohesivos:

Gránulo

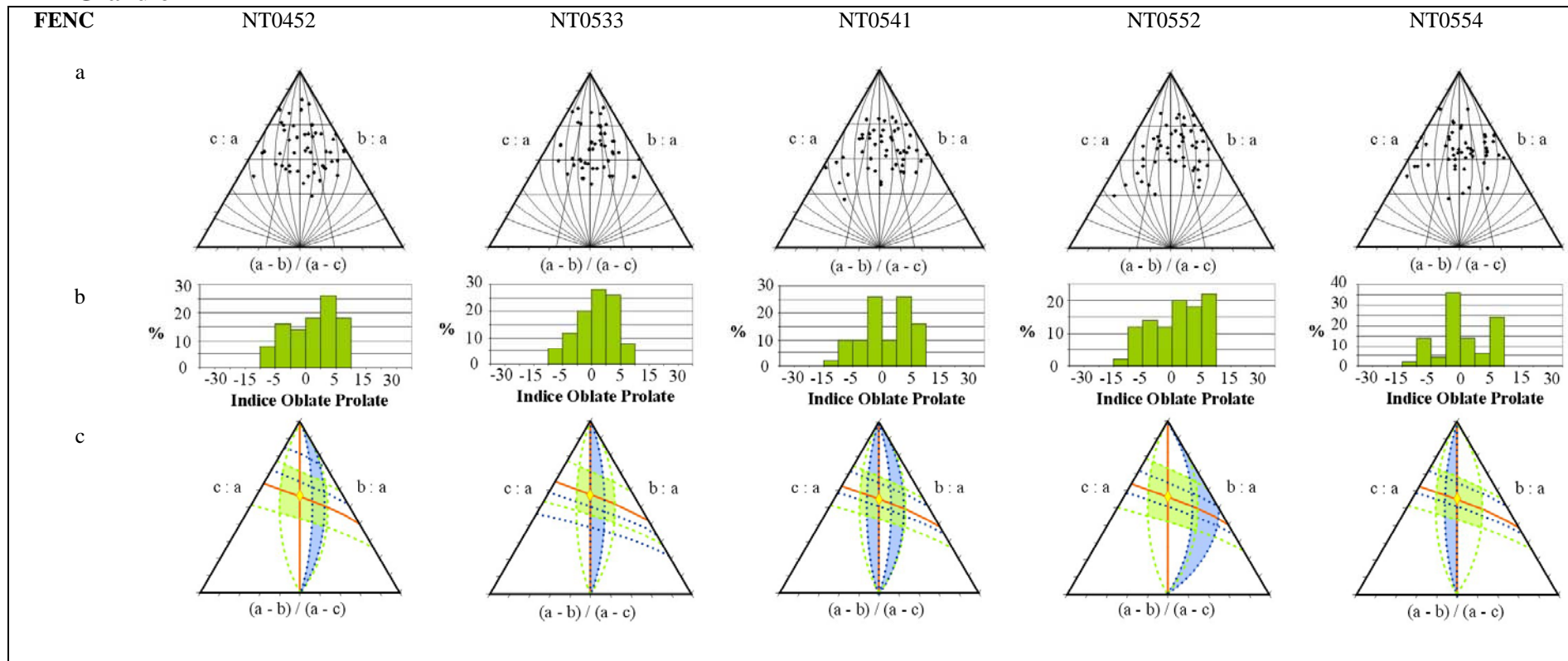


Figura VI.17. Análisis de la forma en función del tamaño de las partículas:

- a. Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función del índice *Oblate-Prolate*.
- b. Histograma de distribución de frecuencias del índice *Oblate-Prolate*.
- c. Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la forma de las partículas de la muestra.

De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la forma de las partículas tamaño grava modas pueden ser **acicular**, **hoja acicular**, **hoja subacicular** u **hoja subplanar**.

Guijarro

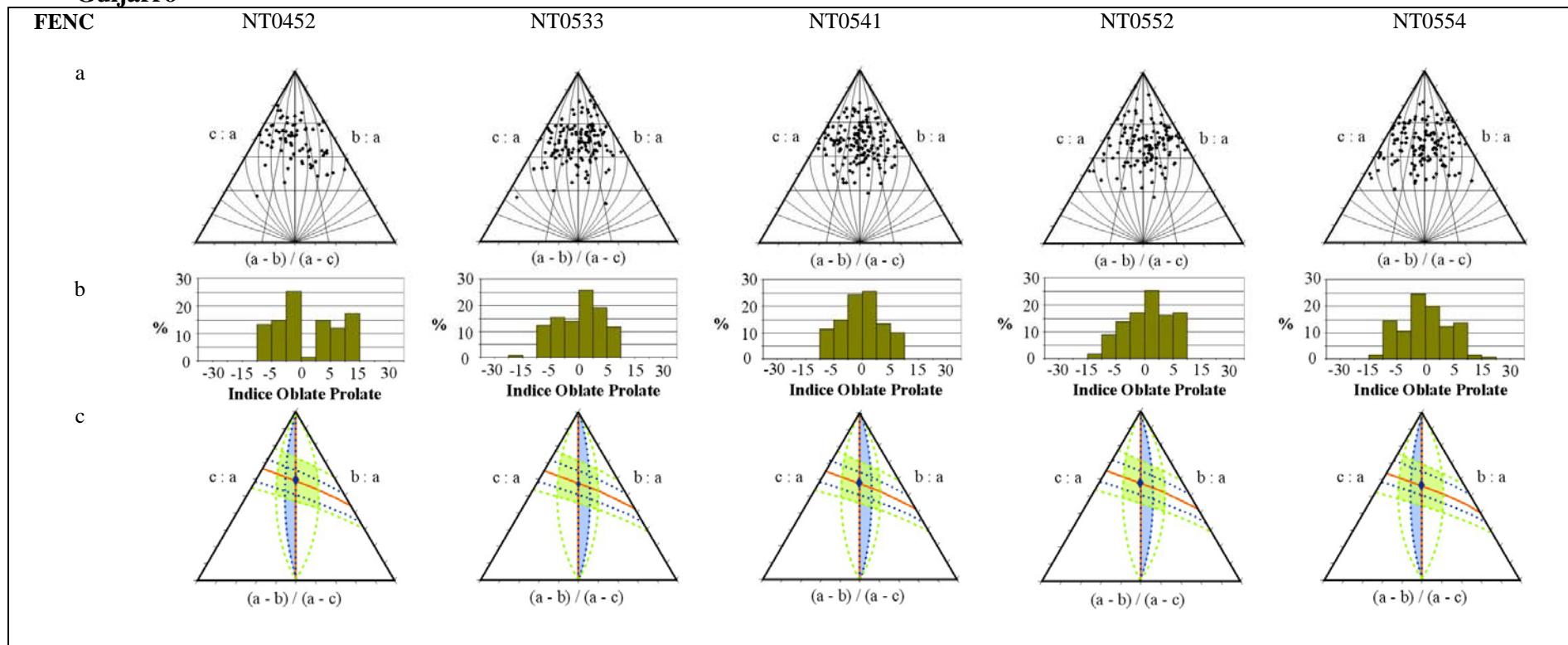


Figura VI.18. Análisis de la forma en función del tamaño de las partículas:

- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función del índice *Oblate-Prolate*.
- Histograma de distribución de frecuencias del índice *Oblate-Prolate*.
- Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la forma de las partículas de la muestra.

De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la forma de las partículas tamaño guijarro va de **hoja subacicular** a **hoja subplanar**.

Canto

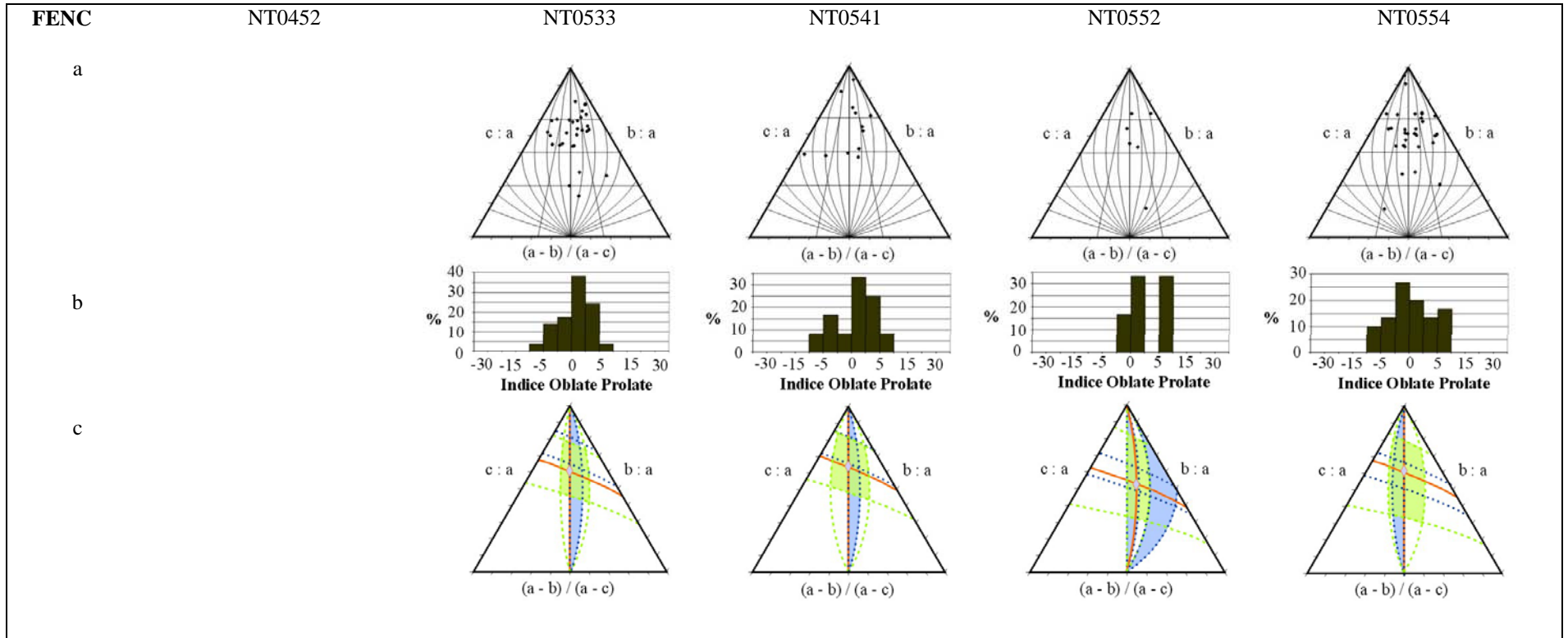


Figura VI.19. Análisis de la forma en función del tamaño de las partículas:

- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función del índice *Oblate-Prolate*.
- Histograma de distribución de frecuencias del índice *Oblate-Prolate*.
- Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la forma de las partículas de la muestra.

De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la forma de las partículas tamaño canto puede ser **acicular**, **hoja subacicular** o **hoja subplanar**.

Análisis de la esfericidad en función del tamaño de las partículas de los flujos de escombros no cohesivos:

A continuación se exponen una serie de gráficas visualizadas para cada intervalo de tamaños el siguiente análisis de la esfericidad en función del tamaño de las partículas:

- a. Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función de la Proyección de Máxima Esfericidad (Ψ).
- b. Histograma de frecuencias de la Proyección de Máxima Esfericidad (Ψ).
- c. Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la esfericidad de las partículas de la muestra.

Gránulo

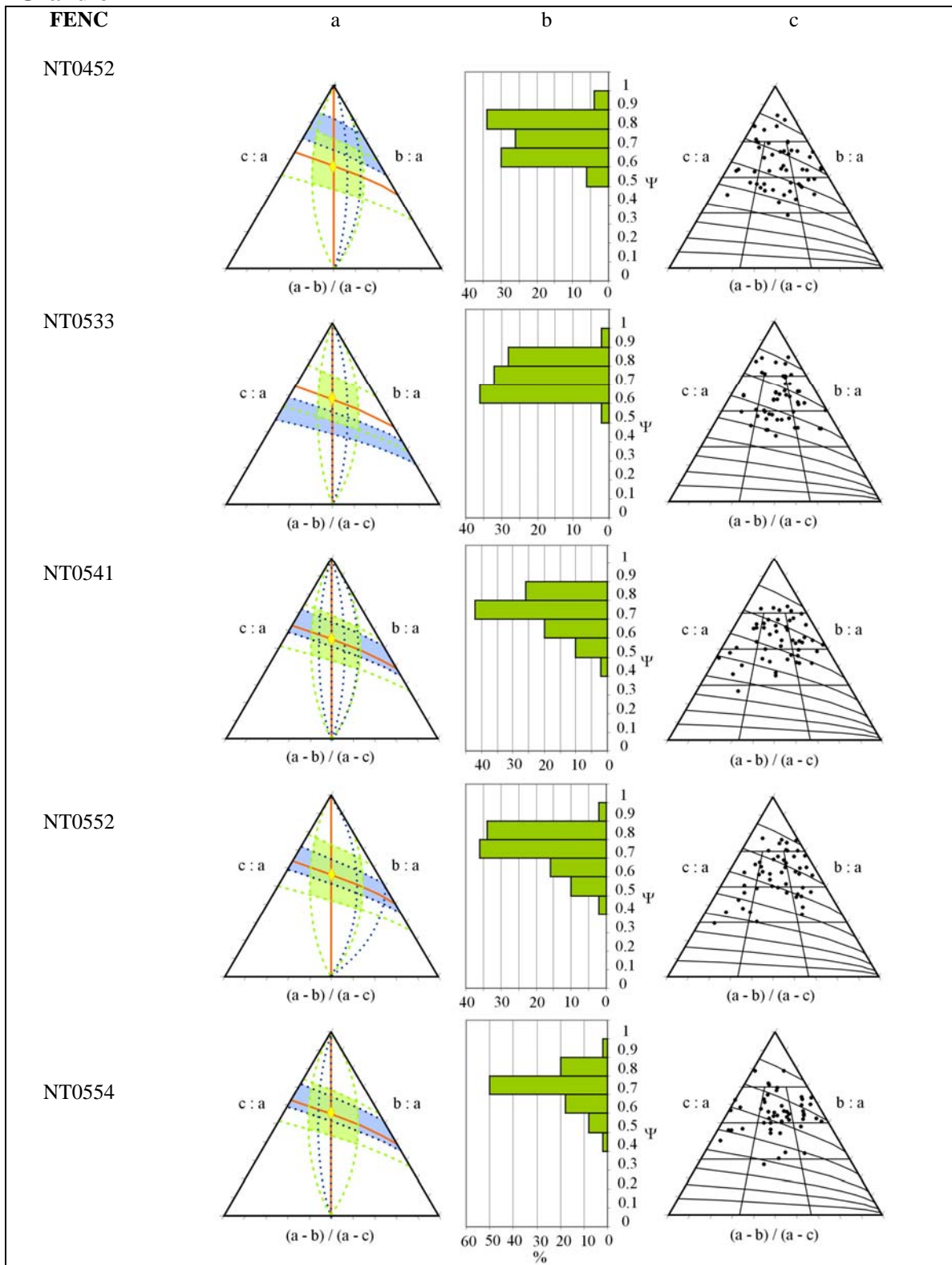


Figura VI.20. De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la esfericidad de las partículas tamaño gránulo de flujos de escombros no cohesivos puede ser **subcompacta**, **compacta** o **muy compacta**.

Guijarro

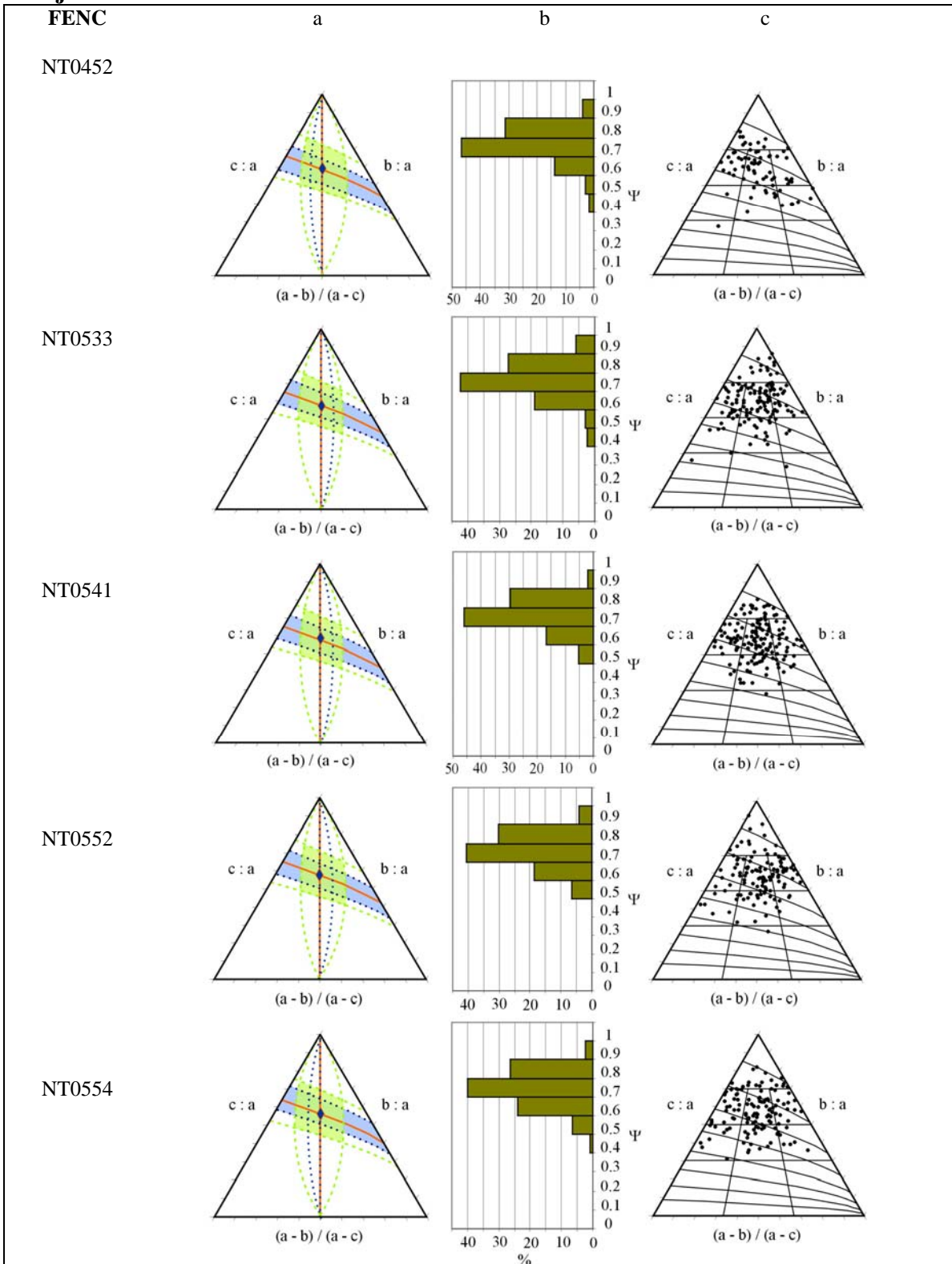


Figura VI.21. De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la esfericidad de las partículas tamaño guijarro de los flujos de escombros no cohesivos es **compacta**.

Canto

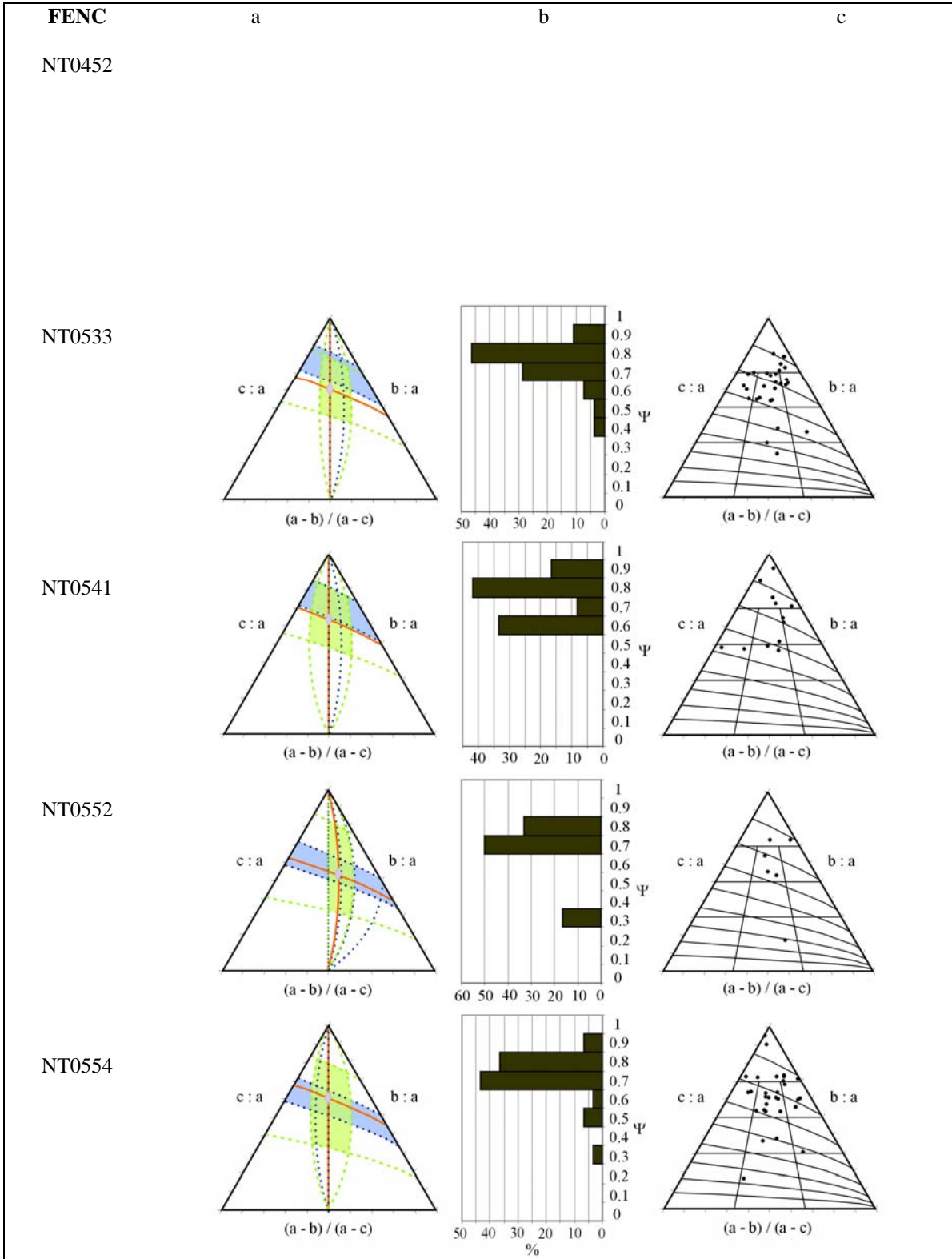


Figura VI.22. De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la esfericidad de las partículas tamaño canto de los flujos de escombros no cohesivos va de **compacta a muy compacta**.

Tills

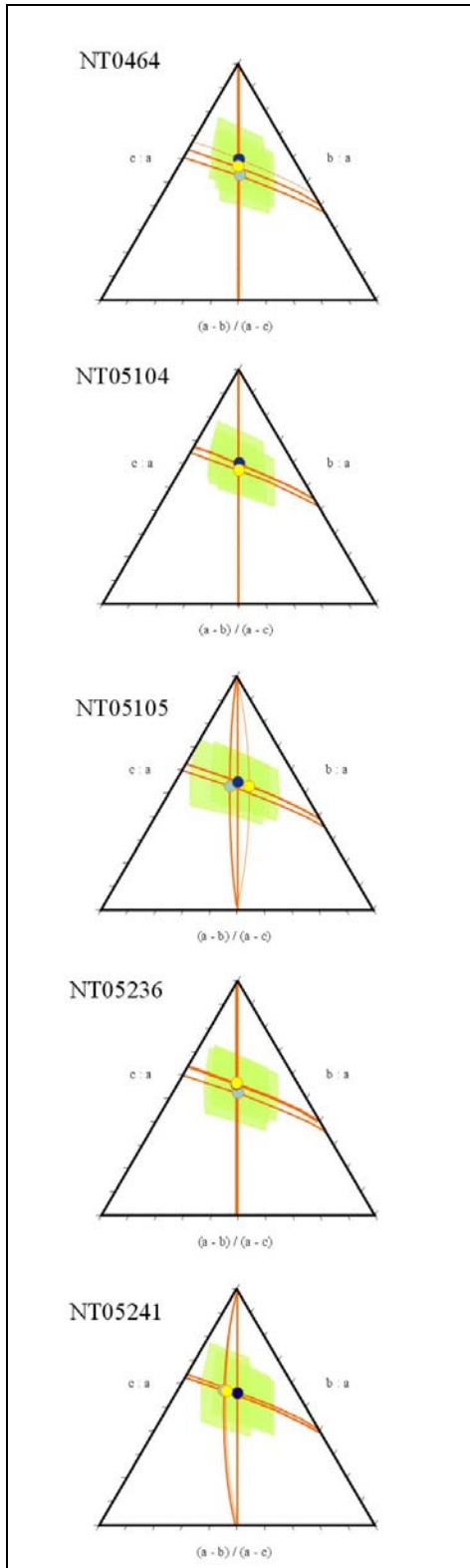


Figura VI.23. Variaciones de la forma y la esfericidad de las partículas con el tamaño de grano de los 5 afloramientos de cada uno de los depósitos de *tills* se observan una tendencia general a que las partículas sean más aplanadas y menos compactas con el incremento del tamaño. Pero concretamente se observa que de gránulo a guijarro no hay una tendencia fija, hay muestras que reflejan una mayor compactación sin variar la forma de la partícula (NT0464, NT05104), mientras que otras muestras manifiestan un empeoramiento en la compactación y ligeras variaciones en la forma, las cuales pueden ser a formas más aciculares (NT05241), más planares (NT05105) o conservar su forma (NT05236). Del mismo modo no hay una tendencia fija para los cambios de tamaños de guijarro a canto.

El punto corresponde al valor medio (Amarillo, gránulo; Azul oscuro, guijarro; Azul claro, canto), la sombra verde corresponde al área de una desviación estándar.

Análisis de la forma en función del tamaño de las partículas de los tills:

Gránulo

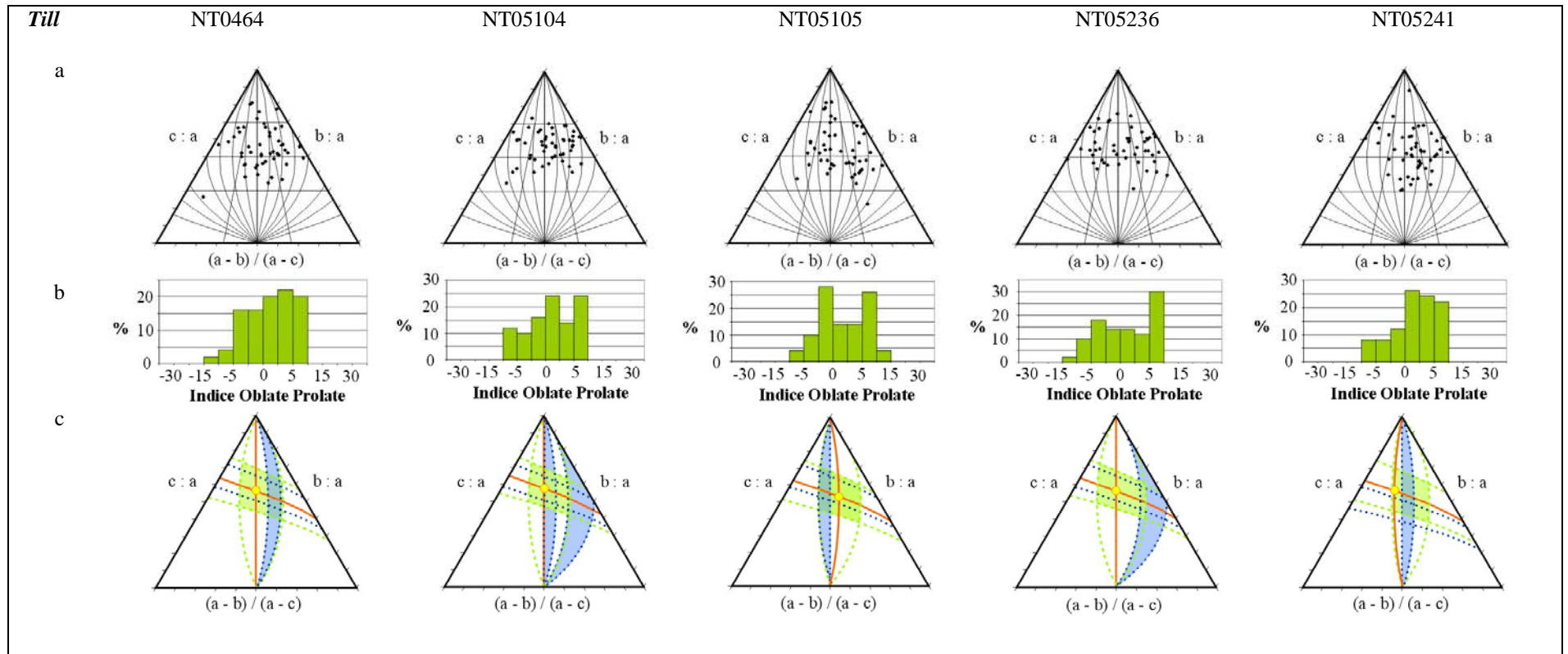


Figura VI.24. Análisis de la forma en función del tamaño de las partículas:

- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función del índice *Oblate-Prolate*.
- Histograma de distribución de frecuencias del índice *Oblate-Prolate*.
- Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la forma de las partículas de la muestra.

De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la forma de las partículas tamaño gránulo va de **acicular a hoja subacicular**, tan solo en la muestra NT05105 presenta una bimodalidad en **hoja subplanar** y en **acicular**.

Guijarro

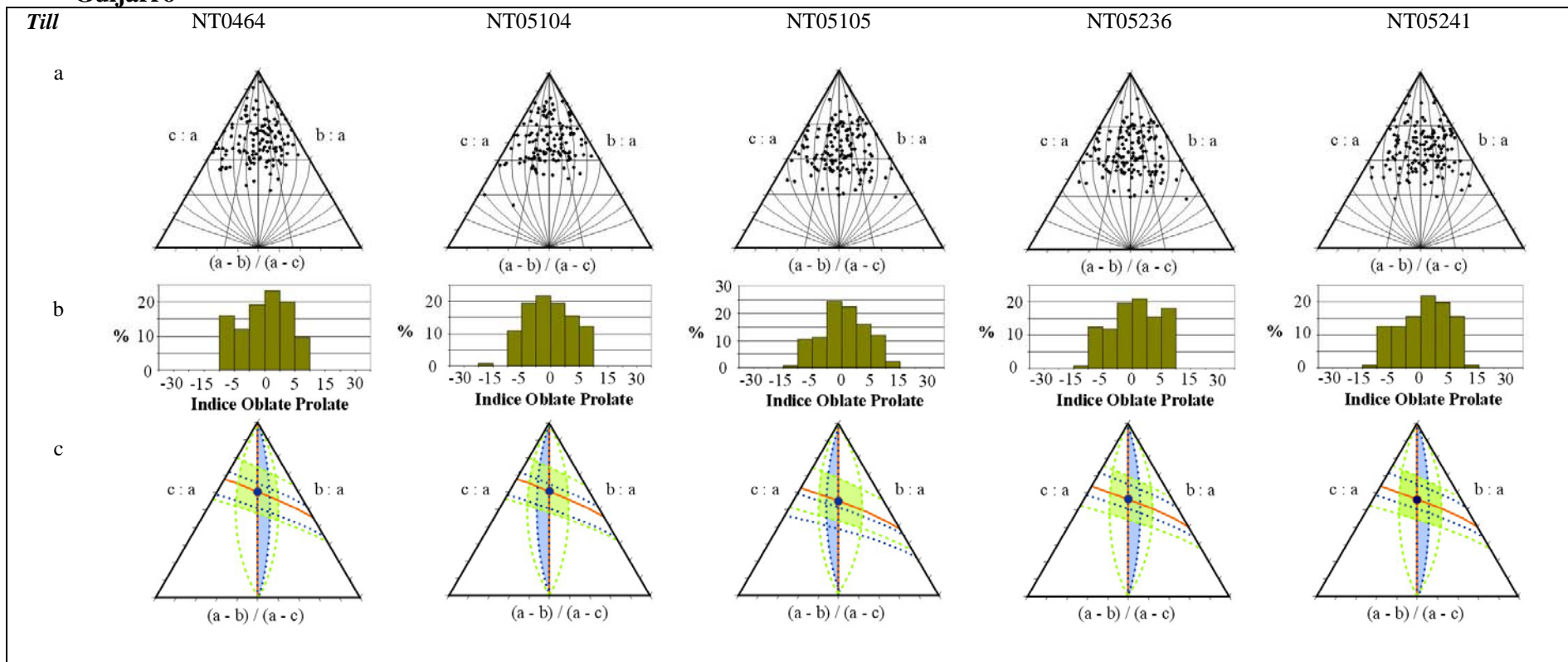


Figura VI.25. Análisis de la forma en función del tamaño de las partículas:

- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función del índice *Oblate-Prolate*.
- Histograma de distribución de frecuencias del índice *Oblate-Prolate*.
- Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la forma de las partículas de la muestra.

De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la forma de las partículas tamaño guijarro va de **hoja subacicular** a **hoja subplanar**.

Canto

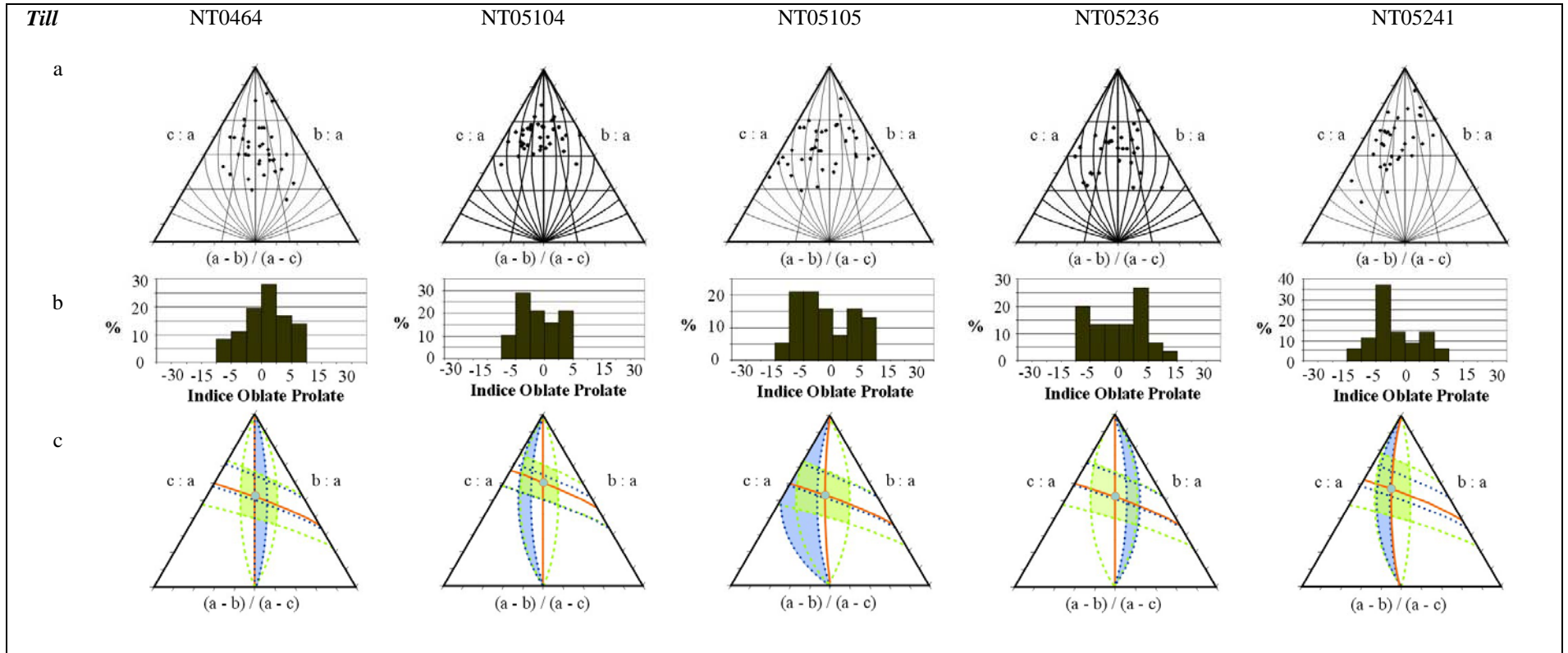


Figura VI.26. Análisis de la forma en función del tamaño de las partículas:

- Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función del índice *Oblate-Prolate*.
- Histograma de distribución de frecuencias del índice *Oblate-Prolate*.
- Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la forma de las partículas de la muestra.

De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la forma de las partículas tamaño canto puede ser **hoja acicular**, **hoja subacicular**, **hoja planar** o **planar**.

Análisis de la esfericidad en función del tamaño de las partículas de los *tills*:

A continuación se exponen una serie de gráficas visualizadas para cada intervalo de tamaños el siguiente análisis de la esfericidad en función del tamaño de las partículas:

- a. Proyección de los puntos en el diagrama triangular de Sneed & Folk y la distribución en función de la Proyección de Máxima Esfericidad (Ψ).
- b. Histograma de frecuencias de la Proyección de Máxima Esfericidad (Ψ).
- c. Resumen de resultados: media, desviación estándar y moda de la distribución de la esfericidad de las partículas de la muestra.

Gránulo

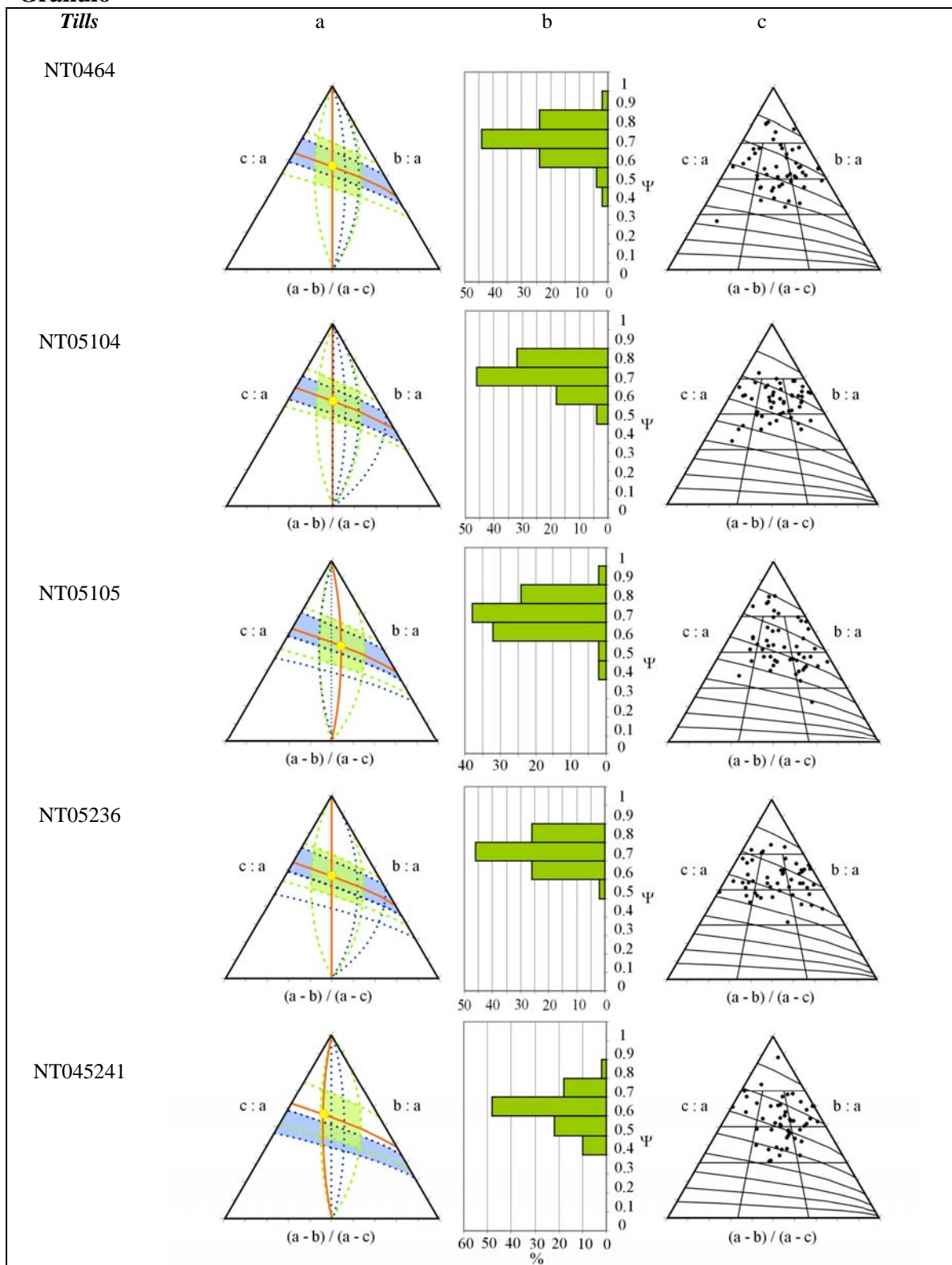


Figura VI.27 . De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la esfericidad de las partículas tamaño gránulo de *tills* es **compacta**.

Guijarro

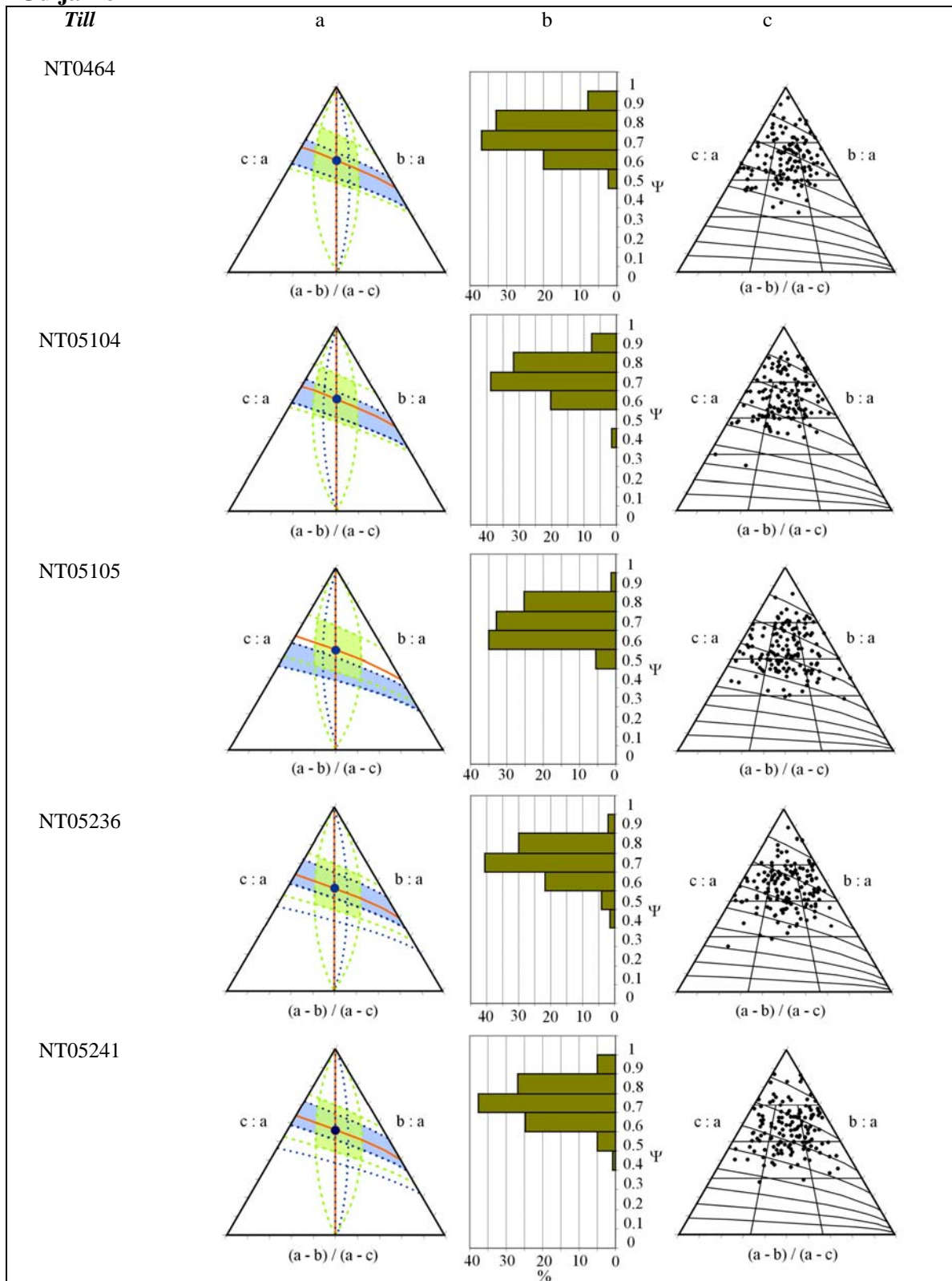


Figura VI.28. De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la esfericidad de las partículas tamaño guijarro de *tills* va de **compacta** a **subcompacta**.

Canto

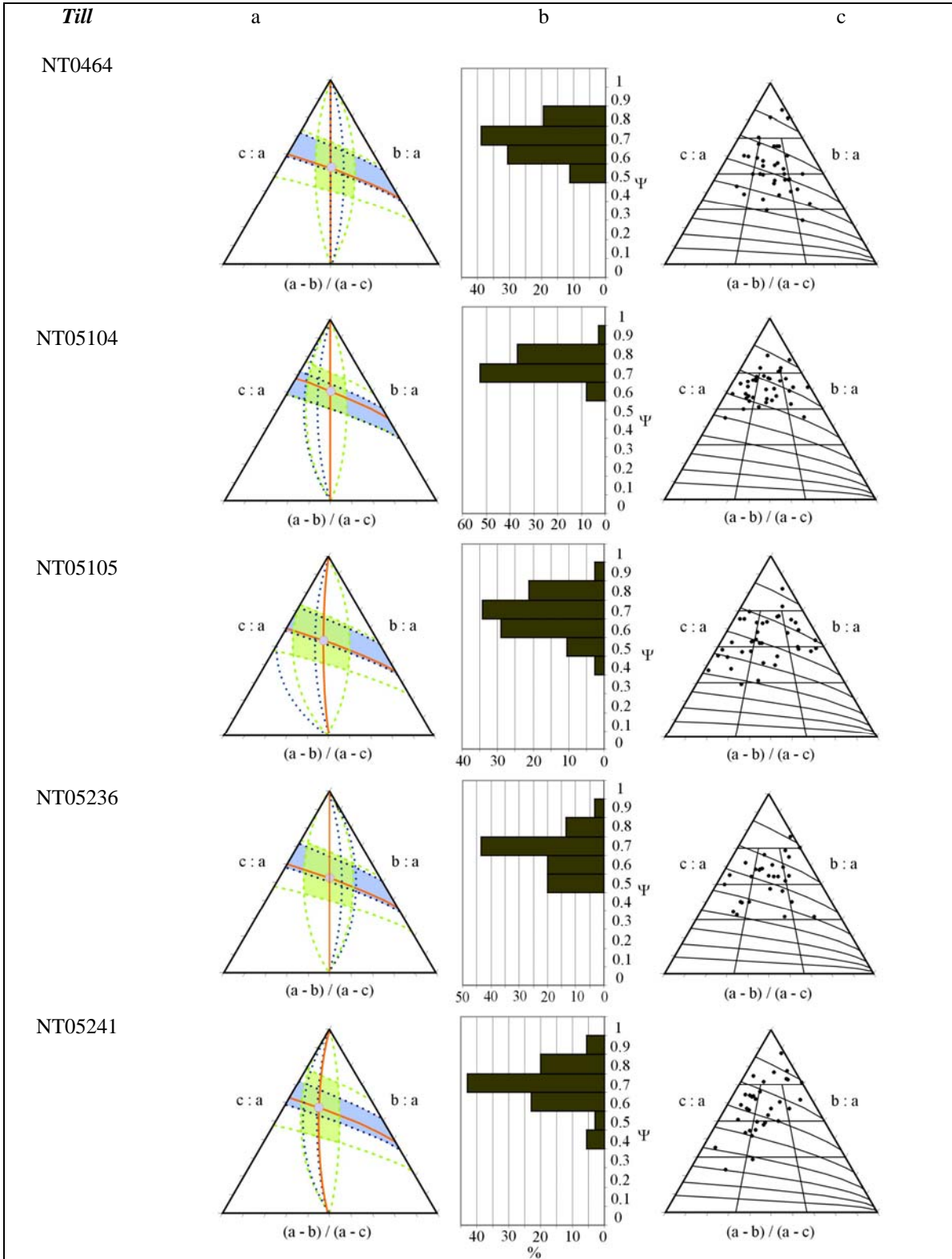


Figura VI.29. De este conjunto de gráficas se obtiene que la moda de la esfericidad de las partículas tamaño canto de los tills es **compacta**.

Anexo VII

Análisis de la redondez en función del tamaño de las partículas de los diferentes DVcS.

Avalancha de escombros (facies de matriz)		Redondez Wadell			Redondez Modificada de Wentworth	
NT0401	Gránulo	Md	0.37	subredondeadas	0.21	angulosas
	N=10	σ	0.08		0.08	
	Guijarro	Md	0.34	subredondeado	0.17	angulosas
	N=49	σ	0.09		0.08	
	Canto	Md	0.19	angulosas	0.08	extremadamente angulosas
	N=16	σ	0.06		0.03	
NT0405	Gránulo	Md	0.42	subredondeadas	0.25	angulosas
	N=10	σ	0.06		0.07	
	Guijarro	Md	0.38	subredondeadas	0.21	angulosas
	N=56	σ	0.11		0.12	
	Canto	Md	0.21	angulosas	0.08	extremadamente angulosas
	N=21	σ	0.07		0.04	
NT0406	Gránulo	Md	0.42	subredondeadas	0.21	angulosas
	N=10	σ	0.11		0.07	
	Guijarro	Md	0.42	subredondeadas	0.24	angulosas
	N=47	σ	0.08		0.06	
	Canto	Md	0.31	subangulosas	0.16	muy angulosas
	N=16	σ	0.06		0.07	
NT0408	Gránulo	Md	0.42	subredondeadas	0.26	subangulosas
	N=10	σ	0.09		0.09	
	Guijarro	Md	0.39	subredondeadas	0.23	angulosas
	N=43	σ	0.08		0.10	
	Canto	Md	0.30	subangulosas	0.13	muy angulosas
	N=19	σ	0.07		0.07	
NT0410	Gránulo	Md	0.36	subredondeadas	0.20	angulosas
	N=10	σ	0.09		0.05	
	Guijarro	Md	0.37	subredondeadas	0.23	angulosas
	N=41	σ	0.09		0.08	
	Canto	Md	0.34	subangulosas	0.18	angulosas
	N=15	σ	0.13		0.10	

Tabla VII.1. Valores de la media y desviación estándar de la redondez según los cálculos de Wadell y la Modificada de Wentworth para los diferentes rangos de grava de los todos los afloramientos de las facies de matriz de una avalancha de escombros.

Flujo de escombros cohesivos			Redondez Wadell		Redondez Modificada de Wentworth	
NT19	Gránulo	Md	0.25	subangulosas	0.12	muy angulosas
	N=10	σ	0.08		0.04	
	Guijarro	Md	0.37	subredondeadas	0.21	angulosas
	N=39	σ	0.09		0.09	
NT40	Canto	Md	0.43	subredondeadas	0.24	angulosas
	N=11	σ	0.10		0.09	
	Gránulo	Md	0.32	subangulosas	0.18	muy angulosas
	N=10	σ	0.03		0.05	
NT41	Guijarro	Md	0.41	subredondeadas	0.22	subangulosas
	N=36	σ	0.10		0.09	
	Canto	Md	0.34	subangulosas	0.16	muy angulosas
	N=12	σ	0.06		0.05	
NT56	Gránulo	Md	0.36	subredondeadas	0.23	partículas angulosas
	N=10	σ	0.06		0.08	
	Guijarro	Md	0.41	subredondeadas	0.25	subangulosas
	N=34	σ	0.10		0.10	
NT60	Canto	Md	0.31	subangulosas	0.14	muy angulosas
	N=13	σ	0.10		0.08	
	Gránulo	Md	0.32	subangulosas	0.15	muy angulosas
	N=10	σ	0.04		0.05	
NT56	Guijarro	Md	0.39	subredondeadas	0.22	subangulosas
	N=35	σ	0.10		0.12	
	Canto	Md	0.39	subredondeadas	0.21	angulosas
	N=12	σ	0.11		0.12	
NT60	Gránulo	Md	0.33	subangulosas	0.16	muy angulosas
	N=10	σ	0.08		0.07	
	Guijarro	Md	0.37	subredondeadas	0.20	angulosas
	N=35	σ	0.11		0.10	
NT60	Canto	Md	0.36	subredondeadas	0.18	angulosas
	N=13	σ	0.10		0.07	

Tabla VII.2. Valores de la media y desviación estándar de la redondez según los cálculos de Wadell y la Modificada de Wentworth para los diferentes rangos de grava de los todos los afloramientos de los flujos de escombros cohesivos.

Flujo de escombros no cohesivos			Redondez Wadell		Redondez Modificada de Wentworth	
NT0452B	Gránulo	Md	0.32	subangulosas	0.21	angulosas
	N=10	σ	0.09		0.08	
	Guijarro	Md	0.47	subredondeadas	0.33	subangulosas
	N=22	σ	0.13		0.17	
NT0533	Gránulo	Md	0.35	subredondeadas	0.17	angulosas
	N=10	σ	0.10		0.06	
	Guijarro	Md	0.35	subredondeadas	0.18	angulosas
	N=41	σ	0.10		0.10	
	Canto	Md	0.38	subredondeadas	0.20	angulosas
	N=12	σ	0.06		0.08	
NT0541	Gránulo	Md	0.36	subredondeadas	0.20	angulosas
	N=10	σ	0.10		0.09	
	Guijarro	Md	0.39	subredondeadas	0.24	angulosas
	N=41	σ	0.11		0.12	
	Canto	Md	0.38	subredondeadas	0.21	angulosas
	N=12	σ	0.09		0.08	
NT0552	Gránulo	Md	0.33	subangulosas	0.17	angulosas
	N=10	σ	0.06		0.08	
	Guijarro	Md	0.40	subredondeadas	0.25	subangulosas
	N=35	σ	0.13		0.16	
	Canto	Md	0.40	subredondeadas	0.23	angulosas
	N=6	σ	0.16		0.14	
NT0554D	Gránulo	Md	0.36	subredondeadas	0.19	angulosas
	N=10	σ	0.08		0.09	
	Guijarro	Md	0.41	subredondeadas	0.25	subangulosas
	N=39	σ	0.09		0.09	
	Canto	Md	0.41	subredondeadas	0.21	angulosas
	N=15	σ	0.08		0.10	

Tabla VII.3. Valores de la media y desviación estándar de la redondez según los cálculos de Wadell y la Modificada de Wentworth para los diferentes rangos de grava de los todos los afloramientos de los flujos de escombros no cohesivos.

Tills		Redondez Wadell			Redondez Modificada de Wentworth	
NT0464	Gránulo	Md	0.32	subangulosas	0.14	muy angulosas
	N=10	σ	0.08		0.08	
	Guijarro	Md	0.35	subredondeadas	0.19	angulosas
	N=44	σ	0.10		0.09	
NT05104	Gránulo	Md	0.35	subredondeadas	0.15	muy angulosas
	N=10	σ	0.08		0.08	
	Guijarro	Md	0.47	subredondeadas	0.30	subangulosas
	N=46	σ	0.28		0.20	
NT05105	Gránulo	Md	0.49	redondeadas	0.29	subangulosas
	N=10	σ	0.15		0.15	
	Guijarro	Md	0.40	subredondeadas	0.23	angulosas
	N=47	σ	0.10		0.10	
NT05236	Gránulo	Md	0.36	subredondeadas	0.22	angulosas
	N=17	σ	0.13		0.11	
	Guijarro	Md	0.40	subredondeadas	0.25	subangulosas
	N=10	σ	0.08		0.11	
NT05241	Gránulo	Md	0.33	subangulosas	0.16	muy angulosas
	N=10	σ	0.12		0.05	
	Guijarro	Md	0.35	subredondeadas	0.19	angulosas
	N=45	σ	0.08		0.09	
NT05241	Gránulo	Md	0.26	subangulosas	0.20	angulosas
	N=20	σ	0.05		0.08	
	Guijarro	Md	0.34	subangulosas	0.18	angulosas
	N=16	σ	0.08		0.08	

Tabla VII.4. Valores de la media y desviación estándar de la redondez según los cálculos de Wadell y la Modificada de Wentworth para los diferentes rangos de grava de los todos los afloramientos de *tills*.

Análisis de la redondez en función del tamaño de las partículas de las facies de matriz de las avalanchas de escombros:

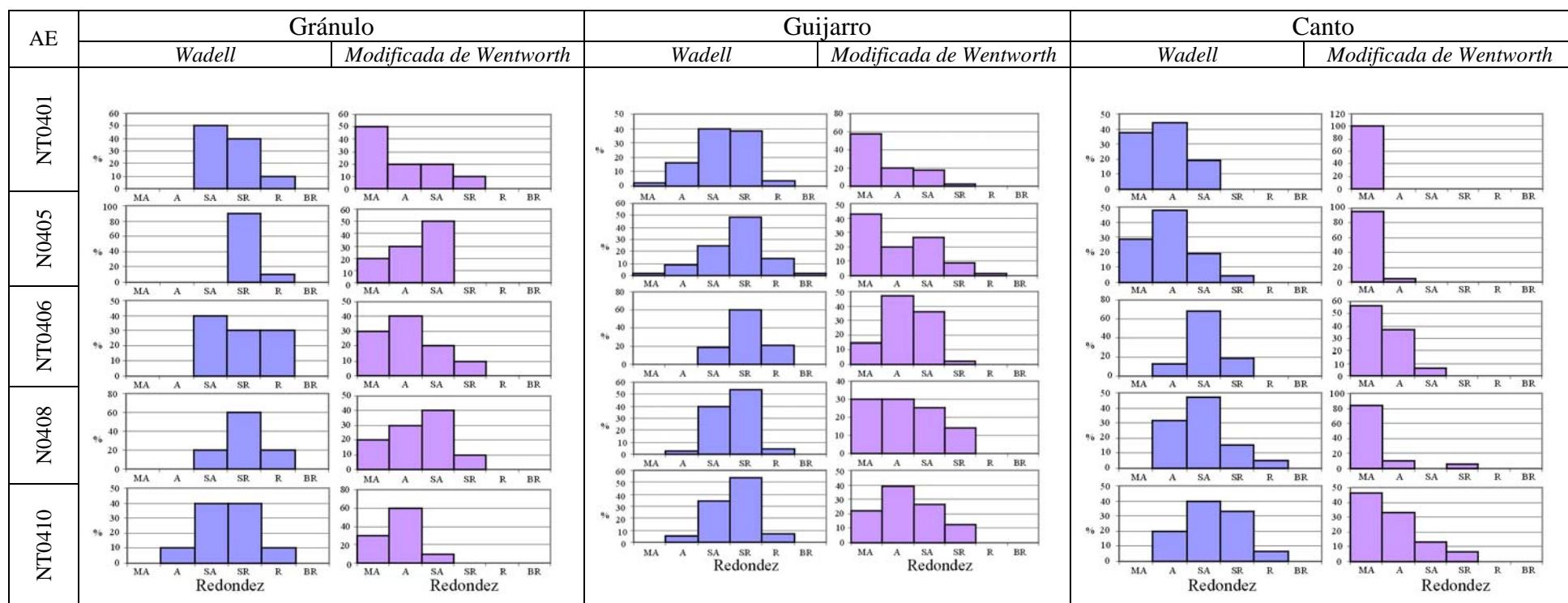


Figura VII.1.

La redondez de las partículas de las facies de matriz de las avalanchas de escombros varía según la fracción de tamaño que se analice. Para gránulo las partículas presentan valores medios de redondez claramente subredondeados (0.36-0.42) y sus modas pueden ser de subangulosas a subredondeadas, para guijarro los valores medios son subredondeados (0.35-0.42) con modas subredondeadas y para canto los valores medios son subangulosos (0.21-0.34) con modas angulosas y subangulosas.

Análisis de la redondez en función del tamaño de las partículas de los flujos de escombros cohesivos:

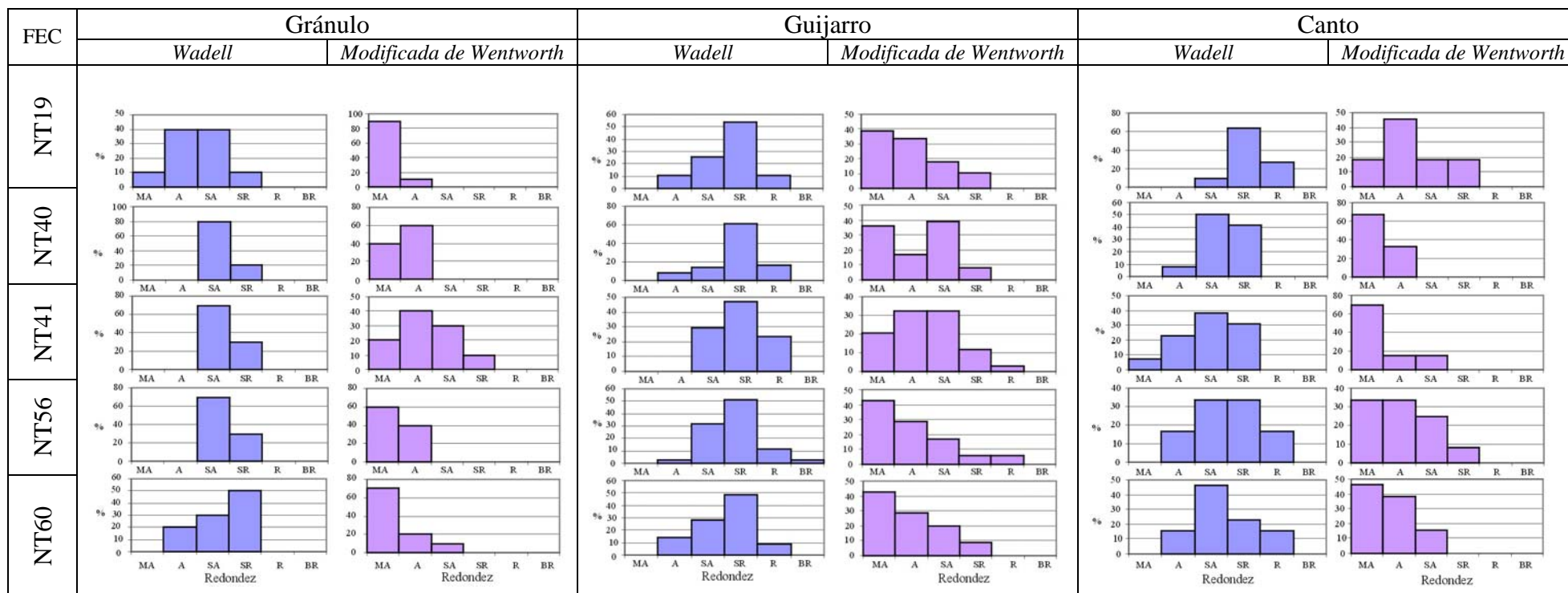


Figura VII.2.

La redondez de las partículas de los flujos de escombros cohesivos varía según la fracción de tamaño que se analice. Para gránulo las partículas tamaño granulo las medias pueden subangulosas, incluso subredondeadas (0.25-0.36) y sus modas pueden ser subangulosas o subredondeadas, para guijarro sus medias son subredondeadas (0.37-0.41) y así como sus modas, y para canto sus medias son de subangulosas a subredondeadas (medias comprendidas entre 0.31 y 0.43) y modas son subangulosas y subredondeadas.

Análisis de la redondez en función del tamaño de las partículas de los flujos de escombros no cohesivos:

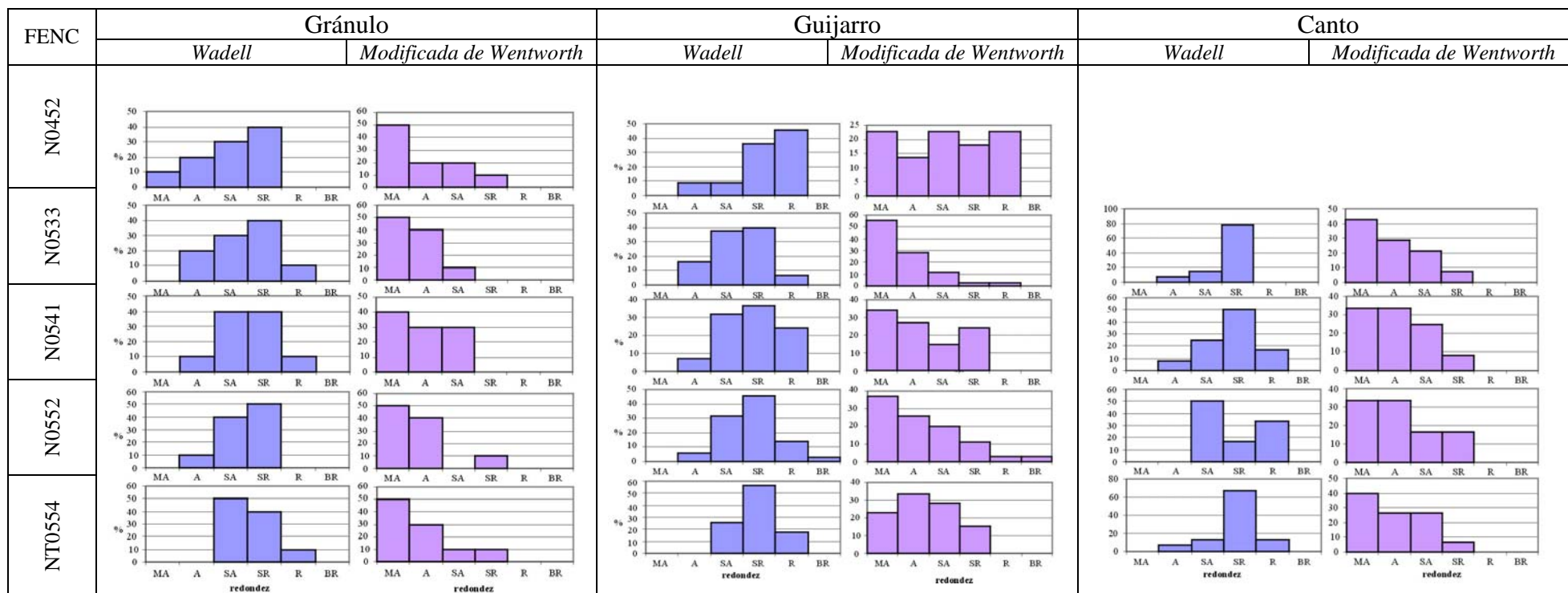


Figura VII.3.

La redondez de las partículas de los flujos de escombros no cohesivos varía según la fracción de tamaño que se analice. Para gránulo las partículas pueden ser de subangulosas a subredondeadas (media y moda) con valores de media entre 0.32 y 0.36, para guijarro presentan modas y medias subredondeadas (0.35-0.47) y para canto sus medias son subredondeadas con valores entre (0.38-0.41) y modas subredondeadas y subangulosas, solo una muestra (NT0552) presento bimodalidad entre subangulosas y redondeadas con una media subredondeada.

Análisis de la redondez en función del tamaño de las partículas de los *tills*:

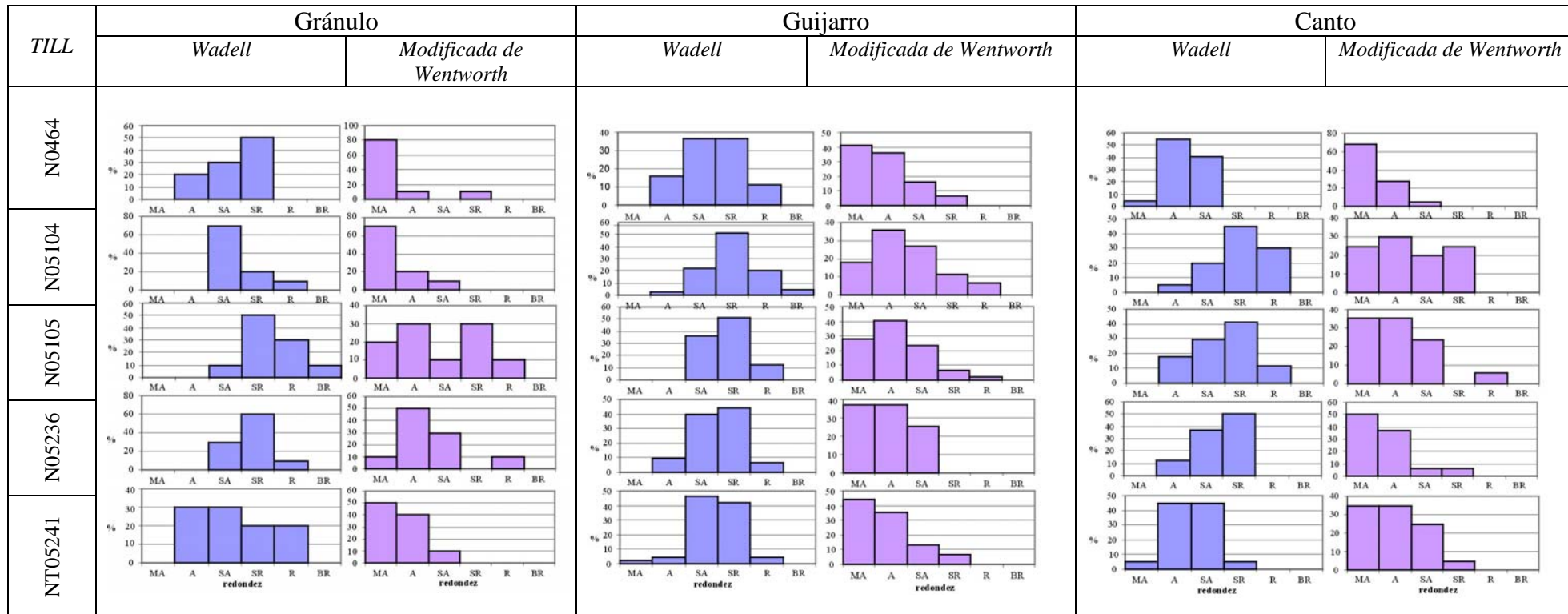


Figura VII.4.

La redondez de las partículas de los *tills* varía según la fracción de tamaño que se analice. Para gránulo las partículas pueden tener valores de media de subangulosas a redondeadas (0.32-0.49) y modas de angulosas a subredondeadas, para guijarro presentan medias subredondeadas (0.35-0.47) así como modas entre subangulosas a subredondeadas, para canto los valores medios de redondez van de angulosas a subredondeadas (0.23-0.43), sus modas igualmente presentan el mismo intervalo.

Anexo VIII

Análisis de la textura superficial en función del tamaño de las partículas de los diferentes DVcS.

AE	NT0401			NT0405			NT0406			NT0408			NT0410		
	cant.	guij.	gran.	cant.	guij.	gran.	cant.	guij.	gran.	cant.	guij.	gran.	cant.	guij.	gran.
Partículas con...															
... estrías	0.0	2.3	0	0.0	3.8	0	0.0	11.1	6	2.4	17.9	2	0.0	9.9	10
... surcos	0.0	3.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	4.9	0.7	2	0.0	3.0	2
... caras planas	0.0	72.7	90	7.1	48.5	36	43.8	74.5	72	82.9	78.6	86	20.0	62.4	74
... una cara plana	0.0	27.3	16	0.0	23.5	32	25.0	20.3	28	34.1	36.4	48	10.0	27.7	38
... mas de una cara plana	0.0	9.1	4	0.0	20.5	4	0.0	41.8	44	39.0	40.0	38	10.0	36.6	36
... superficies suavizadas	0.0	0.0	4	0.0	3.8	0	37.5	8.5	0	31.7	16.4	0	40.0	28.7	8
... caras planas pulidas	0.0	9.1	0	0.0	9.1	0	12.5	13.1	0	12.2	0.0	0	10.0	5.0	0
... caras planas sin pulir	0.0	75.0	100	100.0	90.9	100	18.8	7.8	100	9.8	94.3	100	70.0	30.7	2
... fracturas incipientes	0.0	5.3	4	0.0	1.5	6	0.0	2.0	0	0.0	2.1	0	0.0	8.9	0
... fracturas incipientes que intersectan	0.0	0.8	0	0.0	0.8	0									
... escalones (uno o mas)	0.0	0.0	4	0.0	2.3	0	0.0	7.2	0	26.8	14.3	0	10.0	15.8	2
... crestas													0.0	2.0	0
... ondulaciones															
... arañazos							0.0	2.0	2	9.8	1.4	0	10.0	5.9	2
... marcas de percusión															
... grietas															
... arrugas															
... aristas angulosas							0.0	0.7	0						
... aristas redondeadas															
... cortes frescos (no planos)															
... cortes rectos en bajo relieve	0.0	0.8	0												
... marcas de concavidad															
N	14	132	50	28	132	50	16	153	50	41	140	50	10	101	50

Tabla VIII.1. Textura superficial para cada fracción de grava de las diferentes muestras de facies de matriz de una avalancha de escombros.

FEC	NT19			NT40			NT41			NT56			NT60		
	cant.	guij.	gran.	cant.	guij.	gran.	cant.	guij.	gran.	cant.	guij.	gran.	cant.	guij.	gran.
Partículas con...															
... estrías	0.0	1.4	6	0.0	5.4	2	0.0	1.5	0	0.0	1.8	0	0.0	1.1	2
... surcos	0.0	1.4	8	0.0	2.2	6	4.2	2.3	2	0.0	3.6	0	0.0	1.1	0
... caras planas	70.0	43.6	72	84.6	70.7	58	70.8	74.8	76	7.7	68.8	70	79.2	66.0	58
... una cara plana	70.0	25.7	40	15.4	35.9	30	16.7	31.3	26	15.4	22.3	30	33.3	24.5	6
... mas de una cara plana	20.0	25.0	30	53.8	20.7	26	54.2	38.2	50	23.1	43.8	38	41.7	41.5	30
... superficies suavizadas	40.0	21.4	10	38.5	22.8	16	37.5	21.4	26	23.1	17.0	20	25.0	12.8	6
... caras planas pulidas	25.0	13.6	4	7.7	15.2	4	29.2	26.0	12	15.4	8.0	10	12.5	14.9	6
... caras planas sin pulir	30.0	15.7	10	23.1	9.8	96	20.8	16.0	2	30.8	20.5	84	45.8	19.1	2
... fracturas incipientes				0.0	1.1	0	0.0	0.8	0	0.0	0.9	0	0.0	1.1	0
... fracturas incipientes que intersectan															
... escalones (uno o mas)	5.0	3.6	12	7.7	14.1	6	12.5	0.8	4	7.7	4.5	6	8.3	3.2	0
... crestas															
... ondulaciones															
... arañazos	0.0	0.7	2	7.7	2.2	0	4.2	2.3	0	7.7	0.0	0	8.3	2.1	0
... marcas de percusión	0.0	0.0	2												
... grietas	5.0	1.4	8	0.0	3.3	0	0.0	0.8	0						
... arrugas	0.0	0.7	0							7.7	0.0	0			
... aristas angulosas															
... aristas redondeadas															
... cortes frescos (no planos)	0.0	4.3	0	0.0	1.1	0	0.0	0.8	0	0.0	1.8	2	0.0	0.0	2
... cortes rectos en bajo relieve															
... marcas de concavidad															
N	20	140	50	13	92	50	24	131	50	13	112	50	24	94	50

Tabla VIII.2. Textura superficial para cada fracción de grava de las diferentes muestras de flujos de escombros cohesivos.

FENC	NT0452			NT0533			NT0541			NT0552			NT0554		
	cant.	guij.	gran.	cant.	guij.	gran.	cant.	guij.	gran.	cant.	guij.	gran.	cant.	guij.	gran.
Partículas con...															
... estrías				0.0	5.9	0	0.0	3.4	2	0.0	0.8	0	6.9	2.4	0
... surcos	0.0	0.0	0	0.0	0.7	0	0.0	4.7	2	0.0	0.8	0	3.4	7.1	6
... caras planas	0.0	94.7	50	55.2	48.5	34	58.3	71.6	40	50.0	39.8	48	58.6	68.3	66
... una cara plana	0.0	28.0	28	44.8	26.5	26	41.7	31.8	22	33.3	26.8	28	31.0	35.7	42
... mas de una cara plana	0.0	29.3	18	6.9	20.6	6	16.7	28.4	18	16.7	11.4	20	24.1	31.0	18
... superficies suavizadas	0.0	5.3	8	6.9	6.6	2	16.7	5.4	0	16.7	18.7	4	17.2	19.0	20
... caras planas pulidas	0.0	12.0	0	0.0	9.6	4	16.7	18.2	2	0.0	6.5	0	20.7	19.8	4
... caras planas sin pulir	0.0	8.0	42	3.4	2.2	0	8.3	48.0	98	33.3	12.2	4	0.0	22.2	12
... fracturas incipientes				3.4	2.2	0	16.7	2.7	0	0.0	0.8	0	13.8	0.0	0
... fracturas incipientes que intersectan															
... escalones (uno o mas)	0.0	2.7	6	6.9	8.1	0	8.3	13.5	14	0.0	3.3	4	20.7	9.5	10
... crestas													3.4	0.0	0
... ondulaciones															
... arañazos	0.0	1.3	2	0.0	0.7	0							0.0	0.8	4
... marcas de percusión													13.8	2.4	0
... grietas															
... arrugas															
... aristas angulosas															
... aristas redondeadas															
... cortes frescos (no planos)	0.0	0.0	6							16.7	0.0	0			
... cortes rectos en bajo relieve															
... marcas de concavidad							0.0	1.4	0						
N	0	75	50	29	136	50	12	148	50	6	123	50	29	126	50

Tabla VIII.3. Textura superficial para cada fracción de grava de las diferentes muestras de flujos de escombros no cohesivos.

TILL	NT0464			NT05104			NT05105			NT05236			NT05241		
	cant.	guij.	gran.	cant.	guij.	gran.	cant.	guij.	gran.	cant.	guij.	gran.	cant.	guij.	gran.
Partículas con...															
... estrías				0.0	2.5	0	2.6	8.0	4	6.7	7.7	0	5.7	2.8	2
... surcos	2.8	2.4	0	7.9	5.9	0	5.3	3.6	2	6.7	0.7	4	2.9	3.5	2
... caras planas	22.2	48.8	52	47.4	58.5	56	36.8	60.1	58	80.0	45.1	44	68.6	77.3	64
... una cara plana	11.1	33.6	42	31.6	38.1	32	10.5	23.2	44	30.0	30.3	22	48.6	32.6	32
... mas de una cara plana	11.1	13.6	8	10.5	20.3	24	23.7	36.2	14	40.0	23.2	22	17.1	41.1	18
... superficies suavizadas	2.8	11.2	0	34.2	5.1	0	15.8	10.9	0	10.0	6.3	4	31.4	6.4	18
... caras planas pulidas	5.6	7.2	0	21.1	15.3	6	21.1	26.8	6	13.3	19.7	14	54.3	7.8	0
... caras planas sin pulir	5.6	20.8	4	15.8	0.0	0	13.2	3.6	0	20.0	16.9	8	8.6	2.8	0
... fracturas incipientes	0.0	0.8	0	0.0	1.7	0	0.0	0.7	0	0.0	0.7	0	2.9	1.4	0
... fracturas incipientes que intersectan															
... escalones (uno o mas)	0.0	2.4	2	7.9	5.1	2	13.2	3.6	0	26.7	4.9	0	2.9	7.8	2
... crestas													0.0	0.0	2
... ondulaciones										6.7	0.0	0			
... arañazos	0.0	0.8	0							13.3	0.0	0	0.0	1.4	2
... marcas de percusión															
... grietas															
... arrugas															
... aristas angulosas													2.9	0.7	0
... aristas redondeadas				7.9	0.0	0				6.7	0.0	0	2.9	0.7	0
... cortes frescos (no planos)	8.3	1.6	0				5.3	0.0	0				0.0	0.7	0
... cortes rectos en bajo relieve															
... marcas de concavidad															
N	36	125	50	38	118	50	38	138	50	30	142	50	35	141	50

Tabla VIII.4. Textura superficial para cada fracción de grava de las diferentes muestras de *tills*.

BIBLIOGRAFIA

- Ashley, G.M., Shaw, J., Smith, N.D.**, 1985, Glacial sedimentary environments: Tulsa, Society of Paleontologists and Mineralogists.
- Barrett, P.J.**, 1980, The shape of rock particles, a critical review: *Sedimentology*, 27, 291-303.
- Benn, D.I.**, 1994, Fabric shape and the interpretation of sedimentary fabric data: *Journal of Sedimentary Research*, A64(4), 910-915.
- Benn, D.I.**, 2004_a, Clast morphology, *in* Evans, D.J.A. & Benn, D.I (eds.), *A Practical Guide to the study of glacial sediments*: London, Arnold.
- Benn, D.I.**, 2004_b, Macrofabric, *in* Evans, D.J.A. & Benn, D.I (eds.), *A Practical Guide to the study of glacial sediments*: London, Arnold.
- Benn, D.I. & Ballantyne, C.K.**, 1994, Reconstructing the transport history of glaciogenic sediments- a new approach based on the covariance of clast form indices: *Sedimentary Geology*, 91(1-4), 215-227.
- Benn, D.I., Evans, D.J.A.**, 1998, *Glaciers and glaciations*: London, Arnold.
- Benn, D.I., Owen, L.A.**, 2002, Himalayan glacial sedimentary environments: a framework for reconstructing and dating the former extent of glaciers in high mountains: *Quaternary International*, 97-98, 3-25.
- Benn, D.I., Ringrose, T.**, 2001, Random variation of fabric eigenvalues: implications for the use of a-axis fabric data to differentiate till facies: *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, 295-306p.
- Beverage, R.W., Culbertson, J.K.**, 1964, Hyperconcentrations of suspended sediments: *Proceedings of American Society of Civil Engineers: Journal of Hydraulics Division*, 190(HY6), 117-128.
- Blackwelder, E.**, 1930, Striated boulders as evidence of glacial action: *Bulletin of the Geological Society of America*, 41, 154.
- Boulton, G.S.**, 1978, Boulder shapes and grain-size distributions of debris as indicators of transport paths through a glacier and till genesis: *Sedimentology*, 25(6), 773-798.
- Bradley, W.C., Fahnestock, R.K., Rowekamp, E.T.**, 1972, Coarse sediment transport by flood flows on Knik River Alaska: *Geological Society of America Bulletin*, 83, 1261-84.
- Caballero García, A.M.L.**, 2007, Análisis textural del depósito de avalancha de escombros "El Zaguán", Volcán Nevado de Toluca: Dinámica de transporte y mecanismo de emplazamiento: México, D.F., Instituto de Geofísica, Posgrado en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis de Maestría, 107p.
- Capra, L.**, 2000, Colapsos de edificios volcánicos: transformación de avalanchas de escombros en flujos de escombros cohesivos. Los casos del Monte Santa Elena (EEUU), Nevado de Toluca y Nevado de Colima (México). Tesis Doctoral. Posgrado en Ciencias de la Tierra. Mexico, D.F., Universidad Nacional Autonoma de Mexico (U.N.A.M.).
- Capra, L.**, 2004, Sedimentological discrimination diagrams for debris-flow and debris-avalanche: a useful tool?, *in* 32nd International Geological Congress, Florencia, 20-28 de agosto del 2004.
- Capra, L., Macias, J.L.**, 2000, Pleistocene cohesive debris flows at Nevado de Toluca Volcano, central Mexico: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 102, 149-168.

- Capra, L., Poblete, M.A., Alvarado, R.,** 2004, The 1997 and 2001 lahars of Popocatepetl volcano (Central Mexico): textural and sedimentological constraints on their origin and hazards: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 131, 351-369.
- Carrasco Núñez, G., Vallance, J.W. Rose, W.I.,** 1993, A voluminous avalanche-induced lahar from Citlaltépetl volcano, México: Implications for hazard assessment: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 59, 35-46.
- Cas, R.A.F., Wright, J.V.,** 1987, *Volcanic successions. Modern and ancient*: London, Allen & Unwin, 528p.
- Costa, J.E.,** 1988, Rheologic, geomorphic and sedimentologic differentiation of water floods, hiperconcentrated flows and debris flows, *in* Baker, V.R., Kochel, R.C., Patton, P.C. (eds.), *Flood Geomorphology*: Wiley, 113-122.
- Crandell, D.R.,** 1971, Postglacial lahars from Mount Rainier Volcano, Washington: *Geological Survey Professional Paper*, 677, 75.
- Crandell, D.R., Miller, C. D., Gicken, H.X., R.L, Christiansen, Newhall, C.G,** 1984, Catastrophic debris avalanche from ancestral Mount Shasta volcano, California. *Geology*, 12, 143-146.
- Davis, J.C.,** 2002, *Statistics and Data Analysis in Geology*: John Wiley & Sons.
- de Beni, E.,** 2001, *Evolucione Geológica del vulcano Nevado de Toluca, Messico. Analisis stratigrafica, petrografica e geoquimica*: Milano, Università degli studi di Milano, Tesi di Laurea, 266p.
- Day, S.J.,** 1996, Hydrothermal pore fluid pressure and the stability of porous, permeable volcanoes. *in* Mc Guire, W.J., Jones, A.P., Neuberg, J. (eds.), *Volcano instability on the Earth and other planets*: Geological Society Special Publication. **110**: 77-93.
- Dobkins, J.E., Folk, R.L.,** 1970, Shape development o Tahiti-Nui: *Journal of Sedimentary Petrology*, 40, 1167-1203.
- Dowdeswell, J.A., Hambrey, M.J., Wu, R.,** 1985, A comparison of clast fabric and shape in Late Precambrian and modern glacial sediments: *Journal of Sedimentary Petrology*, 55(5), 691-704.
- Elhers, J.,** 1996, *Quaternary and Glacial Geology*: John Wiley & Sons.
- Evans, D.J.A.,** 2001, *Glaciers: Progress in Physical Geography*, 25(3), 428-439.
- Eyles, N. & Rogerson, R.J.,** 1977, Glacier movement, ice structures, and medial moraine form at a glacier confluence, Berendon Glacier, British Columbia, Canada: *Canadian Journal of Earth Sciences*, 14(12), 2807-2816.
- Fisher, R.V.,** 1966, Rocks composed of volcanic fragments and their classification: *Earth-Sciences Reviews*, 1, 287-298
- Fisher, R.V., Smith, G.A.,** 1991, Volcanism, tectonics and sedimentation, *in* Fisher, R.V., Smith, G.A. (eds.), *Sedimentation in volcanic settings*: Tulsa, Oklahoma, SEPM (Society for Sedimentary Geology) Special Publication, 45, 1-5.
- Folk, R.L.,** 1954, The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature: *Journal of Geology*, 62, 344-359.
- Folk, R.L.,** 1955, Students operator error in determination of roundness, sphericity, and grain size: *Journal of Sedimentary Petrology*, 25, 297-301.
- Folk, R.L.,** 1966, A review of grain-size parameters: *Sedimentology*, 6, 73-93.
- Folk, R.L.,** 1974, *Petrology of sedimentary rocks*: Austin, Texas, Hemphill Publishing Company, 105p.
- Folk, R.L., Ward, W.C.,** 1957, Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters: *Journal of Sedimentary Petrology*, 27(1), 3-26.

- Friedman, G.M., 1962**, On sorting coefficients, and the lognormality of the gran-size distribution of sandstones: *Journal of Geology*, 70, 737-756.
- Fregenal, M., López Gómez, J., Martín Chivelet, J.;** 2000; *Ciencias de la Tierra*. Dictionarios Oxford-Complutense, Editorial Complutense.
- Gale, S.J., Hoare, P.G.,** 1991, *Quaternary Sediments. Petrographic Methods for the Study of Unlithified Rocks*: Belhaven Press.
- García Palomo, A., Macias, J.L., Capra, L., Garduño, V.H., Espindola, J.M.,** 2002, *Geology of Nevado de Toluca Volcano and surrounding areas, central México*: Boulder, Colorado, Geological Society of America, Map and Chart Series MCH089.
- Glicken, H.,** 1996, Rockslide-debris avalanche of May 18, 1980, Mount St. Helens Volcano, Washington: U. S. Geological Survey Open File Report, 96-677, 90 p.
- Graham, D.J., Midgley, N.G.,** 2000, Technical communication graphical representation of particle shape using triangular diagrams: an excel spreadsheet method: *Earth Surface Processes and Landforms*, 25, 1473–1477.
- Gudmundsson, M.T., Sigmundsson, F., Björnsson, H.,** 1997, Ice-volcano interaction of the 1996 Gjalp subglacial eruption, Vatnajökull, Iceland: *Nature* 389, 954-957.
- Hambrey, M., Alean, J.,** 2004, *Glaciers*: Cambridge.
- Hambrey, M.J.,** 1994, *Glacial Environments* : London, UCL Press.
- Hewitt, K.,** 1999, Quaternary Moraines vs Catastrophic Rock Avalanches in the Karakoram Himalaya, Northern Pakistan: *Quaternary Research*, 51, 220–237.
- Hills, E.S.,** 1970, Fitting, fretting and imprisoned boulder: *Nature*, 226, 345-7.
- Hoey, T.B.,** 2004, The size of sedimentary particles, *in* Evans, D.J.A. & Benn, D.I. (eds.), *A Practical Guide to the study of Glacial Sediments*: Arnold.
- Holmes, C.D.,** 1960, Evolution of till-stone shapes, central New York: *Bulletin of the Geological Society of America*, 71, 1645-60.
- Inman, D.L.,** 1952, Measures for describing the size distribution of sediments: *Journal of Sedimentary Petrology*, 22(3), 125-145.
- Iriondo, M.H.,** 1972, A rapid method for size analysis of coarse sediments: *Journal of Sedimentary Petrology*, 42(4), 985-986.
- Iverson, R.M.,** 1997, The physics of debris flows: *Reviews of Geophysics*, 35(3), 245-296.
- Janda, R.J., Scott, K.M., Nolan, K.M., Martinson, H.A.,** 1981, Lahar movement, effects, and deposits, *in* Lipman, P.W. & Mullineaux, D.R. (eds.), *The 1980 eruption of Mount Snt. Helena*, Washington: U.S. Geological Survey Professional Paper. 1250.
- Kamb, W.B.,** 1959, Ice petrofabric observations from Blue Glacier, Washington, in relation to theory and experiment: *Journal of Geophysical Research*, 64(11), 1891-1909.
- Kellerhals, R., Bray, D.,** 1971, Sampling procedures for coarse fluvial sediments: *Journal of the Hydraulics division proceedings of American Society of Civil Engineers*.
- Krumbein, W. C.,** 1936, Application of logarithmic moments to size frequency distribution of sediments to size frequency distribution of sediments: *Journal of Sedimentary Petrology*, 6 (1), 35-47.
- Krumbein, W.C.,** 1941, Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles: *Journal of Sedimentary Petrology*, 11(2), 64-72.
- Krumbein, W.C., Pettijohn, F.J.,** 1938, *Manual of sedimentology petrology*: New York, Appleton-Century-Crofts.
- Lowe, D.R.,** 1982, Sediment gravity flows: II. Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents: *Journal of Sedimentary Research, SEPM Society for Sedimentary Geology*, 52, 1, 279-297.

- Macías, J.L., Garcia Palomo, A., Arce, J.L., Siebe, C., Espindola, J.M., Komorowski, J.C., Scott, K.**, 1997, Late Pleistocene-Holocene Cataclismic Eruptions at Nevado de Toluca and Jocotitlán volcanoes, Central México: *Geology studies* 42(I), 493-528.
- Macias, J. L., Capra, L., Scott, K., Espindola, J.M., Garcia-Palomo, A., Costa, J. E.**, 2004, The 26 May 1982 breakout flow derived from failure of a volcanic dam at Chichón, Chiapas, Mexico: *Geological Society of American Bulletin*, 116, 233-246.
- Major, J.J.**, 1997, Depositional processes in large-scale debris-flow experiments, *Journal of Geology* 105: 345-366.
- Major, J.J., Voigt, B.**, 1986, Sedimentology and clast orientation of the 18 May 1980 southwest-flank lahars, Mount St. Helens, Washington: *Journal of Sedimentary Petrology*, 56(5), 691-705.
- Mark, D.M.**, 1973, Analysis of axial orientation data, including till fabrics: *Geological Society of America Bulletin*, 84, 1369-1374.
- Mark, D. M.**, 1974, On the interpretation of till fabric: *Geology*, 2, 101-104.
- Mc Cammon, R.B.**, 1962, Efficiencies of percentile measures for describing the mean size and sorting of sedimentary particles: *Journal of Geology*, 70: 453-465.
- Mc Guire, W.J.**, 1996, Volcano instability: a review of contemporary themes, *in* Mc Guire, W.J., Jones, A.P., Neuberg, J. (eds.), *Volcano instability on the Earth and other planets: Geological Society Special Publication*, 110, 1-23.
- Mc Phie, J., Doyle, M., Allen, D.**, 1993, Volcanic textures. A guide to the interpretation of textures in volcanic rocks: Tasmania, Centre for Ore Deposit and Exploration Studies, University of Tasmania, 169 p.
- Menzies, J.**, 1995, *Modern Glacial Environments: Processes, dynamics and sediments*: Oxford, Butterworth Heneman.
- Miller, J.M.G.**, 1996, Glacial sediments., *in* H. G. Reading (ed.), *Sedimentary Environments: Process, facies and stratigraphy*: Blackwell Science, 454-484.
- Mills, H.H.**, 1977, Textural characteristics of drift from some representative Cordilleran glaciers: *Geological Society of American Bulletin*, 88, 1135-1145.
- Mills, H.H.**, 1984, Clast orientation in Mount St. Helen debris flow deposits, North Fork Toutle River, Washington: *Journal of Sedimentary Petrology*, 54(2), 626-634.
- Mullineaux, D.R., Crandell, D.R.**, 1962, Recent lahars from Mount St. Helens, Washington: *Geological Society of America Bulletin*, 73, 855-870.
- Norini, G., Gropelli, G., Capra, L., de Beni, E.**, 2004, Morphological analysis of Nevado de Toluca volcano (Mexico): new insights into the structure and evolution of an andesitic to dacitic stratovolcano: *Geomorphology*, 62(1-2), 47-61.
- Otto, G.H.**, 1939, A modified logarithmic probability graph for the interpretation of mechanical analyses of sediments: *Journal of Sedimentary Petrology*, 9 (2), 62-76.
- Palmer, B.A., Alloway, B.V., Neall, V.E.**, 1991, Volcanic-debris-avalanche deposits in New Zealand- Lithofacies organization in unconfined, wet- avalanche flows, *in* Fisher, R. V., Smith, G.A. (eds.), *Sedimentation in Volcanic Settings: SEPM Special Publication* 45: 89-98.
- Pierson, T.C.**, 1985, Initiation and flow behavior of the 1980 Pine Creek and Muddy River lahars, Mount St. Helens, Washington: *Geological Society of America Bulletin*, 96, 1056-1069.
- Pierson, T.C., Costa, J.E.**, 1987, A rheologic classification of subaerial sediment-water flows, *in* Costa J.E., Wiczorek, G.F. (eds.), *Debris flow/avalanches: Process, Recognition, and Mitigation: Geological Society of America Reviews in Engineering Geology*, 7, 1-12.

- Pierson, T.C., Janda, R.J., Thouret, J.C., Borrero, C.A.**, 1990, Perturbation and melting of snow and ice by the 13 November 1985 eruption of Nevado del Ruiz, Colombia, and consequent mobilization, flow, and deposition of lahars: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 41, 17-66.
- Pierson, T.C., Scott, K.M.**, en prensa, Superficial hydrologic hazards at volcanoes: U.S. Geological Survey.
- Powers, M.C.**, 1953, A new roundness scale for sedimentary particles: *Journal of Sedimentary Petrology*, 23(2), 117-119.
- Sambrook Smith, G.H., Nicholas, A.P., Ferguson, R.I.**, 1997, Measuring and defining bimodal sediments: problems and implications: *Water Resources Research*, 33, 1179-1185.
- Sarocchi, D., Borselli, L., Macias, J.L.**, 2005, Construcción de perfiles granulométricos de depósitos piroclásticos por métodos ópticos: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 22(3), 371-382.
- Scheidegger, A.E.**, 1965, On the statistics of the orientation of bedding planes, grain axes, and similar sedimentological data: U.S. Geological Survey Professional Paper 525-C, C164-C167.
- Schmincke, H.U.**, 1967, Graded lahars in the type sections of the Ellensburg Formation, South-Central Washington: *Journal of Sedimentary Petrology*, 37(2), 438-448.
- Schneider, J.L., Fisher, R.V.**, 1998, Transport and emplacement mechanisms of large volcanic debris avalanches: evidence from the northwest sector of Cantal volcano (France): *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 83, 141-165.
- Scott, K.M.**, 1988, Origins, behavior, and sedimentology of lahars and lahar-runout flows in the Toutle-Cowlitz river system: U.S. Geological Survey Professional Paper 1447-A, 74p.
- Scott, K.M., Preingle, P.P., Vallance, J.W.**, 1992, Sedimentology, behavior, and hazards of debris flows at Mount Rainier, Washington: U.S. Geological Survey Professional Paper 1547, 56 p.
- Scott, K. M., Vallance, J.W., Kerle, N., Macias, J.L., Strauch, W., Develi, G.**, 2005. Catastrophic precipitation-triggered lahar at Casita Volcano, Nicaragua; occurrence, bulking and transformation: *Earth Surface Processes and Landforms* 30(1): 59-79.
- Sharp, M.J.**, 1985, Sedimentation and stratigraphy at Eyjabakkajökull- an Icelandic surging glacier: *Quaternary Research*, 24, 268-84.
- Siebert, L.**; 1984, Large volcanic debris avalanches: characteristics of source areas, deposits, and associated eruptions: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 22, 163-197.
- Siebert, L.**, 1992, Threats from debris avalanches: *Nature* 356, 658-659.
- Siebert, L., Glicken, H., Ui, T.**, 1987, Volcanic hazards from Bezymianny- and Bandai-type eruptions: *Bulletin of Volcanology*, 49, 435-459.
- Silverman, B.W.**, 1987, *Density Estimator for statistical and data analysis*: London, Chapman & Hall.
- Sime, L.C., Ferguson, R.I.**, 2003, Information on grain sizes in gravel-rivers by automated image analysis: *Journal of Sedimentary Research*, 73(4), 630-636.
- Smith, G.A., Lowe, D.R.**, 1991, Lahars: volcano-hydrologic events and deposition in the debris flow-hyperconcentrated flow continuum, in Fisher, R.V. and Smith, G.A. (eds.), *Sedimentation in volcanic settings*: SEPM (Society for Sedimentary Geology) Special Publication, 45, 59-70.
- Sneed, E.D., Folk, R.L.**, 1958, Pebbles in the lower Colorado River, Texas, a study of particle morphogenesis: *Journal of Geology*, 66(2), 114-150.

- Trask, P.D.**, 1930, Mechanical analysis of sediments by centrifuge: *Economical Geology*, 25, 581-599.
- Trask, P.D.**, 1932, Origin and environment of source sediments of petroleum: Houston, Texas.
- Trucker, M.**, 1982, *The field description of sedimentary rocks*: Open University Press.
- Ui, T.**, 1989, Discrimination between debris avalanches and other volcanoclastic deposits, *in* Latter, J.H. (ed.), *Volcanic Hazards: IAVCEI Proceedings in volcanology*, 1, 201-209.
- Ui, T., Kawachi, S., Neal, V.E.**; 1986; Fragmentation of debris avalanche material during flowage-evidence from the Plugarehu Formation, Mount Egmont, New Zeland: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 27, 255-264.
- Ui, T., Takarada, S., Yoshimoto, M.**, 2000, Debris Avalanches, *in* Sigursson, H. (ed.), *Encyclopedia of Volcanoes*: Academic Press, 617-626.
- Vallance, J.W.**, 2000, Lahars, *in* Sigursson, H. (ed.), *Encyclopedia of Volcanoes*: Academic Press, 601-616.
- Vallance, J.W., Scott K.M.**, 1997, The Osceola Mudflow from Mount Rainier: Sedimentology and hazard implications of a huge clay-rich debris flow: *Geological Society of America Bulletin*, 109(2), 143-163.
- Vallance, J.W., Siebert, L. Rose, W.I.Jr., Banks, N.G.**, 1995, Edifice collapse and related hazards in Guatemala: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 66, 337-355.
- Vazquez-Selem, L., Heine, K.**, 2004, Late Quaternary glaciation of Mexico. Quaternary glaciacion-extent and chronology, *in* Ehlers, J. and Gibbard, P.L. (eds.) Part III: South America, Asia, Africa, Australia, Antartica: Amsterdam, Elsevier, 233-242.
- Voight, B., Glicken, H., Janda, R.J., Douglas, P.M.**, 1981, Catastrophic rockslide-avalanche of May 18, *in* Washington. P. Lipman W., Mullineaux, D.R. (eds.), *The 1980 Eruptions of Mount St. Helens*: U.S. Geological Survey Professional Paper, 1250, 347-378.
- von Engeln, O.D.**, 1930, Type form of faceted and striated glacial pebbles: *American Journal of Science*, 219, 9-16.
- Walker, G.P.L.**, 1971, Grain-size characteristics of pyroclastics deposits: *Journal of Geology*, 79, 696-714.
- Wadell, H.**, 1932, Volume, shape and roundness of rock particles: *The Journal of Geology*, 40, 443-51.
- Wadell, H.**, 1933, Sphericity and roundness of rock particles: *The Journal of Geology*, 41, 310-331.
- Wadell, H.**, 1935, Volume, shape, and roundness of quartz particles: *Journal Geology*, 43, 250-279.
- Wentworth, C.K.**, 1922, A scale of grade and class term for clastic sediment: *Journal of Geology*, 30, 377-392.
- Wentworth, C.K.**, 1925, Chick-faceting: a new process of pebble-shaping: *The Journal of Geology*, 33, 260-7.
- Wentworth, C.K.**, 1936_a, An analysis of shapes of glacier cobbles: *Journal of Sedimentary Petrology*, 6, 85-96.
- Wentworth, C.K.**, 1936_b, The shapes of glacial and ice jam cobbles: *Journal of Sedimentary Petrology*, 6, 85-96.
- White, J.D.L., Houghton, B.F.**, 2006, Primary volcanoclastic rocks: *Geological Society of America*, 34(8), 677-680.
- Woodcock, N.H.**, 1977, Specification of fabric shapes using an eigenvalue method: *Geological Society of America Bulletin*, 88, 1231-6.

Zingg, Th., 1935, Beitrag zur Schotteranalyse: Schweiz, Mineralog. u. Petrog. Mitt., 15, 38-140.