



## Aplicación de métodos estadísticos multivariantes para la caracterización de canteras de áridos.

Autores: *Fonseca, C.; Leiva, A.; Mas, M.*

Dirección: Universidad Nacional de La Rioja.

### 1. Introducción y objetivos

En la ciudad capital de La Rioja, el problema de la explotación de áridos dentro del ejido urbano se vió agravado con el aumento de la demanda por el crecimiento poblacional y el desarrollo de la construcción de las últimas décadas. Se ha generado la necesidad de un estudio racional para seleccionar y promover la explotación de otras áreas de extracción que no resulten perjudiciales por estar en zonas pobladas. La Dirección General de Minería ha establecido una zona de Exclusión y está en busca de nuevos sectores para realizar la explotación sin interferencia urbana y con el menor impacto ambiental.

Un equipo interdisciplinario e interjurisdiccional integrado por profesionales del ITIM-UNLaR y DGM de la provincia de La Rioja están realizando el estudio orientado a resolver el problema de esta explotación irracional de los áridos (Ortiz, M. et al.;2001) y dentro de las etapas de dicho estudio se inserta un *Análisis por muestro de las canteras y caracterización de los materiales explotados* para evaluar los productos extraídos y demandados por el mercado local. Resulta de interés efectuar una proyección en cuanto a la calidad de los materiales de mayor demanda que oriente en la búsqueda de las nuevas zonas de explotación con las características adecuadas que respondan a las necesidades reales de dicha demanda.

El objetivo principal del trabajo es la descripción de los productos extraídos de las áreas explotadas de manera que resulten evidentes algunas pautas relativas a la calidad de los materiales más demandados y la caracterización de cada una de las canteras y su tipificación en relación a estas variables de interés.

## 2. Descripción de las Canteras

Las canteras mas explotadas en los últimos años fueron visitadas por el equipo de investigación, caracterizadas y muestreadas.

La cantera Espíritu Santo se ubica en la unidad geomorfológica definida como “relicto de abanico aluvial”. El paleoambiente de sedimentación de los depósitos explotados en esta cantera fue un sistema fluvial braided de baja sinuosidad y con barras alternantes, con un alto porcentaje de carga de lecho, y corresponderían al pie de abanico o abanico distal (Mas, M. et al.; 2002).

La cantera Las Garrochas se emplaza en el lecho del río Las Garrochas ubicado en la unidad geomorfológica “Bajada aluvial pedemontana” labrada a partir de la sierra de Velasco. Predomina el material grueso (arenas y gravas) correspondientes a la alternancia de períodos de avenida o crecida (conglomerados con bloques de gran tamaño y poca selección), con períodos de tranquilidad fluvial (arenas y gravas finas a gruesas y mayor selección).

La cantera San Nicolás se ubica en el lecho y llanura aluvial del río Mal Paso, en un típico ambiente fluvial, con abundante material que refleja mucho transporte.

La cantera Don José está emplazada en el río Mal Paso, aguas abajo de la cantera San Nicolás. Al igual que esta última, sus depósitos presentan las características netamente fluviales.

Las canteras AFEMA y Arenas del Sur (Robles) están ubicadas en la parte media-distal del cono aluvial del río Los Sauces en el que se emplaza la ciudad de La Rioja. Son depósitos de planicie aluvial entrelazados.

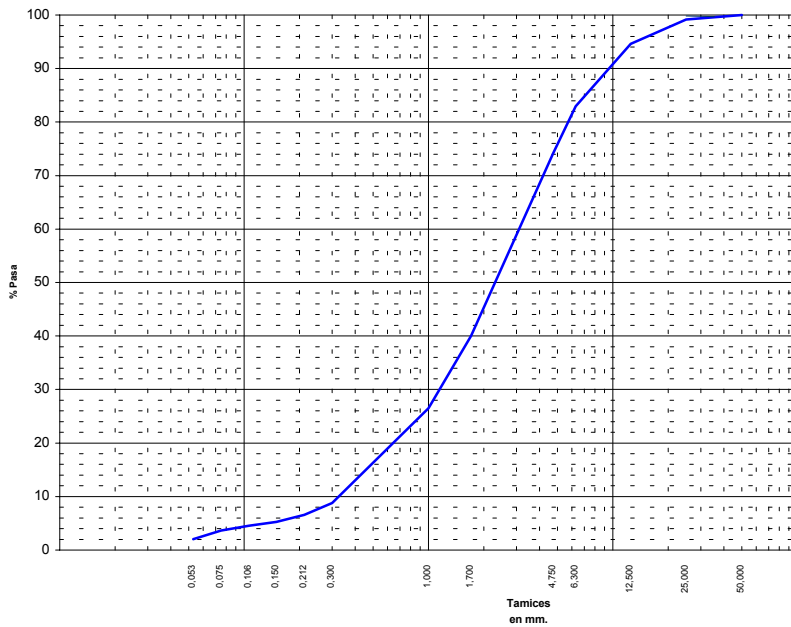
El conocimiento por franja granulométrica de la composición de cada cantera se pudo obtener a través del estudio de la granulometría de las muestras y de una muestra ponderada para cada cantera que fuera representativa de la misma, realizándose las curvas granulométricas respectivas y calculándose los porcentajes de la composición. Así, por ejemplo, la curva granulométrica correspondientes a la muestra ponderada para la cantera Espíritu Santo se observa en la Figura N° 1 y las Tablas N° 1 y N° 2 indican las granulometrías y los porcentajes de la composición por franja granulométrica.

**Tabla N°1- Porcentajes pasantes    Tabla N° 2- Porcentajes por franja granulométricas**

Tamices	% que pasa
0,053	2,02
0,075	3,64
0,106	4,57
0,150	5,27
0,212	6,57
0,300	8,78
1,000	26,49
1,700	39,99
4,750	74,23
6,300	82,98
12,500	94,62
25,000	99,15
50,000	100,00

áridos	rangos granul.	% que pasa	% árido
arena fina	0-0,5	13	13
arena gruesa	0,5-4,0	69	56
granza	4,0-16	96	27
ripio	16-64	100	4
grava	64-200	100	0

**Cantera ESPIRITU SANTO  
Curva granulométrica-Muestra ponderada**



**Figura N° 1- Curva granulométrica Cantera Espíritu Santo**

### 3. Análisis de datos univariado

Los datos de la Tabla N° 3 resumen los porcentajes de cada tipo de árido extraídos de las seis principales canteras explotadas en la ciudad de La Rioja, y los volúmenes de extracción totales registrados en Dirección General de Minería en los años 2000 y 2001.

**Tabla N° 3** -Porcentaje por tipo de árido y volúmen de extracción (m<sup>3</sup>) en las principales canteras de la ciudad de La Rioja

CANTERA	Tipo de árido-porcentaje					Explotación (m <sup>3</sup> )	
	Arena fina	Arena gruesa	Granza	Ripio	Grava	Año 2000	Año 2001
AFEMA	32	42	18	8	0	4647	26097
DON JOSE	14	46	19	21	0	880	1003
ESPIRITU SANTO	13	56	27	4	0	304	80
LAS GARROCHAS	18	21	16	26	19	600	613
ROBLES	27	47	20	5	1	13772	6330
SAN NICOLAS	21	43	20	13	3	6895	2041

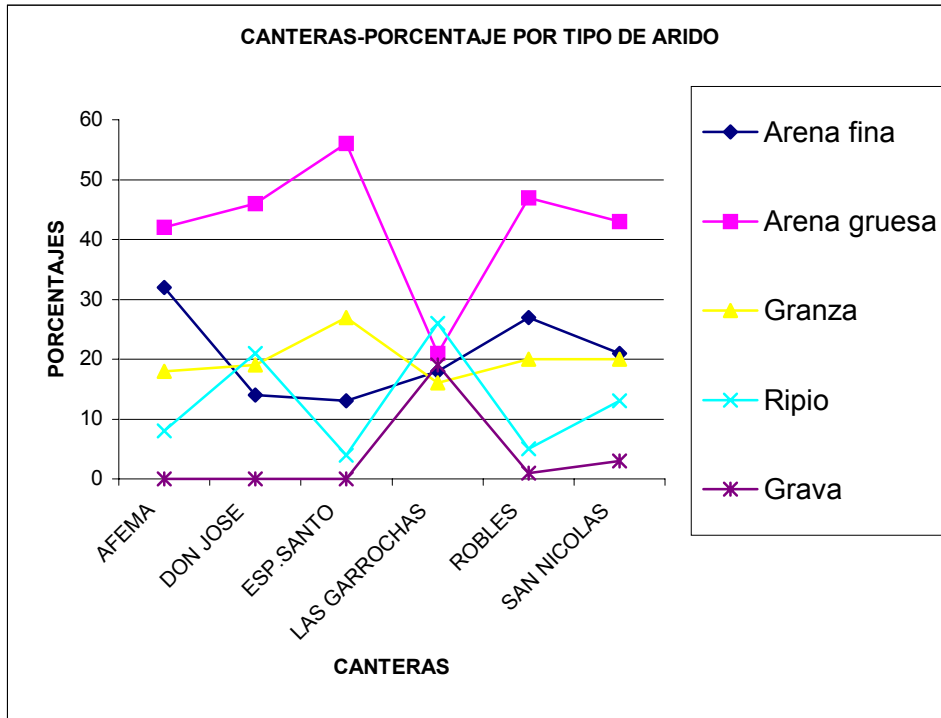
Fuentes : ITIM y DGM

Se calcularon sobre los datos de la Tabla N° 3 las medidas estadísticas resumen (Tabla N° 4) que permitieron detectar, en principio, las tendencias centrales y de dispersión de cada una de las 7 variables (Arena fina, Arena gruesa, Granza, Ripio, Grava, Año 2000 y Año 2001) relevadas por cantera. Las mayores dispersiones se observan para la variable que mide la extracción en el año 2001 con un coeficiente de variación de 167% y para la proporción de Grava con 196%. Si bien este último es muy elevado se puede señalar que, en parte, este hecho se debe a la existencia de valores nulos de dichos porcentajes en varias canteras.

**Tabla N° 4** -Medidas estadísticas resumen de tendencia central y dispersión

Variables	Arena fina	Arena gruesa	Granza	Ripio	Grava	Año 2000	Año 2001
Descriptivos							
MEDIA	20,83	42,50	20,00	12,83	3,83	4516,33	6027,33
MEDIANA	19,50	44,50	19,50	10,50	0,50	2763,50	1522,00
MAXIMO	32	56	27	26	19	13772	26097
MINIMO	13	21	16	4	0	304	80
DESVIO ESTANDAR	7,47	11,64	3,74	8,98	7,52	5246,84	10086,66
COEF. DE VARIACION	36	27	19	70	196	116	167

Se presentan los gráficos de dispersión para los datos de la Tabla N° 3. En la Figura N° 2 se representan las variables porcentaje de cada tipo de árido por cantera y en la Figura N° 3 los volúmenes de explotación por cantera.



**Figura N° 2** -PORCENTAJE DE CADA TIPO DE ARIDO POR CANTERA

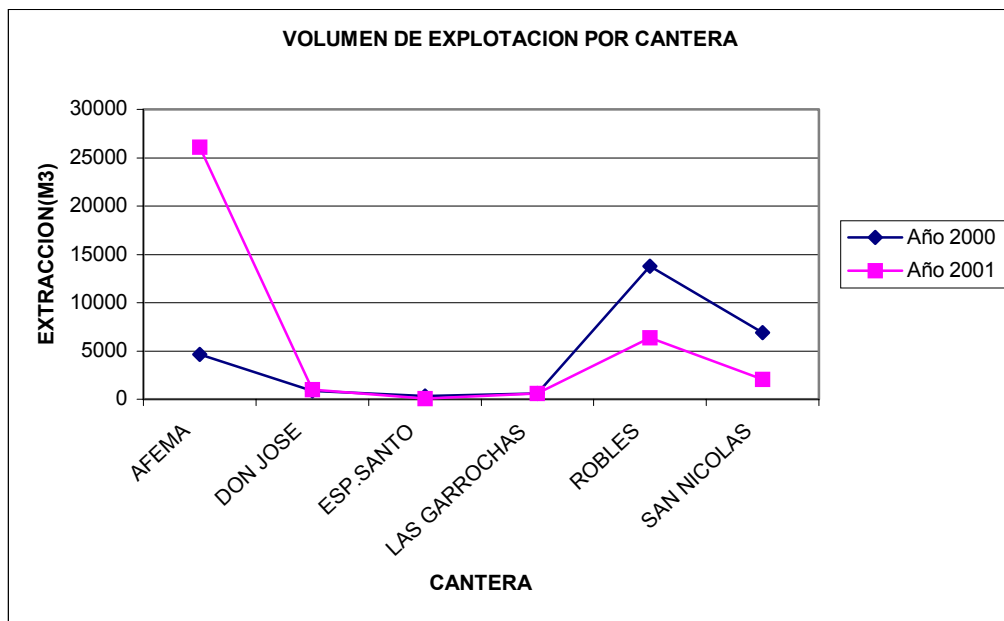
Algunos puntos relevantes que se pueden observar en el gráfico (Figura N° 2):

- ❖ Máximo porcentaje de arena gruesa para la cantera Espiritu Santo y mínimo para Las Garrochas.
- ❖ Máximo porcentaje de arena fina para la cantera AFEMA, siguiendo la Robles.
- ❖ La cantera Las Garrochas presenta notables porcentajes mayores que el resto en ripio y en grava (granulometrías más altas).

Estos análisis son compatibles con las características sedimentológicas de las unidades geomorfológicas en las que se ubican las canteras. El alto porcentaje de arena gruesa de la cantera Espiritu Santo, sumado a que también hay un elevado contenido de granza, puede explicarse por corresponder a un relicto de abanico aluvial con depósitos correspondientes a un sistema braided de baja sinuosidad y con barras alternantes, con un alto porcentaje de carga de lecho (Mas, et al. 2002). El mínimo correspondiente a Las Garrochas se debe a que pertenece a un río proveniente de la

sierra de Velasco, con un recorrido del material transportado, muy inferior al que han experimentado los materiales que se encuentran en las otras canteras, lo cual también explica los altos porcentajes en ripio y grava respecto de las restantes.

El máximo porcentaje de arena fina en la cantera de AFEMA seguida por la de Robles, se explica porque ambas se ubican en la parte media distal del cono aluvial de La Rioja, su material ha experimentado mayor transporte y retrabajamiento por la acción fluvial, ubicándose en un sector que por su ubicación predomina el material más fino y mejor seleccionado.



**Figura N° 3- VOLUMEN DE EXPLOTACION POR CANTERA**

Algunas características de la explotación de las canteras que surgen del gráfico (Figura N° 3):

- ❖ Las canteras con mayor explotación promedio entre los años 2000 y 2001 son AFEMA, Robles y San Nicolás, las restantes presentan niveles notablemente inferiores. Esto coincide con la mayor disponibilidad de estas canteras de arena fina, que podría interpretarse como el material mas demandado en estos dos años para construcción y asfalto.
- ❖ Cuando en el año 2000 Robles y San Nicolás registran una mayor volumen de extracción que AFEMA, esta última las supera en el 2001. Puede atribuirse a la adjudicación a esta empresa de la provisión de áridos para asfalto.

## 4. Análisis de datos multivariado

En un análisis multivariado se intenta comprender las relaciones entre las variables con el objetivo de describir las Canteras a través de la información proporcionada por todas las variables simultáneamente.

Por las características y por la cantidad de variables relevadas se considera adecuado, a los fines descriptivos, realizar los siguientes análisis:

**1- Análisis de Cluster Jerárquico o de agrupamiento.** Seleccionando una medida de distancia adecuada y un método de agrupamiento, se observan el orden y las distancias en las cuáles se producen los agrupamientos entre las canteras de acuerdo a la disimilitud entre las mismas (similitud- semejanza en el caso de las proximidades o su grado de disimilitud- desemejanza en el caso de las distancias- Visauta Binacua B. 1998-168). Este método comienza el análisis con tantos grupos como casos (canteras) y va formando grupos en pasos sucesivos. En el primer paso, se agrupan los dos casos más cercanos, menos disímiles; en el paso siguiente, los casos agrupados en el primero se considerarn como un grupo más; se vuelven a calcular las distancias entre los grupos, agrupando los dos más próximos, y así sucesivamente, hasta constituir un solo grupo.

**2- Análisis de Componentes Principales.** Esta técnica permite condensar la información aportada por las variables ( en este caso son 7) en un conjunto menor de variables llamadas *factores* (se intenta que sean 1 o 2 ) con la mínima pérdida de información. Estos factores resumen la información proporcionada por varias variables y permiten describir los casos (canteras) de manera más simple. Sus objetivos generales son la reducción de los datos y la interpretación (Johnson & Wichern- 1999).

### 4.1. Análisis de Cluster Jerárquico

La realización de un análisis de Cluster con la selección de la distancia euclídea al cuadrado, método de agrupamiento promedio entre grupos y las variables estandarizadas utilizando el módulo SSPS Professional Statistics 6.1 proporcionan las salidas que se presentan en las Tablas N° 1 a N° 3 y en las Figuras N° 1 y 2 del Anexo I.

En la Tabla N° 1 del Anexo I se puede observar que la canteras más cercanas con una distancia Euclídea al cuadrado de 3,295 son la Don José y la San Nicolás y las más alejadas con un valor de distancia de 30,527 son Las Garrochas y Espíritu Santo. Este análisis refleja las similitudes o diferencias entre los ambientes de sedimentación de los materiales de las canteras,, ya que Don José y San Nicolás







Para facilitar la descripción se realizó una rotación de ejes ortogonal, la rotación VARIMAX, que prioriza la variabilidad máxima. Las correlaciones de las variables con los ejes de las componentes o factores rotados, en la Tabla N° 6, indican que la primera componente está positivamente correlacionada con las variables arena gruesa y granza y negativamente con grava y ripio. Este eje condensa la información que proporcionan las variables correspondientes a las granulometrías superiores a 0,4 mm. La segunda componente tiene correlaciones altas y todas positivas con las variables arena fina, año 2000 y año 2001, por lo tanto resume el comportamiento de estas variables. Todas las restantes correlaciones son más próximas a 0 que a +1 o -1.

**Tabla N° 6** - Salidad del SSPS de correlaciones entre variables y componentes.

**Rotated Component Matrix<sup>a</sup>**

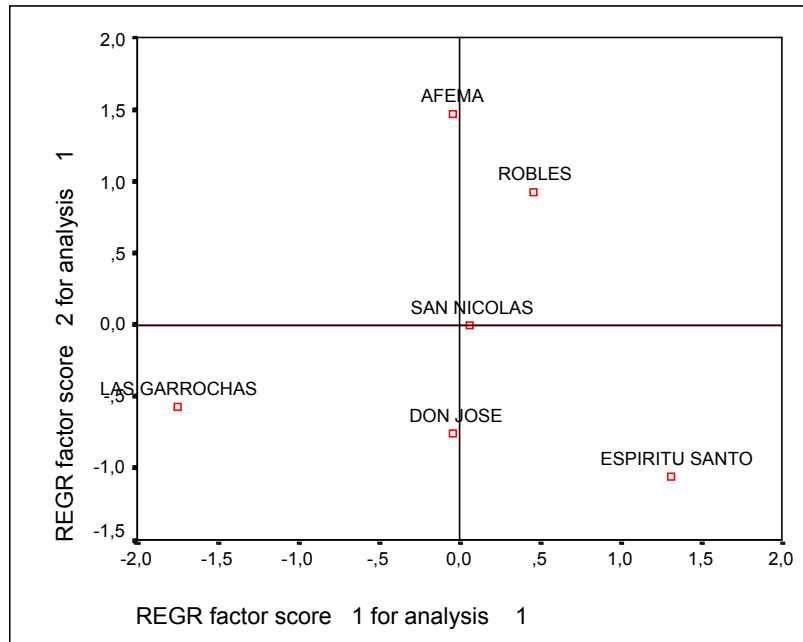
	Component	
	1	2
ARENAG	,985	-1,97E-02
GRANZA	,872	-,389
GRAVA	-,867	-,265
RIPIO	-,853	-,416
AREFINA	-7,36E-02	,993
AÑO2001	1,625E-02	,849
AÑO2000	,222	,692

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

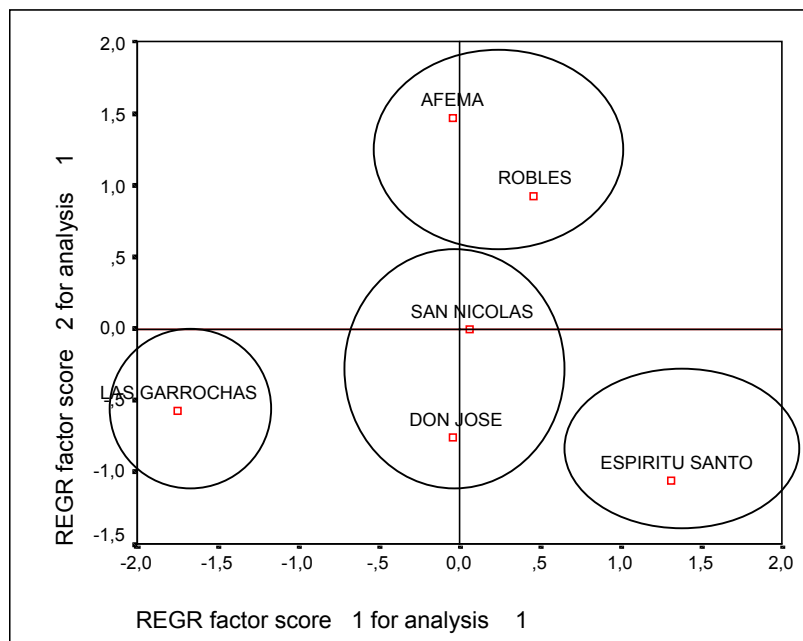
a. Rotation converged in 3 iterations.

El gráfico de dispersión de las puntuaciones factoriales de cada una de las canteras en las componentes principales o factores se presenta en la Figura N° 5.



**Figura N° 5** - Puntuaciones factoriales de las canteras en los factores

Considerando las proyecciones en los ejes de los puntos representativos de las canteras, con respecto al primer eje o primera componente principal se destaca la ubicación de la cantera Espíritu Santo y de Las Garrochas en posiciones más alejadas del origen. Esto indica que la Espíritu Santo se caracteriza por sus porcentajes elevados en arena gruesa y granza y muy bajos en grava y ripio mientras que Las Garrochas precisamente a la inversa. Este análisis refleja que, entre las canteras Espíritu Santo y Las Garrochas, se da el mayor antagonismo respecto de las características de los depósitos y condiciones de sedimentación de todas las canteras analizadas. Teniendo en cuenta la proyección en el segundo eje, se presentan las canteras AFEMA y Robles como las más alejadas del origen las cuáles se caracterizan por mayor proporción en arena fina y mayores niveles de extracción en Año 2000 y Año 2001. Se vuelve a traducir aquí el mismo origen y proximidad de los áridos de estas canteras. A la inversa presentan estas características la Espíritu Santo, Don José y Las Garrochas. Los grupos que se forman con el análisis de Cluster se pueden observar en la Figura N° 6. En el espacio de los dos factores seleccionados quedan ubicadas las canteras de un mismo grupo cercanas entre sí, lo que indicaría que los análisis multivariados efectuados dan resultados coincidentes.



**Figura N° 6** - Puntuaciones factoriales de las canteras en los factores y agrupamiento

### Caracterización de los grupos constituidos:

**Grupo 1- AFEMA y Robles.** Altos niveles de extracción en los Años 2000 y 2001 y altos porcentajes en arena fina. El alto porcentaje de arena fina puede ser el factor determinante de la mayor extracción, ya que sería la fracción mas demandada para asfalto y construcción. Ambas canteras pertenecen al mismo ambiente de sedimentación

**Grupo 2- San Nicolás y Don José.** Niveles de extracción medio a bajo y porcentajes de cada tipo de árido próximos a los valores medios sin destacarse ninguno.

**Grupo 3- Espíritu Santo.** Bajo nivel de explotación y porcentajes de arena fina. Porcentajes altos en arena gruesa y granza y bajos en grava y ripio.

**Grupo 4- Las Garrochas.** Altos porcentajes en grava y ripio y bajos en arena gruesa y granza. Por debajo de la extracción media y de porcentaje medio en arena fina. De este análisis se puede deducir que es la cantera menos apta para ser explotada.

## 5. Conclusiones

A partir de la aplicación de los métodos estadísticos al análisis de canteras, se han podido establecer importantes correlaciones que reflejan las similitudes o diferencias entre las canteras, a partir básicamente, de la textura de los materiales que las constituyen (proporción de diferentes granulometrías), lo cual señala las condiciones de sedimentación y su aptitud para ser explotadas en función de la demanda.

El alto porcentaje de arena fina en una cantera puede ser el factor determinante de la mayor extracción, tal como resulta en las canteras de mayor explotación que son AFEMA y Robles, siendo este un factor relevante a tener en cuenta en la búsqueda de nuevos sectores de explotación. También se observa una explotación media en la cantera San Nicolás que presenta porcentaje medio en arena fina.

Las otras canteras con explotación baja y bajo porcentaje de arena fina, presentan diferencias marcadas en sus otras componentes granulométricas, en especial las canteras Espiritu Santo y Las Garrochas. Esta última con altos porcentajes en grava y ripio y bajos en arena gruesa y granza se presenta como la menos apta, mientras que la Espiritu Santo tiene estos porcentajes en valores opuestos, es decir altos en arena gruesa y granza y bajos en grava y ripio.

El estudio multivariado señala una mayor variabilidad en un factor o componente (la primera) que resume las granulometrías altas, sin embargo las granulometrías bajas (por debajo a los 0,5 mm) son las que se muestran mas correlacionadas con los niveles de extracción y su variación positiva es en el mismo sentido (segunda componente). En las nuevas canteras la calidad de los materiales que posea será determinante, sin duda, del nivel de explotación que alcanzará.

## 6. Referencias

- Johnson R. & Wichern D.- Applied Multivariate Statistical Analysis- Prentice-Hall-1999.
- Ortiz, M; Peña Pollastri, A. C.; Mas, M.; Baldo C.; Leiva A.; Calbo V.; Balmaceda E.; Nonino, A.; Huniken H.; Ruarte, A; Narvaez, N; Robledo, J.C.; Uria M.; Nuñez M.; Combina A.M.; Alitta M.; Rechioni L.; Fonseca C.; Barrionuevo N.; Hernandez C. –ANALISIS AMBIENTAL DE LA EXPLOTACION MINERA DE ARIDOS EN CONO ALUVIAL DE LA CIUDAD DE LA RIOJA. 1º Foro Interdisciplinario de Ciencias vinculadas al Ambiente y Calidad de vida.- 2001.
- Visauta Vinacua B.- Análisis estadístico con SPSS PARA WINDOWS- Estadística multivariante-Mc Graw Hill- 1998
- Mas, M.; Leiva A.; Combina A.M.; Nonino, A.-Análisis Ambiental de la Cantera de Aridos Espíritu Santo. Jornadas Argentinas de Ing. De Minas-San Juan-2002

## Anexo I

### Cluster

**Tabla N° 1 - Matriz de proximidades**

**Proximity Matrix**

Case	Squared Euclidean Distance					
	1:AFEMA	2:DON JOSE	3:ESPIRITU SANTO	4:LAS GARROCHAS	5:ROBLES	6:SAN NICOLAS
1:AFEMA		14,802	21,242	24,436	7,913	8,804
2:DON JOSE	14,802		8,935	12,239	12,621	3,295
3:ESPIRITU SANTO	21,242	8,935		30,527	14,615	8,675
4:LAS GARROCHAS	24,436	12,239	30,527		25,409	12,959
5:ROBLES	7,913	12,621	14,615	25,409		3,527
6:SAN NICOLAS	8,804	3,295	8,675	12,959	3,527	

This is a dissimilarity matrix

**Tabla N° 2 - Formación de Clusters**

### Average Linkage (Between Groups)

**Agglomeration Schedule**

Stage	Cluster Combined		Coefficients	Stage Cluster First Appears		Next Stage
	Cluster 1	Cluster 2		Cluster 1	Cluster 2	
1	2	6	3,295	0	0	3
2	1	5	7,913	0	0	4
3	2	3	8,805	1	0	4
4	1	2	12,602	2	3	5
5	1	4	21,114	4	0	0

**Vertical Icicle**

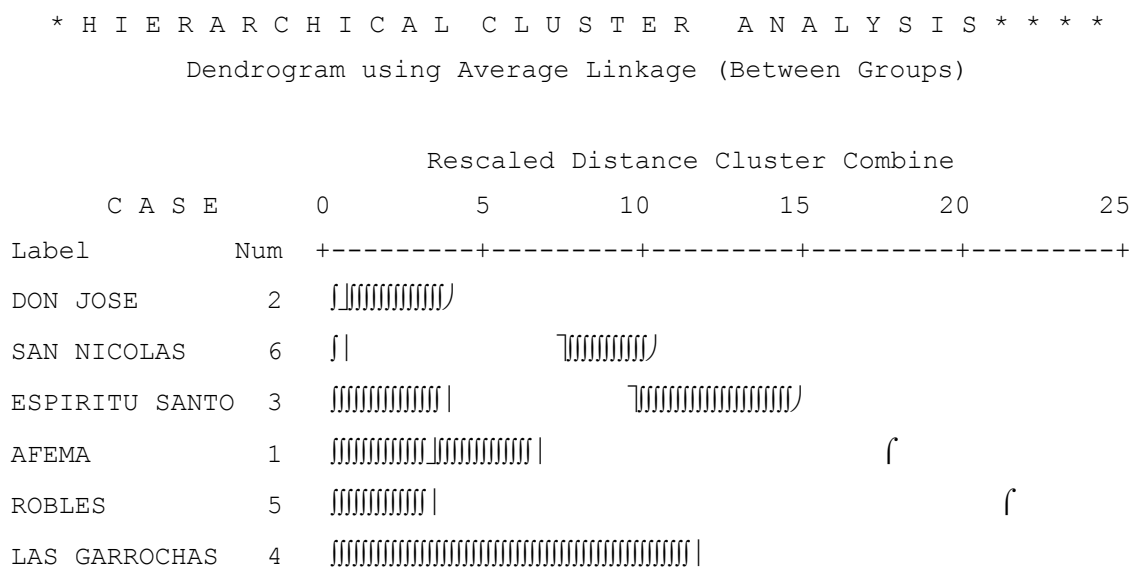
Number of clusters	Case										
	4:LAS GARROCHAS		3:ESPIRITU SANTO		6:SAN NICOLAS		2:DON JOSE		5:ROBLES		1:AFEMA
1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	X		X	X	X	X		X	X	X	X
4	X		X		X	X		X	X	X	X
5	X		X		X	X		X		X	X

**Figura N° 1 - Proceso de formación de Clusters**

**Tabla N° 3 - Formación de los cuatro clusters o conglomerados**

Cluster Membership	
Case	4 Clusters
1:AFEMA	1
2:DON JOSE	2
3:ESPIRITU SANTO	3
4:LAS GARROCHAS	4
5:ROBLES	1
6:SAN NICOLAS	2

**Figura N° 2 - Dendograma**





## Anexo II

### Factor Analysis

**Tabla Nº 1 - Descriptivos de la variables**

**Descriptive Statistics**

	Mean	Std. Deviation	Analysis N
AREFINA	20,83	7,47	6
ARENAG	42,50	11,64	6
GRANZA	20,00	3,74	6
RIPIO	12,83	8,98	6
GRAVA	3,83	7,52	6
AÑO2000	4516,33	5246,84	6
AÑO2001	6027,25	10086,70	6

**Tabla Nº 2 - Matriz de correlaciones entre las variables**

**Correlation Matrix<sup>a,b</sup>**

		AREFINA	ARENAG	GRANZA	RIPIO	GRAVA	AÑO2000	AÑO2001
Correlation	AREFINA	1,000	-,107	-,422	-,376	-,168	,653	,854
	ARENAG	-,107	1,000	,817	-,778	-,919	,188	,013
	GRANZA	-,422	,817	1,000	-,673	-,540	-,106	-,292
	RIPIO	-,376	-,778	-,673	1,000	,719	-,496	-,353
	GRAVA	-,168	-,919	-,540	,719	1,000	-,294	-,302
	AÑO2000	,653	,188	-,106	-,496	-,294	1,000	,229
	AÑO2001	,854	,013	-,292	-,353	-,302	,229	1,000

a. Determinant = ,000

b. This matrix is not positive definite.

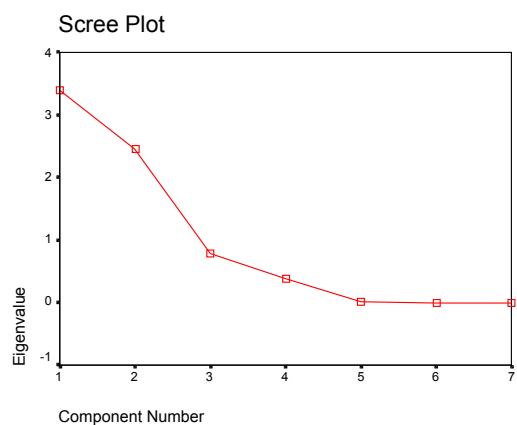
**Tabla Nº 3 - Extracción de factores**

**Total Variance Explained**

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	3,391	48,448	48,448	3,391	48,448	48,448	3,264	46,633	46,633
2	2,452	35,029	83,477	2,452	35,029	83,477	2,579	36,844	83,477
3	,774	11,060	94,537						
4	,379	5,416	99,953						
5	280E-03	4,685E-02	100,000						
6	393E-16	7,704E-15	100,000						
7	5,19E-17	-7,416E-16	100,000						

Extraction Method: Principal Component Analysis.

**Figura N° 1 – Eigenvalores**



**Tabla N° 4 - Correlaciones entre variables y factores**

**Component Matrix<sup>a</sup>**

	Component	
	1	2
RIPIO	-,946	-7,30E-02
ARENAG	,908	-,380
GRAVA	-,904	7,191E-02
AREFINA	,297	,950
AÑO2001	,327	,783
GRANZA	,668	-,682
AÑO2000	,461	,561

Extraction Method: Principal Component Analysis.

a. 2 components extracted.

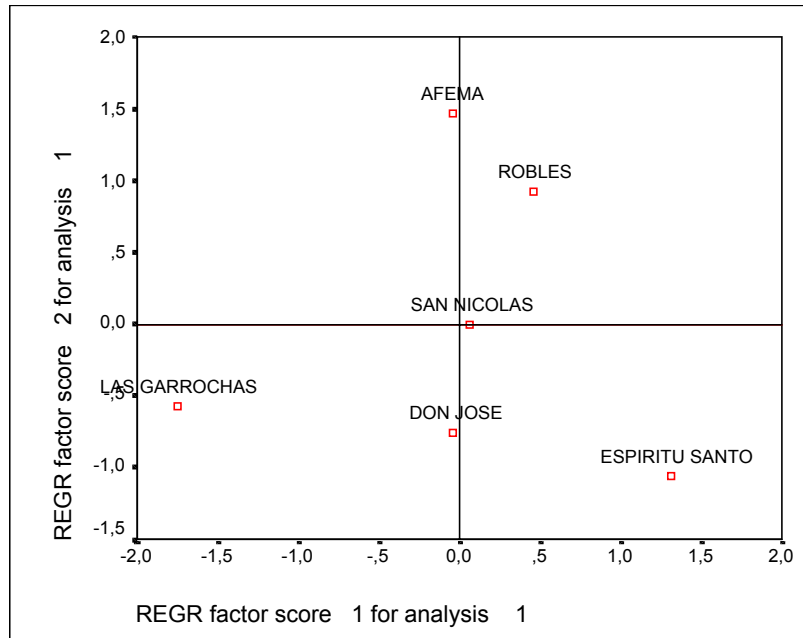
**Tabla N° 5** - Correlaciones entre variables y factores con las componentes rotadas

**Rotated Component Matrix<sup>a</sup>**

	Component	
	1	2
ARENAG	,985	-1,97E-02
GRANZA	,872	-,389
GRAVA	-,867	-,265
RIPIO	-,853	-,416
AREFINA	-7,36E-02	,993
AÑO2001	1,625E-02	,849
AÑO2000	,222	,692

Extraction Method: Principal Component Analysis.  
 Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

a. Rotation converged in 3 iterations.



**Figura N° 2** - Puntuaciones factoriales de las canteras en los factores