

## CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN SUELOS FORESTALES DE CASTELLDEFELS

*L. Baeza Silva*<sup>1</sup> *P. Tume Zapata*<sup>2</sup> *G. Bustamante Laissle*<sup>3</sup>

### RESUMEN:

**Objetivo:** Se estimará la contaminación por metales pesados y el riesgo ecológico proveniente de los suelos de Castelldefels (España), con el fin de saber si nuestra localidad en estudio presenta un grado y nivel importante de contaminación provocado por los metales pesados existentes en la localidad. Cabe mencionar que el cuidado de nuestro medio ambiente, está muy despreocupado por estos días y también todos aquellos metales pesados que polucionan. Esto repercute en la contaminación de una de las fuentes más importantes para el desarrollo de la vida como es el suelo. Por este motivo, es nuestro deber como seres humanos racionales el proteger y pronosticar cualquier daño provocado por metales pesados, ya que estos pueden filtrarse por el suelo y contaminar napas subterráneas, cultivos, flora, fauna, etc.

**Materiales y Métodos:** En los suelos de Castelldefels, se tomaron un total de 268 muestras de perfil de suelo, para evaluar la contaminación de Bario (Ba), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Vanadio (V), Zinc (Zn). Los métodos que se ocuparon para resolver esta problemática, fueron por medio del análisis exploratorio de datos, análisis multivariado e índices de riesgo ecológico. Además se podrá entender que elementos se familiarizarán con el suelo de la localidad en estudio. Asimismo, se entenderá, si la contaminación es geogénica o antropogénica. Para el desarrollo de las actividades, se utilizaron los programas XLSTAT una extensión de Microsoft Excel 2010, IBM y SSPS 21.

**Resultado y discusión:** Se determinó que los índices de metales pesados, muestran una gran dispersión de los datos. Además presentan valores extremos. El pH sigue un comportamiento normal con una asimetría igual a  $|-0.78|$ , al igual que el Cadmio con un valor de asimetría de 0.780. Para el análisis multivariado, el Níquel y Cromo presentan la mayor correlación con un valor de 0.923, indicando un posible origen común de estos elementos debido a la combustión del aceite o a las emisiones provocadas por la locomoción de la localidad. La clasificación por Orden de Suelo se puede inferir que la mayor cantidad de muestras corresponden a un orden de suelo Entisoles con 104 perfiles superficiales de suelo y para la clasificación por roca madre corresponde a la roca madre sedimentaria con un total de 143 perfiles superficiales de suelo.

**Conclusión:** El presente estudio arrojó que esta localidad presenta una mayor concentración de Bario (Ba). Sin embargo, el estudio de riesgo ecológico, representó que este metal pesado no era suficiente para contaminar esta localidad.

**PALABRAS CLAVES:** Suelo/Metales/Contaminación.

### ABSTRACT:

**Objective:** It will be estimated the contamination by heavy metals and the ecological risk coming from the soils of Castelldefels (Spain), in order to know if our locality in study presents an important degree and level of pollution caused by the heavy metals Existing in the locality. Cabe men-rationing that the care of our environment, is very carefree these days and also all those heavy metals that pollute. This has an impact on the pollution of one of the most important sources for the development of life as is the soil. For this reason, it is

<sup>1</sup> Estudiante de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, [lbaeza@ing.ucsc.cl](mailto:lbaeza@ing.ucsc.cl)

<sup>2</sup> Profesor titular, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, [ptume@ucsc.cl](mailto:ptume@ucsc.cl)

<sup>3</sup> Profesor coautor, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, [gbustamante@ucsc.cl](mailto:gbustamante@ucsc.cl)

our duty as rational human beings to protect and pro-nosticar any damage caused by heavy metals, as they can seep through the soil and contaminate underground NAPAs, crops, flora, fauna, etc.

**Materials and methods:** In the soils of Castelldefels, a total of 268 soil profile samples were taken to evaluate the contamination of barium (Ba), cadmium (Cd), chromium (CR), copper (Cu), nickel (Ni), lead (Pb), Vana (V), Zinc (Zn). The methods that were taken to solve this problem were by means of exploratory data analysis, multivariate analysis and ecological risk indexes. It will also be understood that elements will become familiar with the soil of the locality under study. It shall also be understood whether the contamination is geogenic or anthropogenic. For the development of the activities, XLSTAT programs were used an extension of Microsoft Excel 2010, IBM and SSPS 21.

**Result and discussion:** It was determined that the heavy metal indexes show a great dispersion of the data. They also present extreme values. PH follows normal behavior with an asymmetry equal to  $|-0.78|$  Like cadmium with an asymmetry value of 0780. For multivariate analysis, nickel and chromium present the highest correlation with a value of 0923, indicating a possible common origin of these elements due to the combustion of the oil or to the EMI-sions caused by the locomotion of the locality. The classification by soil order can be in-deferred that the largest number of samples correspond to an order of soil entisols with 104 surface profiles of soil and for the classification by rock mother corresponds to the sedimentary mother rock with a total of 143 Soil surface profiles.

**Conclusion:** The present study showed that this locality has a higher concentration of barium (Ba). Without em-Bargo, the study of ecological risk, represented that this heavy metal was not enough to Contami-Nar this locality.

**KEYWORDS:** Soil/Metals/Contamination

## 1. INTRODUCCIÓN

El suelo es la capa de la superficie y la base para nuestro ecosistema. Es el medio para el crecimiento de las plantas, independiente en que horizonte del suelo se encuentre. Se considera importante, porque suministran alimentos, fibras, drogas y otras necesidades de los seres humanos y porque filtra el agua y recicla desechos. El suelo cubre la superficie terrestre de forma continua y tiene un espesor que es determinado por la profundidad de enraizamiento de las plantas (Soil Taxonomi Second Edition, 1999). Como un componente importante del medio ambiente, el suelo debe considerarse como parte de la base para la existencia de los seres humanos (Alloway, 1995), ya que, es el receptor de grandes agentes contaminantes, incluyendo metales que pueden ser acumulados a largo plazo. Así mismo, el suelo es fundamental para el progreso de la vida humana e indispensable su estudio para obtener las condiciones en la que éste se encuentra, con el fin de tomar decisiones que mejoren la calidad del suelo y más aún, mejoren la vida de todo ser viviente que depende del suelo. La contaminación del suelo puede ser provocado por fuentes naturales y fuentes antropogénicas. La primera es aquella porción de su contenido que puede liberarse a la superficie terrestre o cerca de ella (biosfera), debido a procesos, mecánicos, químicos o biológicos. La segunda es provocada por la intervención del ser humano, las que puede tener diferentes causas, tales como, las actividad agrícola (riego, pesticidas, etc.), generación de energía eléctrica, actividad industrial, etc. Es por ello, que es de suma importancia tener el control sobre la contaminación del suelo producto de elementos químicos. Para ello se realizarán varias formas de cálculos estadísticos que nos permitirán decidir si está contaminada nuestra localidad (Canavos, 1992).

## 2. OBJETIVO, MATERIALES Y MÉTODO

### 2.1 Objetivos

- Estimar la contaminación de los suelos de Castelldefels (España), por metales pesados.
- Analizar la distribución de metales pesados mediante el análisis exploratorio de datos y análisis multivariado.
- Estimar los valores de fondo de los metales pesados para los suelos de Castelldefels.
- Estimar el riesgo ecológico de los suelos de Castelldefels.

- Analizar la distribución de metales pesados según el orden de suelo, mediante el análisis exploratorio de datos y análisis multivariado.
- Analizar la distribución de metales pesados según la clasificación de la roca madre, mediante el análisis exploratorio de datos y análisis multivariado.
- Determinar las relaciones de las propiedades del suelo con los metales pesados.

## 2.2 Ubicación, Clima y Geología.

Castelldefels está situado en la provincia de Barcelona, a los 41° 20' Latitud Norte y a los 2° 40' Longitud Este, es la última población en dirección Sur de la comarca Baix Llobregat, entre el delta de río y el Massís del Garraf. Limita de Este a Oeste con la línea de la costa, de unos 5 kilómetros de longitud con el mar Mediterráneo y de Norte a Oeste con los primeros relieves de Garraf. Castelldefels forma parte de la región de Cataluña (Castelldefels web, 1996).

Castelldefels goza de un clima típicamente mediterráneo, es decir, un régimen de lluvias muy concentrado en primavera y otoño, en forma de espectaculares tormentas que pueden llegar a descargar hasta 50 litros por m<sup>2</sup> en menos de una hora, y veranos e inviernos secos en los que se puede llegar a notar la influencia de los anticiclones. El efecto termorregulador del mar hace que los inviernos sean moderados y los veranos calurosos con un elevado grado de humedad. La temperatura media anual se sitúa en los 16° C (Castelldefels web, 1996).

La Geología de Castelldefels ha sido muy estudiada, a grandes rasgos, el Garraf es un macizo compuesto por una cobertura gruesa y compacta de dolomías y calcáreas del jurásico y cretáceo, que reposan sobre las calcáreas y asperones del triásico, los cuales, al mismo tiempo, se encuentran sobre los materiales paleozoicos. El conjunto del macizo está inclinado hacia el sureste. En el interior hay pliegues y numerosas fallas (Parques de Cataluña, 2017).

## 2.3 Procedimiento de Análisis

El presente estudio está compuesto en una primera parte, por una base de datos que contiene un total de 268 muestras de suelo. En estas se obtuvieron diversas propiedades (pH, CaCO<sub>3</sub>, Carbón Orgánico (CO), limo, arcilla, arena) y concentraciones de metales pesados (Ba, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn), en los cuales, todas las muestras se sometieron a un análisis exploratorio, análisis multivariado y análisis de riego ecológico. Además se realizó una clasificación por orden de suelo, en donde se calculó Estadística Descriptiva y Multivariada y por último se clasificó por tipo de roca madre, en donde se repitió el cálculo de Estadística Descriptiva y Multivariada. Para lograr todos los gráficos y cálculos, fue necesario recurrir al software IBM SSPS 21 y XLSTAT una extensión de Microsoft Excel 2010.

## 2.4 Análisis Exploratorio de la Base de Datos

Para entender de mejor manera los resultados es necesario analizar el comportamiento gráfico de las variables en estudio (pH, CaCO<sub>3</sub>, C O, limo, arcilla, arena, Ba, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn). Es por este motivo que se generaron; box plot (diagramas de caja), histograma y frecuencia acumulada.

## 2.5 Análisis Descriptivo de la Base de Datos

Este análisis nos permitirá controlar cuantitativamente la presencia de valores fuera del rango y valores atípicos para todas las variables en estudio, además nos permitirá observar la forma numérica que tienen los datos. Para esto se determinarán los estadísticos descriptivos que se nombran a continuación; Media, Mediana, Coeficiente de variación (CV), Desviación estándar (SD), Asimetría, Curtosis, Rango, Percentiles, Valores Mínimos y Máximos, Desviación Absoluta de la Media (MAD).

## 2.6 Análisis Multivariado de la Base de Datos

El análisis multivariado permitirá determinar una mejor interpretación de la base de datos, es decir, se determinarán, la correlación que existe entre cada elemento y reducirá la dimensión de los datos. Para este propó-

sito recurriremos al software IBM SSPS 21, el que nos permitirá apreciar gráficamente el comportamiento de los elementos. En el análisis multivariado se determinará la correlación de Spearman, Análisis de Componentes Principales y Análisis Clúster. Todos los procedimientos anteriores se determinaron con el software IBM SSPS 21.

## 2.7 Valores de Fondo

La detección de los valores atípicos de los datos, es una de las principales tareas de la estadística. Ya en 1962, varios procedimientos habrían sido recomendados para la selección de niveles para un umbral con el fin de identificar los valores atípicos (Hawkes y Webb, 1962). La obtención de los valores según Matschullat et al 2000, presenta varios métodos para determinar la línea de base de diversos ambientes las cuales son: Mediana+2MAD, Iterativo-2 $\sigma$  y Background Upper Whisker. Cabe destacar que estos valores se obtuvieron con los programas XLSTAT una extensión de Microsoft Excel 2010, IBM SSPS 21.

Método Mediana + 2MAD: la mediana y la desviación absoluta respecto de la mediana (Desviación absoluta de la mediana) se calculan a partir del conjunto de datos original (Reimann, Garrentt, 2005).

Método iterativo-2  $\sigma$ : esta técnica tiene por objetivo definir el fondo acudiendo a un rango normal (Matschullat, 2000). La media y la desviación estándar son calculadas para todo el conjunto de datos. Todos los valores más allá del intervalo Media $\pm$ 2 $\sigma$  se omiten. Este procedimiento se repite hasta que la iteración deje a los valores dentro del intervalo y dejando como valor de fondo el máximo de cada variable.

Background Upper Whisker: la forma para calcular dicho valor, es según la ecuación 1 y la ecuación 2.

$$\text{Upper inner fence (UIF)} = Q3 + 1.5(\text{IQR}) \quad (1)$$

De la ecuación (2) se tiene:

$$\text{Upper Whisker (UW)} = \max(x[x < \text{UIF}]) \quad (2)$$

Dónde:

UIF = Valla interior superior

Q3 = tercer cuartil

IQR = distancia inter cuartil (Q3-Q1)

x = concentración en cada punto

## 2.8 Índices de Riesgo Ecológico

Para encontrar valores que nos permitan decidir, si nuestras muestras están en riesgo de ser contaminado, debemos encontrar un valor umbral que se anteponga como límite, para ello debemos encontrar los valores de fondo. Posteriormente obtendremos el índice de geoacumulación, factor de contaminación, grado de contaminación, índice integrado de polución.

Índice de Geoacumulación (Igeo): permite estimar la contaminación comparando las concentraciones preindustriales y recientes de los metales en los suelos. Originalmente fue propuesta por Müller (1969) para sedimentos y luego modificado por Loska et al. (2004). La contaminación del suelo estimado ha sido ampliamente aplicado a varios metales traza en estudios de Europa (Yaylah-Abanuz, 2011), la expresión para calcularlo está representada en la ecuación 3.

$$Igeo = \log_2\left(\frac{Cn}{1.5 \cdot Bn}\right) \quad (3)$$

Cn = concentración de cada punto;

Bn = Valor de fondo (Mediana+2MAD)

El índice de Geoacumulación se divide en siete grupos: prácticamente no contaminado (Igeo<0); no contaminado a moderadamente no contaminado (0<Igeo<1); moderadamente contaminado (1<Igeo<2); moderadamente contaminado a muy contaminado (2<Igeo<3); muy contaminado (3<Igeo<4); fuertemente a extremadamente contaminado (4<Igeo<5); extremadamente contaminado (5<Igeo).

Factor de Contaminación (CF): el factor de contaminación será calculado con la ecuación 4, el cual nos permite tener el factor para cada muestra.

$$CF = \frac{Cn1}{Cn2} \quad (4)$$

Cn1 = concentración en cada punto

Cn2 = valor de fondo (Mediana+2MAD)

El factor de contaminación se divide en cuatro categorías: factor contaminación indica una baja contaminación ( $CF < 1$ ); factor contaminación moderada ( $1 < CF < 3$ ); factor contaminación considerable ( $3 < CF < 6$ ); factor contaminación de muy alta contaminación ( $6 < CF$ ).

Grado de Contaminación (CD): el cálculo para el grado de contaminación será simplemente la sumatoria de todos los factores de contaminación por muestra, véase ecuación 5.

$$CD = \sum CF \quad (5)$$

El grado de contaminación se divide en cuatro grupos: bajo grado de contaminación ( $CD < 8$ ); moderado grado de contaminación ( $8 < CD < 16$ ); considerable grado de contaminación ( $16 < CD < 32$ ); muy alto grado de contaminación ( $32 < CD$ ).

Índice Integrado de Polución (IPI): se define como el promedio de los factores de contaminación calculados para cada muestra (Yaylah-Abanuz, 2011), su cálculo se obtiene de la ecuación 6.

$$IPI = \frac{\sum CF}{n^{\circ} \text{ de muestras}} \quad (6)$$

El Índice integrado de polución está dividido en cuatro grupos: bajo nivel de polución ( $IPI < 1$ ); moderado nivel de polución ( $1 < IPI < 2$ ); alto nivel de polución ( $2 < IPI < 5$ ); muy alto nivel de polución ( $5 < IPI$ ).

## 2.9 Análisis Clasificación por Orden de Suelo

Para la clasificación por orden de suelo, en una primera parte se subdividió por perfiles, luego por subgrupo, por grupo, por suborden y finalmente por orden. Así los órdenes que predominaron en este estudio fueron; Alfisoles, Entisoles, Inceptisoles, Mellisoles. En este estudio se procederá a un análisis estadístico descriptivo y multivariado para este tipo de clasificación.

## 2.10 Análisis Clasificación por Roca Madre

Para esta tipo de clasificación se encuentran tres tipos de rocas: ígneas, metamórficas y sedimentarias. En el presente análisis predominaron dos tipos de rocas, roca sedimentaria y roca metamórfica. Luego se procederá a un análisis estadístico descriptivo y multivariado para este tipo de clasificación.

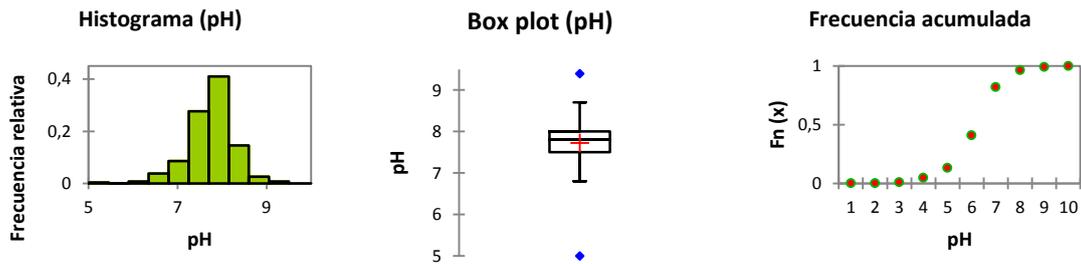
## 3. RESULTADOS

A continuación se podrá apreciar el cálculo y desarrollo del análisis exploratorio de datos, análisis multivariado (para la base de datos con todos los elementos, clasificación por orden de suelo y clasificación por roca madre) y análisis de riesgo ecológico de la base de datos, esto con el fin de entender el comportamiento de todas las propiedades de las 268 muestras superficiales.

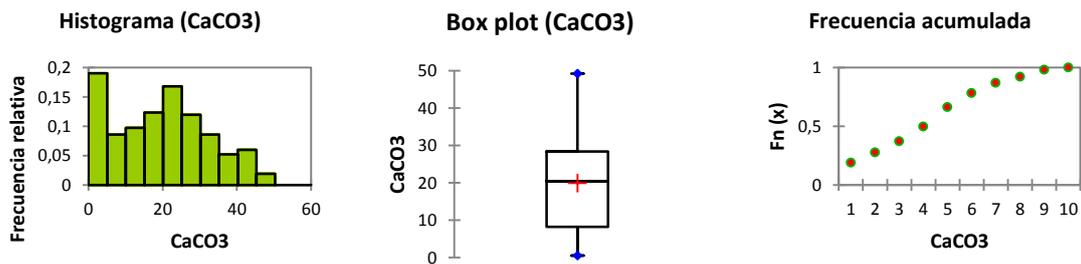
### 3.1 Análisis Exploratorio de la Base de Datos

Se puede observar en la figura 1, el pH sigue un comportamiento normal con una asimetría igual a  $|-0.78|$  (asimetría negativa) y en el diagrama de cajas se aprecia que existen valores atípicos, presentado un valor mayor a 9.4 mg/kg y una media= 7.73. Para el carbonato de calcio ( $CaCo_3$ ) véase en la figura 2, podemos observar que para los carbonatos se tiene una distribución sesgada positivamente y en el Box Plot existen valores atípicos, muy por sobre la media, con un valor de 49.3 mg/kg como valor máximo. El Carbón Orgánico, tiene una sesgo positivo, lo que nos permite hacer referencia, la mayor cantidad de los datos se encuentran por debajo de la media, esto con un total de 177 muestras, véase en la figura 3, Además podemos inferir que existen valores atípicos, presentando un máximo de 10.2 mg/kg. En los suelos, se puede observar a la

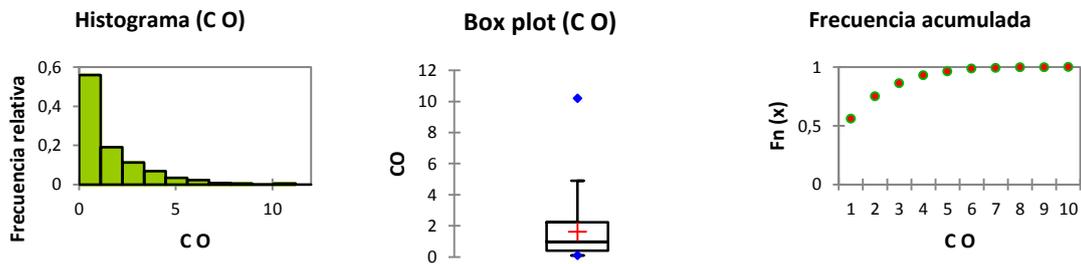
Arena, una gran variabilidad de los datos con un valor  $SD_{Arena} = 25.06$ , y un total de 158 muestras se encuentran por debajo de la media, además se tiene valores atípicos con un valor de  $98.4 \text{ mg/kg}$  como máximo y un  $0.01 \text{ mg/kg}$  como mínimo, véase en la figura 4. Así mismo el Limo, se puede apreciar que tiene una distribución negativa, presentando un total de 156 muestras que están por sobre la media, véase en la figura 5. En el diagrama de cajas se puede observar que existen valores atípicos con un valor máximo de  $64.8 \text{ mg/kg}$ . Para la Arcilla, véase figura 6, se tiene una distribución con sesgo positivo con un total de 151 muestras que están por debajo de la media, además en el diagrama de cajas se aprecia un valor máximo atípico con un valor de  $55.6 \text{ mg/kg}$ .



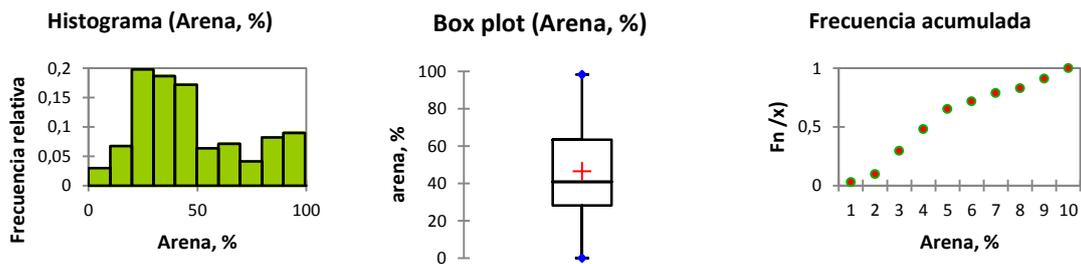
**Figura 1:** Histograma, Box Plot, y Frecuencia Acumulada para el pH.



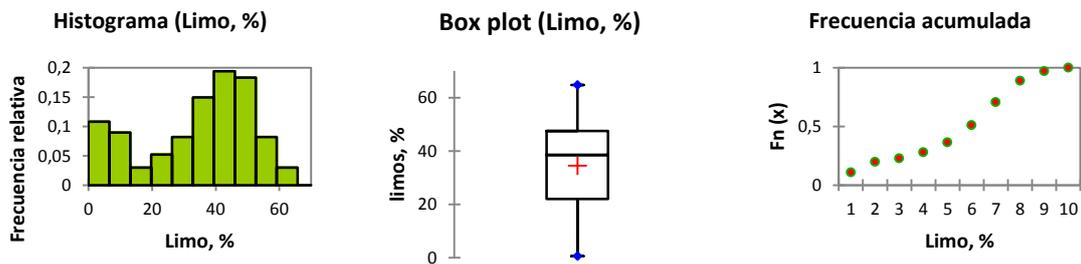
**Figura 2:** Histograma, Box Plot, y Frecuencia Acumulada para el CaCO3.



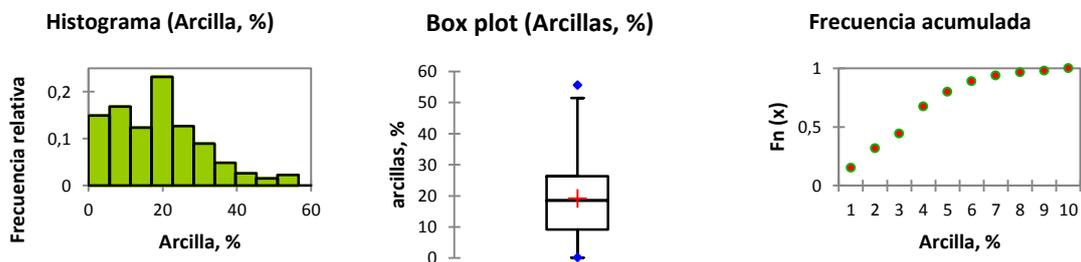
**Figura 3:** Histograma, Box Plot, y Frecuencia Acumulada para el Carbón Orgánico.



**Figura 4:** Histograma, Box Plot, y Frecuencia Acumulada para el Arena %.



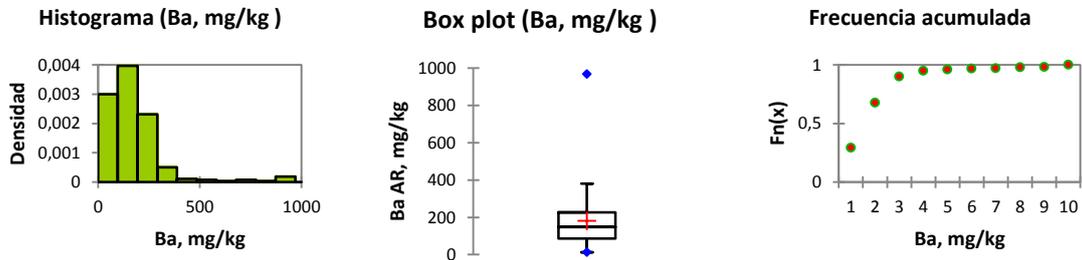
**Figura 5:** Histograma, Box Plot, y Frecuencia Acumulada para el Limo %.



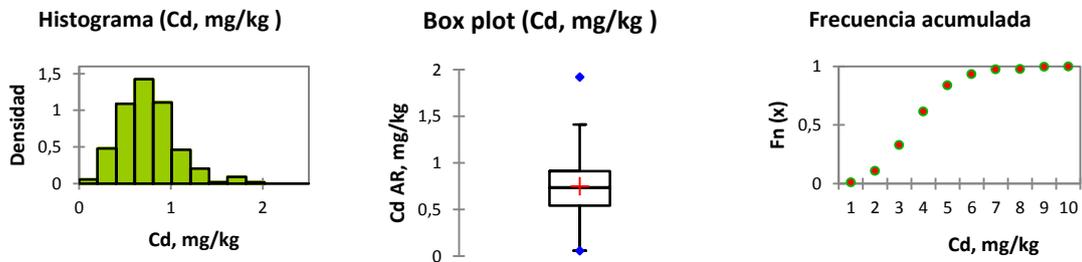
**Figura 6:** Histograma, Box Plot, y Frecuencia Acumulada para el Arcilla %.

Para los metales pesados, se puede observar una gran variabilidad de los datos para el Bario, con  $SDBa = 153.53$ , así un total de 167 muestras se encuentran por debajo de la media y un valor de asimetría igual a 3, véase en la figura 7. Existe un valor máximo (atípico) muy por sobre la media, lo que es evidente en el diagrama de caja con un valor máximo de 968 mg/kg. Con respecto al Cadmio se puede observar una distribución normal con un valor de asimetría de 0.780, además presenta poca variabilidad de los datos con un valor  $SDCd = 0.3$ . Es evidente el valor máximo atípico, este tiene un valor numérico de 1,92 mg/kg, véase en la figura 8. Para el Cromo, se puede apreciar que presenta una gran variabilidad de los datos con un valor  $SDCr = 14.67$ , véase en la figura 9, además presenta un leve sesgo positivo, donde un total de 151 muestras se encuentran por debajo de la media. Como podemos ver se tiene un valor atípico máximo con un valor de 84.7 mg/kg. En la figura 10, se puede observar un evidente sesgo positivo para el Cobre, esto resume que un total de 197 muestras están por debajo de la media, presentando un valor atípico máximo de 262 mg/kg. Para el Níquel podemos observar que tiene un sesgo positivo y que tiene una gran variabilidad entre sus datos con un valor  $SDNi = 16.64$ . Además, se representa en el diagrama de caja un valor atípico máximo de 113 mg/kg, véase en la figura 11. El Plomo presenta un sesgo positivo con 194 muestras que están por debajo de la media, véase en la figura 12. Este elemento químico presenta un valor atípico máximo con un valor de 447 mg/kg, además presenta una gran dispersión de sus datos con un valor  $SDPb = 41.64$ . En la figura 13, el Vanadio muestra una distribución con leve sesgo positivo, esto refleja, tan solo 139 muestras están por debajo

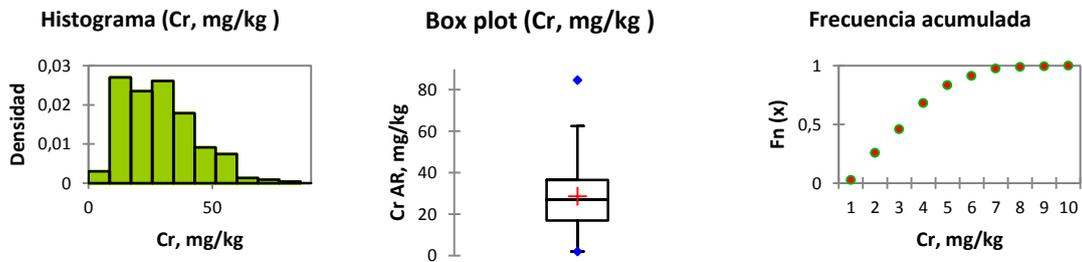
de la media, sin embargo este elemento químico presenta un valor atípico máximo de 179 mg/kg. El Zinc, véase en la figura 14, presenta un evidente sesgo positivo el que refleja un total de 170 muestras están por debajo de la media. Este elemento químico presenta una gran dispersión de los datos con un valor  $SDZn = 55.07$ . En el diagrama de caja se aprecia un valor atípico con un valor máximo de 540 mg/kg.



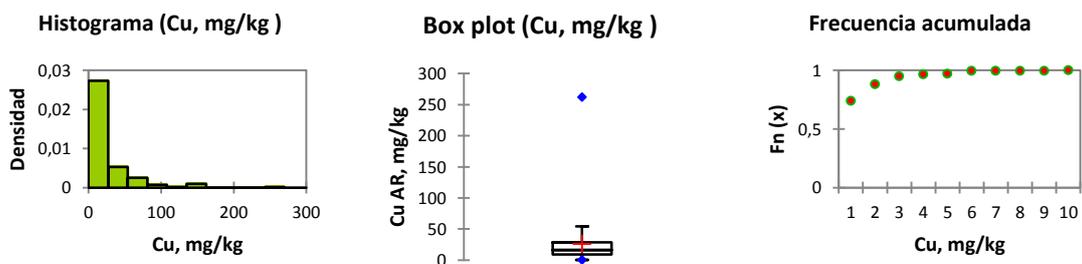
**Figura 7:** Histograma, Box Plot, y Frecuencia Acumulada para el Ba.



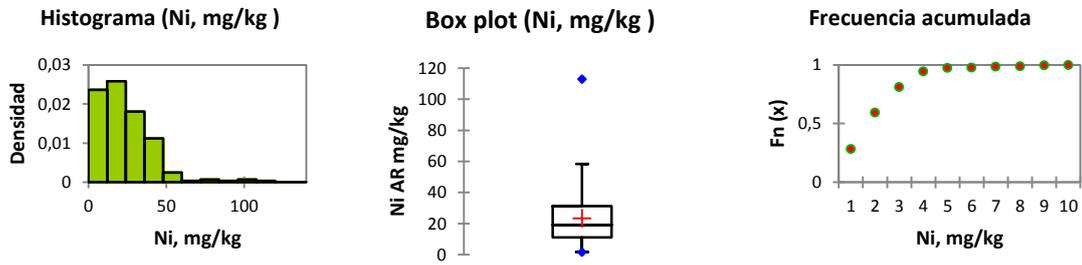
**Figura 8:** Histograma, Box Plot, y Frecuencia Acumulada para el Cd.



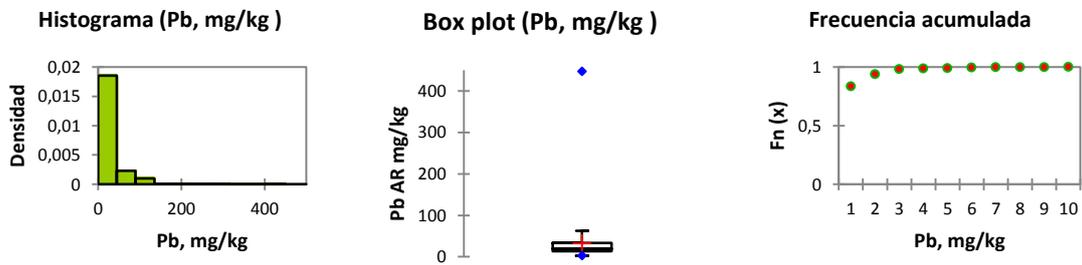
**Figura 9:** Histograma, Box Plot, y Frecuencia Acumulada para el Cr.



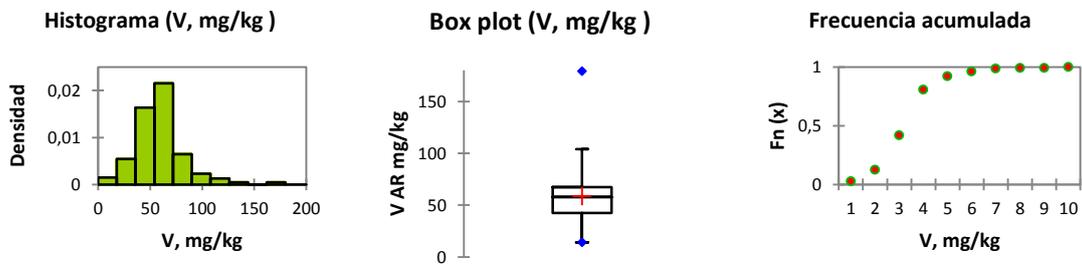
**Figura 10:** Histograma, Box Plot, y Frecuencia Acumulada para el Cu.



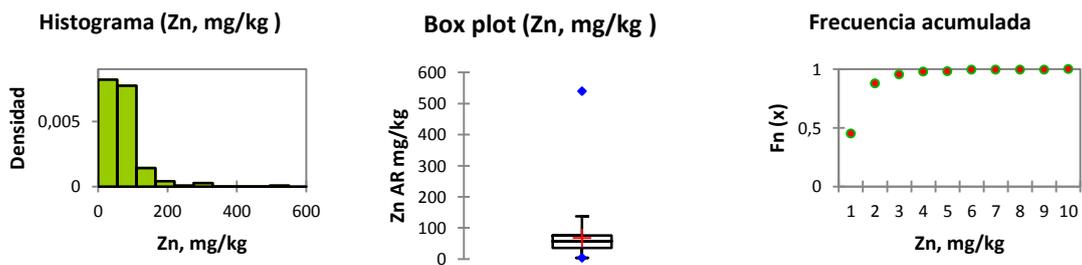
**Figura 11:** Histograma, Box Plot, y Frecuencia Acumulada para el Ni.



**Figura 12:** Histograma, Box Plot, y Frecuencia Acumulada para el Pb.



**Figura 13:** Histograma, Box Plot, y Frecuencia Acumulada para el V.



**Figura 14:** Histograma, Box Plot, y Frecuencia Acumulada para el Zn.

### 3.2 Estadística Univariada

Se presentan la estadística descriptiva para los metales pesados, véase en la tabla 1 y un análisis descriptivo para el pH, Carbonato de Calcio (CaCO<sub>3</sub>), Carbón Orgánico (C O), limo, arcilla y arena, véase en la tabla 2, de los perfiles de suelos superficiales en estudio.

**Tabla 1:** Análisis Descriptivo para los propiedades químicas de los perfiles en estudio (N=268).

Elemento	Media	Mediana	SD	CV (%)	Asimetría	Curtosis	Rango	Mínimo	Máximo	Percentiles					MAD
										5	25	75	90	98	
<b>Ba</b>	<b>179,65</b>	148,00	153,53	<b>85</b>	3,02	11,43	955,40	12,60	968,00	50,48	85,33	226,75	292,40	860,60	69,10
<b>Cd</b>	<b>0,75</b>	0,74	0,30	40	0,78	1,23	1,86	0,06	1,92	0,32	0,54	0,91	1,13	1,63	0,19
<b>Cr</b>	28,61	27,00	14,67	51	0,68	0,32	82,71	<b>1,99</b>	<b>84,70</b>	9,40	16,88	36,65	49,81	61,41	9,90
<b>Cu</b>	26,16	16,30	31,39	<b>120</b>	3,34	15,46	261,67	<b>0,33</b>	<b>262,00</b>	3,39	9,22	29,30	61,44	140,24	7,89
<b>Ni</b>	23,35	19,20	16,64	71	2,05	6,99	111,34	<b>1,66</b>	<b>113,00</b>	5,55	11,05	31,25	40,81	76,17	9,41
<b>Pb</b>	31,71	19,65	41,64	<b>131</b>	5,52	43,32	444,27	<b>2,73</b>	<b>447,00</b>	5,99	13,30	34,03	63,36	149,38	8,25
<b>V</b>	<b>58,69</b>	57,70	23,93	41	1,28	3,84	164,90	14,10	179,00	22,40	42,40	67,40	85,77	122,62	12,30
<b>Zn</b>	<b>68,00</b>	57,80	55,07	<b>81</b>	3,83	23,65	535,58	4,42	540,00	17,90	35,48	76,30	125,10	263,10	20,50

**Tabla 2:** Análisis Descriptivo para pH, CaCO<sub>3</sub>, C O, limo, arcilla y arena de los perfiles en estudio (N=268).

Elementos	Media	Mediana	SD	CV (%)	Asimetría	Curtosis	Rango	Mínimo	Máximo	Percentiles					MAD
										5	25	75	90	98	
<b>pH</b>	7,73	7,80	0,51	7	-0,78	3,40	4,40	5,00	9,40	6,75	7,50	8,00	8,30	8,76	0,3
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	19,88	20,40	12,89	65	0,17	-0,87	48,80	0,50	49,30	1,30	8,13	28,40	39,32	45,59	9,9
<b>CO</b>	1,61	0,98	1,67	<b>104</b>	1,88	4,24	10,10	0,10	10,20	0,10	0,40	2,28	3,90	6,42	0,68
<b>Arena</b>	<b>46,42</b>	40,85	25,06	54	0,52	-0,72	98,39	0,01	98,40	13,74	28,05	63,59	88,56	94,90	14,95
<b>Limo</b>	34,46	38,55	17,26	50	-0,57	-0,81	64,20	0,60	64,80	2,44	22,00	47,58	53,91	61,42	10,5
<b>Arcilla</b>	19,12	18,50	12,23	64	0,76	0,39	55,40	0,20	55,60	2,75	9,20	26,38	35,52	52,93	8,9

Para los elementos en estudio de la tabla 1, se puede inferir que el Barrio presenta valores muy superiores a todos los elementos en estudio. Si observamos la media nos daremos cuenta de que corrobora nuestro análisis, ya que, representa el mayor valor de concentración (Media Ba=179.65 mg/kg), sin embargo, se puede inferir todo lo contrario para el Cadmio, el cual tiene el menor valor de concentración (Media=0.75 mg/kg). No obstante, se puede observar el Cromo, Cobre, Níquel y Plomo presentan un promedio bastante similar, sin embargo en los cuatro elementos nombrados existen valores máximos y mínimos que están muy alejados de la media, lo que indica que existen valores atípicos. Para los valores de Vanadio y Zinc podemos inferir que son las concentraciones mayores que siguen al Barrio (Media V=58.69 mg/kg y Media Zn=68 mg/kg respectivamente). Los mayores porcentajes de coeficiente de variación, son para los elementos químicos Plomo, Cobre, Barrio y Zinc (131, 120, 85 y 81 respectivamente). Así, podemos asegurar que estos valores son heterogéneos. Por otro lado el Cadmio y Vanadio presentan los valores más bajos para el porcentaje de coeficiente de variación, lo que se interpreta que estos elementos químicos tiene una mayor homogeneidad de los datos.

Se presenta un análisis descriptivo en la tabla 2, para el pH, Carbonato de Calcio (CaCO<sub>3</sub>), Carbón Orgánico (C O), limo, arcilla y arena. Se puede inferir que los valores presentan una mayor homogeneidad excepto el Carbón Orgánico, presentando un valor de coeficiente de variación igual a 104 por ciento, lo que se interpreta que es un valor heterogéneo, además cabe destacar que la mayor concentración de suelo que se obtiene, es de tipo de arenoso con un valor promedio de 46.42%, el cual se puede inferir que es correspondiente, ya que Castelldefels está ubicado en una costa de España.

### 3.3 Análisis Multivariado para la base de datos

**Tabla 3:** Matriz de correlación de Spearman para toda Base de Datos.

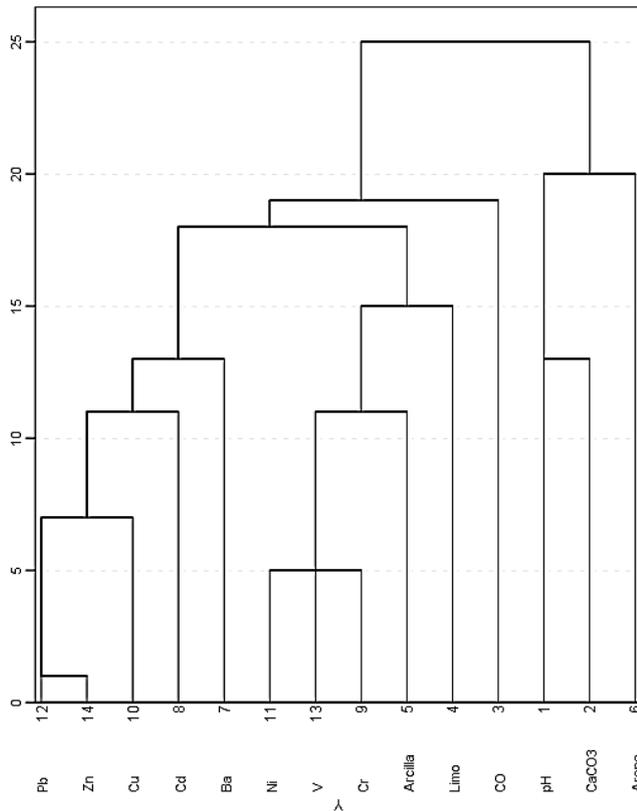
Elementos	pH	CaCO3	CO	Arcilla	Arena	Limo	Ba	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
pH	1	0,504**	-0,331**	-0,204**	0,201**	-0,172**	-0,513**	-0,203**	-0,472**	-0,447**	-0,461**	-0,373**	-0,173**	-0,431**
CaCO3		1	-0,059	-0,045	0,022	0,064	-0,437**	-0,282**	-0,442**	-0,316**	-0,412**	-0,255**	-0,121*	-0,363**
CO			1	0,145*	-0,230**	0,317**	0,044	0,068	0,272**	0,181**	0,208**	0,442**	0,205**	0,329**
Arcilla				1	-0,830**	0,452**	0,422**	0,085	0,677**	0,342**	0,634**	0,189**	0,715**	0,344**
Arena					1	-0,828**	-0,319**	-0,006	-0,637**	-0,247**	-0,564**	-0,180**	-0,667**	-0,311**
Limo						1	0,146*	-0,048	0,434**	0,129*	0,372**	0,116	0,480**	0,203**
Ba							1	0,550**	0,647**	0,779**	0,749**	0,533**	0,429**	0,689**
Cd								1	0,261**	0,566**	0,346**	0,554**	0,074	0,564**
Cr									1	0,577**	<b>0,923**</b>	0,398**	<b>0,802**</b>	0,542**
Cu										1	0,694**	0,698**	0,394**	0,797**
Ni											1	0,407**	0,757**	0,585**
Pb												1	0,227**	<b>0,813**</b>
V													1	0,330**
Zn														1

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

\* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Correlación de Spearman: en la tabla 3, se puede apreciar una fuerte relación entre Níquel y Cromo con un valor de 0.923, el Plomo y Zinc con un valor de 0.813 y Vanadio con Cromo con un valor de 0.802, esto refleja una hipótesis de la fuente, de un posible origen común por actividades industriales (Slavkovic et al 2004). Por lo contrario tenemos la correlación menos fuerte con una valor de 0.006 entre Arena y Cadmio.

Análisis de Componentes Principales y Análisis Clúster: para la tabla 4, la componente 1 con un 36.5% de varianza total y representando las cargas más altas, correspondientes a los elementos Níquel, Cromo, y Vanadio con valores de 0.836, 0.832 y 0.720 respectivamente, las que también se agrupan en el Análisis Clúster, véase figura 15, estos elementos pueden tener un posible origen que está relacionado con las fuentes (Slavkovic et al 2004). Según nuestro análisis, es posible que proceda de la combustión del aceite pesado o por emisiones que provoca el cromo en los medios de locomoción (Allen et al., 2001). Para la componente 2 con un 21.2% de la varianza total, se aprecia la mayor carga para Cobre, Plomo, Zinc y Cadmio con valores de 0.582, 0.707, 0.622 y 0.554 respectivamente, las que también se agrupan en el Análisis Clúster, véase figura 15, es posible que estos elementos provengan de una fuente antropogénica, por ejemplo, para fundaciones no ferrosas. Para la componente 3 con un 10.5% de varianza total está compuesta de Plomo, Zinc y Cadmio, los que de igual manera están agrupados en el Análisis Clúster, véase figura 15. Este perfil sugiere una fuente común de emisiones automovilísticas (Allen et al., 2001), además estos elementos están en la componente 2 lo que no se puede excluir una mezcla de distintas fuentes.



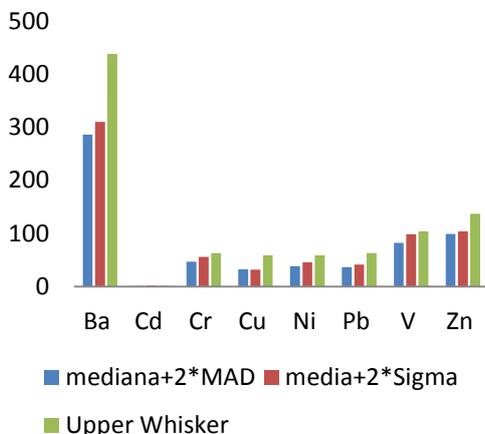
**Figura 15:** Análisis Clúster para toda la base de datos (N=268).

**Tabla 4:** Componentes principales para toda la base de datos (N=268)

	Componente			
	1	2	3	4
<b>Arena</b>	<b>-0,594</b>	<b>0,655</b>	<b>-0,411</b>	-0,028
<b>Limo</b>	<b>0,452</b>	<b>-0,559</b>	<b>0,507</b>	-0,083
<b>Arcilla</b>	<b>0,578</b>	<b>-0,553</b>	0,127	0,174
<b>CO</b>	0,342	0,040	0,358	<b>-0,597</b>
<b>CaCO3</b>	<b>-0,435</b>	-0,156	<b>0,457</b>	<b>0,498</b>
<b>pH</b>	<b>-0,529</b>	-0,104	0,205	<b>0,605</b>
<b>Ba</b>	<b>0,697</b>	0,246	-0,298	0,254
<b>Cd</b>	<b>0,512</b>	<b>0,554</b>	0,035	0,099
<b>Cr</b>	<b>0,832</b>	-0,324	-0,174	-0,091
<b>Cu</b>	<b>0,657</b>	<b>0,582</b>	0,001	0,293
<b>Ni</b>	<b>0,836</b>	-0,157	-0,368	0,122
<b>Pb</b>	<b>0,447</b>	<b>0,707</b>	<b>0,434</b>	0,068
<b>V</b>	<b>0,720</b>	<b>-0,409</b>	-0,207	0,264
<b>Zn</b>	<b>0,589</b>	<b>0,622</b>	0,399	-0,009
<b>% Var.</b>	<b>36,5</b>	<b>21,2</b>	<b>10,5</b>	<b>9,0</b>
<b>% Acum.</b>	<b>36,5</b>	<b>57,7</b>	<b>68,2</b>	<b>77,2</b>

### 3.4 Valores de Fondo

Para encontrar valores que nos permitan decidir, si nuestro estudio está en riesgo de ser contaminado, debemos encontrar un valor umbral que se anteponga como límite, para ello debemos encontrar los valores de fondo. En la tabla 5 podemos observar un resumen con los valores de fondo y Background Upper Whisker, en la figura 17, se puede ver un gráfico para comparar más visualmente los valores de fondo y método Upper Whisker.



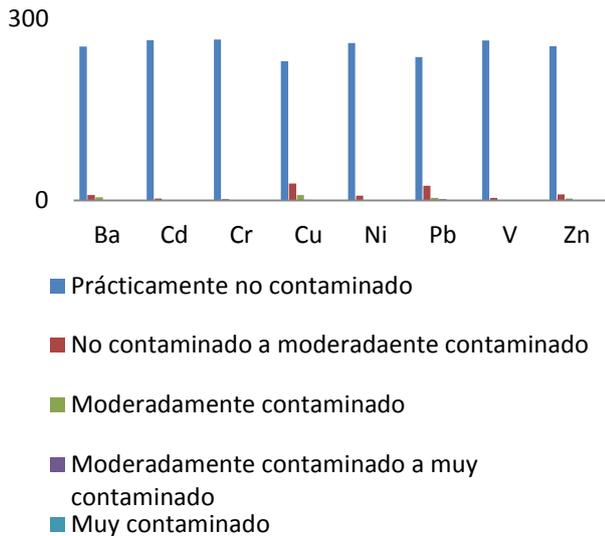
**Figura 16:** Gráfico Valores de Fondo y Background Upper Whisker.

**Tabla 5:** Resumen Valores de Fondo y Background Upper Whisker.

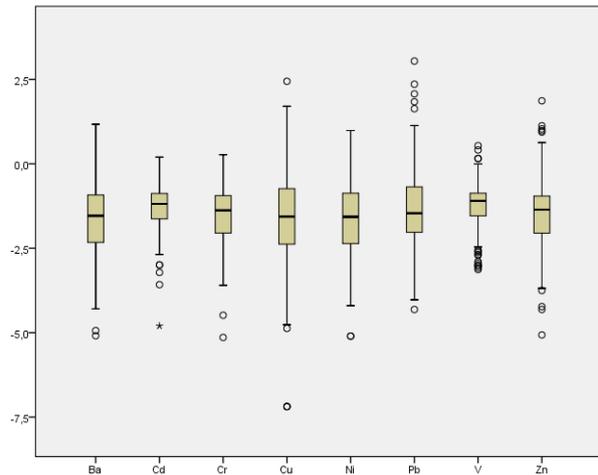
Elementos	Mediana+2*MAD	Media+2*Sigma	Upper Whisker
<b>Ba</b>	286,1	296	438
<b>Cd</b>	1,115	1,28	1,41
<b>Cr</b>	46,8	51,7	62,6
<b>Cu</b>	32,07	30,1	58,6
<b>Ni</b>	38,02	42,5	58,4
<b>Pb</b>	36,15	40,1	62,8
<b>V</b>	82,2	96,5	104
<b>Zn</b>	98,7	104	137

### 3.5 Riesgo Ecológico

Índice Geoacumulación (Igeo): en la figura 17, se puede apreciar que la mayor cantidad de muestras se encuentran en la categoría, “prácticamente no contaminadas” y en la figura 18 se puede apreciar un Box Plot estadístico (diagrama de cajas), representando los valores atípicos para el índice geoacumulación. En otras palabras, existen 254 muestras de 268 que están prácticamente no contaminadas, esto representa un valor aproximado de 94.77% de perfiles no contaminados.



**Figura 17:** Gráfico para Índice de Geoacumulación.



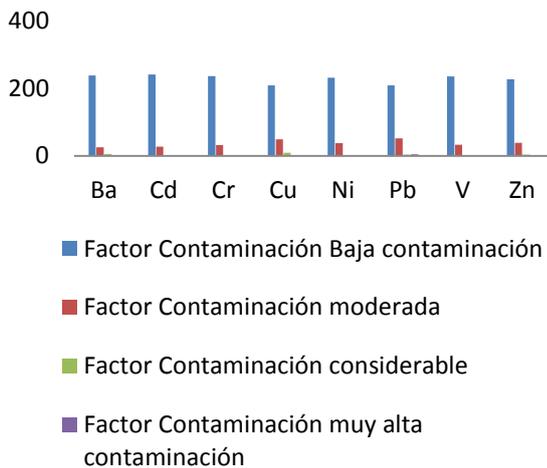
**Figura 18:** Box Plot para Índice Geoacumulación.

**Tabla 6:** Análisis Descriptivo para el Índice de Geoacumulación (N=268).

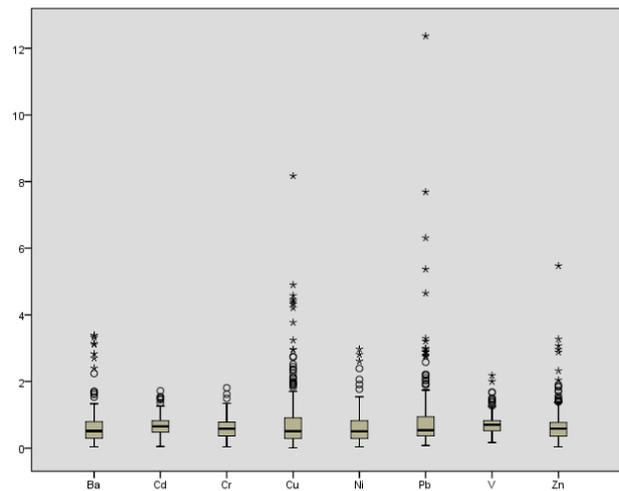
Elementos	Media	Mediana	SD	CV (%)	Asimetría	Curtosis	Rango	Mínimo	Máximo	Percentiles				
										5	25	75	90	98
<b>Ba</b>	-1,62	-1,54	1,01	-62	-0,01	0,80	6,26	-5,09	1,17	-3,09	-2,33	-0,92	-0,55	1,00
<b>Cd</b>	-1,28	-1,19	0,64	-50	-1,03	3,33	5,00	-4,80	0,20	-2,37	-1,63	-0,88	-0,57	-0,04
<b>Cr</b>	-1,51	-1,38	0,84	-56	-0,71	0,75	5,41	-5,14	0,27	-2,90	-2,06	-0,94	-0,50	-0,19
<b>Cu</b>	-1,57	-1,56	1,46	-93	-0,41	1,71	9,63	-7,19	2,45	-3,83	-2,38	-0,72	0,35	1,54
<b>Ni</b>	-1,62	-1,57	1,02	-63	-0,36	0,24	6,09	-5,10	0,99	-3,36	-2,37	-0,87	-0,48	0,42
<b>Pb</b>	-1,33	-1,46	1,17	-88	0,48	0,86	7,36	-4,31	3,04	-3,18	-2,03	-0,67	0,22	1,44
<b>V</b>	-1,19	-1,10	0,61	-51	-0,64	1,35	3,67	-3,13	0,54	-2,46	-1,54	-0,87	-0,52	-0,01
<b>Zn</b>	-1,44	-1,36	0,95	-66	-0,12	1,30	6,93	-5,07	1,87	-3,05	-2,06	-0,96	-0,24	0,82

Para los elementos en estudio de la tabla 6, se puede inferir que la Desviación Estándar presentadas para cada elemento tienen valores muy bajos, además se puede apreciar que todos los promedios tienen valores negativos. El Bario presenta el mismo valor que el Níquel con un valor de -1.62 mg/kg. Para complementar podemos decir que los datos para el Índice de Geoacumulación presentan una distribución bastante normal, ya que la asimetría de los elementos presentan valores cercanos a 1 a excepción de Bario y el Zinc.

Factor de Contaminación: en la figura 19, se puede apreciar que la mayor cantidad de las muestras se encuentra en “factor de contaminación de baja contaminación”, y en la figura 20, se tiene un box plot estadístico (diagrama de cajas), el que nos muestra la cantidad de datos atípicos que existen para el factor de contaminación. En otras palabras, de los 268 perfiles de suelo, reflejan que existen 238 con “baja contaminación” y esto representa un 88% de los perfiles de suelo con baja contaminación.



**Figura 19:** Gráfico para Factor de Contaminación.



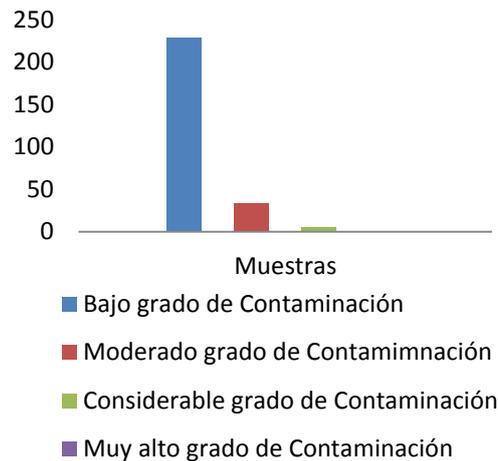
**Figura 20:** Box Plot para Factor de Contaminación.

**Tabla 7:** Análisis Descriptivo para el Factor de Contaminación (N=268).

Elementos	Media	Mediana	SD	CV (%)	Asimetría	Curtosis	Rango	Mínimo	Máximo	Percentiles				
										5	25	75	90	98
<b>Ba</b>	0,63	0,52	0,54	85	3,02	11,44	3,34	0,04	3,38	0,18	0,30	0,79	1,02	3,00
<b>Cd</b>	0,67	0,66	0,27	40	0,77	1,22	1,67	0,05	1,72	0,29	0,48	0,82	1,01	1,46
<b>Cr</b>	0,61	0,58	0,31	51	0,69	0,33	1,77	0,04	1,81	0,20	0,36	0,78	1,06	1,32
<b>Cu</b>	0,82	0,51	0,98	120	3,34	15,46	8,16	0,01	8,17	0,10	0,29	0,92	1,91	4,37
<b>Ni</b>	0,61	0,51	0,44	71	2,05	6,96	2,93	0,04	2,97	0,15	0,29	0,82	1,07	2,00
<b>Pb</b>	0,88	0,54	1,15	131	5,52	43,33	12,29	0,08	12,37	0,16	0,37	0,95	1,76	4,13
<b>V</b>	0,71	0,70	0,29	41	1,28	3,85	2,01	0,17	2,18	0,27	0,52	0,82	1,04	1,49
<b>Zn</b>	0,69	0,59	0,56	81	3,83	23,64	5,43	0,04	5,47	0,18	0,36	0,77	1,27	2,67

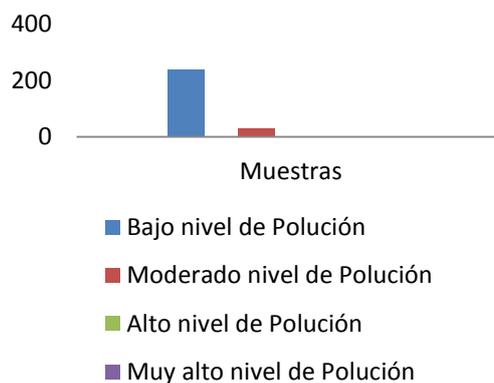
Para los elementos en estudio de la tabla 7, se puede inferir que el promedio más alto, recae en el Plomo con un valor de 0.88 mg/kg, además se puede apreciar que el porcentaje de coeficiente de variación más alto es para el Cobre y el Plomo con valores de 120 y 131 respectivamente, esto nos indica que tiene mucha dispersión de los datos y por lo tanto, los promedios no son representativos, es decir, los datos son heterogéneos. Cabe mencionar además que los valores máximos y mínimos se encuentran muy alejados de la media lo que indica que existen valores atípicos.

Grado de Contaminación: el cálculo de este coeficiente, determinó que la mayor cantidad de las muestras se encuentran en el grupo “bajo grado de contaminación”, véase la figura 21, con 229 muestras de un total de 268, correspondientes a un 85.4% bajo grado de contaminación.



**Figura 21:** Gráfico para Grado de Contaminación.

Índice Integrado de Polución: en la figura 22, se puede apreciar para el IPI, presenta la mayor cantidad de las muestras de nuestro estudio en “bajo nivel de polución”, con 238 muestras de un total de 268, esto arroja un valor de 88.8% de bajo nivel de contaminación.



**Figura 22:** Gráfico para Índice Integrado de Polución.

### 3.6 Análisis Estadístico Clasificación por Orden de Suelo

En el presente estudio se determinó que predominaron 4 grupos: Alfisoles, Entisoles, Inceptisoles, Mellisoles. A continuación se presenta la estadística descriptiva y Análisis multivariado para cada grupo.

**Tabla 8:** Análisis Descriptivo según el Orden de Suelo Alfisoles (N=94).

Elementos	Media	Mediana	SD	CV (%)	Asimetría	Curtosis	Rango	Mínimo	Máximo	Percentiles					MAD
										5	25	75	90	98	
<b>pH</b>	7,55	7,60	0,43	6	-0,44	0,46	2,30	6,40	8,70	6,68	7,30	7,80	8,05	8,34	0,60
<b>CaCO3</b>	16,64	17,60	12,91	78	0,41	-0,85	48,80	0,50	49,30	1,30	3,20	25,75	34,45	44,44	5,85
<b>CO</b>	1,71	1,00	1,80	105	1,94	4,85	10,10	0,10	10,20	0,10	0,40	2,35	4,20	6,87	1,35
<b>Arena</b>	31,40	29,75	12,36	39	0,95	1,26	65,90	10,20	76,10	14,35	22,05	38,08	47,55	64,93	6,85
<b>Limo</b>	41,96	43,50	10,46	25	-0,20	-0,35	46,40	17,20	63,60	21,95	34,80	48,93	55,65	62,70	7,70
<b>Arcilla</b>	26,64	25,50	10,83	41	0,58	0,56	53,50	2,10	55,60	9,50	20,48	31,48	43,00	54,52	6,15
<b>Ba</b>	<b>187,49</b>	176,00	65,94	35	0,40	-0,39	273,20	65,80	339,00	80,45	138,75	233,00	289,00	336,30	26,45
<b>Cd</b>	<b>0,75</b>	0,75	0,24	31	0,72	2,30	1,51	0,21	1,72	0,37	0,59	0,89	1,07	1,42	0,26
<b>Cr</b>	38,07	37,35	13,60	36	0,47	0,54	74,70	10,00	84,70	16,98	28,50	46,60	56,20	71,38	8,05
<b>Cu</b>	23,01	18,50	15,05	65	2,46	6,67	84,52	3,58	88,10	9,82	14,95	24,45	39,10	81,53	7,11
<b>Ni</b>	30,60	28,55	14,81	48	1,35	3,35	87,90	3,10	91,00	11,05	21,48	37,73	46,50	79,57	5,97
<b>Pb</b>	29,12	21,70	23,16	80	3,29	14,68	160,66	7,34	168,00	10,73	16,03	32,88	50,90	110,40	19,23
<b>V</b>	<b>70,28</b>	66,25	22,93	33	1,44	3,39	139,60	24,40	164,00	43,10	56,83	78,38	100,65	140,60	39,95
<b>Zn</b>	<b>72,91</b>	64,20	39,30	54	3,47	17,90	306,20	16,80	323,00	39,70	54,30	76,30	107,50	201,50	<b>33,51</b>

Para los elementos en estudio de la tabla 8, se puede inferir que el Bario presenta el mayor valor en promedio, con un valor de 187.49 mg/kg. Sin embargo, se puede inferir todo lo contrario para el Cadmio, el cual tiene el menor valor en promedio, con un valor de 0.75 mg/kg. No obstante, se puede observar el Vanadio y Zinc, presentan un promedio bastante alto con respecto a los otros elementos (Media V=70.28 mg/kg y Media Zn=72.91 mg/kg respectivamente), sin embargo en los dos elementos nombrados existen valores máximos y mínimos que están muy alejados de la media, lo que indica que existen valores atípicos. Los mayores valores en porcentaje de coeficiente de variación recaen en el Carbón Orgánico y Plomo (105% y 80% respectivamente). Así, podemos asegurar que estos valores son heterogéneos. Por otro lado tenemos el pH, limo, Bario, Cadmio, Cromo, Vanadio, presentan los valores más bajos para el coeficiente de variación, lo que se interpreta que estos elementos tiene una mayor homogeneidad de los datos.

**Tabla 9:** Correlación de Spearman según el Orden de Suelo Alfisoles (N=94).

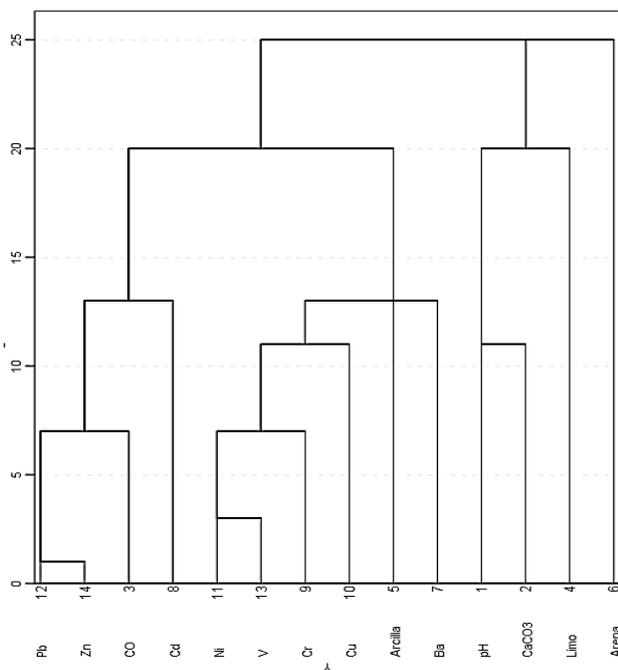
Elemento	pH	CaCO3	CO	Arena	Limo	Arcilla	Ba	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
<b>pH</b>	1	0,543**	-0,199	-0,112	0,019	0,103	-0,457**	-0,115	-0,131	-0,346**	-0,151	-0,118	0,312**	-0,247*
<b>CaCO3</b>		1	-0,128	0,078	0,247*	-0,265**	-0,724**	-0,337**	-0,634**	-0,582**	-0,628**	-0,392**	-0,231*	-0,487**
<b>CO</b>			1	0,101	0,210*	-0,291**	-0,046	0,222*	0,142	0,157	0,072	0,635**	-0,072	0,466**
<b>Arena</b>				1	-0,518**	-0,59**	-0,064	0,041	-0,346**	-0,017	-0,226*	-0,085	-0,426**	-0,250*
<b>Limo</b>					1	-0,271**	-0,395**	-0,094	-0,120	-0,235*	-0,251*	0,105	-0,025	0,113
<b>Arcilla</b>						1	0,396**	0,041	0,519**	0,247*	0,502**	-0,038	0,575**	0,210*
<b>Ba</b>							1	0,292**	0,540**	0,519**	0,594**	0,219*	0,227*	0,425**
<b>Cd</b>								1	0,197	0,390**	0,280**	0,389**	0,100	0,342**
<b>Cr</b>									1	0,584**	<b>0,907**</b>	0,394**	<b>0,723**</b>	0,546**
<b>Cu</b>										1	0,699**	0,464**	0,283**	0,592**
<b>Ni</b>											1	0,337**	0,660**	0,510**
<b>Pb</b>												1	0,285**	<b>0,719**</b>
<b>V</b>													1	0,308**
<b>Zn</b>														1

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

\* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Correlación de Spearman: en la tabla 9, se puede apreciar una fuerte relación entre Níquel y Cromo con un valor de 0.907, el Plomo y Zinc con un valor de 0.719 y Vanadio con Cromo con un valor de 0.723, esto nos indica una hipótesis sobre la fuente, posiblemente sea de origen común por actividades industriales (Slavkovic et al 2004). Por lo contrario tenemos la correlación menos fuerte con una valor de 0.041 entre Arena y Cadmio.

Análisis de Componentes Principales y Análisis Clúster: la componente 1 de la tabla 10 con un 35% de varianza total y representando las cargas más altas correspondientes a los elementos Níquel, Cobre, y Bario con valores de 0.835, 0.755 y 0.745 respectivamente, las que también se agrupan en el Análisis Clúster, véase figura 23, estos elementos pueden tener un posible origen que está relacionado con las fuentes (Slavkovic et al 2004) según nuestro análisis es posible que proceda de las fundaciones que no contienen fierro. Para la componente 2 de la tabla 10 con un 20.4% de la varianza total, se aprecia con las mayores cargas, Carbón Orgánico, Plomo, Zinc y Cadmio con valores de 0.747, 0.741, 0.662 y 0.429 respectivamente, las que también se agrupan en el Análisis Clúster, véase figura 23, es posible que estos elementos provengan de la combustión de basura o también hace suponer que proviene de una fuente natural externa al agruparse con el Carbón Orgánico. Para la componente 3 de la tabla 10 con un 13% de varianza total está compuesta, con una gran carga el Limo, los demás valores presentan cargas muy bajas con respecto al valor del Limo, por lo tanto no se hace referencia a esta componente.



**Figura 23:** Análisis Clúster según el Orden de Suelo Alfisoles (N=94).

**Tabla 10:** Componentes principales según el Orden de Suelo Alfisoles (N=94).

	Componente			
	1	2	3	4
<b>Arena</b>	-0,269	0,344	<b>-0,804</b>	0,303
<b>Limo</b>	-0,294	0,162	<b>0,810</b>	-0,256
<b>Arcilla</b>	<b>0,591</b>	<b>-0,549</b>	0,135	-0,098
<b>CO</b>	0,369	<b>0,747</b>	0,188	0,078
<b>CaCO3</b>	<b>-0,751</b>	-0,072	0,181	<b>0,435</b>
<b>pH</b>	-0,348	-0,385	0,283	<b>0,699</b>
<b>Ba</b>	<b>0,745</b>	-0,029	-0,351	-0,286
<b>Cd</b>	<b>0,493</b>	<b>0,429</b>	0,093	0,175
<b>Cr</b>	<b>0,738</b>	-0,318	0,238	-0,125
<b>Cu</b>	<b>0,755</b>	-0,015	-0,209	0,320
<b>Ni</b>	<b>0,835</b>	-0,380	-0,056	0,148
<b>Pb</b>	<b>0,470</b>	<b>0,741</b>	0,199	0,241
<b>V</b>	<b>0,649</b>	<b>-0,534</b>	0,192	<b>0,403</b>
<b>Zn</b>	<b>0,561</b>	<b>0,662</b>	0,237	0,150
<b>% Var.</b>	<b>35</b>	<b>20,4</b>	<b>13</b>	<b>9,6</b>
<b>% Acum.</b>	<b>35</b>	<b>55,4</b>	<b>68,4</b>	<b>78</b>

**Tabla 11:** Análisis Descriptivo según el Orden de Suelo Entisoles (N=104).

Elementos	Media	Mediana	SD	CV (%)	Asimetría	Curtosis	Rango	Mínimo	Máximo	Percentiles					MAD
										5	25	75	90	98	
<b>pH</b>	7,89	7,90	0,40	5	-0,68	0,39	2,10	6,60	8,70	7,20	7,63	8,20	8,30	8,59	0,3
<b>CaCO3</b>	22,23	22,70	11,69	53	0,09	-0,34	47,80	0,80	48,60	1,35	14,88	28,18	40,30	46,83	6,1
<b>CO</b>	1,26	0,85	1,49	<b>119</b>	2,54	7,96	8,70	0,10	8,80	0,10	0,30	1,50	3,40	7,00	0,55
<b>Arena</b>	<b>64,89</b>	68,45	24,61	38	-0,36	-1,27	84,80	13,60	98,40	27,38	41,60	88,38	93,30	95,95	21,85
<b>Limo</b>	22,86	14,75	18,81	<b>82</b>	0,43	-1,32	62,60	0,60	63,20	1,23	6,35	41,55	51,05	58,33	12,8
<b>Arcilla</b>	12,26	9,40	8,71	71	0,90	0,15	39,00	0,30	39,30	1,88	5,13	18,85	26,20	35,32	5,35
<b>Ba</b>	<b>144,67</b>	98,70	118,14	<b>82</b>	1,85	3,70	629,40	<b>12,60</b>	<b>642,00</b>	43,98	63,03	192,75	267,50	486,80	45,95
<b>Cd</b>	<b>0,74</b>	0,70	0,33	44	1,04	1,59	1,86	0,06	1,92	0,33	0,48	0,93	1,11	1,67	0,22
<b>Cr</b>	19,77	15,90	12,13	61	1,10	0,38	51,71	1,99	53,70	7,81	10,30	26,05	41,70	52,73	6,13
<b>Cu</b>	27,40	12,75	39,33	<b>144</b>	3,19	13,29	261,67	0,33	262,00	2,83	5,04	35,45	67,30	155,40	8,46
<b>Ni</b>	15,41	11,05	11,68	76	1,51	1,60	51,04	1,66	52,70	4,47	7,51	18,40	35,65	49,55	4,93
<b>Pb</b>	38,60	17,80	60,37	<b>156</b>	4,23	22,63	443,32	3,68	447,00	4,95	10,50	40,48	102,50	273,00	10,14
<b>V</b>	46,36	42,25	18,48	40	0,97	1,42	88,90	<b>14,10</b>	<b>103,00</b>	16,15	36,20	55,43	73,30	102,90	8,85
<b>Zn</b>	<b>69,73</b>	42,90	73,62	<b>106</b>	3,52	17,03	529,00	<b>11,00</b>	<b>540,00</b>	17,68	29,40	83,98	141,50	301,90	50,55

Para la tabla 11, se puede inferir que el Bario presenta el mayor valor en promedio, con un valor de 144.67 mg/kg. Sin embargo, se puede inferir todo lo contrario para el cadmio, el cual tiene el menor valor en promedio, con un valor de 0.74 mg/kg. No obstante, se puede observar la Arena y Zinc, presentan un promedio bastante alto con respecto a los otros elementos (Media Arena=64.89 mg/kg y Media Zn=69.73 mg/kg respectivamente), sin embargo en los dos elementos nombrados existen valores máximos y mínimos que están muy alejados de la media, lo que indica que existen valores atípicos. Los mayores porcentajes de coeficiente de variación, recae en el Plomo, Cobre, Carbón Orgánico, Zinc, limo y Bario (156%, 144%, 119%, 106%, 82% y 82% respectivamente). Así, podemos asegurar que estos valores son heterogéneos. Por otro lado tenemos el pH y Arena, presentan los valores más bajos para el coeficiente de variación, lo que se interpreta que estos elementos tienen poca dispersión de los datos, o sea tiene una mayor homogeneidad de los datos.

**Tabla 12:** Correlación de Spearman según el Orden de Suelo Entisoles (N=104).

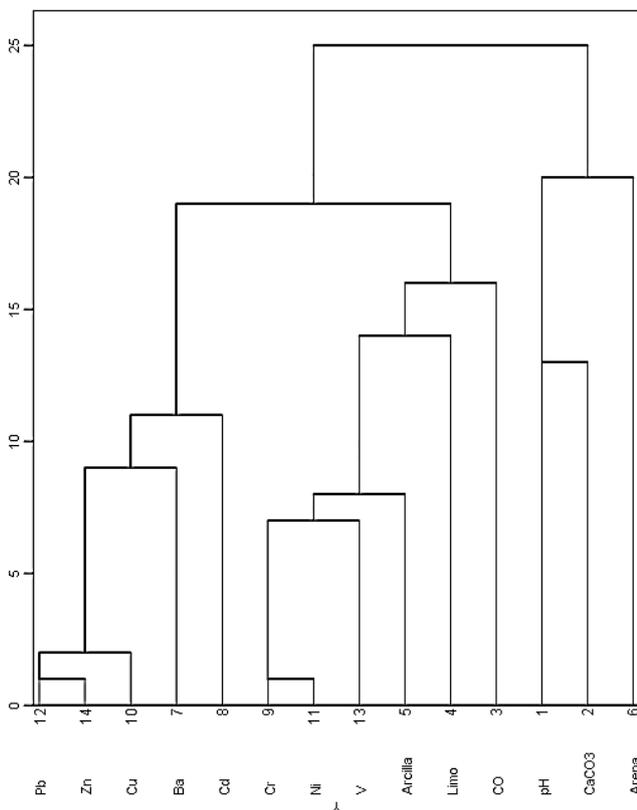
Elemento	pH	CaCO3	CO	Arena	Limo	Arcilla	Ba	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
<b>pH</b>	1	0,502**	-0,494**	0,331**	-0,312**	-0,329**	-0,637**	-0,228*	-0,550**	-0,552**	-0,522**	-0,487**	-0,307**	-0,570**
<b>CaCO3</b>		1	-0,037	-0,086	0,079	0,072	-0,555**	-0,407**	-0,326**	-0,311**	-0,274**	-0,292**	0,043	-0,392**
<b>CO</b>			1	-0,390**	0,326**	0,418**	0,196*	-0,064	0,428**	0,314**	0,362**	0,420**	0,332**	0,341**
<b>Arena</b>				1	-0,965**	-0,787**	-0,243*	0,208*	-0,645**	-0,288**	-0,615**	-0,092	-0,691**	-0,119
<b>Limo</b>					1	0,625**	0,229*	-0,179	0,560**	0,245*	0,533**	0,064	0,594**	0,096
<b>Arcilla</b>						1	0,280**	-0,122	0,674**	0,359**	0,667**	0,176	0,694**	0,212*
<b>Ba</b>							1	0,561**	0,702**	0,746**	0,695**	0,675**	0,303**	0,790**
<b>Cd</b>								1	0,194*	0,419**	0,193*	0,562**	-0,213*	0,580**
<b>Cr</b>									1	0,724**	<b>0,963**</b>	0,486**	0,703**	0,608**
<b>Cu</b>										1	0,735**	0,778**	0,429**	<b>0,851**</b>
<b>Ni</b>											1	0,470**	0,725**	0,608**
<b>Pb</b>												1	0,146	<b>0,885**</b>
<b>V</b>													1	0,228*
<b>Zn</b>														1

\*\* . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

\* . La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Correlación de Spearman: en la tabla 12, se puede apreciar una fuerte relación entre Níquel y Cromo con un valor de 0.963, el Plomo y Zinc con un valor de 0.885, el Zinc y el Cobre con un valor de 0.851 y Bario con Zinc con un valor de 0.790, esto nos entrega la hipótesis de una fuente posiblemente de origen común por actividades industriales (Slavkovic et al 2004). Por lo contrario tenemos la correlación menos fuerte con una valor de 0.072 entre el Carbonato de Calcio y Arcilla.

Análisis de Componentes Principales y Análisis Clúster: la componente 1 de la tabla 13 con un 41.5% de varianza total y representando las cargas más altas, correspondientes a los elementos Cromo, Níquel y Vanadio con valores de 0.898, 0.880 y 0.668 respectivamente, las que también se agrupan en el Análisis Clúster, véase figura 24, estos elementos pueden tener un posible origen que está relacionado con las fuentes (Slavkovic et al 2004) según nuestro análisis es posible que proceda de la combustión del aceite pesado o por emisiones de plomo en los medios de locomoción (Allen et al., 2001). Para la componente 2 de la tabla 13 con un 25.7% de la varianza total, se aprecia las mayores cargas, Cadmio, Plomo y Zinc, con valores de 0.694, 0.674, 0.659 respectivamente, las que también se agrupan en el Análisis Clúster, véase figura 24, es posible que estos elementos provengan de la combustión de la basura de la localidad en estudio. Para la componente 3 de la tabla 13 con un 10% de varianza total está compuesta con cargas relativamente altas con respecto a los otros elementos son el Carbonato de Calcio y Limo, lo que hace suponer que la fuente es de origen natural.



**Figura 24:** Análisis Clúster según el Orden de Suelo Entisoles (N=104).

**Tabla 13:** Componentes principales según el Orden de Suelo Entisoles (N=104)

	Componente			
	1	2	3	4
<b>Arena</b>	<b>-0,578</b>	<b>0,663</b>	-0,381	0,048
<b>Limo</b>	<b>0,473</b>	<b>-0,567</b>	<b>0,484</b>	-0,101
<b>Arcilla</b>	<b>0,613</b>	<b>-0,649</b>	0,030	0,082
<b>CO</b>	<b>0,443</b>	-0,258	-0,077	<b>-0,718</b>
<b>CaCO3</b>	<b>-0,433</b>	-0,295	<b>0,672</b>	-0,044
<b>pH</b>	<b>-0,637</b>	-0,080	<b>0,332</b>	<b>0,541</b>
<b>Ba</b>	<b>0,853</b>	0,331	-0,103	0,186
<b>Cd</b>	<b>0,401</b>	<b>0,694</b>	-0,010	0,016
<b>Cr</b>	<b>0,898</b>	-0,274	-0,153	0,154
<b>Cu</b>	<b>0,651</b>	<b>0,616</b>	0,291	0,063
<b>Ni</b>	<b>0,880</b>	-0,216	-0,280	0,213
<b>Pb</b>	<b>0,562</b>	<b>0,674</b>	<b>0,412</b>	-0,033
<b>V</b>	<b>0,668</b>	<b>-0,529</b>	-0,092	0,288
<b>Zn</b>	<b>0,659</b>	<b>0,659</b>	0,280	-0,058
<b>% Var.</b>	<b>41,5</b>	<b>25,7</b>	<b>10</b>	<b>7,3</b>
<b>% Acum.</b>	<b>41,5</b>	<b>67,2</b>	<b>77,2</b>	<b>84,5</b>

**Tabla 14:** Análisis Descriptivo según el Orden de Suelo Inceptisoles (N=54).

Elementos	Media	Mediana	SD	CV (%)	Asimetría	Curtosis	Rango	Mínimo	Máximo	Percentiles					MAD
										5	25	75	90	98	
pH	7,85	7,80	0,46	6	1,20	2,70	2,40	7,00	9,40	7,15	7,50	8,00	8,30	9,38	0,2
CaCO <sub>3</sub>	22,72	25,20	13,99	62	-0,06	-1,30	46,10	0,50	46,60	0,95	9,45	34,28	41,60	46,40	11,05
CO	1,91	1,40	1,55	<b>81</b>	1,48	2,54	7,30	0,10	7,40	0,10	0,78	2,70	3,80	7,29	0,8
Arena	35,54	35,45	21,47	60	0,39	0,62	92,49	0,01	92,50	0,01	21,40	46,50	60,40	92,44	11,25
Limo	42,83	44,80	12,42	29	-1,38	2,91	62,00	2,80	64,80	7,48	36,45	51,28	54,90	64,50	6,8
Arcilla	21,63	18,50	13,02	60	0,95	0,64	54,80	0,30	55,10	2,50	13,53	26,95	39,95	55,09	6,35
Ba	<b>209,93</b>	154,50	218,79	<b>104</b>	2,73	7,02	954,00	<b>14,00</b>	<b>968,00</b>	52,80	100,30	229,50	303,00	967,80	68,5
Cd	<b>0,77</b>	0,75	0,31	41	0,13	-0,66	1,27	0,14	1,41	0,25	0,54	0,97	1,21	1,41	0,21
Cr	27,31	26,95	8,13	30	1,21	3,94	45,40	10,20	55,60	15,28	23,38	31,58	35,45	55,55	4,2
Cu	24,70	15,95	21,48	<b>87</b>	1,57	1,78	90,05	4,45	94,50	6,30	9,27	32,83	63,00	92,86	8,14
Ni	22,52	20,00	9,55	42	0,68	0,27	44,16	6,64	50,80	9,58	16,00	29,20	35,65	50,07	6,3
Pb	24,84	17,60	20,99	<b>84</b>	2,49	6,91	112,00	4,00	116,00	5,61	13,55	24,68	56,55	112,40	4,35
V	<b>60,06</b>	60,60	11,65	19	0,59	2,21	61,10	<b>33,30</b>	<b>94,40</b>	38,65	55,63	64,48	69,75	94,27	4,2
Zn	<b>62,23</b>	56,25	38,48	62	1,89	5,64	214,80	<b>14,20</b>	<b>229,00</b>	16,48	34,93	74,28	120,50	219,90	18,75

Para los elementos en estudio de la tabla 14, se puede inferir que el Barrio presenta el mayor valor en promedio, con un valor de 209.93 mg/kg. Sin embargo, se puede inferir todo lo contrario para el Cadmio, el cual tiene el menor valor en promedio, con un valor de 0.77 mg/kg. No obstante, se puede observar el Vanadio y Zinc, presentan un promedio bastante alto con respecto a los otros elementos (Media V=60.06 mg/kg y Media Zn=62.23 mg/kg respectivamente), sin embargo en los dos elementos nombrados existen valores máximos y mínimos que están muy alejados de la media, lo que indica que existen valores atípicos. Los mayores porcentajes de coeficiente de variación recaen en el Barrio, Cobre, Plomo, Carbón Orgánico (104%, 87%, 84% y 81% respectivamente). Así, podemos asegurar que estos valores son heterogéneos. Por otro lado tenemos el pH, limo, Vanadio, presentan los valores más bajos para el coeficiente de variación, lo que se interpreta que estos elementos tienen una mayor homogeneidad de los datos, es decir, tienen poca dispersión.

**Tabla 15:** Correlación de Spearman según el Orden de Suelo Inceptisoles (N=54).

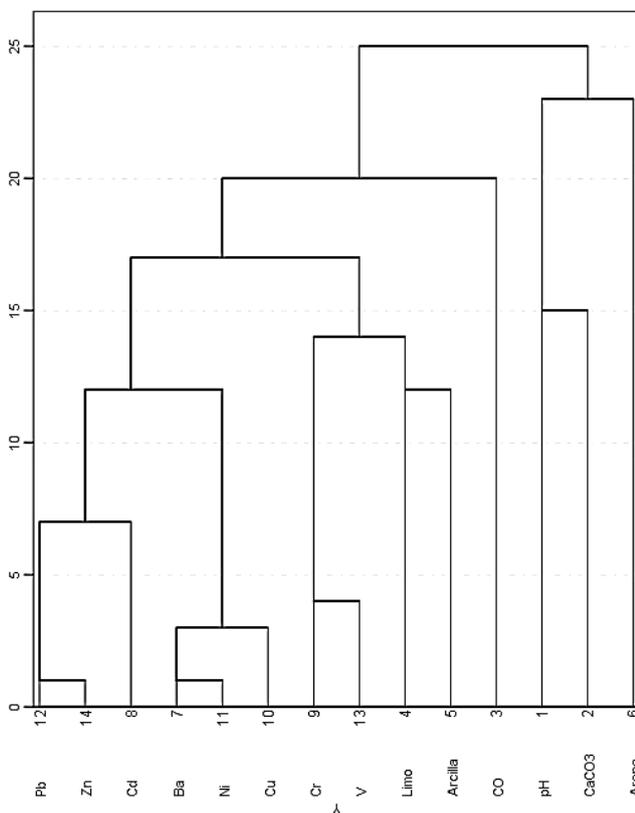
Elemento	pH	CaCO <sub>3</sub>	CO	Arena	Limo	Arcilla	Ba	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
pH	1	0,294*	-0,237	-0,065	-0,026	0,039	-0,205	-0,209	-0,300*	-0,388**	-0,344*	-0,365**	0,016	-0,339*
CaCO <sub>3</sub>		1	0,171	-0,162	-0,052	0,235	-0,196	-0,286*	-0,212	-0,254	-0,365**	-0,149	0,06	-0,426**
CO			1	0,008	0,190	-0,049	-0,350**	-0,088	-0,069	-0,125	-0,251	0,243	-0,066	0,040
Arena				1	-0,779**	-0,837**	-0,189	-0,194	-0,419**	-0,262	-0,152	-0,404**	-0,306*	-0,466**
Limo					1	0,384**	0,015	0,071	0,342*	0,187	0,070	0,340*	0,285*	0,423**
Arcilla						1	0,207	0,226	0,442**	0,237	0,163	0,373**	0,258	0,392**
Ba							1	0,706**	0,536**	<b>0,843**</b>	<b>0,846**</b>	0,463**	0,167	0,608**
Cd								1	0,455**	0,715**	0,669**	0,621**	-0,133	0,584**
Cr									1	0,552**	0,713**	0,504**	0,598**	0,562**
Cu										1	<b>0,835**</b>	0,641**	0,095	0,695**
Ni											1	0,421**	0,235	0,596**
Pb												1	0,096	0,670**
V													1	0,058
Zn														1

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

\* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Correlación de Spearman: en la tabla 15, se puede apreciar una fuerte relación entre Níquel y Bario con un valor de 0.846, el Cobre y Bario con un valor de 0.843 y Níquel y Cobre con un valor de 0.835, esto nos entrega una hipótesis sobre la fuente, la cual posiblemente es de origen común por actividades industriales (Slavkovic et al 2004). Por lo contrario tenemos la correlación menos fuerte con una valor de 0.008 entre Arena y Carbón Orgánico.

Análisis de Componentes Principales y Análisis Clúster: la componente 1 de la tabla 16 con un 33.6% de varianza total y representando las cargas más altas, correspondientes a los elementos Zinc, Cobre, Plomo, Níquel y Cadmio con valores de 0.796, 0.741, 0.736, 693 y 0.684 respectivamente, las que también se agrupan en el Análisis Clúster, véase figura 25, estos elementos pueden tener un posible origen que está relacionado con las fuentes (Slavkovic et al 2004) es posible que provenga de la combustión de la basura del sector. Para la componente 2 de la tabla 16 con un 17.5% de la varianza total, se aprecia, con la mayor carga, a la Arena con un valor de 0.690, Bario y Cobre con valores de coeficiente de variación de, 0.587 y 0.430 respectivamente, las que también se agrupan en el Análisis Clúster, véase figura 25, como el Cobre presenta cargas relativamente altas en las dos primeras componentes no se puede excluir una mezcla de las fuentes.



**Figura 25:** Análisis Clúster según el Orden de Suelo Inceptisoles (N=54).

**Tabla 16:** Componentes principales según el Orden de Suelo Inceptisoles (N=54)

	Componente			
	1	2	3	4
<b>Arena</b>	<b>-0,637</b>	<b>0,690</b>	-0,203	-0,139
<b>Limo</b>	<b>0,576</b>	<b>-0,578</b>	0,042	-0,138
<b>Arcilla</b>	<b>0,502</b>	<b>-0,588</b>	0,295	0,362
<b>CO</b>	0,166	-0,268	<b>-0,682</b>	-0,214
<b>CaCO3</b>	-0,277	<b>-0,473</b>	0,195	0,372
<b>pH</b>	-0,359	-0,150	<b>0,511</b>	<b>0,464</b>
<b>Ba</b>	<b>0,457</b>	<b>0,587</b>	<b>0,438</b>	0,147
<b>Cd</b>	<b>0,684</b>	0,321	-0,146	0,313
<b>Cr</b>	<b>0,685</b>	-0,119	0,171	<b>-0,522</b>
<b>Cu</b>	<b>0,741</b>	<b>0,430</b>	0,089	0,227
<b>Ni</b>	<b>0,693</b>	<b>0,517</b>	0,336	-0,107
<b>Pb</b>	<b>0,736</b>	-0,089	<b>-0,421</b>	0,238
<b>V</b>	0,359	-0,234	<b>0,501</b>	<b>-0,636</b>
<b>Zn</b>	<b>0,796</b>	-0,007	<b>-0,424</b>	0,188
<b>% Var.</b>	<b>33,6</b>	<b>17,5</b>	<b>13,3</b>	<b>10,8</b>
<b>% Acum.</b>	<b>33,6</b>	<b>51,1</b>	<b>64,4</b>	<b>75,2</b>

**Tabla 17:** Análisis Descriptivo según el Orden de Suelo Mellisoles (N=16).

Elementos	Media	Mediana	SD	CV (%)	Asimetría	Curtosis	Rango	Mínimo	Máximo	Percentiles				MAD
										5	25	75	90	
pH	7,38	7,60	1,01	14	-0,77	0,40	3,80	5,00	8,80	5,00	6,73	8,18	8,66	0,6
CaCO <sub>3</sub>	14,06	17,29	11,16	79	0,56	0,42	39,30	1,30	40,60	1,30	1,38	20,80	27,65	5,85
CO	2,32	1,60	2,00	<b>86</b>	0,63	-0,81	6,20	0,10	6,30	0,10	0,45	3,83	5,53	1,35
Arena	51,32	45,70	14,78	29	0,59	-0,90	48,50	29,60	78,10	29,60	41,08	66,60	76,07	6,85
Limo	37,64	41,05	10,19	27	-0,43	-1,27	28,90	21,70	50,60	21,70	29,58	47,00	49,55	7,7
Arcilla	11,04	10,50	6,72	61	-0,29	-1,04	21,10	0,20	21,30	0,20	4,83	16,68	19,77	6,15
Ba	<b>258,83</b>	89,25	329,82	<b>127</b>	1,35	-0,03	906,00	<b>43,00</b>	<b>949,00</b>	43,00	60,90	543,50	852,40	26,45
Cd	<b>0,72</b>	0,65	0,43	60	1,01	0,57	1,53	0,18	1,71	0,18	0,37	0,87	1,45	0,26
Cr	34,79	29,30	17,07	49	1,03	0,57	61,20	14,50	75,70	14,50	23,65	48,75	62,33	8,05
Cu	41,61	9,44	59,60	<b>143</b>	1,25	-0,45	145,23	1,77	147,00	1,77	3,51	106,70	144,20	7,11
Ni	35,17	13,90	37,29	<b>106</b>	1,45	0,57	106,60	6,40	113,00	6,40	11,40	48,15	108,80	5,97
Pb	25,28	26,75	19,19	76	0,38	-1,15	58,27	2,73	61,00	2,73	7,41	39,68	54,70	19,23
V	<b>66,15</b>	60,20	46,33	70	0,99	0,80	163,70	<b>15,30</b>	<b>179,00</b>	15,30	20,13	98,80	139,10	39,95
Zn	<b>47,34</b>	39,10	34,74	73	0,72	-0,29	115,58	<b>4,42</b>	<b>120,00</b>	4,42	22,43	76,23	108,80	33,51

Para los elementos en estudio de la tabla 17, se puede inferir que el Bario presenta el mayor valor en promedio, con un valor de 258.83 mg/kg. Sin embargo, se puede inferir todo lo contrario para el Cadmio, el cual tiene el menor valor en promedio, con un valor de 0.72 mg/kg. No obstante, se puede observar la Arena y Vanadio, presentan un promedio bastante alto con respecto a los otros elementos (Media Arena=51.32 mg/kg y Media V=66.15 mg/kg respectivamente), sin embargo en los dos elementos nombrados existen valores máximos y mínimos que están muy alejados de la media, lo que hace suponer que existen valores atípicos. Los mayores porcentajes de coeficiente de variación, recae en el Cobre, Bario, Níquel, Carbón Orgánico (143%, 127%, 106% y 86% respectivamente). Así, podemos asegurar que estos valores son heterogéneos. Por otro lado tenemos el pH, Limo y Arena, presentan los valores más bajos para el coeficiente de variación, lo que se interpreta que estos elementos tienen poca dispersión, es decir, mayor homogeneidad de los datos.

**Tabla 18:** Correlación de Spearman según el Orden de Suelo Mellisoles (N=16).

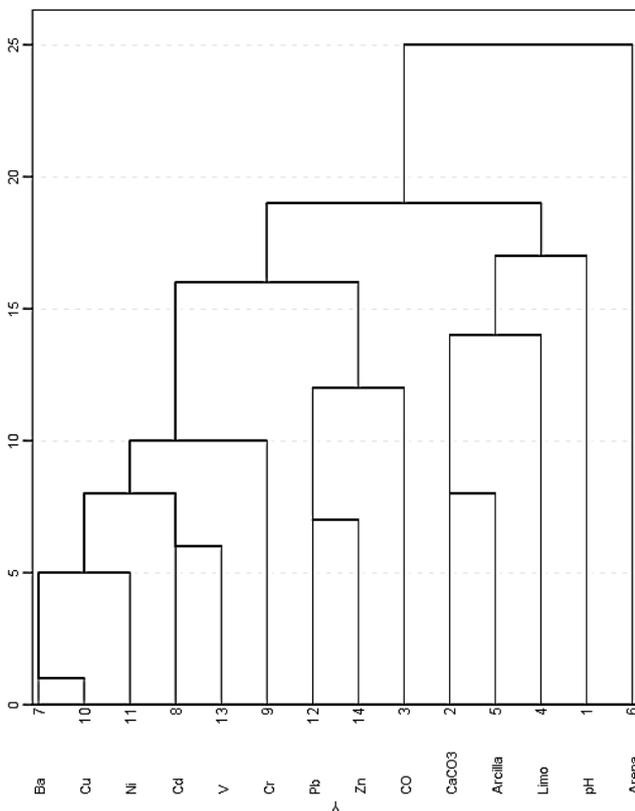
Elemento	pH	CaCO <sub>3</sub>	CO	Arena	Limo	Arcilla	Ba	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
pH	1	0,476	-0,173	-0,547*	0,539*	0,274	-0,590*	-0,189	-0,352	-0,130	-0,171	-0,378	-0,094	-0,022
CaCO <sub>3</sub>		1	-0,069	-0,799**	0,534*	0,870**	0,157	0,434	0,076	0,524*	0,367	0,303	0,598*	0,619*
CO			1	-0,132	0,193	0,131	0,333	0,372	-0,003	0,300	0,174	0,627**	0,212	0,609*
Arena				1	-0,879**	-0,685**	-0,050	-0,385	0,000	-0,459	-0,261	-0,286	-0,559*	-0,582*
Limo					1	0,376	-0,035	0,356	-0,044	0,409	0,178	0,234	0,500*	0,459
Arcilla						1	0,303	0,576*	0,118	0,621*	0,448	0,440	0,686**	0,718**
Ba							1	0,662**	0,709**	0,771**	0,733**	0,737**	0,687**	0,641**
Cd								1	0,574*	<b>0,903**</b>	0,748**	0,658**	0,865**	0,826**
Cr									1	0,615*	<b>0,881**</b>	0,249	0,474	0,374
Cu										1	0,816**	0,667**	<b>0,943**</b>	0,853**
Ni											1	0,458	0,721**	0,675**
Pb												1	0,666**	0,805**
V													1	0,811**
Zn														1

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

\* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Correlación de Spearman: en la tabla 18, se puede apreciar una fuerte relación entre Vanadio y Cobre con un valor de 0.943, el Cobre y Cadmio con un valor de 0.903 y Níquel y Cromo con un valor de 0.881, esto nos indica que la fuente posiblemente sea de origen común por actividades industriales (Slavkovic et al 2004). Por lo contrario no tenemos correlación entre Cromo con Arena.

Análisis de Componentes Principales y Análisis Clúster: la componente 1 de la tabla 19 con un 49.6% de varianza total y representando las cargas más altas, correspondientes a los elementos Vanadio, Cobre, Cadmio, Bario y Níquel con valores de 0.937, 0.907, 0.903, 0.876 y 0.840 respectivamente, los que también se agrupan en el Análisis Clúster, véase figura 26, estos elementos pueden tener un posible origen que está relacionado con las fuentes (Slavkovic et al 2004) según nuestro análisis es posible que proceda de la combustión del aceite pesado o por la combustión y proceso de la basura. Para la componente 2 de la tabla 19 con un 24.2% de la varianza total, se aprecia con la mayores cargas, pH, Limo y Carbonato de Calcio con valores de 0.809, 0.795 y 0.613 respectivamente con cargas muy elevadas, las que también se agrupan en el Análisis Clúster, véase figura 26, es posible que estos elementos provengan de una fuente natural, ya que el carbonato de calcio proviene de las rocas y estas debieron ser trituradas para la elaboración de caminos, etc. Para la componente 3 de la tabla 19 con un 12.5% de varianza total, está compuesta con una carga muy elevada, el Carbón Orgánico con un valor de 0.902, lo que puede indicar que esta proviene de residuos de plantas o de animales muertos, es decir de una fuente natural.



**Figura 26:** Análisis Clúster según el Orden de Suelo Mellisoles (N=16).

**Tabla 19:** Componentes principales según el Orden de Suelo Mellisoles (N=16)

	Componente		
	1	2	3
<b>Arena</b>	<b>-0,530</b>	<b>-0,804</b>	0,144
<b>Limo</b>	0,300	<b>0,795</b>	-0,196
<b>Arcilla</b>	<b>0,712</b>	<b>0,563</b>	-0,019
<b>CO</b>	0,286	0,137	<b>0,902</b>
<b>CaCO3</b>	<b>0,557</b>	<b>0,613</b>	-0,300
<b>pH</b>	-0,315	<b>0,809</b>	-0,135
<b>Ba</b>	<b>0,876</b>	<b>-0,414</b>	-0,201
<b>Cd</b>	<b>0,903</b>	-0,198	0,021
<b>Cr</b>	<b>0,651</b>	<b>-0,548</b>	-0,278
<b>Cu</b>	<b>0,907</b>	-0,331	-0,166
<b>Ni</b>	<b>0,840</b>	-0,234	-0,055
<b>Pb</b>	<b>0,705</b>	0,042	<b>0,585</b>
<b>V</b>	<b>0,937</b>	-0,041	-0,256
<b>Zn</b>	<b>0,822</b>	0,257	<b>0,458</b>
<b>% Var.</b>	<b>49,6</b>	<b>24,2</b>	<b>12,5</b>
<b>% Acum.</b>	<b>49,6</b>	<b>73,8</b>	<b>86,3</b>

Comparación de orden de suelo según el metal pesado: en la tabla 20 se presenta una comparación de cada orden de suelo según el metal pesado, desde mayor a menor, además se aprecia que la mayor concentración por metales pesados se encuentra en el orden de suelo Mellisoles con un valor de 509,89 mg/kg.

**Tabla 20:** Cuadro comparativo para orden de suelo según el metal pesado.

<b>Bario (Ba)</b> 258,83 > 209,93 > 197,49 > 144,67 Mellisoles > inceptisoles > Alfisoles > Entisoles	<b>Níquel (Ni)</b> 35,17 > 30,6 > 22,52 > 15,41 Mellisoles > Alfisoles > Inceptisoles > Entisoles
<b>Cadmio (Cd)</b> 0,77 > 0,75 > 0,74 > 0,72 Inceptisoles > Alfisoles > Entisoles > Mellisoles	<b>Plomo (Pb)</b> 38,6 > 29,12 > 25,28 > 24,84 Entisoles > Alfisoles > Mellisoles > Entisoles
<b>Cromo (Cr)</b> 38,07 > 34,79 > 27,31 > 19,77 Alfisoles > Mellisoles > Inceptisoles > Entisoles	<b>Vanadio (v)</b> 70,28 > 66,15 > 60,06 > 46,36 Alfisoles > Mellisoles > Inceptisoles > Entisoles
<b>Cobre (Cu)</b> 41,61 > 27,4 > 24,7 > 23,01 Mellisoles > Entisoles > Inceptisoles > Alfisoles	<b>Zinc (Zn)</b> 72,91 > 69,73 > 62,23 > 47,34 Alfisoles > Entisoles > Inceptisoles > Mellisoles

### 3.7 Análisis Estadístico Clasificación por Roca Madre.

Con el aporte de Xavier Ferraro C. las muestras se clasifican según la roca madre. Para el presente estudio se obtuvieron, Roca Sedimentaria y Roca Metamórfica.

Roca Madre Sedimentaria: Para este tipo de roca se realizó un análisis descriptivo, véase en la tabla 21, en la tabla 22 se presenta la correlación de Spearman y en la tabla 23 se presentan las componentes principales, además en la figura 27 podremos apreciar el Análisis Clúster para fortalecer aún más nuestro análisis.

**Tabla 21:** Análisis Descriptivo según la Roca Sedimentaria (N=143).

Elementos	Media	Mediana	SD	CV (%)	Asimetría	Curtosis	Rango	Mínimo	Máximo	Percentiles					MAD
										5	25	75	90	98	
pH	7,83	7,90	0,41	5	-0,96	2,93	2,60	6,20	8,80	7,20	7,60	8,10	8,20	8,70	0,2
CaCO <sub>3</sub>	23,43	23,90	13,91	59	-0,13	-1,02	48,80	0,50	49,30	1,30	13,10	34,70	41,92	47,10	10,8
CO	1,79	1,40	1,51	<b>84</b>	0,89	0,01	6,30	0,00	6,30	0,10	0,50	2,80	3,90	5,60	1,0
Arena	44,62	36,00	24,52	55	0,90	-0,44	86,20	10,20	96,40	14,54	27,90	55,40	90,30	95,41	10,3
Limo	37,28	43,20	17,04	46	-1,04	-0,09	63,60	0,00	63,60	1,32	31,30	49,10	54,30	58,04	8,1
Arcilla	18,10	18,10	10,82	60	0,46	0,32	55,60	0,00	55,60	1,80	8,80	25,60	31,36	44,89	8,3
Ba	<b>111,05</b>	101,00	52,93	48	0,46	-0,66	231,40	<b>12,60</b>	<b>244,00</b>	43,02	68,00	157,00	182,20	232,24	36,7
Cd	<b>0,60</b>	0,57	0,25	42	1,63	6,76	1,86	0,06	1,92	0,26	0,44	0,74	0,91	1,18	0,14
Cr	27,52	25,30	15,72	57	0,96	0,67	82,71	1,99	84,70	9,16	16,50	34,80	53,94	63,48	9,0
Cu	14,26	12,40	12,48	<b>87</b>	4,98	38,09	120,67	0,33	121,00	3,29	7,73	17,80	22,34	52,10	4,79
Ni	18,72	16,50	10,99	59	1,02	0,81	56,74	1,66	58,40	5,34	10,40	25,10	36,32	49,01	6,82
Pb	23,55	17,70	19,04	<b>81</b>	2,09	4,85	102,27	2,73	105,00	5,53	12,30	27,70	49,80	93,97	6,9
V	<b>58,46</b>	60,50	18,99	32	-0,08	0,36	101,90	<b>14,10</b>	<b>116,00</b>	20,10	45,20	70,30	83,94	98,98	11,5
Zn	<b>53,37</b>	46,60	31,85	60	1,71	4,41	183,58	<b>4,42</b>	<b>188,00</b>	16,26	30,60	69,90	86,54	172,32	17,9

Para la tabla 21, se puede inferir que el Bario presenta el mayor valor en promedio, con un valor de 111.05 mg/kg. Sin embargo, se puede inferir todo lo contrario para el Cadmio, el cual tiene el menor valor en promedio, con un valor de 0.60 mg/kg. No obstante, se puede observar el Vanadio y Zinc, presentan promedios

bastante altos con respecto a los otros elementos (Media V=58.46 mg/kg y Media Zn=53.37 mg/kg respectivamente), sin embargo en los dos elementos nombrados existen valores máximos y mínimos que están muy alejados de la media, lo que indica que existen valores atípicos. Los mayores porcentajes de coeficiente de variación recaen en el Cobre, Carbono Orgánico y Plomo (87%, 84% y 81% respectivamente). Así, podemos asegurar que estos valores son heterogéneos. Por otro lado tenemos el pH y Vanadio, presentan los valores más bajos para el coeficiente de variación, lo que se interpreta que estos elementos tienen una mayor homogeneidad de los datos, es decir presentan datos con mucha dispersión.

**Tabla 22:** Correlación de Spearman según la Roca Sedimentaria (N=143).

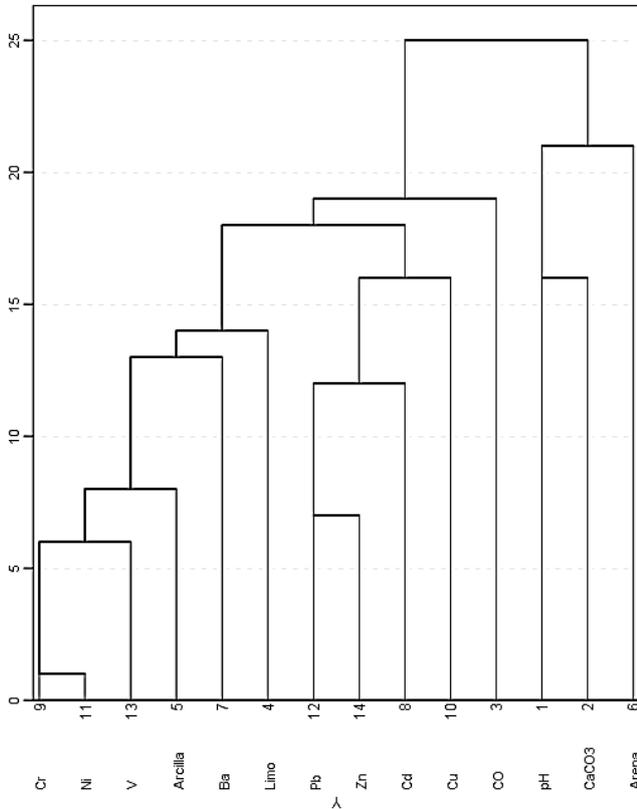
Elemento	pH	CaCO3	CO	Arena	Limo	Arcilla	Ba	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
pH	1	0,351**	-0,385**	0,254**	-0,279**	-0,094	-0,393**	-0,129	-0,298**	-0,264**	-0,263**	-0,364**	-0,103	-0,305**
CaCO3		1	-0,053	0,120	-0,064	0,037	-0,281**	-0,248**	-0,352**	-0,145	-0,257**	-0,226**	-0,136	-0,321**
CO			1	-0,263**	0,367**	0,181*	0,178*	0,226**	0,362**	0,262**	0,304**	0,522**	0,361**	0,290**
Arena				1	-0,809**	-0,859**	-0,601**	-0,235**	-0,791**	-0,523**	-0,824**	-0,364**	-0,824**	-0,511**
Limo					1	0,481**	0,410**	0,172*	0,569**	0,367**	0,582**	0,258**	0,607**	0,391**
Arcilla						1	0,516**	0,260**	0,742**	0,562**	0,803**	0,350**	0,823**	0,478**
Ba							1	0,477**	0,643**	0,614**	0,697**	0,657**	0,528**	0,742**
Cd								1	0,403**	0,513**	0,430**	0,596**	0,378**	0,639**
Cr									1	0,628**	<b>0,955**</b>	0,490**	<b>0,871**</b>	0,581**
Cu										1	0,696**	0,717**	0,620**	0,794**
Ni											1	0,524**	<b>0,880**</b>	0,662**
Pb												1	0,446**	0,804**
V													1	0,537**
Zn														1

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

\* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Correlación de Spearman: en la tabla 22, se puede apreciar una fuerte relación entre Níquel y Cromo con un valor de 0.955, el Vanadio con Níquel con un valor de 0.880 y Vanadio con Cromo con un valor de 0.871, esto nos indica una hipótesis de la fuente, en donde posiblemente provenga de origen común por actividades industriales (Slavkovic et al 2004). Por lo contrario tenemos la correlación menos fuerte con un valor de 0.037 entre Arcilla y Carbonato de Calcio.

Análisis de Componentes Principales y Análisis Clúster: la componente 1 de la tabla 23 con un 42.7% de varianza total y representando las cargas más altas, correspondientes a los elementos Níquel, Cromo, y Vanadio con valores de 0.897, 0.876 y 0.843 respectivamente, las que también se agrupan en el Análisis Clúster, véase figura 27, estos elementos pueden tener un posible origen que está relacionado con las fuentes (Slavkovic et al 2004), según nuestro análisis es posible que proceda de la combustión del aceite pesado o por emisiones en los medios de locomoción (allen et al., 2001). Para la componente 2 de la tabla 23 con un 16.5% de la varianza total, se aprecia las mayores cargas, Plomo y Cadmio con valores de 0.682 y 0.545 respectivamente, las que también se agrupan en el Análisis Clúster, véase figura 27, es posible que estos elementos provengan de una fuente antropogénica, por ejemplo, para fundaciones no ferrosas. Para la componente 3 de la tabla 23 con un 10.7% de varianza total está compuesto por el pH, con un valor muy elevado de coeficiente de variación de 0.781, lo que indica que puede provenir de una fuente natural.



**Figura 27:** Análisis Clúster según la Roca Sedimentaria (N=143).

**Tabla 23:** Componentes principales según la Roca Sedimentaria (N=143)

	Componente			
	1	2	3	4
<b>Arena</b>	<b>-0,787</b>	<b>0,527</b>	0,098	-0,196
<b>Limo</b>	<b>0,638</b>	<b>-0,502</b>	-0,264	0,309
<b>Arcilla</b>	<b>0,780</b>	<b>-0,405</b>	0,192	-0,044
<b>CO</b>	<b>0,407</b>	0,176	<b>-0,510</b>	<b>0,562</b>
<b>CaCO3</b>	-0,319	-0,356	<b>0,455</b>	<b>0,635</b>
<b>pH</b>	-0,244	-0,292	<b>0,781</b>	0,028
<b>Ba</b>	<b>0,748</b>	0,231	0,070	-0,160
<b>Cd</b>	<b>0,486</b>	<b>0,545</b>	0,153	0,099
<b>Cr</b>	<b>0,876</b>	-0,136	-0,088	-0,320
<b>Cu</b>	0,383	<b>0,380</b>	<b>0,406</b>	-0,017
<b>Ni</b>	<b>0,897</b>	-0,145	0,043	-0,291
<b>Pb</b>	<b>0,559</b>	<b>0,682</b>	0,143	0,287
<b>V</b>	<b>0,843</b>	-0,331	0,227	0,007
<b>Zn</b>	<b>0,696</b>	<b>0,516</b>	0,178	0,168
<b>% Var.</b>	<b>42,7</b>	<b>16,5</b>	<b>10,7</b>	<b>8,5</b>
<b>% Acum.</b>	<b>42,7</b>	<b>59,2</b>	<b>69,9</b>	<b>78,4</b>

Roca Metamórfica: Para este tipo de roca se realizó un análisis descriptivo, véase en la tabla 24 y en la tabla 25 se presenta la correlación de Spearman, posteriormente en la tabla 26 se presentan las componentes principales, además en la figura 28 podremos apreciar un Análisis Clúster para fortalecer aún más nuestro análisis.

**Tabla 24:** Análisis Descriptivo según la Roca Metamórfica (N=125)

Elementos	Media	Mediana	SD	CV (%)	Asimetría	Curtosis	Rango	Mínimo	Máximo	Percentiles					MAD
										5	25	75	90	98	
<b>pH</b>	7,61	7,60	0,58	8	-0,44	3,02	4,40	5,00	9,40	6,63	7,30	8,00	8,30	8,99	0,3
<b>CaCO3</b>	14,07	13,60	11,07	79	0,31	-1,10	41,20	0,00	41,20	0,00	2,85	23,65	29,24	35,69	10,4
<b>CO</b>	1,38	0,70	1,84	<b>134</b>	2,62	7,24	10,10	0,10	10,20	0,10	0,35	1,45	3,78	8,07	0,4
<b>Arena</b>	49,74	46,70	26,64	54	0,11	-0,94	98,50	-0,10	98,40	1,72	29,80	74,90	88,74	95,43	21,5
<b>Limo</b>	30,67	34,20	17,46	57	-0,09	-1,05	64,00	0,80	64,80	3,62	12,60	44,75	52,10	62,89	12,7
<b>Arcilla</b>	19,59	17,30	14,09	72	0,80	-0,09	55,10	0,00	55,10	1,61	8,20	29,15	40,42	54,69	10,0
<b>Ba</b>	<b>258,14</b>	227,00	189,50	73	2,29	5,57	919,10	<b>48,90</b>	<b>968,00</b>	64,70	148,00	281,50	466,00	957,16	63,0
<b>Cd</b>	0,92	0,88	0,26	29	0,70	0,80	1,36	0,35	1,71	0,54	0,76	1,06	1,29	1,65	0,15
<b>Cr</b>	29,85	30,60	13,33	45	0,29	-0,14	67,96	7,74	75,70	10,20	17,55	40,45	45,62	55,36	10,2
<b>Cu</b>	39,78	25,20	39,92	<b>100</b>	2,41	8,10	261,67	0,33	262,00	3,89	15,80	53,90	87,80	151,80	13,9
<b>Ni</b>	28,64	27,00	20,12	70	1,76	4,60	111,34	1,66	113,00	5,94	12,40	37,20	48,14	102,89	10,8
<b>Pb</b>	41,03	23,60	56,16	<b>137</b>	4,35	24,65	443,25	3,75	447,00	6,23	15,00	42,15	102,20	252,00	9,9
<b>V</b>	<b>58,95</b>	54,90	28,63	49	1,63	3,51	163,70	<b>15,30</b>	<b>179,00</b>	25,91	38,80	66,40	103,00	150,48	13,2
<b>Zn</b>	<b>84,74</b>	66,00	69,56	82	3,35	16,10	523,40	<b>16,60</b>	<b>540,00</b>	21,14	47,65	99,65	141,40	312,60	21,7

Para los elementos en estudio de la tabla 24, se puede inferir que el Bario presenta el mayor valor en promedio con un valor de 258.14 mg/kg. Sin embargo, se puede inferir todo lo contrario para el Cadmio, el cual tiene el menor valor en promedio, con un valor de 0.92 mg/kg. No obstante, se puede observar el Vanadio y Zinc, presentan un promedio bastante alto con respecto a los otros elementos (Media V=58.95 mg/kg y Media Zn=84.74 mg/kg respectivamente), sin embargo en los dos elementos nombrados existen valores máximos y mínimos que están muy alejados de la media, lo que indica que existen valores atípicos. Los mayores porcentajes de coeficiente de variación recaen en el Plomo, Carbón Orgánico y Cobre (137%, 134% y 100% respectivamente). Así, podemos asegurar que estos valores son heterogéneos. Por otro lado tenemos el pH y Cadmio presentan los valores más bajos para el coeficiente de variación, lo que se interpreta que estos elementos tienen una mayor dispersión, o sea, una mayor homogeneidad de los datos.

**Tabla 25:** Correlación de Spearman según la Roca Metamórfica (N=125).

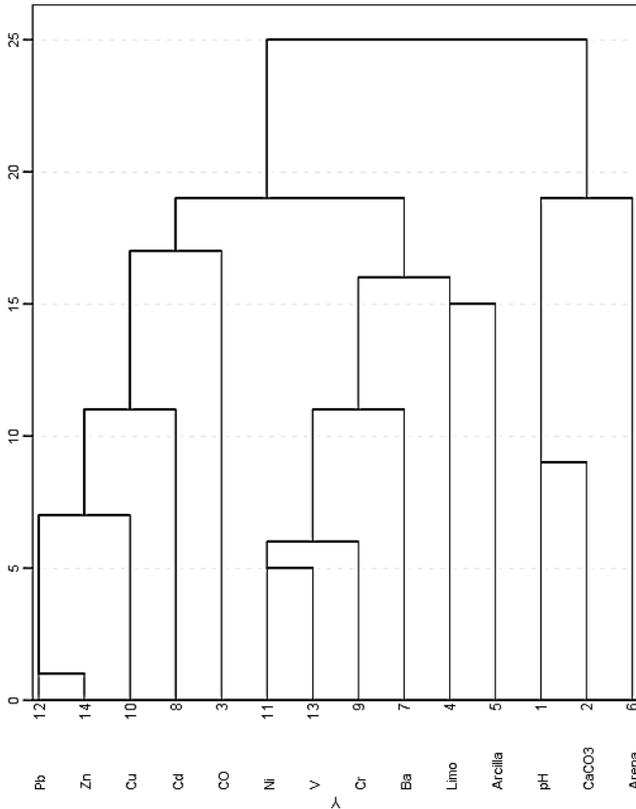
Elemento	pH	CaCO3	CO	Arena	Limo	Arcilla	Ba	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
pH	1	0,678**	-0,458**	0,308**	-0,302**	-0,291**	-0,460**	-0,06	-0,640**	-0,384**	-0,550**	-0,268**	-0,353**	-0,402**
CaCO3		1	-0,195*	0,084	-0,011	-0,176	-0,520**	0,035	-0,629**	-0,330**	-0,604**	-0,165	-0,388**	-0,237**
CO			1	-0,210*	0,264**	0,163	0,219*	0,317**	0,257**	0,464**	0,269**	0,563**	0,049	0,630**
Arena				1	-0,857**	-0,829**	-0,396**	-0,035	-0,566**	-0,199*	-0,454**	-0,082	-0,562**	-0,243**
Limo					1	0,489**	0,326**	0,076	0,403**	0,218*	0,359**	0,116	0,382**	0,232**
Arcilla						1	0,434**	0,02	0,644**	0,196*	0,516**	0,060	0,659**	0,244**
Ba							1	0,235**	0,757**	0,683**	0,784**	0,304**	0,713**	0,467**
Cd								1	0,003	0,430**	0,046	0,514**	-0,020	0,404**
Cr									1	0,517**	<b>0,899**</b>	0,198*	<b>0,818**</b>	0,412**
Cu										1	0,591**	0,695**	0,403**	0,763**
Ni											1	0,163	<b>0,794**</b>	0,356**
Pb												1	0,041	0,797**
V													1	0,178*
Zn														1

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

\* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Correlación de Spearman: en la tabla 25, se puede apreciar una fuerte relación entre Níquel y Cromo con un valor de 0.899, el Vanadio con Cromo con un valor de 0.818 y Vanadio con Níquel con un valor de 0.794, esto nos indica una posible hipótesis, la fuente sea de origen común por actividades industriales (Slavkovic et al 2004). Por lo contrario tenemos la correlación menos fuerte con una valor de 0.020 entre Arcilla y Cadmio.

Análisis de Componentes Principales y Análisis Clúster: la componente 1 de la tabla 26 con un 36.8% de varianza total y representando las cargas más altas, correspondientes a los elementos Cromo, Níquel y Vanadio con valores de 0.890, 0.815 y 0.742 respectivamente, las que también se agrupan en el Análisis Clúster, véase figura 28, estos elementos pueden tener un posible origen que está relacionado con las fuentes (Slavkovic et al 2004) según nuestro análisis es posible que proceda de la combustión del aceite pesado o por emisiones en los medios de locomoción (Allen et al., 2001). Para la componente 2 de la tabla 26 con un 21.7% de la varianza total, se aprecia con las mayores cargas, Plomo, Zinc y Cadmio con valores de 0.844, 0.784 y 0.664 respectivamente, las que también se agrupan en el Análisis Clúster, véase figura 28, es posible que estos elementos provengan de una fuente antropogénica, por ejemplo, las emisiones de plomo en los vehículos livianos y de carga. Para la componente 3 de la tabla 26 con un 12.3% de varianza total se tiene con la mayor carga el Limo con un valor de coeficiente de variación 0.627, lo que se puede indicar que proviene de una fuente natural.



**Figura 28:** Análisis Clúster según la Roca Metamórfica (N=125).

Comparación de roca madre según el metal pesado: en la tabla 27 se presenta una comparación de cada roca madre según el metal pesado, desde mayor a menor, además se aprecia que la mayor concentración por metales pesados se encuentra en la roca madre es Metamórfica con un valor de 542,05 mg/kg.

**Tabla 27:** Cuadro comparativo para roca madre según el metal pesado.

<b>Total roca madre contaminado por metales pesados</b>	
<b>542,05 &gt; 307,53</b>	
<b>Metamórfica &gt; Sedimentaria</b>	

**Tabla 26:** Componentes principales según la Roca Metamórfica (N=125)

	Componente			
	1	2	3	4
<b>Arena</b>	<b>-0,602</b>	<b>0,449</b>	<b>-0,652</b>	0,029
<b>Limo</b>	<b>0,522</b>	-0,274	<b>0,627</b>	-0,062
<b>Arcilla</b>	<b>0,491</b>	<b>-0,508</b>	<b>0,457</b>	0,022
<b>CO</b>	<b>0,402</b>	0,260	0,030	<b>-0,578</b>
<b>CaCO3</b>	<b>-0,584</b>	0,112	<b>0,513</b>	<b>0,402</b>
<b>pH</b>	<b>-0,663</b>	0,019	0,249	<b>0,516</b>
<b>Ba</b>	<b>0,695</b>	0,128	-0,232	0,394
<b>Cd</b>	0,340	<b>0,664</b>	0,148	0,117
<b>Cr</b>	<b>0,890</b>	-0,299	-0,108	-0,045
<b>Cu</b>	<b>0,656</b>	<b>0,622</b>	-0,063	0,313
<b>Ni</b>	<b>0,815</b>	-0,216	-0,317	0,203
<b>Pb</b>	0,313	<b>0,844</b>	0,249	0,011
<b>V</b>	<b>0,742</b>	-0,345	-0,241	0,350
<b>Zn</b>	<b>0,444</b>	<b>0,784</b>	0,259	-0,133
<b>% Var.</b>	<b>36,8</b>	<b>21,7</b>	<b>12,3</b>	<b>8,7</b>
<b>% Acum.</b>	<b>36,8</b>	<b>58,5</b>	<b>70,8</b>	<b>79,5</b>

#### 4 Conclusiones

Para el análisis exploratorio de datos, los metales pesados que presentan una mayor simetría son el Cadmio, Cromo y Vanadio con valores de 0.78, 0.68 y 1.28 respectivamente.

Para el análisis multivariado, podemos inferir que, entre las 268 muestras de perfil de suelo analizadas, se determinó que la mayor correlación (Spearman) fue entre Níquel y Cromo con un valor de 0.923, indicando un origen común. Esto se ve reflejado en el Análisis de Componentes Principales, ya que las mayores cargas que adopta la primera componente son para el Níquel, con un valor de 0.836 seguido por Cromo, con un valor de 0.832 y luego Vanadio con un valor de 0.720. Es posible que esto se deba a la combustión del aceite o a las emisiones provocadas por la locomoción de la localidad.

Los valores de fondo, que se utilizaron para el cálculo de los Índices de Geoacumulación son presentados en la tabla 5, y corresponden a: Ba=286.1, Cd=1.115, Cr=46.8, Cu=32.07, Ni=38.02, Pb=36.15, V=82.2, Zn=98.7.

El Bario, es el metal pesado que predomina en el presente estudio y se tomarán los valores de este metal pesado para el cálculo de los índices de riesgo ecológico. Por lo tanto, se demuestra que con un 87.1%, la localidad en estudio se encuentra con bajos niveles de contaminación y polución.

Con respecto a la clasificación por Orden de Suelo se puede inferir que la mayor cantidad de muestras corresponden a un orden de suelo Entisoles, con un valor de 104 perfiles de suelo. Para el análisis multivariado se puede concluir que los valores que tienen gran correlación, seguían una tendencia en las cuatro órdenes de suelo, donde estaba representado por las correlaciones entre Níquel, Cromo, Vanadio y Zinc, los cuales eran corroborados en Análisis de Componentes Principales. Además presentaban las cargas más elevadas y gráficamente las agrupaba en el Análisis Clúster respectivo. Sin embargo, en Alfisoles y Mellisoles, el carbón Orgánico se unía al Plomo y al Zinc, lo que indica una posible fuente natural.

En cuanto a la clasificación por Roca Madre, de un total de 268 muestras, se tiene un total de 143 perfiles superficiales de suelo corresponden a la Roca Madre Sedimentaria. Para el análisis multivariado se puede concluir que las mayores cargas para la correlación de la clasificación de rocas, fueron representadas por Níquel, Cromo y Vanadio. Además se corrobora este análisis, con el Análisis de Componentes Principales, ya que presenta las cargas más elevadas y además se aprecia el agrupamiento en el Análisis Clúster respectivo.

Con respecto a la relación de las propiedades del suelo con los metales pesados, la mayor correlación existente, es la de arcilla con Cromo, Níquel y Vanadio con valores de 0.677, 0.634 y 0.715 respectivamente. También se destaca el carbón orgánico, obteniendo una correlación con el Plomo y el Zinc de valores 0.442 y 0.329 respectivamente. Es por este motivo que se determinó que la fuente es antropogénica dada las condiciones de la localidad en estudio.

Se estima que el suelo de la localidad en estudio (Castelldefels), no presenta contaminación por metales pesados, siendo el Bario el elemento químico que presenta mayores concentraciones en los perfiles de suelo, su proporción en el área de estudio no contamina la localidad.

## 5 Referencias

- Allen, A.G., Nemitz, E., Shi, J.P., Harrison, R.M., Greenwood, J.C., (2001). Size distributions of trace metals in atmospheric aerosols in the United Kingdom. *Atmos. Environ.* 35, 4581-4591.
- Alloway B, (1995). *Heavy Metals in Soils*. Estados Unidos. Glasgow: Blackie
- Canavos G, (1992). *Probabilidad y Estadística aplicaciones y métodos*. México. Editorial McGraw-Hill.
- Castelldefels Web, (1996). Castelldefels: Geográfico. Cataluña, España. Recuperado de <http://www.castelldefels.com/cast/geoc.htm>
- Hawkes and Webb, (1962). *Geochemistry in mineral exploration* by H.E.
- Loska, K., Wiechula, D., Korus, I., (2004). Metal contamination of farming soils affected by industry. *Environ. Int.* 30, 159-165.
- Matschullat J, O. R., (2000). Geochemical background—can we calculate it? *Environ Geol*, 990-1000.
- Muller, G., (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *GeoJournal* 2, 108-118.
- Parques de Cataluña, (2017). *Red de Parques Naturales: Geografía Física*. Cataluña, España. Recuperado de <http://parcs.diba.cat/es/web/garraf/geografia-fisica>
- Reimann, C., Garrett, R.G., (2005). Geochemical background concept and reality. *Sci. Total Environ.* 350, 12-27.
- Reimann, Filzmoser. Garrentt, (2005). Background and threshold: critical comparison of methods of determination. *Science of the Total Environment* 346, 1-16.
- *Soil Taxonomy*, second edition, (1999). A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys.
- Slacković, L., Škrbić, B., Miljević, N., (2004). Principal component analysis of trace elements in industrial soil. *Environ. Chem. Lett.* 2, 105-108.
- Yaylah-Abanuz, G., (2011). Heavy metal contamination of surface soil around Gebze industrial area, Turkey. *Microchem. J.* 99, 82-92.