

**DETERMINACIÓN DE NIVELES DE FONDO Y NIVELES
GENÉRICOS DE REFERENCIA DE METALES PESADOS Y
OTROS ELEMENTOS TRAZA EN SUELOS.
ELABORACIÓN DEL INVENTARIO DE SUELOS
CONTAMINADOS Y DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN
WEB PARA LA GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN DE LA
CALIDAD DE LOS SUELOS DE LA COMUNIDAD
AUTÓNOMA DE LA REGIÓN DE MURCIA.**

DOCUMENTO 1

**DETERMINACIÓN DE NIVELES DE FONDO Y NIVELES
GENÉRICOS DE REFERENCIA DE METALES PESADOS Y
OTROS ELEMENTOS TRAZA EN SUELOS**

Expediente 13/2019



Región de Murcia

Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería, Pesca y Medio Ambiente
Dirección General de Medio Ambiente



UNIÓN EUROPEA

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”



DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	ANTECEDENTES Y ALCANCE	3
2.	DESARROLLO DE LOS TRABAJOS	6
2.1	RECOPILACIÓN DOCUMENTAL.....	6
2.1.1	RESUMEN DE LA INFORMACIÓN DEL MEDIO FÍSICO.....	7
2.2	METODOLOGÍA DE TRABAJO	21
2.2.1	DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE FONDO	22
2.3	RESULTADOS OBTENIDOS	27
2.4	CARACTERIZACIÓN TEXTURAL	27
2.5	DISTRIBUCIÓN EN METALES Y ELEMENTOS TRAZA.....	30
2.6	TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS.....	39
3.	CÁLCULO DE LOS NIVELES DE FONDO Y REFERENCIA.....	67
4.	NIVELES GENERICOS DE REFERENCIA (NGR).....	68
4.1	DEFINICIÓN DE LOS NGR	68
4.2	METODOLOGÍA SEGÚN EL REAL DECRETO 9/2005	69
4.3	ESTADO DEL ARTE EN EL CÁLCULO DE NGR PARA METALES EN OTRAS CCAA.....	72
4.3.1	Galicia.....	72
4.3.2	Asturias	74
4.3.3	Cantabria	76
4.3.4	País Vasco.....	77
4.3.5	Navarra	78
4.3.6	La Rioja.....	79

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”



DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

4.3.7	Aragón.....	80
4.3.8	Cataluña.....	82
4.3.9	Madrid.....	83
4.3.10	Extremadura.....	84
4.3.11	Andalucía	85
5.	CONCEPTO DE RIESGO Y EVALUACIÓN DE RIESGOS.....	87
5.1	ANÁLISIS DE RIESGOS COMO HERRAMIENTA PARA CALCULAR NGR	88
5.2	USOS DEL SUELO Y VÍAS DE EXPOSICIÓN	88
5.3	RECOPILACIÓN DE DATOS DE PARTIDA	89
5.3.1	Datos toxicológicos.....	89
5.3.2	Datos físico-químicos de los contaminantes	92
5.3.3	Tipos de receptores y parámetros de exposición:	93
5.3.4	Parámetros del medio físico:.....	97
6.	CÁLCULO DE LOS NGR DE METALES PARA LA REGIÓN DE MURCIA	98
6.1	HERRAMIENTA DE CÁLCULO	98
6.2	NGR CALCULADOS PARA LA PROTECCIÓN DE LA SALUD HUMANA	98
6.3	NGR AJUSTADOS PARA LA PROTECCIÓN DE LA SALUD HUMANA	99
7.	COMPARACIÓN CON LOS NGR DE OTRAS CCAA	100
8.	LIMITACIONES EN EL CÁLCULO DE NGR PARA METALES.....	104
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106



DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

1. ANTECEDENTES Y ALCANCE

Los trabajos contemplados tienen como finalidad el disponer de un instrumento de intervención que suministre información sobre la evolución de la calidad ambiental del suelo, de manera que se pueda tener una visión general y completa del estado en materia de calidad ambiental de todos los suelos de la Región de Murcia, en cumplimiento de la normativa estatal en materia de suelos contaminados, por lo que esta actuación cumple plenamente con la elegibilidad de los Objetivos Temático y Específico del Programa Operativo FEDER 2014-2020 de la Región de Murcia en los que se enmarca y con los criterios de Selección de Operaciones del mismo, ya que el objetivo final es precisamente optimizar y mejorar el seguimiento y control de la calidad ambiental de los suelos de la Región de Murcia.

Uno de los objetos del contrato es la realización de trabajos de investigación conducentes a la formulación de Niveles Genéricos de Referencia para metales y metaloides basándose éstos en la determinación de los niveles de fondo y niveles de referencia en suelos de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, así como en las consideraciones de riesgo ambiental admisible. Estos trabajos han de servir de soporte a la puesta en práctica del Real Decreto 9/2005 en el que se desarrolla reglamentariamente lo relativo a la investigación y/o declaración de suelos contaminados.

A la hora de abordar la elaboración del Inventario Regional de Suelos Contaminados cabe poner de manifiesto que en el artículo 2, apartado e), define las actividades potencialmente contaminantes del suelo como aquellas actividades de tipo industrial o comercial en las que, ya sea por el manejo de sustancias peligrosas, ya sea por la generación de residuos, pueden contaminar el suelo. Añade el citado apartado que, a los efectos del Real Decreto, tendrán consideración de tales las siguientes:

- Actividades incluidas en los epígrafes de la Clasificación Nacional de Actividades Económicas según el Real Decreto 1560/1992, de 18 de diciembre, por el que se aprueba la Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CNAE-93), modificado por el Real Decreto 330/2003, de 14 de marzo, mencionadas en el anexo I del Real decreto
- Actividades que produzcan, manejen o almacenen más de 10 toneladas por año de una o varias sustancias peligrosas.
- Almacenamientos de combustible para uso propio, con un consumo anual medio superior a 300.000 litros y con un volumen total de almacenamiento igual o superior a 50.000 litros.

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, se planifica la realización de los siguientes trabajos:

- A. Determinación de niveles de fondo, niveles de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Concretamente de los siguientes 18 elementos: As, Cd, Pb, Hg, Cu, Cr, Mn, Ni, Zn, Sb, Ba, Co, Mo, Se, Sn, V, Be, Tl.
- B. Elaboración del inventario de suelos contaminados.
- C. Desarrollo de una aplicación Web para la gestión de la información de la calidad de los suelos de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

El presente Documento 1 recoge todos los trabajos realizados para la consecución de la primera tarea: “Determinación de niveles de fondo, niveles de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia”.

Esta primera tarea A consistió en los siguientes trabajos:

1. Recopilación documental

Recopilación bibliográfica y cartográfica necesaria para el diseño de la campaña de muestreo, el conocimiento del medio físico, la interpretación de los resultados, conocimiento del estado del arte en el momento presente.

2. Definición de la Metodología

Selección de los puntos de muestreo teniendo en cuenta los criterios del Real Decreto 9/2005 y otros criterios técnicos que garanticen la representatividad de los datos.

Diseño de la campaña de muestreo y análisis químico

Elaboración del Plan de Trabajos, su planificación en el tiempo y su ejecución.

Definición del procedimiento de muestreo.

Definición de los parámetros químicos y físicos a identificar.

Definición de los procedimientos de calidad relacionados con la conservación de las muestras y análisis químicos a realizar.

Ejecución del Plan de Trabajos, registro de los datos y tratamiento de la información.

3. Análisis estadístico de la información

Detección de posibles Unidades Tipo o agrupamientos.

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”



DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Detección de valores anómalos.

Obtención de los estadísticos del conjunto de muestras.

Formulación de los Niveles de Fondo (NF).

Formulación de los Niveles de Referencia (NR).

4. Definición de los Niveles Genéricos de Referencia

La definición de los Niveles Genéricos de Referencia (NGR) se realiza conforme a lo marcado en el apartado 1 del Anexo VII del Real Decreto 9/2005 para la protección de la salud humana, esto es, obtención de valores de concentración que no conlleven un riesgo superior al máximo aceptable para la salud y, por tanto, basado en criterios toxicológicos para los diferentes usos del suelo: Industrial, Urbano y Otros (estos últimos son los más sensibles por verse implicada la cadena trófica).



DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

2. DESARROLLO DE LOS TRABAJOS

2.1 RECOPIACIÓN DOCUMENTAL

Como paso previo al análisis, se recopiló la información disponible tanto en la Dirección General como en otros Organismos, así como fuentes documentales y cartográficas, prestando especial atención a los expedientes administrativos con alguna relación en materia de suelos contaminados:

- Autorizaciones Ambientales Integradas (AAI)
- Informes sobre cumplimiento de la AAI
- Informes Preliminares de Situación del suelo
- Informes de Calidad del Suelo
- Informes Complementarios del suelo
- Análisis de Riesgos
- Proyectos de Remediación
- Proyectos de clausura y cierre
- Estudios Hidrogeológicos
- Estudios de calidad del agua subterránea
- Planes de seguimiento y control de las aguas subterráneas

También se procedió a recopilar información básica relacionada con las características del medio, esto es: climatología, geología, tipos de suelos, hidrogeología, usos del suelo, espacios protegidos, relación de actividades mineras e indicios mineros, etc. Información que constituye la base de las siguientes labores a realizar. Las principales fuentes utilizadas en esta fase fueron las siguientes:

- Dirección General de Medio Ambiente de la Región de Murcia.
- Dirección General de Energía y Actividad Industrial y Minera de la Región de Murcia.
- Sistema de información territorial de la Región de Murcia.
- Universidad de Murcia.

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

- Universidad Politécnica de Cartagena.
- Instituto Geológico y Minero de España (IGME).
- Instituto Geográfico Nacional (IGN).
- Dirección General del Catastro.
- Confederación Hidrográfica del Segura.

También se procedió a realizar visitas de campo, recorriendo la Región de Murcia con la finalidad de evaluar el estado actual y la posible presencia de áreas impactadas.

2.1.1 RESUMEN DE LA INFORMACIÓN DEL MEDIO FÍSICO

2.1.1.1 Situación Geográfica

Situada en el sudeste de la península ibérica, limita con las provincias de Granada y Almería (Andalucía) la Comunidad Valenciana (Alicante), la costa mediterránea y Castilla-La Mancha (Albacete). Con una superficie de 11.313 km², se extiende sobre la mayor parte de la cuenca hidrográfica del Segura.

Su posición geográfica es 38º 45' en el extremo norte, 37º 23' en el extremo sur, 0º 41' W en el extremo oriental y 2º 21' W en el extremo occidental.



Figura 1. Localización de la Región de Murcia

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

2.1.1.2 Descripción Geomorfológica

La Región de Murcia se sitúa en el extremo oriental de las Cordilleras Béticas. Aproximadamente el 27% del territorio murciano corresponde a relieves montañosos, el 38% a depresiones y valles intramontaños, y el 35% restante a llanuras, valles y altiplanicies.

En cuanto a los relieves se distingue de norte a sur:

Cordillera Prebética: la más septentrional, donde destacan entre otras la Sierra del Carche, Sierra de Cabras y Sierra del Buey.

Subbética: Está constituida por numerosos cabalgamientos superpuestos entre sí o sobre los materiales del Prebético. El Macizo de Revolcadores, el de mayor altitud de la región con 2015 metros, pertenece a este sistema.

Penibética: con tres complejos litológicos diferenciados de norte a sur (Nevado-Filabride, Alpujárride y Maláguide). Se encuentran muy fracturados, aunque existe un predominio de cabalgamientos y fallas inversas entre dichos complejos. Sierra Espuña es una de las serranías penibéticas más destacable.

Entre las llanuras y los valles destacan la depresión litoral del Campo de Cartagena-Mar Menor, el valle del Guadalentín (depresión prelitoral murciana), las vegas del Segura, y otros valles interiores formados por afluentes del Segura como las cuencas de Mula, Fortuna y Cieza.

Entre las altiplanicies se encuentran el Campo de San Juan y el Altiplano (Yecla y Jumilla).

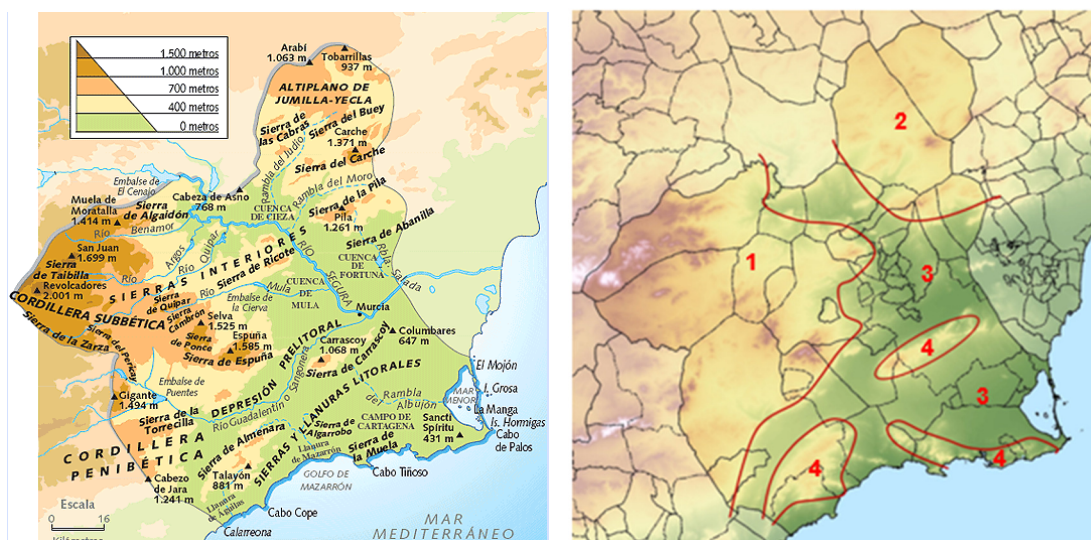


Figura 2. Unidades Geomorfológicas, y clasificación por altitud, de la Región de Murcia

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

También sería posible una clasificación geomorfológica en función de las altitudes, distinguiéndose cuatro zonas: Cordillera (1); Altiplano (2); Llanuras (3) y Montañas (4). Esta clasificación puede ser interesante desde la lógica de que, a una escala geológica, son los relieves los que aportan materiales a las zonas más bajas o valles, y los suelos de estas zonas serían una mezcla de aquellos que sometidos a procesos edafológicos diferentes darían lugar a suelos diferentes.

2.1.1.3 Descripción Geológica

Se distinguen tres grandes unidades geológicas¹: las Zonas Externas, las Zonas Internas y las Cuencas Neógeno – Cuaternarias compuestas por materiales que se depositaron sobre las rocas anteriores.

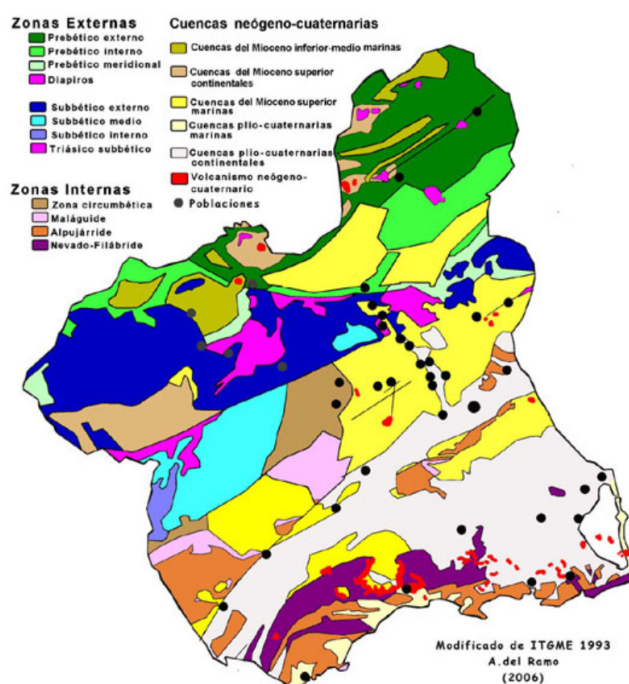


Figura 3. Principales unidades geológicas de la Región de Murcia

La **ZONA EXTERNA**, ha sido dividida en función de criterios paleogeográficos, en dos grandes zonas: la Subbética y la Prebética:

¹ Geología de la Región de Murcia. Autores: Francisco Guillen Móndejar y Antonio del Ramo.

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

La **Zona Subbética** ocupa desde la sierra de la Pila, Cieza, Caravaca y Moratalla, hasta Abanilla, Fortuna, Ricote, Bullas y el oeste de Lorca. Se estructura a su vez en tres dominios paleogeográficos:

El Subbético interno, poco representado en la región. Aflorando solamente en las sierras de Ponce, Gigante y Almirez. Tiene dolomías, calizas oolíticas, calizas nodulosas rojas y bauxitas de edad jurásica y calizas, margocalizas y margas cretácicas.

El Subbético medio, separa los dominios interno y externo. Destacan entre sus rocas las calizas con sílex, margocalizas, margas radiolaríticas, calizas nodulosas rojas de escasa potencia y coladas basálticas durante el Jurásico; margas y margocalizas durante el Cretácico; y margas, margocalizas, areniscas y calizas con foraminíferos durante el Terciario. A este dominio pertenecen las sierras de Ricote, Cambrón, Madroño y Lavia.

El Subbético externo, está constituido por rocas carbonatadas marinas en el Jurásico. Mientras que durante el Cretácico predominan las margocalizas y margas; y durante el Terciario margas, areniscas y calizas. Es el dominio subbético de mayor extensión ocupando las sierras del Gavilán, Villafuertes, Mojantes, Álamos, Cerezo, Quipar, Burete, Oro, La Pila, Lugar, Corqué, Barinas, y Quibas, entre otras.

La **Zona Prebética**, forman el norte y parte del noroeste de la Región de Murcia. Comprenden rocas con un claro predominio de los materiales cretácicos y terciarios. Esta zona se divide en:

Prebético meridional rocas ricas en arenas. Comprende formaciones rocosas de calizas areniscosas, margas y margocalizas arenosas durante el Cretácico y margas, arenas, calizas arenosas, calizas nummulíticas, conglomerados, arcillas y calizas lacustres paleógenas. Aparece representado en diversas zonas de las sierras de la Pila, del Águila y de la Puerta.

El **Prebético interno** que tiene rocas carbonatadas, calizas y/o dolomías, junto con algunas margas y margocalizas. Origina los relieves de los alrededores de la sierra de la Muela, Calasparra, Cieza, Jumilla y Yecla (sierras de: Ascoy, Larga, Sopalmo, Carche, Papsas y Salinas).

El Prebético externo, compuesto por rocas carbonatadas marinas durante el Jurásico; margas y areniscas marinas, y arcillas continentales durante el Cretácico inferior; areniscas dolomitizadas, dolomías y calizas arenosas marinas durante el Cretácico superior; y calizas lacustres, conglomerados, areniscas y arcillas durante el Paleógeno.

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Aflora desde el norte de Calasparra hasta Cieza, y en Jumilla y Yecla (sierras de El Algaidón, el Puerto, el Picacho, el Molar, las Cabras, Enmedio, Magdalena, Moratillas).

La **ZONA INTERNA** aflora entre Estepona y el bajo Segura, abarcando los relieves más importantes del sur y sureste de Murcia, incluida Sierra Espuña.

Se dividen a su vez en la Zona Bética en sentido estricto y la Zona Circumbética. La primera formada por los complejos: Nevado-filábride, Alpujárride y Maláguide.

La **Zona Bética:**

Complejo Nevado-Filábride aflora en las proximidades del litoral murciano desde Cabo de Palos hasta Cartagena (Calblanque, Portmán, las sierras mineras de la Unión y Cartagena, etc.), también en el Cabezo Gordo, sierra de los Victorias y de los Gómez que separa el Campo de Mazarrón y el de Cartagena, sierra del Algarrobo al norte de Mazarrón y sobre todo, la sierra de Almenara entre Mazarrón y Lorca, un poco más al oeste, la sierra de la Carrasquilla, lindando con Almería y la sierra de En medio. Con dos litologías destacables

- Micaesquistos ricos en grafito con cuarcitas que les confieren a los relieves de Cabo de Palos, Calblanque y Lomo de Bas un color muy característico; gris oscuro o negro, e incluso marrón rojizo por la existencia de óxidos de hierro.
- Serie carbonatada metamorfozada (mármoles dolomíticos) que forma el paisaje protegido del Cabezo Gordo de Torre Pacheco.

Complejo Alpujárride en él pueden aparecer tres tipos de rocas: Rocas metamórficas como esquistos y cuarcitas, pero sobre todo destacan por su color azul o violeta, las filitas. Rocas sedimentarias como los yesos y Rocas calcáreas (calizas y dolomías).

Por último, las intrusiones de rocas subvolcánicas básicas (diabasas), poco abundantes, entre las que destacan las del Cabezo Mingote junto al Mar Menor.

Aflora a lo largo del litoral murciano, desde Cabo Palos hasta Águilas, las principales mineralizaciones de las zonas mineras de Cartagena y la Unión. También aflora en las sierras interiores de: la Torrecilla, la Tercia, Enmedio, Carrascoy, sur de Sierra Espuña y el Puerto. Así como en las proximidades de Espinardo, el Puntal, Cabezo de Torres, Santomera, y Monteagudo.

Complejo Maláguide sus rocas son mayoritariamente sedimentarias. Sierra Espuña, es el mejor lugar de toda la Cordillera Bética, aunque también aparece en la parte

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

septentrional de la sierra de la Torrecilla, en la parte centro-oriental de la sierra de Carrascoy y en la zona litoral, donde se presenta como manchas aisladas flotando tectónicamente sobre el conjunto Alpujárride, como ocurre en Cabo Cope y Lomo de Bas.

Las litologías que más destacan en este complejo son:

- Filitas y sobre éstas una serie de color verde oliva formada por intercalaciones de calizas y rocas detríticas.
- Tramo detrítico de lutitas, areniscas y conglomerados.
- Formación dolomítica que da lugar a resaltes topográficos acusados. Son de color gris y están mal estratificadas.

La **Zona Circumbética**, está formada por aquellos conjuntos litológicos que separan o no pueden ser claramente asignadas a las Zonas Internas o a las Zonas Externas. Comprende rocas sedimentarias muy variadas como arcillas y margas (donde destacan las de color rojo del río Pliego), areniscas turbidíticas, y calizas entre otras.

CUENCAS NEÓGENO – CUATERNARIAS

Cuencas del Mioceno inferior y medio

Las rocas que la forman son calizas con algas, margas, calizas bioclásticas y conglomerados, excepcionalmente, bien conservadas en el norte de la comunidad murciana. Pero sobre todo en el monte Arabí, Benizar, Cuevas de Zaen-Bagil-Molata de Charán, cabecera del barranco Hondares, cerro de Moratalla la Vieja o el Estrecho de Bolvonegro.

En el Tortonense, aún poseen sedimentación marina (calcarenitas bioclásticas), con influencia de sedimentos terrígenos (gravas y arenas), provenientes de la erosión de los relieves prebéticos o subbéticos que las delimitan y hacia el centro de las cuencas son sustituidas por sedimentos margosos.

Pero por lo general las cuencas del norte de la Región de Murcia son de carácter continental y continúan activas con depósitos detríticos procedentes de corrientes fluviales o sedimentos de lagos, unas veces salinos (yesos) y otras carbonatados (calizas lacustres y calizas oncolíticas), junto con margas, margas con sílex, diatomitas y arcillas. Algunas de estas cuencas son las de

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”



DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

la Hoya de la Sima (Jumilla) y Tarragoya (Caravaca), pero sobre todo la del Salmerón-Las Minas (Moratalla-Calasparra-Hellín).

Cuencas del Mioceno superior

Las más extensas, son las de Lorca, Fortuna y Mula, esta última con depósitos margosos. Todas poseen una marcada influencia marina con rocas carbonatadas, dándose en ellas una progresiva sustitución de litologías, desde los relieves que las delimitan hacia las zonas más profundas: depósitos conglomeráticos de abanicos deltaicos, arrecifes coralinos y calizas bioclásticas, margas con intercalaciones areniscosas y margas.

A partir del Plioceno la sedimentación es típicamente continental, con predominio de conglomerados, areniscas y sedimentos arcillosos rojos.

Cuencas del Pliocuaternalio

Las cuencas marinas, como las de Águilas-Terreros, Cabo Cope y Mazarrón, presentan calcarenitas, conglomerados, y limos margosos.

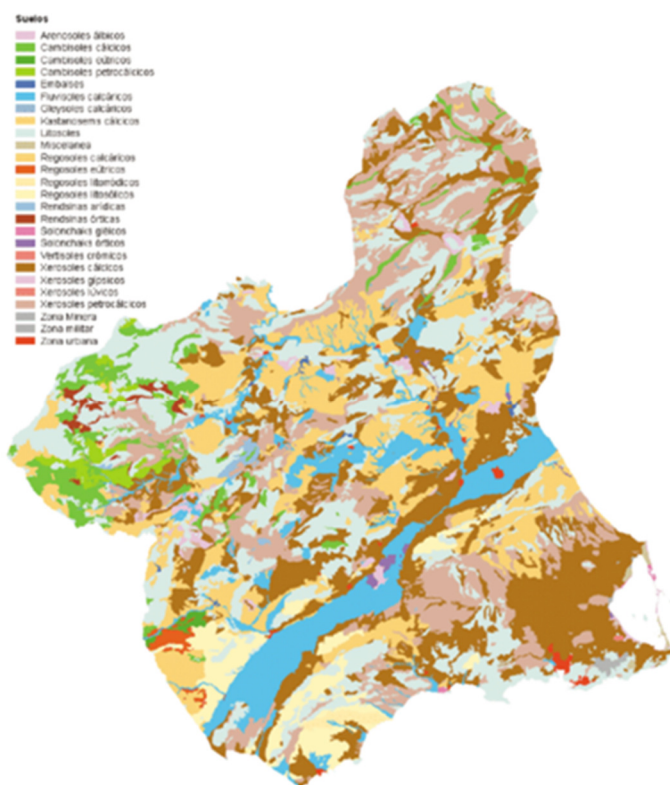
Las cuencas continentales, como la del Guadalentín, la del Segura o el Campo de Cartagena, tienen un gran espesor de sedimentos aluviales y fluviales. Por ello apenas afloran los sedimentos con edad anterior al cuaternario, salvo en las laderas de los relieves que las delimitan. Destaca por su extensión el Campo de Cartagena, que además de los sedimentos cuaternarios que la cubren, posee un potente relleno neógeno margoso formado por intercalaciones de conglomerados, calizas y areniscas.

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

2.1.1.4 Tipología de Suelos

La Región de Murcia presenta suelos poco evolucionados en la mayoría de ellos, con pocos horizontes. Su profundidad es escasa con excepción de las vegas y llanuras dónde los espesores son los mayores de la región.

Las características fisicoquímicas vienen determinadas por el tipo de sustrato geológico, los



fenómenos erosivos y de transporte, grado de meteorización, y por la topología y manejo del terreno.

En general se trata de suelos neutros a básicos (pH entre 7 y 9) donde el contenido en carbonato cálcico varía según el tipo de sustrato sobre el que aparezca.

La cantidad de materia orgánica presente en los suelos no es, en general, muy elevada con valores principalmente centrados entre el 1% y el 4% de materia orgánica (el carbono orgánico es igual al contenido en materia orgánica dividida por el factor 1,74).

Nos podemos encontrar con los siguientes suelos en función del grado de evolución, de los mismos, y el tipo de sustrato sobre el que se desarrollan:

Suelos sin evolucionar o poco desarrollados

Serían los suelos, según la clasificación de la FAO (FAO 1991), Regosoles calcáricos, Cambisoles calcáricos y Calcisoles háplicos.

Se pueden encontrar en Cieza, Calasparra, Moratalla, Molina de Segura y Abanilla.

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”



DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Suelos desarrollados sobre sedimentos cuaternarios calizos

Presentan mayor evolución que los anteriores. Clasificados como leptosoles líticos y calcisoles pétricos, calcisoles hálicos, o bien lúvicos, si aparece también un horizonte subsuperficial de acumulación de arcilla.

Aparecen en la llanura del Campo de Cartagena, la depresión del Guadalentín y del Altiplano.

Suelos desarrollados sobre rocas calcáreas consolidadas

Aparecen en zonas con fuertes pendientes y superficies muy erosionadas. Se incluyen dentro de los Leptosoles líticos y Regosoles calcáricos y eútricos. Pueden aparecer Leptosoles rendsínicos si se llega a desarrollar un horizonte diagnóstico de tipo orgánico (móllico), de forma muy discontinua.

Suelos aluviales

Suelos de origen fluvial, poco evolucionados, aunque profundos. Aparecen en las vegas de los principales ríos. Se incluyen dentro de los Fluvisoles calcáricos y eútricos, así como Antosoles áricos y cumúlicos.

Suelos sobre materiales silíceos

Se clasifican dentro de los Regosoles eútricos, como Luvisoles háplicos y a veces crómicos, así como Calcisoles lúvicos. Presentan poca evolución.

Aparecen sobre materiales metamórficos de la parte meridional, y en afloramientos volcánicos.

Suelos Salinos

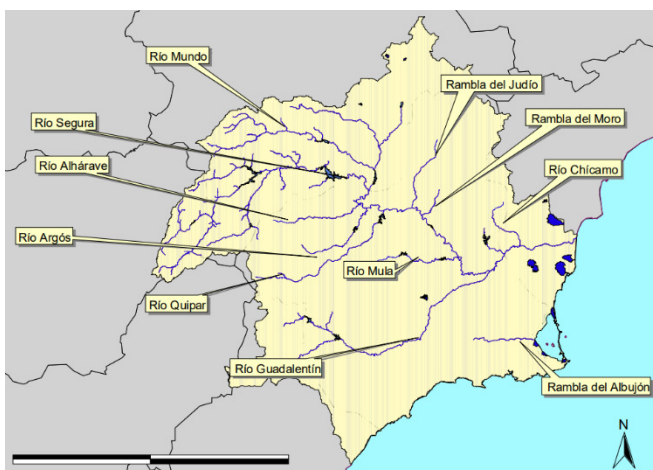
Aparecen sobre margas neógenas, arcillas yesosas triásicas, en áreas endorreicas y a veces tienen un origen antrópico.

Se encuentran en el Valle del Guadalentín y en algunas ramblas que atraviesan materiales litológicos háplicos, gípsicos y sódicos (ramblas del Ajauque y Salada), sin olvidar los saladares costeros de la Marina del Carmolí, Lo Poyo, alrededores de las salinas de San Pedro del Pinatar, Calblanque y Cala Reona.

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

2.1.1.5 Hidrología

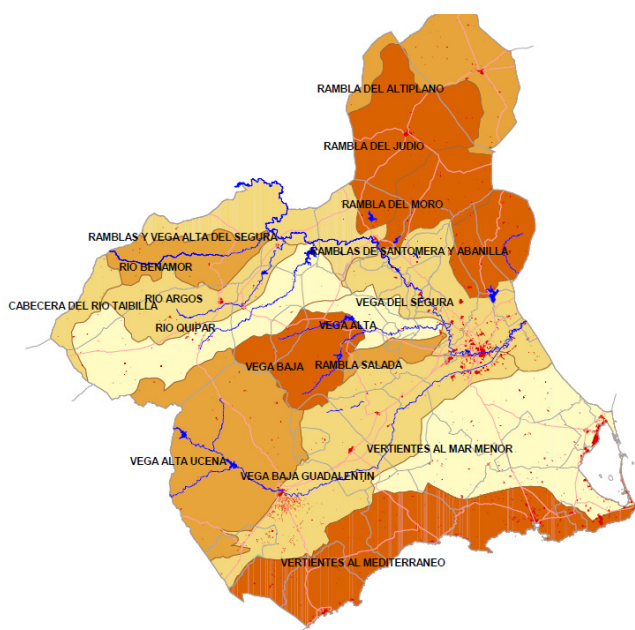
Desde un punto de vista fluvial la Demarcación del Segura está dominado por el río Segura, como único río principal, y el conjunto de sus afluentes. El resto de los cauces son ramblas



efímeras con una respuesta hidrológica muy irregular condicionada por los aguaceros sobre sus cuencas vertientes. La producción fundamental de recursos hídricos se concentra en la cabecera de la cuenca (ríos Segura y Mundo hasta su confluencia). Aguas abajo de esta confluencia, los cauces de la margen izquierda son, en general, ramblas sin aportaciones

permanentes y con un marcado carácter torrencial (ramblas del Judío, Moro y Albuñón), mientras que los de la margen derecha son, en general, ríos propiamente dichos (Moratalla, Argos, Quípar, Mula, Guadalentín), con caudales exigüos pero permanentes. También existen en la Demarcación las cuencas endorreicas de Corral Rubio y Yecla.

Existe una división del territorio en otra serie de cuencas principales: Vega Baja del Río Guadalentín; Vega Alta del Río Guadalentín-Luchena; Río Mula (Bajo); Río Mula (Alto); Río Quípar; Río Argos; Cabecera del Río Taibilla; Río Benamor; Ramblas y Vega Alta del Río Segura; Ramblas y Vega Baja del Río Segura; Rambla Salada; Ramblas de Santomera y Abanilla; Rambla del Toro; Rambla del Judío; Ramblas del Altiplano; Vertientes al Mar Menor; Vertientes al Litoral Mediterráneo.



DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

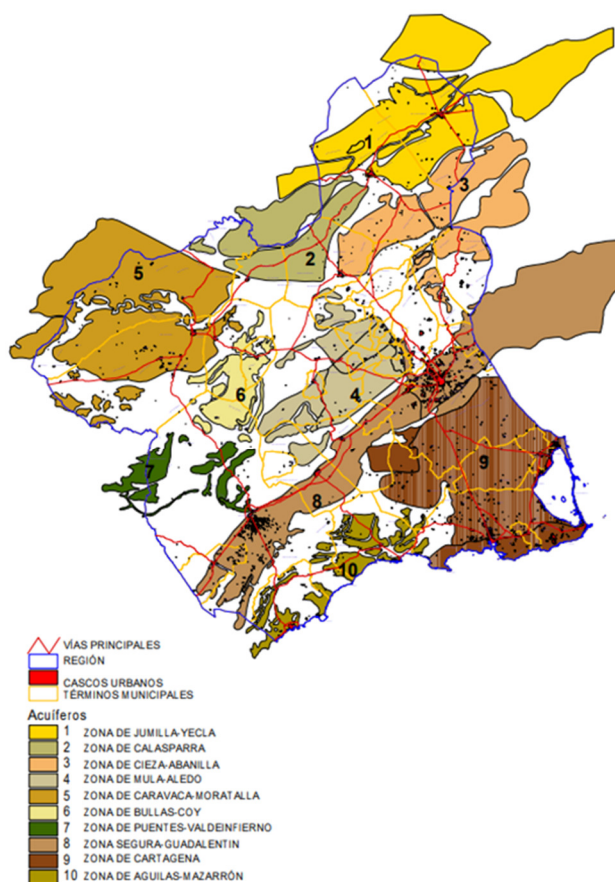
2.1.1.6 Hidrogeología

Sintéticamente existen diez acuíferos en La región de Murcia que se engloban en cuatro unidades hidrogeológicas, aunque cabe indicar que actualmente la clasificación responde al concepto de masas de agua de la Confederación Hidrográfica del Segura.

La unidad hidrogeológica del Bético de Murcia que se sitúa al norte y sur de las depresiones del Valle del Guadalentín y Campo de Cartagena ocupando unos 1600 Km².

Los acuíferos se albergan en mármoles y dolomías del Triásico, cuyo desarrollo tanto en horizontal como en vertical varía de unos puntos a otros. El material impermeable a base son fillitas, micaesquistos, cuarcitas, etc. del Paleozoico.

La unidad del hidrogeológica del Subbético de Murcia, que presenta una extensión de 2500 Km², aunque sólo existe una pequeña representación en la zona noroccidental de Murcia, y el resto pertenece a la provincia de Almería.



Los materiales acuíferos están constituidos por potentes formaciones de dolomías y calizas de hasta 500 m de potencia pertenecientes al Lias, siendo las arcillas y yesos del Trías el impermeable a base.

La unidad hidrogeológica del Cuaternario del Segura-Guadalentín se encuentra ligada a los cursos bajos de los ríos Segura y Guadalentín, y en Murcia están representados en el Valle del Guadalentín y en la Vega Media.

El sistema acuífero del Valle del Guadalentín está formado por el Alto Guadalentín constituido por depósitos detríticos (arena y grava); y por el Bajo Guadalentín con intercalaciones margosas dentro del complejo detrítico.

El sistema acuífero de la Vega Media está constituido por un relleno aluvial cuaternario de unos 300 m de espesor, ligado al río Segura.

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”



DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Por último, la unidad hidrogeológica del Campo de Cartagena, se sitúa al sur de la sierra de Carrascoy, con una extensión de 1580 Km².

Los acuíferos más destacados son los pertenecientes al Andaluciense y al Plioceno, constituidos por 100 m de calizas bioclásticas y 25 m de areniscas, respectivamente, separadas por un potente tramo margoso. Además de estos dos acuíferos principales existen otros de menor entidad como son los pertenecientes a las dolomías del Triásico de los Victorias, a los conglomerados del Tortonense y al caliche del Cuaternario.

La infiltración procedente de la lluvia se estima entre 25 y 40 hm³/año, mientras que la explotación destinada al riego es de 115 a 125 hm³/año, lo que constituye una clara sobreexplotación, dando lugar a una continua bajada de los niveles piezométricos comprendida entre 1 y 8 m/año.

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

2.1.1.7 Espacios Naturales

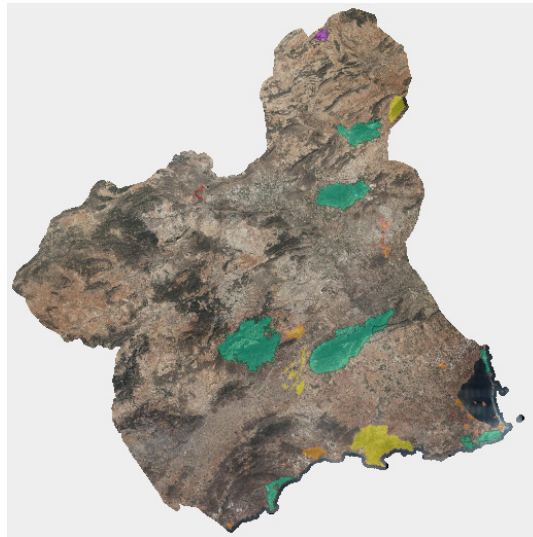
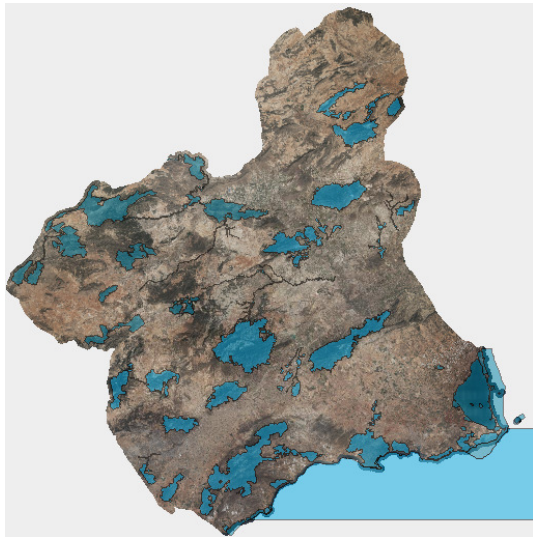
La Región de Murcia cuenta con una red de Espacios Naturales Protegidos –ENP– constituida por siete Parques Regionales –antes llamados Parques Naturales–, una Reserva Natural, cinco Paisajes Protegidos y otros seis espacios protegidos.

Los espacios naturales más emblemáticos de la Región son El Valle, Sierra Espuña, Salinas de San Pedro del Pinatar y Calblanque.

Además de los Espacios Naturales Protegidos, algunos municipios de la Región cuentan en su territorio con determinados espacios de propiedad pública donde concentran diversas actividades en la naturaleza, con un objetivo fundamental, la divulgación y la educación ambiental. Un claro ejemplo son Parques Forestales Municipales de Murcia y los Parques Naturales Municipales de Molina de Segura.

LIC y ZEC

Espacion Naturales Protegidos

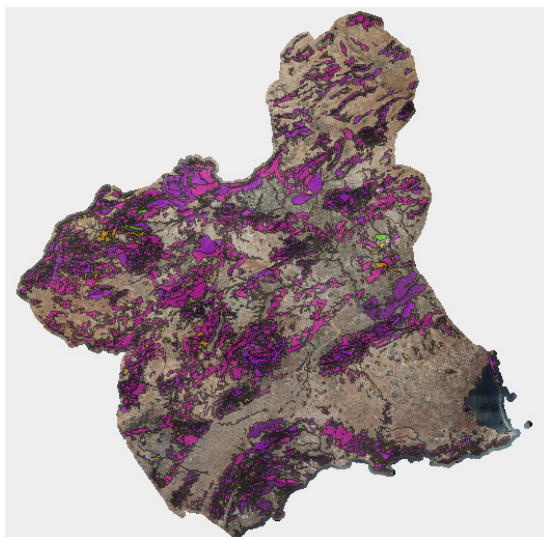


Por otro lado, Los Montes de Utilidad Pública, cuya titularidad corresponde a Ayuntamientos o a la Comunidad Autónoma, e incluso al Estado, aunque no pueden considerarse como espacios protegidos si son terrenos de alto valor natural.

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Habitats terrestres



Montes públicos



Parques regionales	Espacios sin figura legal asignada
1 Calnegre y Cabo Cope	16 Cañón de Almadenes
2 Calblanque, Monte de las Cenizas y Peña del Águila	17 Sierra de la Muela, Cabo Tiñoso y Roldán
3 El Valle y Carrascoy	18 Saladares del Guadalentín
4 Salinas y Arenales de San Pedro del Pinatar	19 Sierra de Salinas
5 Sierra de El Carche	
6 Sierra de la Pila	
7 Sierra Espuña	
Reserva natural	Monumentos naturales
8 Sotos y Bosques de Ribera de Cañaverosa	20 Monte Arabí
Paisajes protegidos	21 Gredas de Bolnuevo
9 Barrancos de Gebas	22 Sima de la Higuera
10 Cuatro Calas	Áreas marinas protegidas
11 Espacios abiertos e islas del Mar Menor	
12 Humedal del Ajauque y Rambla Salada	
13 Sierra de las Moreras	
14 Islas e islotes del litoral mediterráneo	
15 Cabezo Gordo	

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”



DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

2.2 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Como ya se indicó anteriormente, uno de los objetos del presente trabajo es la obtención de los Niveles Genéricos de Referencia para metales y metaloides en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, basándose éstos en la determinación de los niveles de fondo y niveles de referencia en suelos de la Comunidad.

Para el cálculo de los Niveles Genéricos de Referencia (NGR) se tiene en cuenta lo indicado en el anexo VII del Real Decreto 9/2005 de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.

En el RD 9/2005 se considera como Nivel Genérico de Referencia aquella concentración que no conlleva un riesgo superior al máximo aceptable para la salud. En consecuencia, y siguiendo la metodología del Real Decreto, se deben determinar los umbrales toxicológicos en función del uso del suelo, esto es: uso industrial, uso urbano y otros usos.

En esa línea, el primer paso es conocer las concentraciones, que de forma natural se presentan en la Región de Murcia, para cada uno de los dieciocho metales seleccionados, esto es, determinar los Niveles de Fondo (NF) o niveles geoquímicos.

La razón es clara, no se podrán definir Niveles Genéricos de Referencia (NGR) con valores que superen las concentraciones que de forma natural se presentan en el territorio, ya que en caso contrario sería establecer como punto de partida que toda la Comunidad Autónoma está contaminada, lo cual no sería cierto.

El siguiente paso será formular los llamados Niveles de Referencia o Valores de Referencia (NR o VR), son valores cuya superación por otra muestra es muy poco probable. Para su definición se ha elegido, como valor de referencia, la cota superior del percentil 90 con un 95% de confianza para el caso de distribuciones muestrales Normales, en aquellas distribuciones no paramétricas se utiliza la cota superior de la mediana.

Finalmente se procede a la definición de los NGR a partir de consideraciones de riesgo para la salud humana y, por tanto, íntimamente ligados a la información toxicológica de los elementos objeto de estudio. En resumen, los pasos seguidos son:

1. Determinación del fondo geoquímico o niveles de fondo.
2. Cálculo estadístico de los valores de referencia
3. Definición de los NGR en base a criterios toxicológicos

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

2.2.1 DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE FONDO

Para la determinación de los Niveles de Fondo o fondo geoquímico de la Región de Murcia se parte del diseño de una campaña de toma de muestras de suelo, sobre las que se analizarán las concentraciones de los dieciocho metales siguientes: As, Cd, Pb, Hg, Cu, Cr, Mn, Ni, Zn, Sb, Ba, Co, Mo, Se, Sn, V, Be, Tl.

Para la selección de los puntos de muestreo potencial se ha tenido en cuenta los criterios del Real Decreto de 9/2005:

- La probabilidad de tomar muestras de suelo que hayan tenido una contaminación antrópica será mínima.
- Los sustratos geológicos deben ser de similares características a aquellos en los que pueden estar, o hayan estado, establecidas las actividades potencialmente contaminadoras del suelo.

En consecuencia, la principal condición, para la determinación de los niveles de fondo, es que se trate de zonas próximas al área de interés, que no estén contaminadas y con sustratos geológicos de similares características, por lo que los pasos a seguir fueron:

- Delimitación de sustratos geológicos presentes en la Región de Murcia.
- Delimitación de suelos con un cierto grado de desarrollo o madurez dentro de cada sustrato geológico.
- Identificación dentro de estos suelos de zonas con baja o nula probabilidad de contaminación.
- Definición del plan de muestreo.

Para ello se ha empleado el Sistema de Información Geográfica ARCVIEW, que permite el cruce de diversas capas temáticas, concretamente se han cruzado las capas de espacios naturales y otras figuras de protección con las de geología y suelos de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

El resultado son áreas potencialmente muestreables, a las que se han añadido otras zonas, de carácter agrícola, después de ser revisadas varias secuencias fotogramétricas de los últimos 20 años, con muy poca probabilidad de haber sido afectadas por actividades diferentes a las agrícolas, y se deja constancia de esta circunstancia durante la toma de muestras.

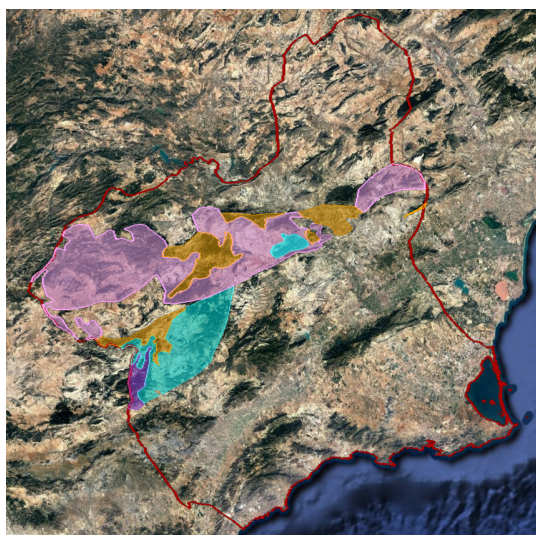
DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

2.2.1.1 Campaña de Muestreo

La campaña de muestreo se diseñó de modo que las muestras de suelo correspondieran a suelos residuales, formados por la alteración de las rocas originales y a la incorporación de elementos naturales de zonas adyacentes. En el caso de suelos agrícolas, los resultados obtenidos se comparan con las muestras limítrofes para verificar su idoneidad.

Se han elegido zonas en las que se ha podido observar su carácter natural y la no afectación por actividades antrópicas o naturales distorsionadoras (flujos de agua como inundaciones o cauces, vertidos, etc.), concretamente zonas de protección natural como LIC o ZEPA, reservas y parques naturales y también montes públicos o privados.

Se identifica la geología y litología del área de muestreo. En las imágenes siguientes se reflejan las diferentes unidades geológicas consideradas:



Zona externa: subbético interno (morado oscuro), subbético medio azul, subbético externo morado claro. Triásico subbético marrón claro.

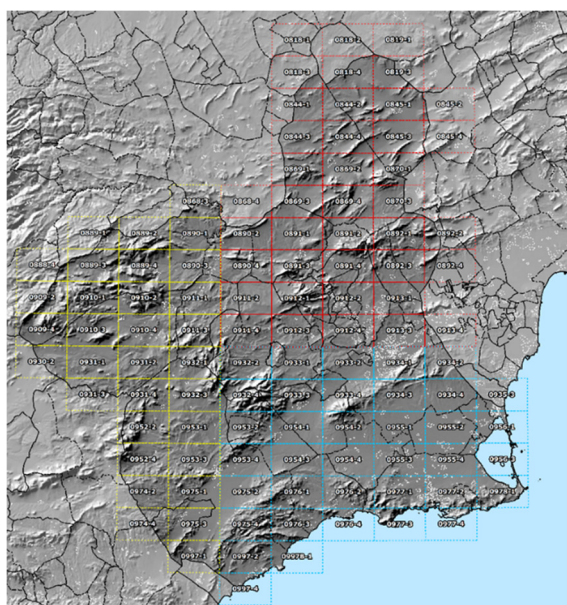
Relieves cretácicos (verde).

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.



Zona Interna: Circumbética (marrón), **Cuencas** Neógenas y Cretácicas Maláguide (rojo), Nevado Filábride (morado) y Alpujarride (naranja).

Para la definición del plan de muestreo se parte del Mapa Cartográfico a escala 1:25.000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN), que permite la división de la Región de Murcia en 104 cuadrículas regulares.



Se crean tres zonas de trabajo diferenciadas, denominadas zona 1,2 y 3, que se asignan a equipos de campo diferentes.

Cada muestra tomada en una de las hojas se codifica con el número de la Hoja y se le añade un número de orden al final.

Por ejemplo, las muestras de la Hoja 911-2 son denominadas como:

911-2-1

911-2-2

911-2-3

Etc...

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

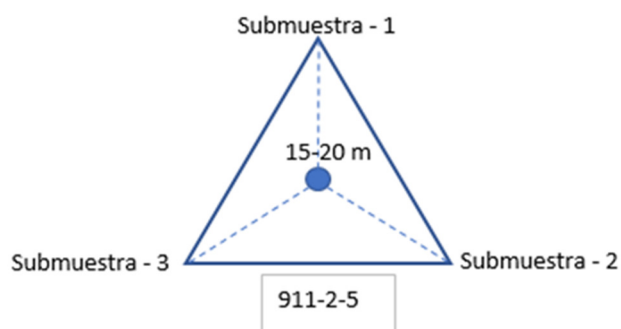
DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Dentro de cada cuadrícula se identifican las zonas potencialmente de muestreo, con los criterios anteriormente señalados además de otros como los que se citan a continuación:

- Ser zonas no modificadas o muy poco modificadas. Preferentemente naturales.
- No haber soportado ninguna actividad industrial o ganadera.
- No deben ser zonas donde se presenten arrastres de materiales: cauces, ramblas, barrancos, etc.
- Verificar que no se trata de antiguas escombreras mineras.
- No son acumulaciones de residuos colonizadas por la vegetación.
- Estar alejadas de carreteras principales un mínimo de 50 m.

Se establece que el muestreo se realizará en el primer horizonte del suelo a una profundidad de 15-30 cm, previa retirada de la capa de materia orgánica. La principal razón de esta elección es clara, el objetivo final de todo el trabajo es la obtención de niveles de riesgo basados en criterios toxicológicos, por lo que el nivel de máxima exposición para un ser humano es el primero.

Cada muestra corresponde a la integración de 3 submuestras tomadas en los vértices de un triángulo cuyo baricentro es el PDM.



Cada submuestra se mete en una misma bolsa, dentro de ella se homogenizan, se vierte sobre una superficie limpia, se realiza un cuarteo de la muestra y se rellenan los botes, evitando piedras y restos vegetales.

La bolsa se desecha y se coge una nueva para la muestra siguiente. Los botes se meten en nevera de poliespan con enfriadores para conservar las muestras.

El punto de muestreo es georreferenciado vía GPS, se completa la ficha de campo y se realizan fotos del punto de muestreo y de su entorno.

Durante los meses de junio, julio, y agosto de 2020, se procedió a la toma de muestras conforme a la metodología definida anteriormente. Obteniéndose un total de 550 muestras.

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

2.2.1.1 Determinación analítica de los metales

Todas las cajas con muestras se enviaron junto con una cadena de custodia al laboratorio de análisis químico, al que se envió la orden de análisis para determinación de:

- 18 Metales As, Cd, Pb, Hg, Cu, Cr, Mn, Ni, Zn, Sb, Ba, Co, Mo, Se, Sn, V, Be, Tl.
- Hidrocarburos totales del petróleo (TPH).
- Pesticidas Organoclorados (POC).
- Policlorobifenilos (PCB).
- Distribución del Tamaño de Partícula (5 fracciones: 2, 16, 45, 63 y 2000 μm)
- Materia Orgánica [LQ: 0.7 % (m/m ds)]
- pH (KCl) en suelos

En la analítica se determina el metal total presente en la muestra de suelo.

Los elementos presentes se determinan mediante espectrómetro de masas (técnica ICP-MS), esto conlleva a analizar el metal total (sea cual sea el estado de oxidación en el que haya estado ese metal en el suelo).

El proceso de preparación y análisis de la muestra fue la siguiente:

- Se toma una alícuota de la muestra, se muele y se seca.
- Se toma 1 gramo de muestra en un vial para realizar la destrucción de la muestra, para ello, se añade agua regia (ácido nítrico + ácido clorhídrico).
- La muestra se calienta durante 2 horas a 105°C para realizar la digestión.
- Una vez enfriada, se añade demiwater hasta conseguir un volumen de 50 mL, y se agita.
- La muestra resultante se pasa por un filtro de 45 μm .
- Una vez filtrada, se introduce en el equipo de medida ICP-MS.

Se comprueban los resultados del blanco y de la muestra de control, si los resultados son correctos, se reportan los resultados obtenidos; si los resultados no cumplen con los criterios de calidad establecidos en el sistema de calidad, debe repetirse todo el proceso.

Los resultados así obtenidos pasan por un control de calidad cuya superación da lugar a la emisión del acta de análisis definitivo.

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

2.3 RESULTADOS OBTENIDOS

Todos los resultados analíticos obtenidos para las 550 muestras analizadas se aportan en el Anexo 2 “Actas de Laboratorio”, y los resultados se reflejan en mapas de isoconcentraciones, obtenidas utilizando la hipótesis de la variable regionalizada (kriging). El kriging es un método de interpolación que asume que cada valor puede definirse como una variable regionalizada.

Esta hipótesis supone que la variación espacial de la variable a representar puede ser explicada mediante funciones de correlación espacial: la variación espacial de los valores de z puede deducirse de los valores circundantes de acuerdo con unas funciones homogéneas en toda el área. Las funciones pueden deducirse analizando la correlación espacial entre los datos en función de la distancia entre ellos midiendo la semivarianza entre datos separados por distancias diferentes (Oliver y Webster, 1990:315, Royle et al., 1981).

Todos estos mapas se recogen en el Anexo 1 “Planos”, y en ellos se recoge la ubicación de los puntos de muestreo. En la versión digital de estos planos es posible consultar el valor de fondo interpolado de cualquier metal en cualquier punto, así como los valores obtenidos para cada elemento en los puntos de muestreo.

A continuación, se procede a presentar una síntesis de los resultados obtenidos, cuyos resultados detallados pueden consultarse en el Anexo 2 “Actas de Laboratorio” y Anexo 3 “Tablas de Resultados”.

2.4 Caracterización textural

Se procedió a la caracterización textural de las muestras en base al análisis granulométrico, materia orgánica y pH del suelo.

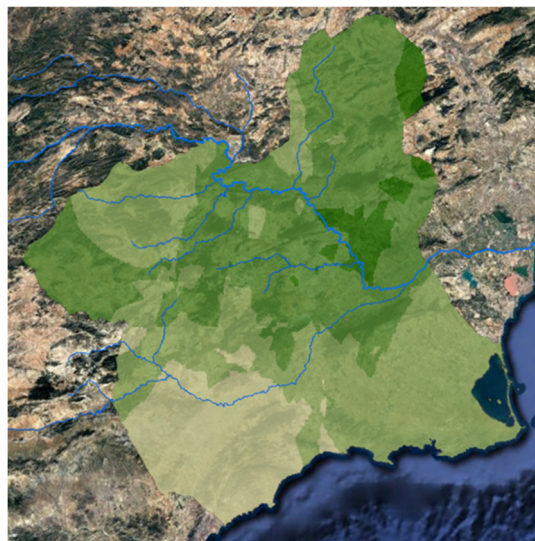
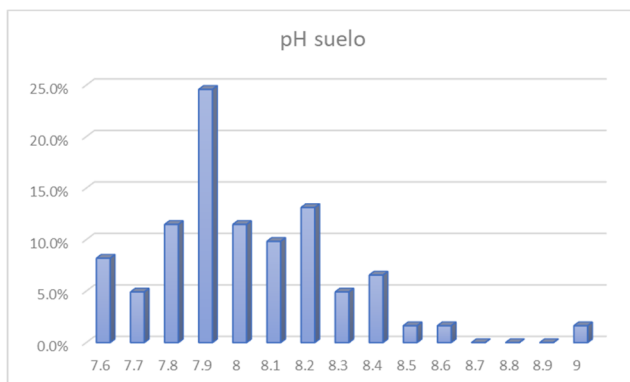
Los valores de pH obtenidos se mueven entre los valores de 7,6 y 9, reflejando un claro carácter básico de los suelos, siendo el pH más habitual el 7,9 con un 25% del total de las muestras analizadas.

	pH	MO	Arcilla	Limo
Media	8.0	3.1	14.1	12.7
Mediana	8.0	2.7	14.1	12.8
Moda	7.9	1.9	9.0	9.5
Máximo	9.0	12.3	67.1	29.1
Mínimo	7.6	0.7	3.7	2.2

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

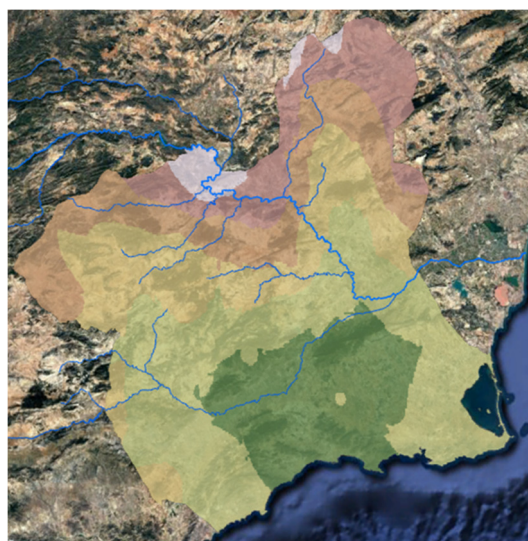
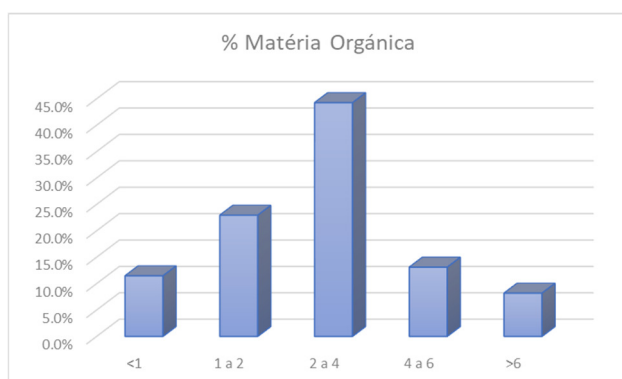
Estos valores influyen sobre la movilidad de los metales, a mayor valor de pH menos movilidad del metal, pudiendo quedarse fijados en los carbonatos.

Su distribución espacial refleja la distribución de suelos más alcalinos hacia el sureste de la Región de Murcia y una influencia de la presencia de carbonatos y yesos en los valores de pH.



En cuanto al contenido en materia orgánica, los valores obtenidos son bajos, un 44 % de los suelos tendría cantidades entre un 2-4 % y un 11% cantidades menores al 1%.

El papel que juega el contenido en materia orgánica es importante en el control presencial de metales: por adsorción de los mismos, al presentar una importante capacidad de cambio, o aumentando su movilidad por formación de ácidos húmicos que modifiquen localmente el pH del suelo y favorezcan la movilidad.



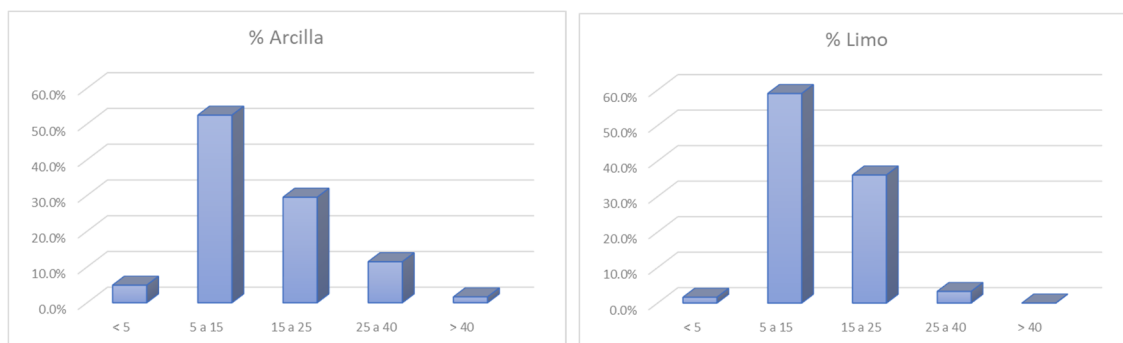
Las cantidades mayores se dan en el norte de la región, especialmente asociadas a zonas boscosas y de escasa explotación agrícola.

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

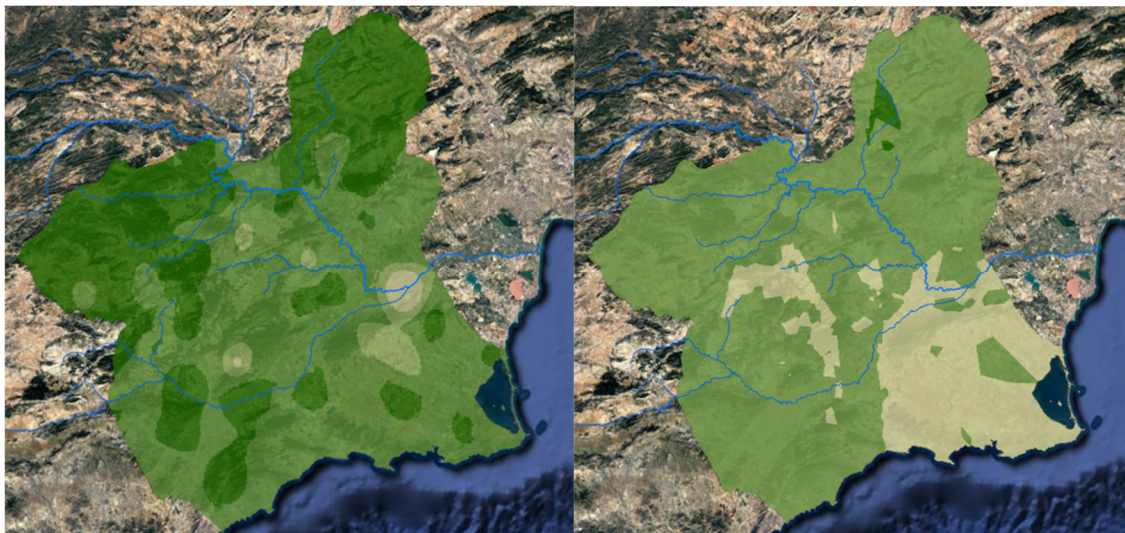
Los contenidos en arcilla y texturales repercuten igualmente en la movilidad y comportamiento de los metales. La capacidad de intercambio y retención de algunas arcillas y el carácter más o menos impermeable del suelo son mecanismos de control de la movilidad y de la biodisponibilidad de los mismos, junto con la materia orgánica.

Aproximadamente, el 53 % de los suelos tienen contenidos en arcilla entre el 5 y 15 % y un 30% de los suelos entre 15 y 25%.

El contenido en limo es del 5 al 15% en el 60 % de los suelos de la Región de Murcia.

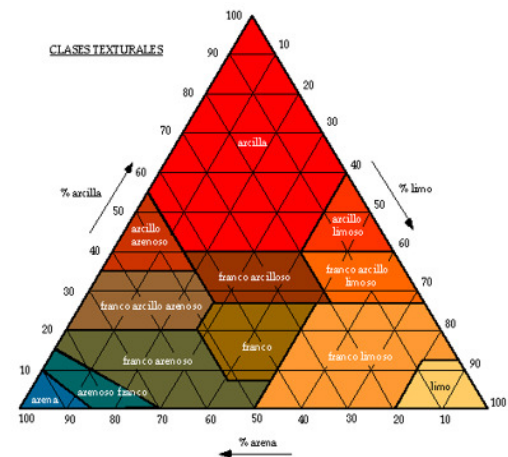
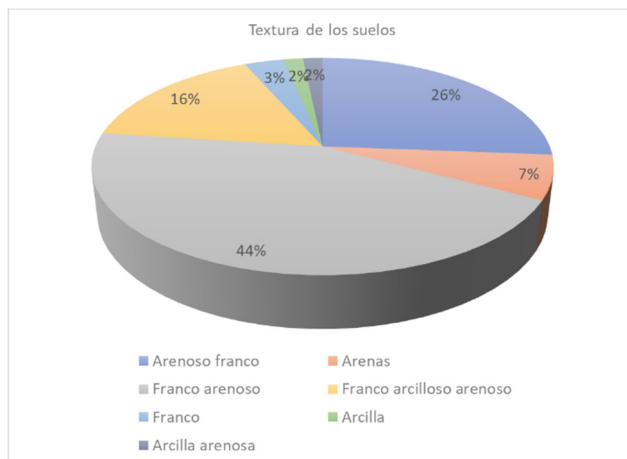


La distribución apunta a mayores contenidos en el Campo de Cartagena, Vega del Segura y Vega del Guadalentín. Observándose una cierta relación con la red hidrográfica y zonas de rambla.



DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Texturalmente el 44 % de los suelos es Franco Arenoso y un 26% Arenoso Franco conforme a la clasificación textural de la USDA (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).



2.5 Distribución en metales y elementos traza

Los contenidos de metales y elementos traza obtenidos pueden ser consultados en el Anexo 2 “Actas de Laboratorio”.

Antimonio

El contenido de fondo en antimonio en la mayor parte de la Comunidad se encuentra por debajo de los 4 mg/kg. Encontrándose dos claras anomalías en el área minera de la Unión y Cartagena y en la zona de Águilas, con valores que pueden llegar a superar los 24 mg/kg



DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Arsénico Contenidos por lo general inferiores a los 12 mg/kg, al igual que en el caso del antimonio, se presentan dos anomalías en La Unión – Cartagena y zona de Águilas, con valores que pueden superar los 52 mg/kg.	
Bario Contenidos a nivel regional inferiores a los 750 mg/kg, pudiendo aparecer valores puntuales del orden de 2.000 mg/kg.	

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Berilio Distribución muy homogénea, no superando los 2 mg/kg.	
Cadmio Distribución homogénea que difícilmente supera los 0,8 mg/kg, con excepción de la zona de La Unión y Cartagena, donde se alcanzan valores que pueden llegar a los 6 mg/kg.	

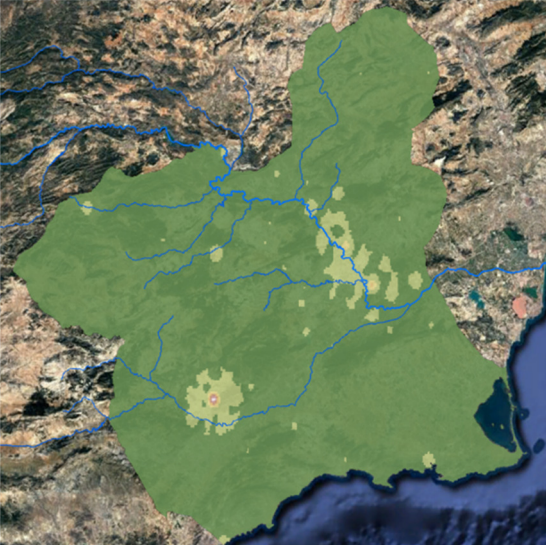
DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Cobalto Distribución muy homogénea con valores inferiores a los 15-30 mg/kg.	
Cobre Valores inferiores a los 20 mg/kg salvo en la zona de Águilas donde se pueden superar los 30 mg/kg.	

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Cromo Distribución muy uniforme, con valores mayores hacia el sur de la región, siendo raro superar los 50 mg/kg.	
Manganeso Valores inferiores a 500 mg/kg con concentraciones que aumentan en la franja costera y muy especialmente en las zonas de La Unión y Cartagena, y Águilas, con valores que pueden superar los 5.000 mg/kg.	

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Mercurio La mayor parte de la Comunidad presenta valores inferiores a los 0,05 mg/kg, con zonas por debajo de los 0,25 mg/kg, concretamente zonas de la Unión, Cartagena, Mazarrón, Águilas, Campo de Cartagena y Caravaca de la Cruz.	
Molibdeno Distribución muy homogénea con valores inferiores a 1,5 mg/kg y alguna anomalía en las zonas del valle del Segura y Aledo- Totana.	

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Niquel Distribución muy uniforme con valores por debajo de los 45 mg/kg.	
Plomo Valores habituales entre 100 y 200 mg/kg con una anomalía en la zona de La Unión – Cartagena con valores que pueden exceder los 1.000 mg/kg.	

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Selenio Distribución muy uniforme que raramente supera 1 mg/kg.	
Talio Distribución muy uniforme que no supera en ningún caso los 5 mg/kg.	
Vanadio En casi la totalidad de la Comunidad no se supera los 35 mg/kg. Nuevamente las excepciones se encuentran en el arco mediterráneo con valores que no superan los 55 mg/kg.	

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Zinc

Concentraciones por debajo de los 100 mg/kg con clara anomalía en las zonas de La Unión, Cartagena y Águilas, donde los valores pueden llegar a superar los 600 mg/kg.



DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

2.6 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS.

Una vez ejecutado el plan de muestreo y obtenidos los resultados analíticos se procedió al análisis estadístico de los datos con la finalidad de descartar valores anómalos y obtener los valores que representen los niveles de fondo en metales pesados de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, realizando los siguientes análisis estadísticos:

- Descarte de datos anómalos

Los datos anómalos, valores anormales que son consecuencia de variaciones naturales no antrópicas, deben ser depurados de los datos antes de analizarlos. Para ello, se ha empleado en este estudio el análisis de la distancia de Mahalanobis.

Para cada muestra, se obtiene el valor de la DM (distancia de Mahalanobis) para varias variables (Muestra 1: Plomo 1, Zinc1, Cadmio1...etc. El valor obtenido se compara con la distribución χ^2 , que está tabulada. Si el valor de DM para una muestra está por encima de percentil 99 (NS=0,01 para n GL) el valor se considera anómalo y se descarta.

El cálculo de la distancia de Mahalanobis, de acuerdo con la tabla del Chi cuadrado y los grados de libertad ($n - 1 = 16$) nos da un valor para el percentil 99 de **33,41**.

1	7.015	26	1.352	51	1.438	76	3.887	101	0.832	126	0.959	151	2.259	176	1.494
2	0.959	27	0.863	52	1.113	77	1.676	102	1.019	127	0.961	152	0.917	177	1.337
3	1.070	28	1.394	53	1.472	78	1.484	103	0.862	128	1.364	153	0.926	178	2.138
4	1.369	29	1.147	54	1.453	79	1.983	104	1.251	129	1.577	154	2.015	179	0.938
5	1.733	30	1.320	55	0.780	80	3.782	105	1.661	130	1.248	155	1.307	180	1.191
6	1.740	31	1.436	56	0.924	81	3.004	106	5.057	131	0.997	156	1.517	181	0.802
7	1.497	32	1.145	57	1.336	82	1.223	107	1.414	132	1.239	157	1.668	182	1.559
8	1.218	33	1.124	58	1.052	83	4.858	108	1.591	133	0.659	158	1.197	183	4.028
9	0.710	34	2.380	59	0.964	84	1.464	109	3.306	134	0.595	159	1.597	184	1.567
10	1.345	35	1.286	60	0.778	85	4.737	110	1.518	135	1.240	160	1.582	185	0.916
11	0.926	36	1.074	61	2.075	86	3.276	111	1.325	136	1.477	161	1.049	186	1.045
12	0.942	37	0.944	62	1.252	87	1.091	112	1.617	137	1.866	162	1.123	187	0.898
13	1.341	38	1.871	63	3.000	88	1.017	113	1.367	138	3.276	163	1.038	188	2.957
14	1.373	39	1.079	64	1.639	89	1.562	114	0.871	139	1.395	164	0.915	189	0.856
15	2.536	40	1.017	65	0.787	90	4.993	115	1.809	140	1.220	165	0.783	190	1.052
16	1.517	41	0.982	66	1.322	91	1.214	116	0.700	141	1.364	166	1.557	191	1.629
17	1.333	42	1.189	67	1.428	92	12.096	117	3.445	142	3.167	167	23.409	192	1.641
18	1.326	43	1.878	68	0.858	93	0.597	118	1.212	143	4.420	168	0.867	193	1.258
19	1.209	44	2.166	69	0.792	94	1.356	119	3.612	144	1.382	169	1.560	194	1.285
20	1.437	45	2.783	70	0.877	95	0.898	120	0.812	145	1.804	170	1.703	195	1.033
21	1.318	46	0.952	71	0.942	96	0.794	121	0.977	146	1.205	171	1.190	196	1.964
22	1.422	47	0.865	72	1.081	97	1.136	122	1.323	147	6.879	172	1.253	197	1.268
23	1.141	48	1.378	73	1.274	98	8.780	123	0.833	148	0.678	173	1.294	198	1.385
24	1.209	49	1.102	74	1.280	99	0.918	124	2.207	149	0.845	174	1.060	199	5.894
25	1.357	50	1.219	75	1.213	100	0.782	125	2.866	150	1.905	175	2.224	200	1.353

Tabla 1. Tabla con las distancias de Mahalanobis para las primeras 200 muestras.

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Todas las muestras con valor de la distancia de Mahalanobis superior a 33.41 deben ser descartadas. Algo que no sucede para ninguna de las muestras, siendo el mayor obtenido de 23,41, por lo que se consideran representativas.

Aún así, se ha utilizado un valor de Mahalanobis superior a 20 como de muestra sospechosa y se les aplica el resto de los criterios que se comentan a continuación.

Para evaluar la posible antropización de las muestras, se han utilizado los valores del índice de geoacumulación definido por Muller (1981) como $I_{geo} = \log_2 (C_n / 1.5 B_n)$, donde C_n es la concentración de los elementos "n", B_n el valor del background en los sedimentos.

Las muestras se han dividido en cinco grupos:

- Sin desviación ($I_{geo} < 1$),
- Muy poco desviadas ($1 < I_{geo} < 2$)
- Baja desviación ($2 < I_{geo} < 3$)
- Desviación moderada ($3 < I_{geo} < 4$)
- Altamente desviadas ($4 < I_{geo} < 5$)
- Muy desviadas ($I_{geo} > 5$).

Como tercer y último criterio para descartar una muestra se utiliza la pertenencia o no a una asociación o familia mineral presente en la zona (se entiende por asociación mineral, desde el punto de vista geológico, a aquellos elementos que tienden a presentarse juntos). En este sentido se han definido tres asociaciones minerales claras en la Región de Murcia:

- Cu, Ni, Cr, As, Co y V
- As, Pb, Zn, Cd, Sb y Mn
- Cr, Ni, Be.

En el caso de que uno de los elementos exceda los valores normales, pero suceda lo mismo con los de su familia o asociación mineralógica no se descarta y se considera natural.

Las muestras identificadas son las siguientes:

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Muestra	Elemento	Igeo		Mahalanobis
		Valor	Desviación	
977-2-4	Cd	3-4	moderada	20.68
	Zn	3-4	moderada	
	Pb	5-6	muy alta	
889-4-7	Hg	3-4	moderada	12.09
976-2-5	Hg	3-4	moderada	13.3
975-4-5	Sb	3-4	moderada	15.89
976-2-2	Ba	3-4	moderada	18.24
976-3-4	As	4-5	alta	17.7
978-1-1	Pb	4-5	alta	14.51
977-2-6	Pb	4-5	alta	9.83
977-2-3	Zn	4-5	alta	14.45
	Pb	5-6	muy alta	
978-1-3	Zn	4-5	alta	20.54
	Sb	4-5	alta	
	Pb	5-6	muy alta	
	Mn	4-5	alta	
911-4-2	Ba	4-5	alta	14.89
909-4-3	Se	4-5	alta	23.41
977-2-1	Pb	5-6	muy alta	14.98
978-1-2	Pb	5-6	muy alta	14.51
913-1-4	Cr	2-3	baja	20.96
911-3-7	Todos	<1	nula	19.59
953-4-7	Mo	2-3	baja	18.9

Criterio 1	Igeo > 4
Criterio 2	Mahal. > 20
Criterio 3	No asociación mineral clara
Se elimina	si cumple los 3

Tabla 2. Tabla de criterios de descarte muestral.

Como resultado, se elimina la muestra 909-4-3 para el elemento selenio, que es el único que cumple con los tres criterios para el descarte.

○ Análisis de unidades tipo

Con objeto de verificar si existen relaciones entre las muestras que justifiquen la necesidad o no de subdividir el territorio en unidades diferentes y, en consecuencia, definir más de un juego de niveles genéricos de referencia, se procede a realizar un análisis multivariante por componentes principales del conjunto de muestras y de su relación con la variable geología / litología (se establecieron 10 categorías de materiales geológicos) y con la variable geomorfología (se consideran tres categorías: relieve, laderas y valles).

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Las 10 categorías de materiales geológicos son las litologías asociadas con:

- 1- Circumbética
- 2- Maláguide
- 3- Nevado – Filábride
- 4- Alpujárride
- 5- Subbético externo
- 6- Triásico subbético
- 7- Cuencas Neógenas
- 8- Relieves Cretácicos
- 9- Cuencas Cretácicas
- 10- Subbético medio

Para estudiar las relaciones que se presentan entre p variables correlacionadas (que miden información común) se puede transformar el conjunto original de variables en otro conjunto de nuevas variables incorreladas entre sí (que no tenga repetición o redundancia en la información) llamado conjunto de componentes principales.

Las nuevas variables son combinaciones lineales de las anteriores y se van construyendo según el orden de importancia en cuanto a la variabilidad total que recogen de la muestra.

De modo ideal, se buscan $m < p$ variables que sean combinaciones lineales de las p originales y que estén incorreladas, recogiendo la mayor parte de la información o variabilidad de los datos. En definitiva, se trata de conocer las causas (geología, relieve u otros) a partir de los efectos (conjuntos muestrales).

En nuestro caso, el propósito del análisis es obtener un número reducido de combinaciones lineales de las 18 variables (metales) que expliquen la mayor variabilidad en los datos.

En este caso, se han extraído las 7 componentes que tuvieron eigenvalores mayores o iguales que 1,0. En conjunto ellos explican 71,0562% de la variabilidad en los datos originales.

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

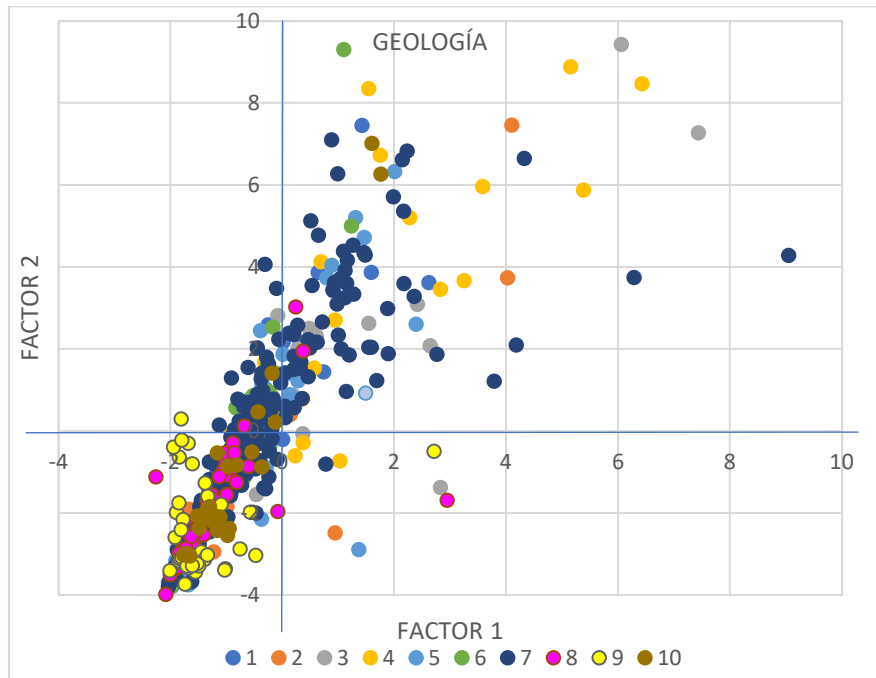
Factor Número	Eigenvalor	Porcentaje de Varianza	Porcentaje Acumulado
1	4,95787	27,544	27,544
2	2,61576	14,532	42,076
3	1,27875	7,104	49,180
4	1,05384	5,855	55,035
5	1,02844	5,714	60,748
6	1,00402	5,578	66,326
7	1,00322	5,573	71,899
8	0,991928	5,511	77,410
9	0,922568	5,125	82,536
10	0,707987	3,933	86,469
11	0,625893	3,477	89,946
12	0,517292	2,874	92,820
13	0,373511	2,075	94,895
14	0,265944	1,477	96,372
15	0,221009	1,228	97,600
16	0,189353	1,052	98,652
17	0,146532	0,814	99,466
18	0,0960786	0,534	100,000

	Factor	Factor	Factor	Factor	Factor	Factor	Factor
	1	2	3	4	5	6	7
As	0,66834	0,365812	-0,045835	-0,115	-0,0278744	0,0665094	-0,0115645
Cd	0,71507	-0,0646545	0,060297	0,316774	0,0858836	0,0920837	0,0230467
Cr	0,0227382	0,522402	0,760038	0,020862	0,030104	-0,0081493	0,0325317
Cu	0,178263	0,733788	-0,0393594	0,0476295	0,091397	0,0268533	0,0283491
Hg	0,0541843	0,0918881	-0,0367749	0,940686	0,019038	-0,0156001	-0,0237398
Ni	0,0811976	0,678087	0,550261	-0,00122759	0,0687431	0,0403884	0,0655196
Pb	0,827386	-0,0277188	0,117611	0,0158763	-0,0476047	-0,0348922	0,00430839
Zn	0,887137	0,185257	0,092989	0,0958604	0,0187208	-0,00359314	0,0251268
Sb	0,850069	0,130356	-0,0211211	-0,0717624	0,0957641	0,0286711	-0,0265755
Ba	0,115753	0,0115635	0,482036	-0,0125992	-0,109689	-0,00147294	-0,124108
Co	0,179445	0,904321	0,0958564	-0,00266	-0,0457965	0,00388246	-0,0185734
Mo	0,0074893	0,165271	-0,111136	-0,127853	0,216664	0,708245	-0,111363
Se	0,00102282	0,0281742	-0,0607345	-0,0225085	0,00426046	-0,00438232	0,975766
Sn	0,0400235	-0,0290855	-0,00631696	0,0287112	0,916755	-0,0117299	0,00902787
V	0,116093	0,703307	0,325588	0,0803496	-0,122406	-0,0213263	-0,016005
Be	-0,0155484	0,098996	0,900064	-0,0254374	0,0923746	0,00622096	0,0611083
Tl	0,0244175	-0,13523	0,117579	0,113667	-0,22833	0,698411	0,103434

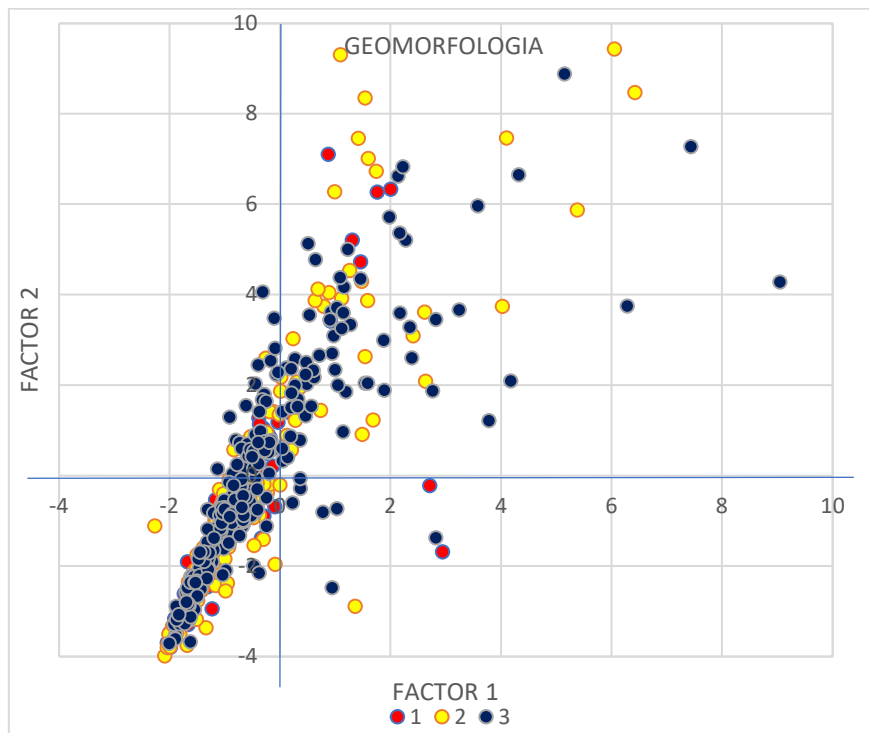
Los diagramas de dispersión para el Factor 1 con el Factor 2 y el resto de los diagramas de dispersión entre el Factor 1 y el Factor 3; y entre el Factor 2 y el Factor 3, se representan en las páginas siguientes.

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.



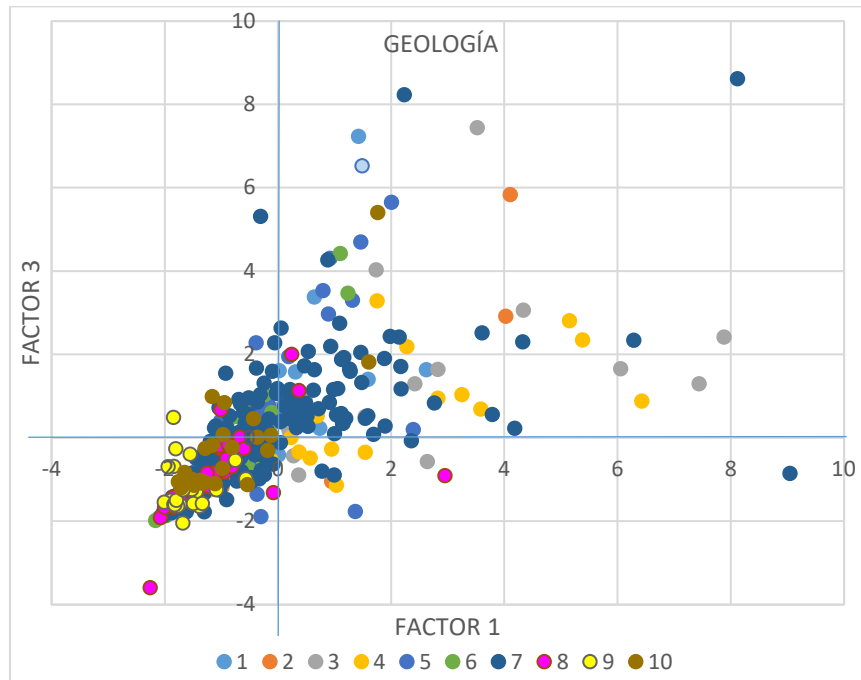
1-Circumbética 2-Maláguide 3-Nevado – Filábride 4-Alpujárride 5-Subbético externo 6-Triásico subbético 7- Cuencas Neógenas 8-Relieves Cretácicos 9- Cuencas Cretácicas 10-Subbético medio.



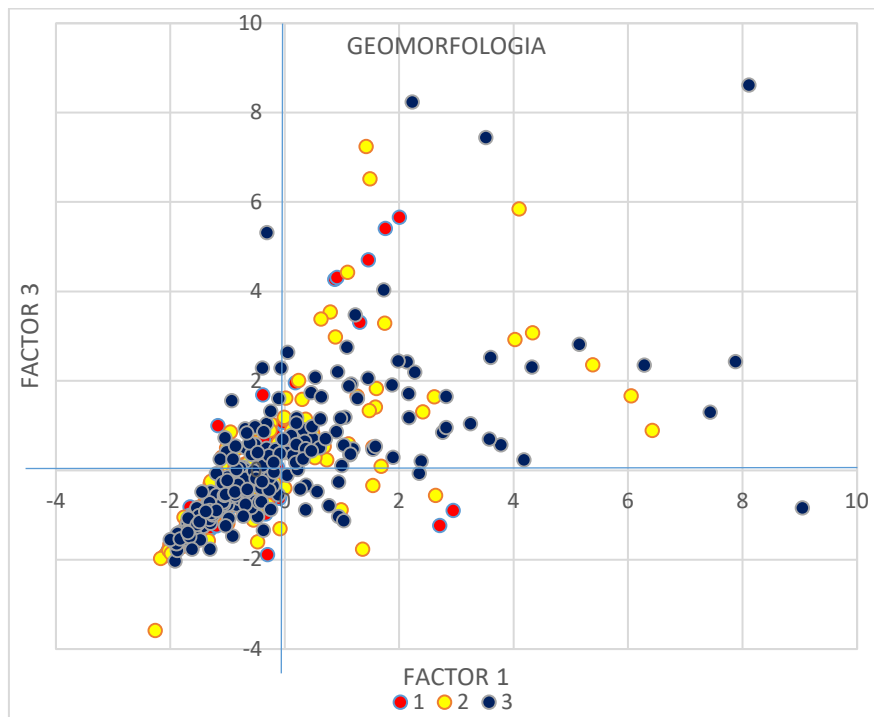
1-Relieves 2-Laderas 3-Valles

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.



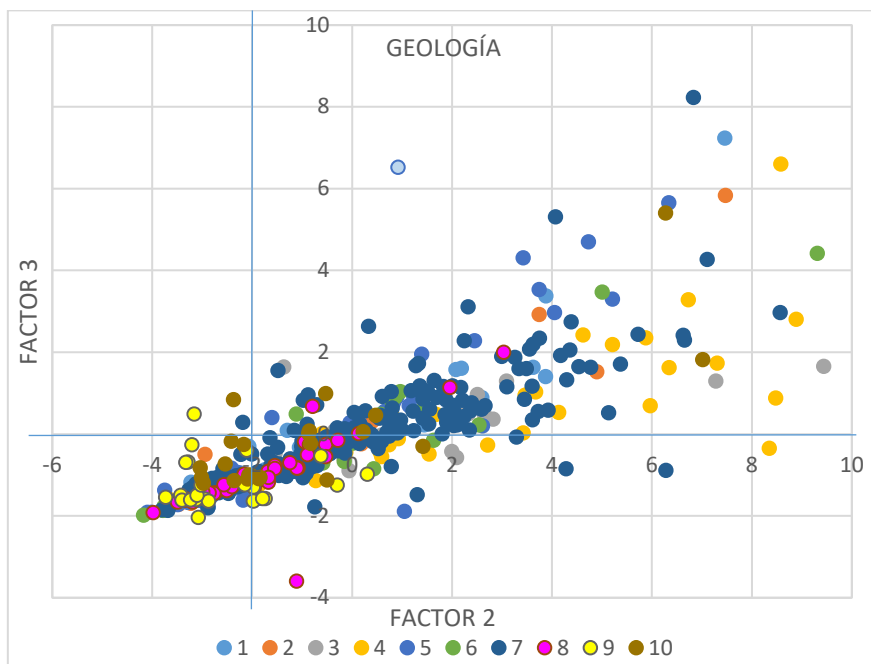
1-Circumbética 2-Maláguide 3-Nevado – Filábride 4-Alpujárride 5-Subbético externo 6-Triásico subbético 7- Cuencas Neógenas 8-Relieves Cretácicos 9- Cuencas Cretácicas 10-Subbético medio.



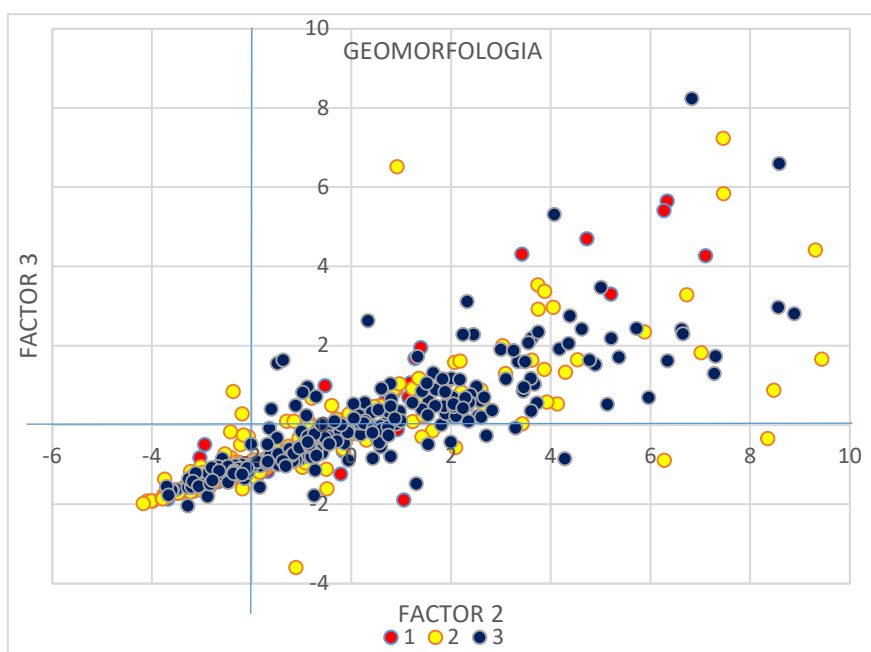
1-Relieves 2-Laderas 3-Valles

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.



1-Circumbética 2-Maláguide 3-Nevado – Filábride 4-Alpujárride 5-Subbético externo 6-Triásico subbético 7- Cuencas Neógenas 8-Relieves Cretácicos 9- Cuencas Cretácicas 10-Subbético medio.



1-Relieves 2-Laderas 3-Valles

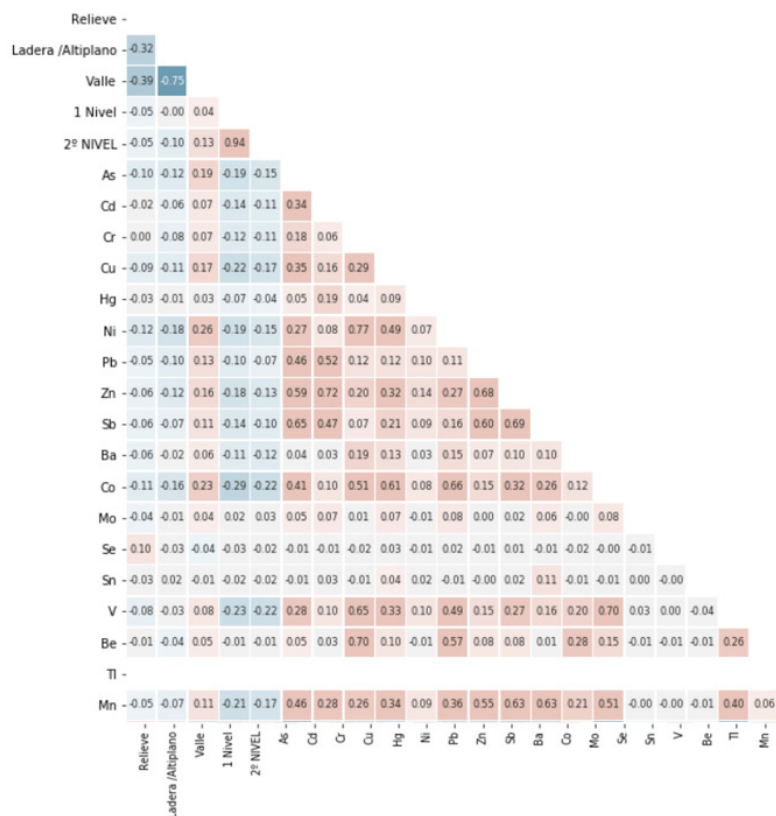
Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

De ellos no se puede concluir ninguna causa efecto del conjunto muestral con las variables geomorfología, geología y litología, que permitan una clasificación de cualquier muestra en una hipotética zona u otra, dentro de la Comunidad Autónoma.

- Análisis de relaciones muestrales.

Se procedió a realizar la matriz de correlación entre los diferentes metales, geología y relieve. De la observación de la matriz de correlación también se concluye que no existen relaciones que justifiquen la división de la Comunidad Autónoma en varias zonas que deban ser evaluadas por diferentes valores de NGR.



Lo que sí se verifica es la existencia de asociaciones minerales (colores rojo oscuro), especialmente en las zonas mineras, pero no necesariamente a una unidad tipo definible (los coeficientes de correlación son menores de 0,9 y por tanto poco significativos).

Concretamente se ven las siguientes asociaciones o familias:

- Cu, Ni, Cr, As, Co y V
- As, Pb, Zn, Cd, Sb y Mn
- Cr, Ni, Be.

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

- Análisis de la distribución de los datos

Para la definición del Valor de Fondo se adopta la cota superior de la mediana.

El cálculo de la cota superior de la mediana (C_m) es diferente en función de si la población sigue una distribución normal o no. Para averiguar el grado de adecuación a la normalidad se ha empleado el test de Kolmogorov-Smirnov. El estadístico y su comparación con los valores tabulados nos permite discriminar entre la hipótesis de partida (H_0 , la distribución se ajusta a la normalidad) y la hipótesis alternativa (H_1 , los datos no siguen una distribución normal). Primero se prueba directamente con los datos; si la distribución no se ajusta a la normalidad, se prueba linealizando mediante el LN; si esto último tampoco basta para que los datos sigan una distribución normal se debe seguir entonces un proceso no paramétrico para el cálculo de la cota superior de la mediana.

La cota superior de la mediana para un nivel de confianza ($1-\alpha$) se calcula como el valor correspondiente a la muestra que ocupa la posición C -ésima mayor, de la serie ordenada de mayor a menor, despejando de la expresión

$$1-B(C-1,n,p) \geq 1-\alpha$$

Siendo B el valor de la función de distribución acumulada binomial de parámetros n y p

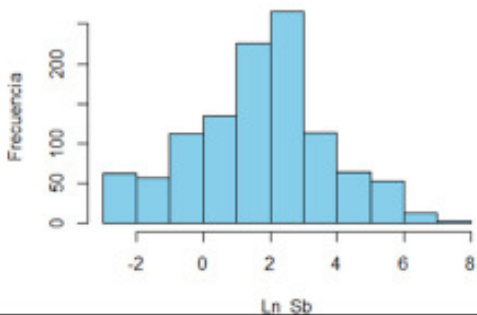
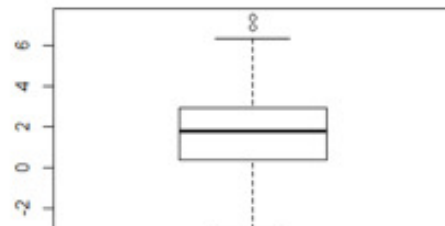
Donde n es el número de datos y p el valor del percentil sobre el que se quiere calcular la cota.

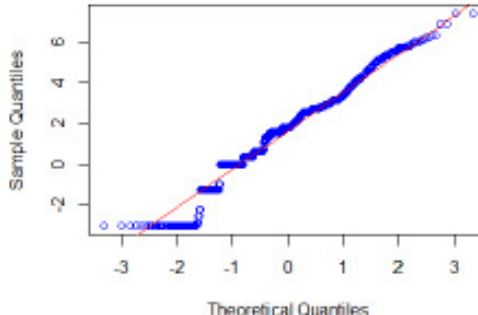
Del Test de Kolmogorov-Smirnov se deduce que el único elemento que responde a una distribución del tipo Normal es el Ln del Cobalto, por lo que para el resto de los elementos se ha utilizado la metodología no paramétrica descrita.

En las páginas siguientes se resumen los principales descriptivos de los diferentes metales y elementos traza estudiados.

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Antimonio

Valores de fondo		Histograma
Media	1,34	Histograma (Sb) 
Media recortada al 5%	1,09	
Mediana	1,00	
Cota superior de la mediana	1,00	
Desviación	1,97	
Varianza	3,86	
Rango	28,00	
Mínimo	1,00	
Máximo	29,00	
P90	1,00	
P95	2,36	
P99	10,87	
Valor de referencia 90	1,20	Boxplot (Sb) 
Valor de referencia 95	3,50	
Valor de referencia 99	15,00	

Transformación logarítmica		Diagrama Q-Q de normalidad
Ln		Diagrama Q-Q de normalidad (Sb) 
Media Ln	0,10	
Desviación Ln	0,42	
Test de normalidad (Kolmogorov-Smirnov)		
D	0,093275	
p-value	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$	

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

Arsénico

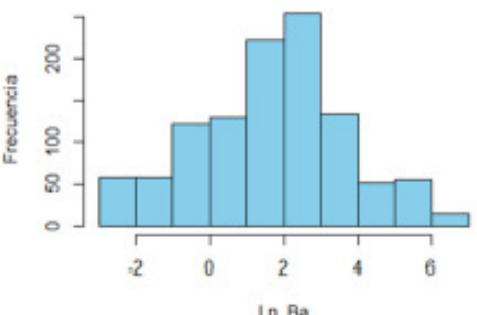
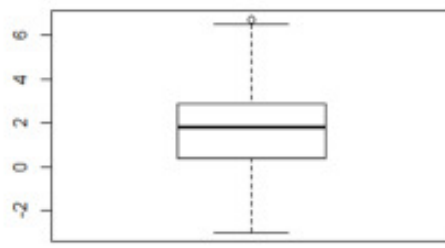
Transformación logarítmica	Diagrama Q-Q de normalidad
Ln	
Media Ln	1,82
Desviación Ln	0,54
Test de normalidad (Kolmogorov-Smirnov)	
D	0,096864
p-value	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$

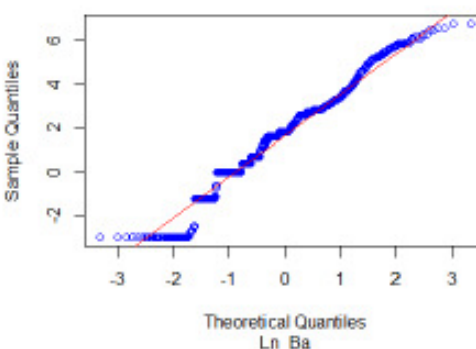
Diagrama Q-Q de normalidad (As)

Página 50 de 110

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Bario

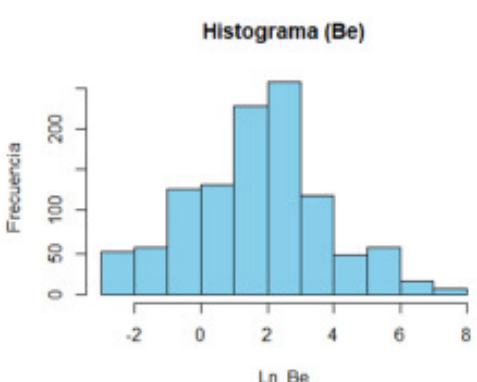
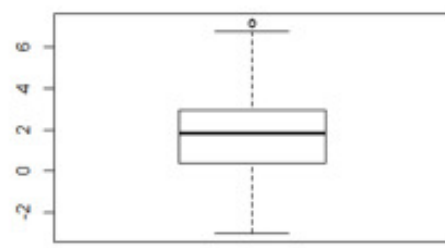
Valores de fondo		Histograma
Media	137,13	Histograma (Ba) 
Media recortada al 5%	118,42	
Mediana	96,50	
Cota superior de la mediana	100,00	
Desviación	186,71	
Varianza	34860,87	
Rango	2685,00	
Mínimo	15,00	
Máximo	2700,00	
P90	241,00	
P95	360,00	
P99	685,30	
Valor de referencia 90	290,00	Boxplot (Ba) 
Valor de referencia 95	450,00	
Valor de referencia 99	1200,00	

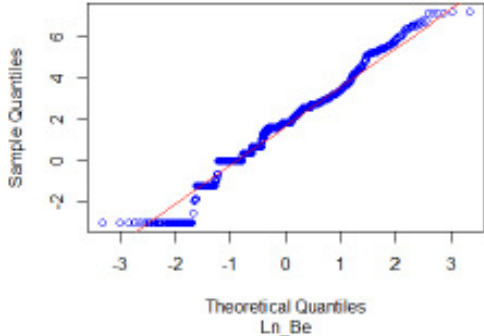
Transformación logarítmica		Diagrama Q-Q de normalidad
Ln		Diagrama Q-Q de normalidad (Ba) 
Media Ln	4,58	
Desviación Ln	0,76	
Test de normalidad (Kolmogorov-Smirnov)		
D	0,084717	
p-value	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$	

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Berilio

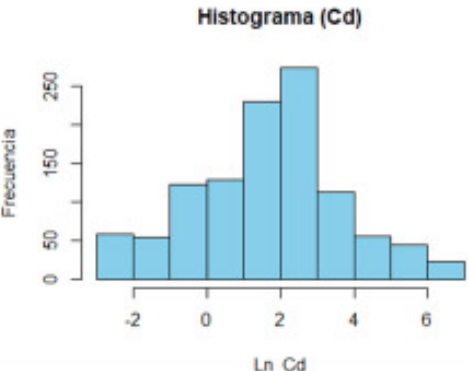
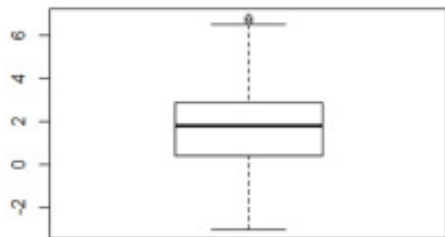
Valores de fondo		Histograma
Media	1,05	
Media recortada al 5%	1,01	
Mediana	1,00	
Cota superior de la mediana	1,00	
Desviación	0,39	
Varianza	0,16	
Rango	6,80	
Mínimo	1,00	
Máximo	7,80	
P90	1,00	
P95	1,10	
P99	1,85	
Valor de referencia 90	1,00	
Valor de referencia 95	1,30	
Valor de referencia 99	2,90	

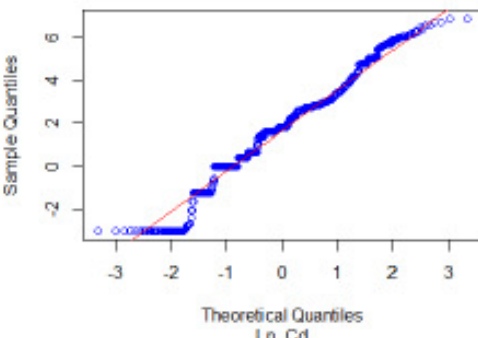
Transformación logarítmica		Diagrama Q-Q de normalidad
Ln		Diagrama Q-Q de normalidad (Be) 
Media Ln	0,03	
Desviación Ln	0,15	
Test de normalidad (Kolmogorov-Smirnov)		
D	0,090387	
p-value	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$	

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

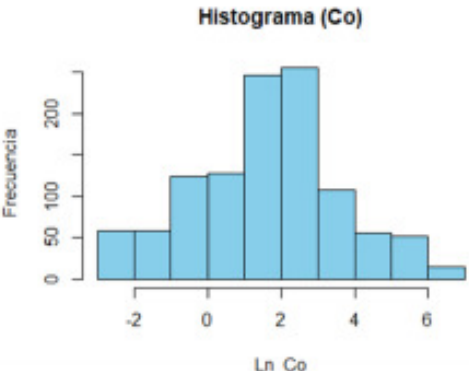
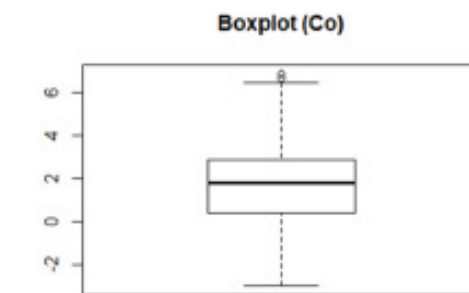
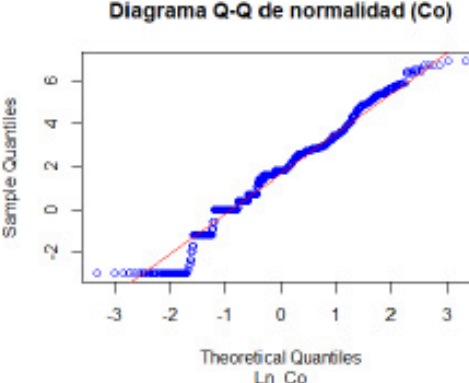
Cadmio

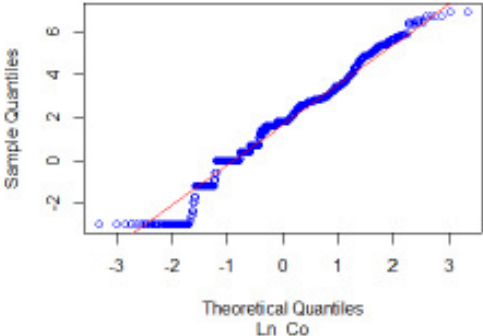
Valores de fondo		Histograma
Media	0,34	
Media recortada al 5%	0,31	
Mediana	0,30	
Cota superior de la mediana	0,30	
Desviación	0,30	
Varianza	0,09	
Rango	5,60	
Mínimo	0,30	
Máximo	5,90	
P90	0,32	
P95	0,44	
P99	0,77	
Valor de referencia 90	0,37	
Valor de referencia 95	0,48	
Valor de referencia 99	2,20	

Transformación logarítmica		Diagrama Q-Q de normalidad
Ln		Diagrama Q-Q de normalidad (Cd) 
Media Ln	-1,15	
Desviación Ln	0,24	
Test de normalidad (Kolmogorov-Smirnov)		
D	0,09152	
p-value	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$	

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

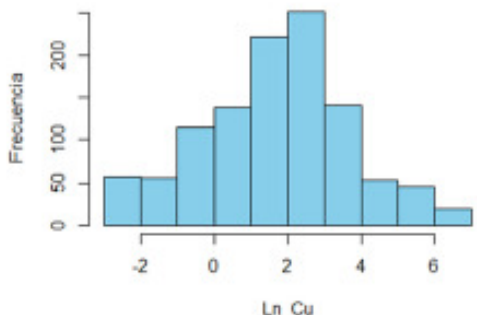
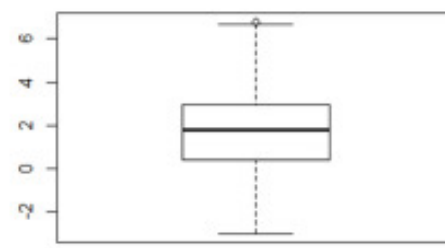
Cobalto

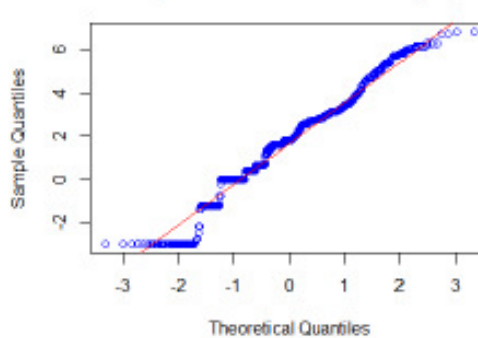
Valores de fondo		Histograma
Media	6,50	
Media recortada al 5%	6,23	
Mediana	5,50	
Cota superior de la mediana	5,80	
Desviación	4,08	
Varianza	16,63	
Rango	37,00	
Mínimo	1,00	
Máximo	38,00	
P90	11,00	
P95	14,00	
P99	23,00	
Valor de referencia 90	12,10	
Valor de referencia 95	14,94	
Valor de referencia 99	22,24	

Transformación logarítmica		Diagrama Q-Q de normalidad
Ln		Diagrama Q-Q de normalidad (Co) 
Media Ln	1,72	
Desviación Ln	0,56	
Test de normalidad (Kolmogorov-Smirnov)		
D	0,093985	
p-value	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$	

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Cobre

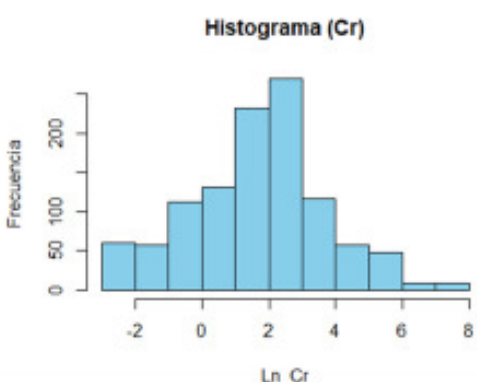
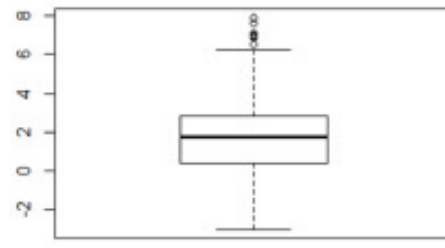
Valores de fondo		Histograma
Media	12,95	Histograma (Cu) 
Media recortada al 5%	11,90	
Mediana	10,50	
Cota superior de la mediana	11,00	
Desviación	11,25	
Varianza	126,61	
Rango	165,00	
Mínimo	5,00	
Máximo	170,00	
P90	21,00	
P95	30,00	
P99	54,51	
Valor de referencia 90	23,00	Boxplot (Cu) 
Valor de referencia 95	32,00	
Valor de referencia 99	77,00	

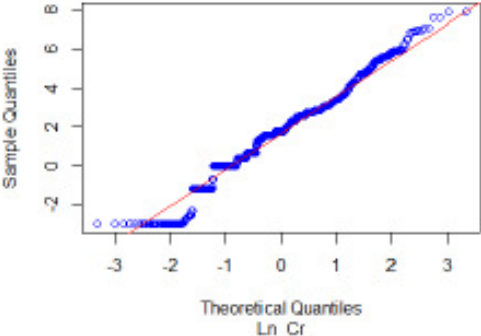
Transformación logarítmica		Diagrama Q-Q de normalidad
Ln		Diagrama Q-Q de normalidad (Cu) 
Media Ln	2,38	
Desviación Ln	0,55	
Test de normalidad (Kolmogorov-Smirnov)		
D	0,085467	
p-value	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$	

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

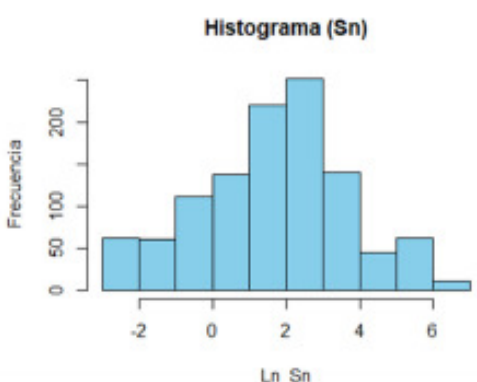
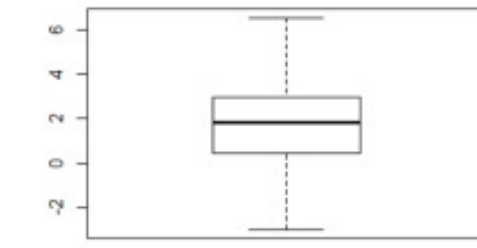
Cromo

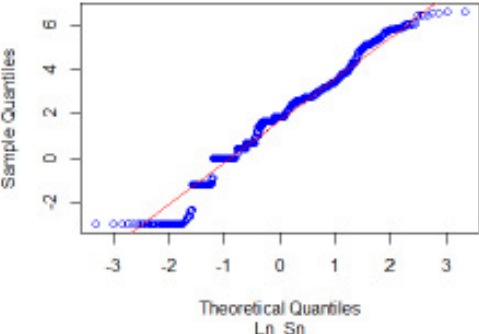
Valores de fondo		Histograma
Media	19,83	
Media recortada al 5%	18,79	
Mediana	16,00	
Cota superior de la mediana	17,00	
Desviación	9,99	
Varianza	99,73	
Rango	135,00	
Mínimo	15,00	
Máximo	150,00	
P90	28,00	
P95	34,55	
P99	61,59	
Valor de referencia 90	30,00	
Valor de referencia 95	39,00	
Valor de referencia 99	76,00	

Transformación logarítmica		Diagrama Q-Q de normalidad
Ln		Diagrama Q-Q de normalidad (Cr) 
Media Ln	2,92	
Desviación Ln	0,31	
Test de normalidad (Kolmogorov-Smirnov)		
D	0,090074	
p-value	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$	

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Estaño

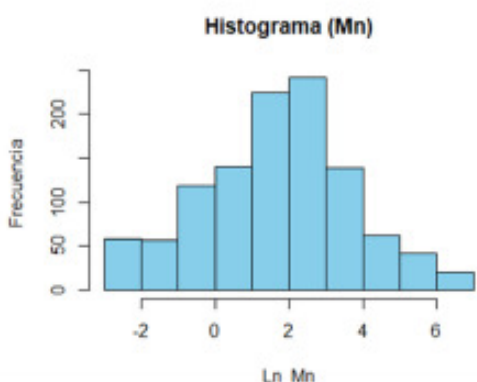
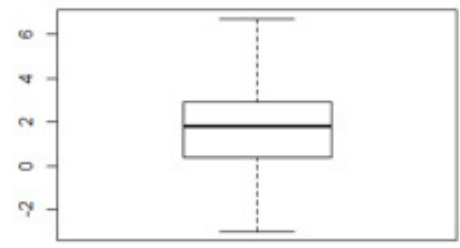
Valores de fondo		Histograma
Media	6,01	
Media recortada al 5%	6,00	
Mediana	6,00	
Cota superior de la mediana	6,00	
Desviación	0,15	
Varianza	0,02	
Rango	2,90	
Mínimo	6,00	
Máximo	8,90	
P90	6,00	
P95	6,00	
P99	6,00	
Valor de referencia 90	6,00	
Valor de referencia 95	6,00	
Valor de referencia 99	6,30	

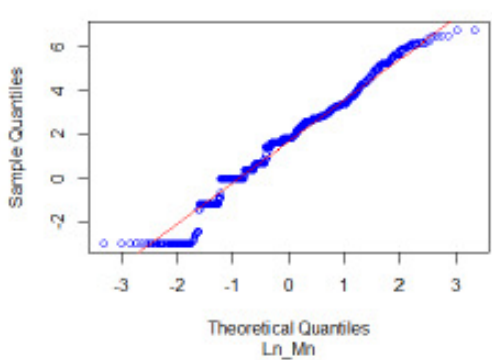
Transformación logarítmica		Diagrama Q-Q de normalidad
Ln		Diagrama Q-Q de normalidad (Sn)  The Q-Q plot displays Sample Quantiles on the y-axis (ranging from -2 to 6) against Theoretical Quantiles Ln_Sn on the x-axis (ranging from -3 to 3). Blue data points are plotted along a red diagonal line, indicating a normal distribution fit. The points follow the line closely across the entire range, with slight deviations at the extreme ends.
Media Ln	1,79	
Desviación Ln	0,02	
Test de normalidad (Kolmogorov-Smirnov)		
D	0,096488	
p-value	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$	

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Manganeso

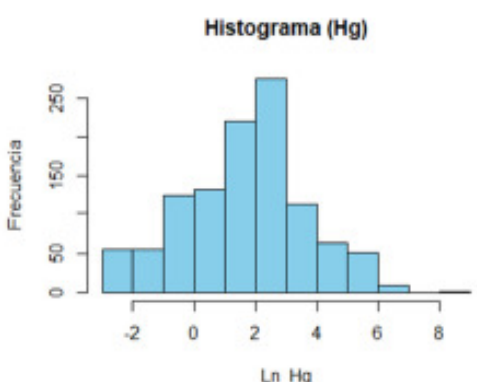
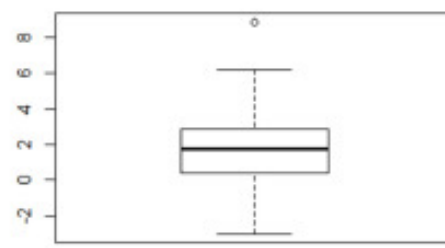
Valores de fondo		Histograma
Media	306,86	
Media recortada al 5%	278,01	
Mediana	235,00	
Cota superior de la mediana	240,00	
Desviación	373,64	
Varianza	139607,80	
Rango	7176,00	
Mínimo	24,00	
Máximo	7200,00	
P90	580,00	
P95	732,00	
P99	1200,00	
Valor de referencia 90	600,00	
Valor de referencia 95	820,00	
Valor de referencia 99	1700,00	

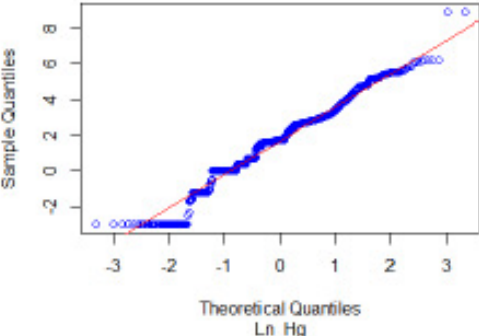
Transformación logarítmica	Diagrama Q-Q de normalidad
Ln	
Media Ln	5,47
Desviación Ln	0,68
Test de normalidad (Kolmogorov-Smirnov)	
D	0,090742
p-value	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Mercurio

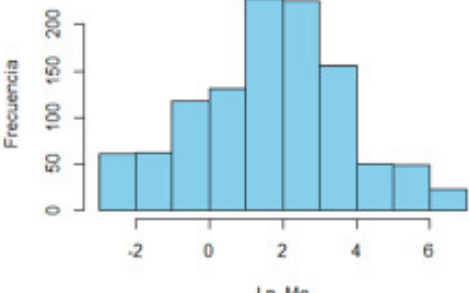
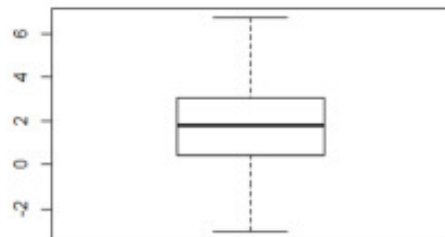
Valores de fondo		Histograma
Media	0,07	
Media recortada al 5%	0,06	
Mediana	0,05	
Cota superior de la mediana	0,05	
Desviación	0,08	
Varianza	0,0064	
Rango	1,05	
Mínimo	0,05	
Máximo	1,10	
P90	0,08	
P95	0,11	
P99	0,37	
Valor de referencia 90	0,092	
Valor de referencia 95	0,16	
Valor de referencia 99	0,71	

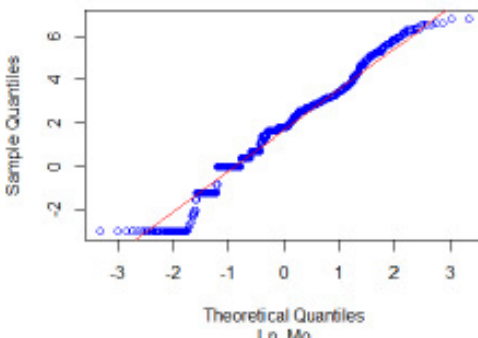
Transformación logarítmica		Diagrama Q-Q de normalidad
Ln		Diagrama Q-Q de normalidad (Hg) 
Media Ln	-2,85	
Desviación Ln	0,40	
Test de normalidad (Kolmogorov-Smirnov)		
D	0,095596	
p-value	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$	

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Molibdeno

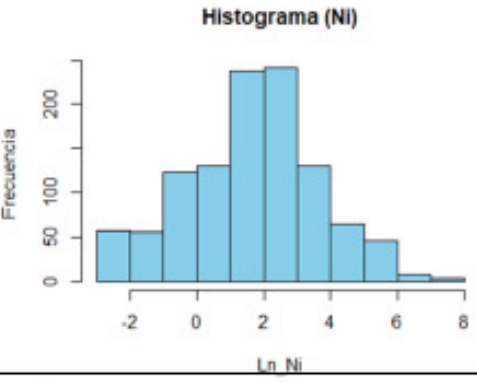
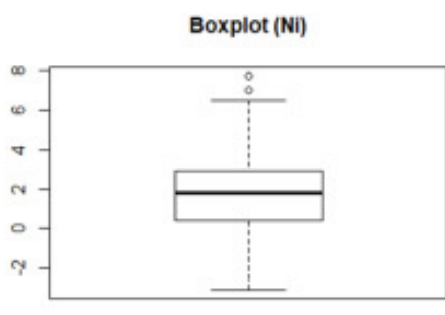
Valores de fondo		Histograma
Media	1,59	Histograma (Mo) 
Media recortada al 5%	1,51	
Mediana	1,50	
Cota superior de la mediana	1,50	
Desviación	0,71	
Varianza	0,51	
Rango	13,50	
Mínimo	1,50	
Máximo	15,00	
P90	1,50	
P95	1,70	Boxplot (Mo) 
P99	3,95	
Valor de referencia 90	1,50	
Valor de referencia 95	1,90	
Valor de referencia 99	6,30	

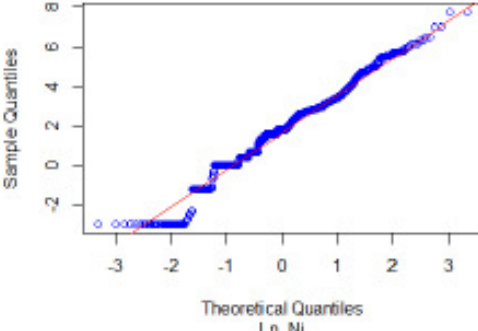
Transformación logarítmica		Diagrama Q-Q de normalidad
Ln		Diagrama Q-Q de normalidad (Mo) 
Media Ln	0,44	
Desviación Ln	0,18	
Test de normalidad (Kolmogorov-Smirnov)		
D	0,082947	
p-value	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$	

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Níquel

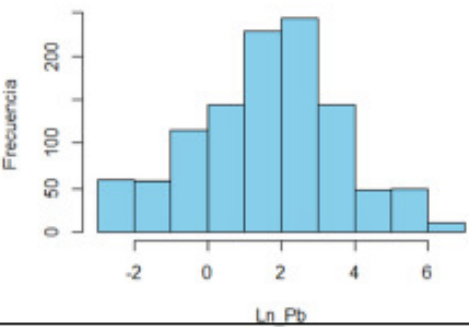
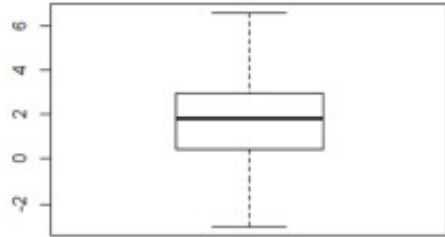
Valores de fondo		Histograma
Media	17,17	
Media recortada al 5%	16,46	
Mediana	15,00	
Cota superior de la mediana	16,00	
Desviación	11,30	
Varianza	127,73	
Rango	187,00	
Mínimo	3,00	
Máximo	190,00	
P90	28,00	
P95	32,00	
P99	46,51	
Valor de referencia 90	29,00	
Valor de referencia 95	34,00	
Valor de referencia 99	64,00	

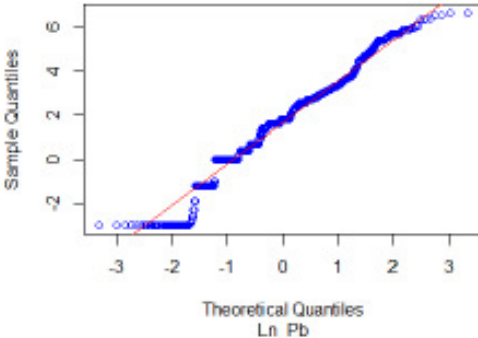
Transformación logarítmica		Diagrama Q-Q de normalidad
Ln		Diagrama Q-Q de normalidad (Ni) 
Media Ln	2,71	
Desviación Ln	0,51	
Test de normalidad (Kolmogorov-Smirnov)		
D	0,086382	
p-value	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$	

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Plomo

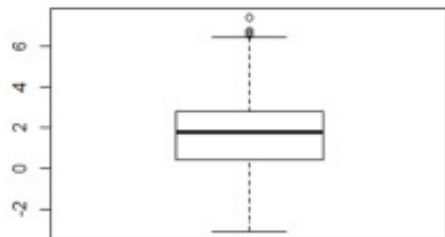
Valores de fondo		Histograma
Media	29,09	Histograma (Pb) 
Media recortada al 5%	18,49	
Mediana	13,00	
Cota superior de la mediana	13,00	
Desviación	89,32	
Varianza	7977,64	
Rango	1087,00	
Mínimo	13,00	
Máximo	1100,00	
P90	34,00	
P95	51,00	
P99	371,00	
Valor de referencia 90	39,00	Boxplot (Pb) 
Valor de referencia 95	63,00	
Valor de referencia 99	920,00	

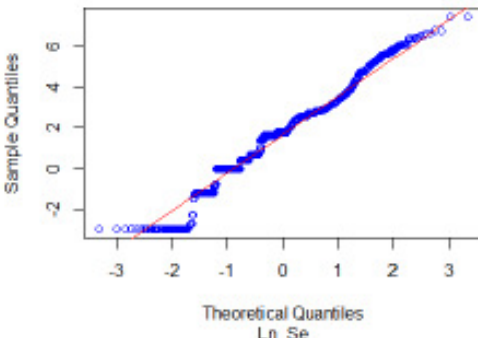
Transformación logarítmica		Diagrama Q-Q de normalidad
Ln		Diagrama Q-Q de normalidad (Pb) 
Media Ln	2,88	
Desviación Ln	0,62	
Test de normalidad (Kolmogorov-Smirnov)		
D	0,084344	
p-value	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$	

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Selenio

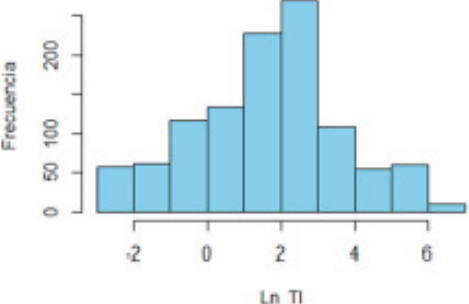
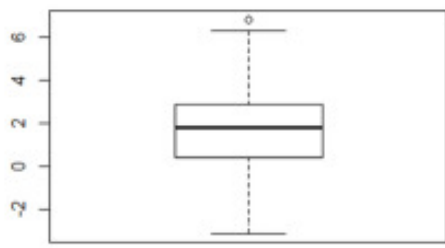
Valores de fondo		Histograma
Media	2,02	Histograma (Se) 
Media recortada al 5%	2,00	
Mediana	2,00	
Cota superior de la mediana	2,00	
Desviación	0,43	
Varianza	0,18	
Rango	10,00	
Mínimo	2,00	
Máximo	12,00	
P90	2,00	
P95	2,00	
P99	2,00	
Valor de referencia 90	2,00	Boxplot (Se) 
Valor de referencia 95	2,00	
Valor de referencia 99	2,00	

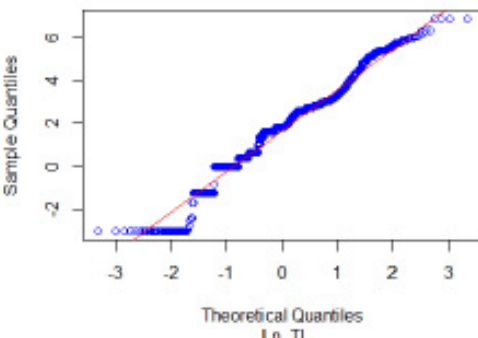
Transformación logarítmica		Diagrama Q-Q de normalidad
Ln		Diagrama Q-Q de normalidad (Se) 
Media Ln	0,69	
Desviación Ln	0,08	
Test de normalidad (Kolmogorov-Smirnov)		
D	0,10165	
p-value	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$	

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Talio

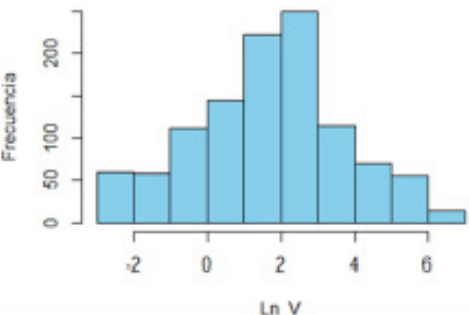
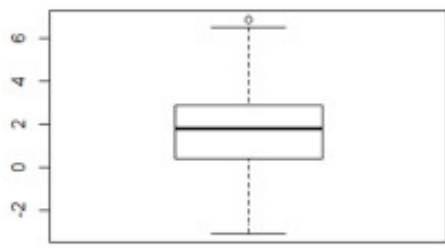
Valores de fondo		Histograma
Media	5,00	Histograma (TI) 
Media recortada al 5%	5,00	
Mediana	5,00	
Cota superior de la mediana	5,00	
Desviación	0,00	
Varianza	0,00	
Rango	0,00	
Mínimo	5,00	
Máximo	5,00	
P90	5,00	
P95	5,00	
P99	5,00	Boxplot (TI) 
Valor de referencia 90	5,00	
Valor de referencia 95	5,00	
Valor de referencia 99	5,00	

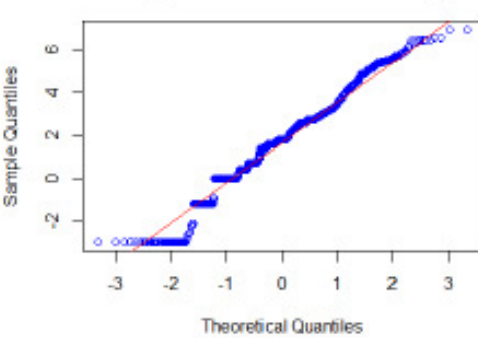
Transformación logarítmica		Diagrama Q-Q de normalidad
Ln		Diagrama Q-Q de normalidad (TI) 
Media Ln	1,61	
Desviación Ln	0,00	
Test de normalidad (Kolmogorov-Smirnov)		
D	0,099594	
p-value	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$	

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Vanadio

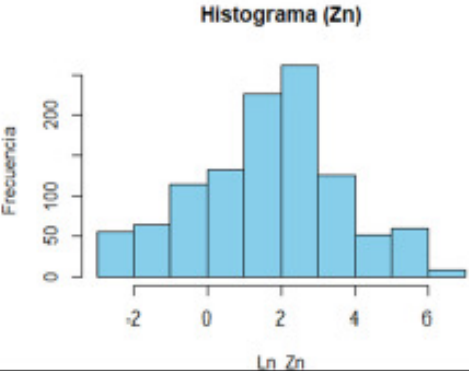
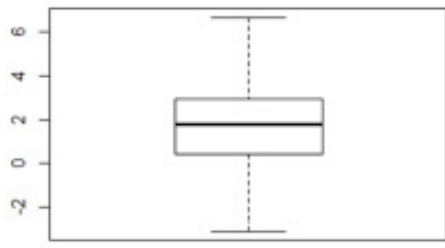
Valores de fondo		Histograma
Media	22,87	Histograma (V) 
Media recortada al 5%	21,93	
Mediana	20,00	
Cota superior de la mediana	21,00	
Desviación	12,28	
Varianza	150,72	
Rango	110,00	
Mínimo	10,00	
Máximo	120,00	
P90	37,10	
P95	43,55	
P99	71,04	Boxplot (V) 
Valor de referencia 90	40,00	
Valor de referencia 95	46,00	
Valor de referencia 99	82,00	

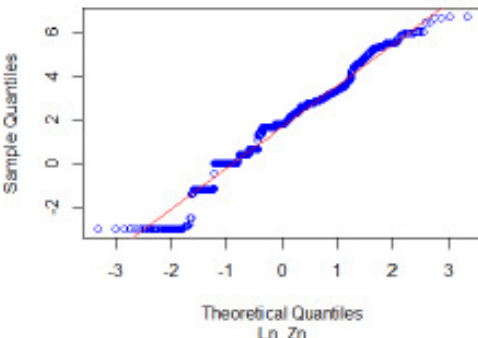
Transformación logarítmica		Diagrama Q-Q de normalidad
Ln		Diagrama Q-Q de normalidad (V) 
Media Ln	3,02	
Desviación Ln	0,46	
Test de normalidad (Kolmogorov-Smirnov)		
D	0,082167	
p-value	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$	

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Zinc

Valores de fondo		Histograma
Media	38,79	
Media recortada al 5%	32,23	
Mediana	25,00	
Cota superior de la mediana	26,00	
Desviación	56,98	
Varianza	3247,03	
Rango	673,00	
Mínimo	17,00	
Máximo	690,00	
P90	61,10	
P95	85,55	
P99	270,80	
Valor de referencia 90	68,00	
Valor de referencia 95	110,00	
Valor de referencia 99	520,00	

Transformación logarítmica		Diagrama Q-Q de normalidad
Ln		Diagrama Q-Q de normalidad (Zn) 
Media Ln	3,38	
Desviación Ln	0,60	
Test de normalidad (Kolmogorov-Smirnov)		
D	0,11015	
p-value	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$	

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

3. CÁLCULO DE LOS NIVELES DE FONDO Y REFERENCIA

El **valor de fondo** es aquel que describe la distribución de un elemento químico en suelos no afectados por actividades antrópicas. En nuestro caso se ha elegido para la definición de los valores de fondo la cota superior de la media con un 95% de confianza.

El **valor de referencia** (VR90) es aquel valor tal que su superación por una nueva muestral sea poco probable. Para la definición de VR 90 se ha elegido como valor de referencia la cota superior del percentil 90% con un 95% de confianza.

Una vez conocida la naturaleza de la distribución, se calcula la C_m y se constituye el **valor de fondo** (VF) para un determinado elemento.

$$\text{Si es Normal con} \quad C_M = \bar{x} + t_{(1-\alpha; n-1)} S / \sqrt{n}$$

$$\text{Si es no paramétrica con} \quad 1 - B(C-1, n, p) \geq 1 - \alpha$$

Para los **valores de referencia** (VR) se adopta el valor de la cota superior del percentil p-ésimo a partir de una muestra de n datos, según la expresión:

$$C_p = \bar{x} + g_{(1-\alpha; p, n)} S$$

Donde $g_{(1-\alpha; p, n)} S$ es el factor de Odeh y Owen con un grado de confianza de $1-\alpha$, basada en la distribución t-Student descentrada. Y S es la desviación típica de la muestra de n datos.

Elemento	NF (mg/kg)	VR90 (mg/kg)
Antimonio	1.0	1.2
Arsénico	5.6	13.0
Bario	100.0	290.0
Berilio	1.0	1.0
Cadmio	0.3	0.4
Cobalto	5.8	12.1
Cobre	11.0	23.0
Cromo	17.0	30.0
Estaño	6.0	6.0
Manganeso	240.0	600.0
Mercurio	0.1	0.1
Molibdeno	1.5	1.5
Niquel	16.0	29.0
Plomo	13.0	39.0
Selenio	2.0	2.0
Talio	5.0	5.0
Vanadio	21.0	40.0
Zinc	26.0	68.0

Particularizando la expresión para el percentil 90, se obtiene el Valor de Referencia correspondiente VR(90), valor que conceptualmente responde a aquella concentración cuya superación por otra muestra es poco probable (cota superior del percentil 90 con un 95% de confianza).

Tabla 3. Tabla de Niveles de Fondo Natural (NF) y de Referencia (VR90)

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

4. NIVELES GENERICOS DE REFERENCIA (NGR)

Para el cálculo de los niveles genéricos de referencia (NGR) se ha utilizado la metodología establecida en el Anexo VII del Real Decreto 9/2005, partiendo de los niveles de fondo, niveles de referencia y valores toxicológicos de cada elemento químico.

El objetivo final es el establecimiento de niveles para la salud humana de los metales seleccionados: Arsénico (As), Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Mercurio (Hg), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Zinc (Zn), Antimonio (Sb), Bario (Ba), Cobalto (Co), Molibdeno (Mo), Selenio (Se), Estaño (Sn), Vanadio (V), Berilio (Be) y Talio (Tl).

4.1 DEFINICIÓN DE LOS NGR

El Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados constituye el marco legal en materia de suelos contaminados en España.

Dicho Real Decreto define el NGR (nivel genérico de referencia) como la concentración de una sustancia contaminante en el suelo que no conlleva un riesgo superior al máximo aceptable para la salud humana o los ecosistemas y calculada de acuerdo con los criterios recogidos en el anexo VII.

En el anexo V el Real Decreto 9/2005 se establece un listado de 64 sustancias, todas ellas orgánicas, para las que establece los NGR para la protección de la salud humana, mientras que en el anexo VI presenta un listado de 50 sustancias, también orgánicas, para las que establece los NGR para la protección de los ecosistemas.

A su vez, los NGR para la salud humana se encuentran por triplicado, para tres usos del suelo: industrial, urbano y otros usos.

Para los ecosistemas, también hay tres tipos de NGR: para la protección de los organismos del suelo, de los organismos acuáticos y de los vertebrados terrestres. Sin embargo, el presente trabajo encargado a IDOM por la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia no incluye el alcance de la protección de los ecosistemas, sino que se centra en la salud humana y, por lo tanto, en adelante no se harán más referencias a la protección de los ecosistemas.

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Los NGR para la protección de la salud humana son los valores con los que se deben comparar las concentraciones medidas en suelos potencialmente contaminados. En caso de que la concentración de contaminantes en un suelo sea menor o igual al NGR del uso del suelo correspondiente, significa que se puede descartar la existencia de riesgos asociados a ese suelo y que se puede considerar como un suelo no contaminado. Sin embargo, en caso de que se superen los NGR, significa que se debe seguir investigando la calidad de ese suelo al objeto de determinar si existe o no una situación de riesgo inadmisible asociada a la presencia de sustancias contaminantes en el suelo.

4.2 METODOLOGÍA SEGÚN EL REAL DECRETO 9/2005

La metodología utilizada para calcular los NGR para metales en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia es la que viene establecida en el Real Decreto 9/2005, que compone el marco legal en el que se encuadra este trabajo.

El Real Decreto 9/2005, en su Anexo VII: “Criterios para el cálculo de niveles genéricos de referencia”, establece lo siguiente:

1. Criterios para el cálculo de los niveles genéricos de referencia para la protección de la salud humana.

A) Determinación de los valores umbrales toxicológicos, en función del uso del suelo:

a) Se identificarán y definirán las vías de exposición relevantes. Como mínimo, deberán considerarse las siguientes vías de exposición:

1º Uso industrial del suelo: inhalación de vapores del suelo, inhalación de partículas de suelo contaminado e ingestión de suelo contaminado.

2º Uso urbano del suelo: inhalación de vapores del suelo, inhalación de partículas de suelo contaminado, ingestión de suelo contaminado y contacto dérmico con el suelo.

3º Otros usos del suelo: inhalación de vapores del suelo, inhalación de partículas de suelo contaminado, ingestión de suelo contaminado, ingestión de alimento contaminado y contacto dérmico con el suelo.

b) Se definirán las características del individuo razonablemente más expuesto y, para cada una de las vías de exposición consideradas, se determinará la dosis a la que éste está expuesto. Para la determinación de la exposición se hará uso de alguno de los modelos elaborados por instituciones técnicas, científicas o académicas de reconocida solvencia,

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

tales como el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea, la Agencia de Medio Ambiente de los Estados Unidos, o similar.

c) Se calculará la concentración máxima admisible en el suelo de la sustancia en cuestión con las siguientes condiciones:

1º Para sustancias con efectos cancerígenos (genotóxicas) será aquella que haga que el riesgo de incremento en la frecuencia de aparición de cáncer no sea superior a 10^{-5} .

2º Para sustancias con efectos sistémicos será aquella que verifique los cocientes que le sean de aplicación en función de su naturaleza química, entre la dosis de exposición a largo plazo debida a la contaminación del suelo y la dosis máxima aceptable:

0,05 para productos fitosanitarios

0,2 para compuestos organoclorados

0,05 para hidrocarburos aromáticos policíclicos

0,1 para hidrocarburos aromáticos monocíclicos

B) Se aplicará el criterio de contigüidad, reduciendo, cuando sea necesario, los niveles para uso urbano e industrial del suelo. Según el citado criterio, el nivel de referencia para un uso urbano del suelo no podrá ser mayor de 10 veces el nivel de referencia para otros usos del suelo, y el nivel de referencia para un uso industrial del suelo no podrá ser mayor de 10 veces el nivel de referencia de un uso urbano del suelo.

C) Para sustancias de síntesis se podrá aplicar el criterio de reducción, que consiste en adoptar como nivel genérico de referencia 100 mg/kg, en aquellos casos en los que el valor calculado supere esta cantidad.

El apartado 2 establece los criterios para el cálculo de los niveles genéricos de referencia para la protección de los ecosistemas, que no son objeto del presente trabajo y, por tanto, no se tienen en cuenta de aquí en adelante.

El apartado 3 trata sobre el cálculo de niveles genéricos de referencia para metales:

3.- Niveles genéricos de referencia para metales

Para el caso en el que por razones técnicas o de otra naturaleza no sea practicable la aplicación de la metodología descrita en los apartados 1 y 2 del presente anexo, las Comunidades Autónomas que no dispongan de niveles genéricos de referencia para metales podrán adoptar los resultantes de sumar a la concentración media el doble de la desviación típica de las

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

concentraciones existentes en suelos de zonas próximas no contaminadas y con sustratos geológicos de similares características. A efectos de evaluación de la contaminación del suelo, los valores así calculados para metales serán únicos y, por tanto, aplicables a cualquier uso del suelo y atendiendo tanto a la protección de la salud humana como a la protección de los ecosistemas.

¿Por qué el Real Decreto 9/2005 no establece NGR para metales?

La formulación de los NGR para sustancias de naturaleza orgánica descansa sobre la idea de que éstas, en la mayoría de los casos, son sustancias originadas en la actividad humana y, por tanto, puede considerarse que su presencia en los suelos atiende a algún tipo de proceso contaminante, pudiendo establecerse entre éstas y aquellos una relación de causalidad bastante estrecha. Tal relación se desdibuja cuando consideramos contaminantes geogénicos, como son los metales. En este caso, no se puede establecer esa relación de causalidad de forma biunívoca, resultando más compleja su valoración. Por otra parte, se debe constatar la dificultad que entraña la obtención de valores de exposición fiables por la existencia de gran variedad de formas de especiación con distinto grado de biodisponibilidad. Por último, la distribución de la concentración de los metales en suelos resulta fuertemente dependiente del ámbito geológico que se considere.

Por estas razones es evidente que tales niveles deberán quedar definidos en el ámbito de cada Comunidad Autónoma, razón por la cual el Real Decreto no establece NGR para metales aplicables al ámbito nacional, aunque sí fija los procedimientos para calcularlos en su anexo VII.

Aunque el Real Decreto establece en su anexo VII los criterios para el cálculo de los NGR, no se incluyen detalles metodológicos específicos. Para satisfacer esta necesidad, el entonces Ministerio de Medio Ambiente publicó en 2007 la "Guía Técnica de aplicación del RD 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados", en la que, en su anexo A se establece la metodología para el desarrollo de niveles genéricos de referencia para la protección de la salud humana.

Por lo tanto, el presente trabajo se ha basado en la metodología establecida por el Real Decreto 9/2005 y su Guía Técnica de aplicación, ya que componen el marco de referencia a nivel estatal en España. Sin embargo, cabe indicar que, a su vez, la Guía Técnica de aplicación del Real Decreto 9/2005 está basada principalmente en la metodología U.S. EPA, y complementada con algunas fuentes europeas como CARACAS o CONCAWE y con algunos datos aportados por IHOBE (Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco) como fuente de información pionera en España en el cálculo de NGR de metales.

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: "Una manera de hacer Europa"

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

4.3 Estado del arte en el cálculo de NGR para metales en otras CCAA

Asimismo, antes de proceder al cálculo de los NGR para metales basados en riesgos para la protección de la salud humana en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, se ha procedido a estudiar los trabajos similares realizados por otras comunidades autónomas que ya han calculado y publicado sus NGR para metales basados en riesgos para la salud humana en base a lo establecido en el apartado 1 del anexo VII del Real Decreto 9/2005.

4.3.1 Galicia

En el año 2009 se publica en Galicia el “Decreto 60/2009, do 26 de febreiro, sobre solos potencialmente contaminados e procedemento para a declaración de solos contaminados”, en el que se establecen valores NGR para la protección de la salud humana.

Elemento	Valores de fondo naturales	Uso Industrial	Uso Urbano	Otros Usos
	(mg/kg peso seco)			
Antimonio	6	100	10	6
Arsénico	45 ⁽²⁾	50 ⁽²⁾	50 ⁽²⁾	50 ⁽²⁾
Bario	220	1000	600	400
Berilio	6	25	10	6
Cadmio	0,25	20	4	2
Cobalto	40 ⁽³⁾	150 ⁽³⁾	50 ⁽³⁾	40 ⁽³⁾
Cobre	45 ⁽³⁾	200 ⁽³⁾	100 ⁽³⁾	50 ⁽³⁾
Cromo	80 ⁽³⁾	300 ⁽³⁾	100 ⁽³⁾	80 ⁽³⁾
Manganeso	850 ⁽³⁾	2000 ⁽³⁾	1500 ⁽³⁾	850 ⁽³⁾
Mercurio	0,15	20	2	1
Molibdeno	2,5	100	10	7
Níquel	65 ⁽³⁾	200 ⁽³⁾	100 ⁽³⁾	75 ⁽³⁾
Plomo	55	500	100	100
Selenio	1,9	100	10	5
Talio	0,2	20	5	1
Vanadio	120 ⁽³⁾	1000 ⁽³⁾	250 ⁽³⁾	120 ⁽³⁾
Zinc	100	1000	500	300

(1) Os NXR calculáronse seguindo os criterios establecidos no anexo VII do Real decreto 9/2005, do 14 de xaneiro. Tivéronse en conta modelos de cálculo propostos pola Axencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) e consideración ligadas ás propiedades físico-químicas dos solos de Galicia. Para uso urbano e outros usos tivéronse en consideración os riscos de contaminación das augas e/ou a fitotoxicidade.

(2) O nivel de fondo edafoxeoquímico e os NXR para arsénico pode ser superado en solos derivados dalgunhas lousas.

(3) O nivel de fondo edafoxeoquímico e os NXR pode ser superado en solos derivados dalgúns tipos de rochas, fundamentalmente en rochas básicas e ultrabásicas.

4) En aplicación do criterio de contigüidade, tal como se establece no anexo VII do Real decreto 9/2005, do 14 de xaneiro.

Tabla 4. NGR de Galicia

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”



DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Asimismo, en 2009, la Xunta de Galicia publica un documento técnico “NIVELES GENÉRICOS DE REFERENCIA DE METALES PESADOS Y OTROS ELEMENTOS TRAZA EN SUELOS DE GALICIA” elaborado por investigadores del Departamento de Edafología de la Universidad de Santiago de Compostela a solicitud de la Consellería de Medio Ambiente e Desenvolvemento Sostible de la Xunta de Galicia. En este documento se describen los pasos y la metodología utilizada en el cálculo de estos NGR teniendo en cuenta los diferentes usos del suelo industrial, urbano y otros usos.

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

4.3.2 Asturias

En el año 2014 se publica el Boletín Oficial del Principado de Asturias (núm. 91 de 21-iv-2014) “Resolución de 20 de marzo de 2014, de la Consejería de Fomento, Ordenación del Territorio y Medio Ambiente, por la que se establecen los Niveles Genéricos de Referencia para metales pesados en Suelos del Principado de Asturias”, donde se establecen valores NGR para metales y otros elementos traza para la protección de la salud humana.

Elemento	Valores de fondo naturales	Uso Industrial	Uso Urbano	Otros Usos
	(mg/kg peso seco)			
Antimonio	0,2	295	25	5
Arsénico	39	200	40 ⁽¹⁾	40 ⁽¹⁾
Bario	292	>10000	>10000	1540
Berilio	-	205	30	20
Cadmio	2	200	20	2 ⁽²⁾
Cobalto	22	300	25 ⁽³⁾	25 ⁽³⁾
Cobre	36	4000	400	55
Cromo (III)	102	>10000	>10000	>10000
Cromo (VI)	-	50	5	2
Manganeso	2132	9635 ⁽⁴⁾	2135 ⁽⁴⁾	2135 ⁽⁴⁾
Mercurio	0,5	100	10	1
Molibdeno	1	600	60	6
Níquel	41	6500	650	65
Plomo	51	800	400	70
Selenio	-	2500	250	25
Talio	0,3	10	1	1
Vanadio	49	1505	190	50 ⁽⁵⁾
Zinc	167	>10000	4550	455

(1) 100 mg/kg para suelos sobre las litologías de Calizas y Granitos.

(2) 10 mg/kg para suelos sobre la litología de Calizas.

(3) 35 mg/kg para suelos sobre la litología de Calizas.

(4) 6435 mg/kg para suelos sobre la litología de Calizas.

(5) 100 mg/kg para suelos sobre la litología de Calizas y Unidades de litología mixta

Tabla 5. NGR de Asturias



DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Asimismo, en 2013, el Servicio de Residuos de la Dirección General de Sostenibilidad y Cambio Climático del Principado de Asturias, publica un documento técnico “NIVELES GENÉRICOS DE REFERENCIA PARA LA PROTECCIÓN DE LA SALUD HUMANA Y LOS ECOSISTEMAS DE METALES PESADOS EN SUELOS EN EL PRINCIPADO DE ASTURIAS” cuya dirección científica fue a cargo de la Universidad de Oviedo (INDUROT-BIOGEOAMB).

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

4.3.3 Cantabria

Actualmente está pendiente de publicación el “*DECRETO XX/XX por el que se regula el régimen jurídico de los suelos contaminados en la Comunidad Autónoma de Cantabria y se crea el Inventario de Suelos Contaminados*”, en el que se establecen valores NGR para metales y otros elementos traza para la protección de la salud humana.

Elemento	Valores de fondo naturales	Uso Industrial	Uso Urbano	Otros Usos
	(mg/kg peso seco)			
Antimonio	-	290 ⁽²⁾	29	3 ⁽¹⁾
Arsénico	38	38 ⁽¹⁾	38 ⁽¹⁾	38 ⁽¹⁾
Cadmio	1	100 ⁽²⁾	10 ⁽²⁾	1 ⁽¹⁾
Cobalto	20	220 ⁽²⁾	22	20 ⁽¹⁾
Cobre	34	3400 ⁽²⁾	340	34 ⁽¹⁾
Cromo	118	2020 ⁽²⁾	202	118 ⁽¹⁾
Manganeso	1318	>10000 ⁽³⁾	8225	1318 ⁽¹⁾
Mercurio	0,2	14	2	0,2 ⁽¹⁾
Molibdeno	3	300 ⁽²⁾	30 ⁽²⁾	3 ⁽¹⁾
Níquel	52	5200 ⁽²⁾	520 ⁽²⁾	52 ⁽¹⁾
Plomo	58	2620 ⁽²⁾	262	58 ⁽¹⁾
Talio*	1	-	-	-
Vanadio	147	3410 ⁽²⁾	341	147 ⁽¹⁾
Zinc	165	>10000 ⁽³⁾	2720 ⁽²⁾	272

* No se han calculado NGR puesto que los valores toxicológicos para este elemento están en discusión desde septiembre de 2009. No obstante, se podrá utilizar el VR90 para determinar si un emplazamiento puede considerarse alterado.

(1) VR90 del elemento: Si los NGR obtenidos son inferiores a los valores de referencia (VR90) establecidos para los suelos de la Comunidad de Cantabria y determinados a partir de los niveles de fondo correspondientes, se adopta este último valor como NGR.

(2) En aplicación del criterio de contigüidad: si la diferencia entre el NGR obtenido para un uso y el correspondiente al inmediatamente más sensible excede en más de un orden de magnitud (10 veces) el NGR pasará a ser el correspondiente al del uso inmediatamente más sensible multiplicado por un factor de 10.

(3) En aplicación del criterio de reducción: los valores que excedan los 10.000 mg/kg adoptarán este valor como NGR. Este criterio se justifica por considerar que la superación de esta cifra hace necesario llevar a cabo una investigación que explique la presencia de esos niveles en el suelo.

Tabla 6. NGR de Cantabria

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

4.3.4 País Vasco

En el año 2005 entró en vigor la *Ley 1/2005, de 4 de febrero, para la prevención y corrección de la contaminación del suelo*, en la que se establecían los valores VIE-A (equivalentes a los valores de fondo naturales del suelo) y los VIE-B (equivalentes a los NGR) para la protección de la salud humana. La Comunidad Autónoma del País Vasco fue la primera de España en derivar y establecer sus NGR para metales.

En el año 2015 se deroga la Ley 1/2005, que es sustituida por la *Ley 4/2015, de 25 de junio, para la prevención y corrección de la contaminación del suelo*, en la que se conservan los mismos valores VIE-A y VIE-B para la protección de la salud humana.

Elemento	Valores de fondo naturales	Uso Industrial	Uso Urbano	Otros Usos
	(mg/kg peso seco)			
Arsénico	23	200	30	30
Bario	80+2,5L	-	-	-
Cadmio	0,8	50	8	5
Cobalto	6+0,5L	-	-	-
Cobre	10+0,5L	(3)	(3)	(3)
Cromo (total)	25+L	550	200	200
Cromo (VI)		15	8	8
Mercurio	0,3	40	4	4
Molibdeno	0,60+0,018L	750	75	75
Níquel	12+L	800	150	110
Plomo	16+0,7L+2,1H	1000	150	120
Zinc	50+2L	(3)	(3)	(3)

H->contenido en materia orgánica

L->Contenido en arcilla

(3) El valor límite derivado es del orden de decenas de g/Kg.

Tabla 7. NGR del País Vasco

La metodología empleada para el cálculo de estos NGR fue publicada en el documento de 1998 “*Investigación de la Contaminación del Suelo. Valores Indicativos de Evaluación* (VIE-A, VIE-B, VIE-C).” elaborado por la Universidad del País Vasco y editada por IHOBE, S.A., Sociedad pública de Gestión Ambiental del Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente del Gobierno Vasco.

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

4.3.5 Navarra

La “Ley Foral 14/2018, de 18 de junio, de Residuos y su Fiscalidad” fue publicada en el Boletín Oficial de Navarra de 22 de junio de 2018, y en ella se establecen valores NGR para metales y otros elementos traza para la protección de la salud humana.

Elemento	Valores de fondo naturales	Uso Industrial	Uso Urbano	Otros Usos
	(mg/kg peso seco)			
Antimonio	4	310 ⁽²⁾	31	4 ⁽¹⁾
Arsénico	32	32 ⁽¹⁾	32 ⁽¹⁾	32 ⁽¹⁾
Bario	620	>10000	6200 ⁽²⁾	620 ⁽¹⁾
Berilio	3	1110 ⁽²⁾	111	18
Cadmio	0,9	90 ⁽²⁾	9	0,9 ⁽¹⁾
Cobalto	21	230 ⁽²⁾	23	21 ⁽¹⁾
Cobre	45	4500 ⁽²⁾	450 ⁽²⁾	45 ⁽¹⁾
Cromo	144	2100 ⁽²⁾	210	144 ⁽¹⁾
Estaño	9	>10000 ⁽³⁾	>10000 ⁽³⁾	2088
Manganeso	1336	>10000 ⁽³⁾	>10000 ⁽³⁾	1336 ⁽¹⁾
Mercurio	0,1	10 ⁽²⁾	1 ⁽²⁾	0,1 ⁽¹⁾
Molibdeno	2	100 ⁽²⁾	10 ⁽²⁾	1
Níquel	59	5900 ⁽²⁾	590 ⁽²⁾	59 ⁽¹⁾
Plomo	70	2730 ⁽²⁾	273	70 ⁽¹⁾
Selenio	2	200 ⁽²⁾	20 ⁽²⁾	2 ⁽¹⁾
Talio*	1	-	-	-
Vanadio	163	3560	356	163 ⁽¹⁾
Zinc	132	>10.000 ⁽³⁾	2600 ⁽²⁾	271

(1) VR90 del elemento; (2) En aplicación del criterio de contigüidad; (3) En aplicación del criterio de reducción.

(*) No se han calculado NGR puesto que los valores toxicológicos para este elemento están en discusión desde septiembre de 2009. No obstante, se podrá utilizar el VR90 para determinar si un emplazamiento puede considerarse alterado.

Tabla 8. NGR de Navarra

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

4.3.6 La Rioja

En el año 2007 se publican los NGR para metales y protección de la salud humana establecidos para La Rioja. Estos datos fueron calculados por el IGME (Instituto Geológico y Minero de España) y se publicaron en la página web del Gobierno de La Rioja, en la sección de Medio ambiente – Suelos, en la siguiente URL:

<https://www.larioja.org/medio-ambiente/es/suelo/actividades-potencialmente-contaminantes-suelo-apcs/niveles-genericos-referencia/niveles-genericos-referencia-ngr>

Elemento	Valores de fondo naturales	Uso Industrial	Uso Urbano	Otros Usos
	(mg/kg peso seco)			
Bario	324	54000 ⁽²⁾	5400	2260
Berilio	3,3	15	3 ⁽¹⁾	3 ⁽¹⁾
Cadmio	0,98	700 ⁽²⁾	70 ⁽²⁾	7
Cobalto	15	2500 ⁽²⁾	250 ⁽²⁾	25
Cobre	33	13500 ⁽²⁾	1350 ⁽²⁾	135
Cromo (total)	98	2300 ⁽²⁾	230	135
Manganeso	809	33900 ⁽²⁾	3390	810 ⁽¹⁾
Mercurio	0,091	15	7	6
Níquel	53	15600 ⁽²⁾	1560	725
Plomo	35	2700 ⁽²⁾	270	115
Vanadio	63	5250 ⁽²⁾	525	65 ⁽¹⁾
Zinc	106	>100000 ⁽³⁾	23415	3250

(1) VR90 del elemento;(2) En aplicación del criterio de contigüidad; (3) En aplicación del criterio de reducción.

Tabla 9. NGR de La Rioja

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

4.3.7 Aragón

En el año 2008 se publica en Aragón el “*ORDEN de 5 de mayo de 2008, del Departamento de Medio Ambiente, por la que se procede al establecimiento de los niveles genéricos de referencia para la protección de la salud humana de metales pesados y otros elementos traza en suelos de la Comunidad Autónoma de Aragón. - Boletín Oficial de Aragón*”, en el que se establecen valores NGR para metales y otros elementos traza para la protección de la salud humana.

Elemento	Valores de fondo naturales	Uso Industrial	Uso Urbano	Otros Usos
	(mg/kg peso seco)			
Antimonio	3	300 ⁽²⁾	30 ⁽²⁾	3
Arsénico	26	260 ⁽²⁾	26 ⁽¹⁾	26 ⁽¹⁾
Bario	890	>10000 ⁽³⁾	8900 ⁽²⁾	890 ⁽¹⁾
Berilio	-	10 ⁽²⁾	1	0,8
Cadmio	0,4	100 ⁽²⁾	10 ⁽²⁾	1
Cobalto	15	1500 ⁽²⁾	150 ⁽²⁾	15 ⁽¹⁾
Cobre	28	2800 ⁽²⁾	280 ⁽²⁾	28 ⁽¹⁾
Cromo (III)	80	>10000 ⁽³⁾	>10000 ⁽³⁾	1000
Cromo (VI)	80	2300 ⁽²⁾	230	80
Estaño	4	>10000 ⁽³⁾	>10000 ⁽³⁾	3185
Manganeso	715	>10000 ⁽³⁾	3390	715
Mercurio	0,06	250 ⁽²⁾	25	0,36
Molibdeno	3	300 ⁽²⁾	30 ⁽²⁾	3 ⁽¹⁾
Níquel	40	4000 ⁽²⁾	400 ⁽²⁾	40 ⁽¹⁾
Plomo	36	2700 ⁽²⁾	270	45
Selenio	3	2000 ⁽²⁾	200 ⁽²⁾	20
Talio	-	20 ⁽²⁾	2	0,08
Vanadio	100	>10000 ⁽³⁾	1000 ⁽²⁾	100 ⁽¹⁾
Zinc	130	>10000 ⁽³⁾	4200 ⁽²⁾	420

(1) VR90 del elemento; (2) En aplicación del criterio de contigüidad; (3) En aplicación del criterio de reducción.

Tabla 10. NGR de Aragón



DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Asimismo, el Ministerio de Educación y Ciencia publica en 2008 el documento técnico “Determinación de Niveles de Fondo y Niveles Genéricos de Referencia para metales en suelos de la Comunidad Autónoma de Aragón” elaborado por el IGME (Instituto Geológico y Minero de España). En este documento se describen los pasos y la metodología utilizada en el cálculo de estos NGR teniendo en cuenta los diferentes usos del suelo industrial, urbano y otros usos.

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

4.3.8 Cataluña

En el año 2009 se publica en Cataluña el “Decreto Legislativo 1/2009, de 21 de julio, por el que se aprueba el Texto refundido de la Ley reguladora de los residuos.”, en el que se establecen valores NGR para metales y otros elementos traza para la protección de la salud humana.

Elemento	Valores de fondo naturales	Uso Industrial	Uso Urbano	Otros Usos
	(mg/kg peso seco)			
Antimonio	6	30	6 ⁽¹⁾	6 ⁽¹⁾
Arsénico	30	30 ⁽¹⁾	30 ⁽¹⁾	30 ⁽¹⁾
Bario	270	1.000 ⁽³⁾	880	500
Berilio	4,5	90	40	10
Cadmio	0,6	55 ⁽²⁾	5,5	2,5
Cobalto	25	90	45	25 ⁽¹⁾
Cobre	55	1.000 ⁽³⁾	310	90
Cromo (III)	85	1.000 ⁽³⁾	1.000 ⁽³⁾	400
Cromo (VI)	1	25	10 ⁽²⁾	1 ⁽¹⁾
Estaño	7	1.000 ⁽³⁾	1.000 ⁽³⁾	50
Mercurio	2	30 ⁽²⁾	3	2 ⁽¹⁾
Molibdeno	3,5	70 ⁽²⁾	7	3,5 ⁽¹⁾
Níquel	45	1.000 ⁽³⁾	470	45 ⁽¹⁾
Plomo	60	550	60 ⁽¹⁾	60 ⁽¹⁾
Selenio	0,5	70 ⁽²⁾	7 ⁽²⁾	0,7
Talio	1,5	45 ⁽²⁾	4,5	1,5 ⁽¹⁾
Vanadio	135	1.000 ⁽³⁾	190	135 ⁽¹⁾
Zinc	110	1.000 ⁽³⁾	650	170

(1) VR90 del elemento; (2) En aplicación del criterio de contigüidad; (3) En aplicación del criterio de reducción.

* NGR calculado como la suma de la concentración media y el doble de la desviación típica de las concentraciones en zonas próximas no contaminadas y con sustratos geológicos similares.

Tabla 11. NGR de Cataluña

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

4.3.9 Madrid

En el año 2006 se publica en Madrid la “*ORDEN 2770/2006, de 11 de agosto, de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, por la que se procede al establecimiento de niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos contaminados de la Comunidad de Madrid*”, en el que se establecen valores NGR para metales y otros elementos traza para la protección de la salud humana.

Elemento	Valores de fondo naturales	Uso Industrial	Uso Urbano	Otros Usos
	(mg/kg peso seco)			
Antimonio	0,48	80 ⁽²⁾	8 ⁽²⁾	0,8
Arsénico	24	40	24 ⁽¹⁾	24 ⁽¹⁾
Bario	138	>100000	15200	4200
Berilio	2,1	13	2 ⁽¹⁾	2 ⁽¹⁾
Cadmio	0,22	300 ⁽²⁾	30 ⁽²⁾	3
Cobalto	12	1500 ⁽²⁾	150 ⁽²⁾	15 ⁽¹⁾
Cobre	20	8000 ⁽²⁾	800 ⁽²⁾	80
Cromo (total)	32	2300 ⁽²⁾	230	90
Estaño	4,45	>100000	46730	46730
Manganeso	690	33900 ⁽²⁾	3390	690 ⁽¹⁾
Mercurio	0,065	15	7	5
Molibdeno	0,7	1500 ⁽²⁾	150 ⁽²⁾	15
Níquel	21	15600 ⁽²⁾	1560	405
Plomo	30	2700 ⁽²⁾	270	75
Selenio	0,24	3900 ⁽²⁾	390	85
Talio	0,39	30 ⁽²⁾	3	2
Vanadio	37	3700 ⁽²⁾	370 ⁽²⁾	37 ⁽¹⁾
Zinc	73	>100000	11700 ⁽²⁾	1170

(1) VR90 del elemento;(2) En aplicación del criterio de contigüidad; (3) En aplicación del criterio de reducción.

Tabla 12. NGR de Madrid

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

4.3.10 Extremadura

En el año 2015 se publica en Extremadura el “*DECRETO 49/2015, de 30 de marzo, por el que se regula el régimen jurídico de los suelos contaminados en la Comunidad Autónoma de Extremadura*”, en el que se establecen valores NGR para metales y otros elementos traza para la protección de la salud humana.

Elemento	Valores de fondo naturales	Uso Industrial	Uso Urbano	Otros Usos
	(mg/kg peso seco)			
Antimonio	1	200 ⁽²⁾	20 ⁽²⁾	2
Arsénico	61	61 ⁽¹⁾	61 ⁽¹⁾	61 ⁽¹⁾
Berilio	4,9	250 ⁽²⁾	25	20
Cadmio	0,35	350 ⁽²⁾	35	4
Cobalto	33	580	90	33 ⁽¹⁾
Cobre	67	7750 ⁽²⁾	775	180
Cromo	95	640	100	95 ⁽¹⁾
Estaño	2,1	>10000 ⁽³⁾	>10000 ⁽³⁾	>10000 ⁽³⁾
Manganeso	1566	>10000 ⁽³⁾	9105	1566 ⁽¹⁾
Mercurio	0,1	15	6	3
Molibdeno	3,7	3500 ⁽²⁾	350 ⁽²⁾	35
Níquel	56	7450 ⁽²⁾	745	460
Plomo	48	2600 ⁽²⁾	260	110
Selenio	0,5	3750 ⁽²⁾	375	135
Vanadio	116	3800 ⁽²⁾	380	116 ⁽¹⁾
Zinc	281	>100000 ⁽³⁾	>10000 ⁽³⁾	1835

(1) VR90 del elemento; (2) En aplicación del criterio de contigüidad; (3) En aplicación del criterio de reducción.

Tabla 13. NGR de Extremadura

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

4.3.11 Andalucía

En el año 2015 se publica en Andalucía el “Decreto 18/2015, de 27 de enero, por el que se aprueba el reglamento que regula el régimen aplicable a los suelos contaminados”, en el que se establecen valores NGR para metales y otros elementos traza para la protección de la salud humana.

Elemento	Valores de fondo naturales	Uso Industrial	Uso Urbano	Otros Usos
	(mg/kg peso seco)			
Antimonio	-	4700 ^(b)	470	90
Arsénico	36	40	36 ^(a)	36 ^(a)
Bario	-	>10000 ^(c)	>10000 ^(c)	>10000 ^(c)
Berilio	-	1450 ^(b)	145	145 ^(f)
Cadmio	-	750 ^(b)	75	25
Cobalto	24	250 ^(b)	25 ^(a)	24 ^(a)
Cobre	48	>10000 ^(c)	3130	595
Cromo (III)	100	>10000 ^(c)	>10000 ⁽³⁾	>10000 ^(c)
Cromo (VI)	20	100	20 ^(a)	20 ^(a)
Estaño	-	>10000 ^(c)	>10000 ^(c)	>10000 ^(c)
Mercurio	-	15	6 ⁽⁴⁾	6 ^(f)
Molibdeno	-	3900 ^(b)	390	115
Níquel	56	>10000 ^(c)	1530 ⁽⁴⁾	1530 ^(f)
Plomo	67	2750 ^(b)	275 ⁽⁴⁾	275 ^(f)
Selenio	-	3900 ^(b)	390	370
Talio	-	2,3 ^(b)	0,23 ⁽⁴⁾	0,23 ^(f)
Vanadio	-	3650 ^(b)	365	50
Zinc	119	>10000 ^(c)	>10000 ^(c)	>10000 ^(c)

(a) VR90 del elemento; (b) En aplicación del criterio de contigüidad, (c) En aplicación del criterio de reducción (f) Ajuste a valor de NGR urbano, que es inferior

Tabla 14. NGR de Andalucía

Asimismo, a petición de IDOM a la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible de la Junta de Andalucía, se obtuvo un documento técnico “Datos de parámetros toxicológicos y físico-químicos válidos para la evaluación de riesgos en suelos potencialmente

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”



DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

contaminados en la Comunidad Autónoma Andaluza. Cálculos de NGR para elementos traza.” elaborado en 2009 por la empresa Interlab para EGMASA, Empresa de Gestión Medioambiental adscrita a la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. En este documento se describen los pasos y la metodología utilizada en el cálculo de estos NGR teniendo en cuenta los diferentes usos del suelo industrial, urbano y otros usos. Cabe señalar que desde la Junta de Andalucía se informó a IDOM que actualmente la Consejería está en proceso de revisión de estos valores.

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

5. CONCEPTO DE RIESGO Y EVALUACIÓN DE RIESGOS

A diferencia de los NGR derivados de las concentraciones naturales de fondo en suelos, en el presente trabajo los NGR se establecen en base a consideraciones de riesgo para la salud humana por exposición a los contaminantes presentes en un suelo contaminado.

El Real Decreto 9/2005 define el riesgo como la “probabilidad de que un contaminante presente en el suelo entre en contacto con algún receptor con consecuencias adversas para la salud de las personas o el medio ambiente”.

En el presente trabajo el objeto de protección es la salud humana, sin considerar los riesgos para los ecosistemas.

El concepto **evaluación de riesgos**, derivado de la definición anterior, se describe como un procedimiento de evaluación de la probabilidad y severidad de los efectos adversos para la salud humana que se dan tras la exposición, bajo condiciones definidas, a una fuente de riesgo, y que incluye la identificación de las incertidumbres asociadas.

La evaluación de riesgos es, por tanto, un instrumento para la toma de decisiones en el cual se valora cuantitativamente la probabilidad de que se produzcan efectos adversos en la salud humana como consecuencia de la exposición a las sustancias contaminantes presentes en el suelo. El proceso de evaluación de riesgos se divide fundamentalmente en cuatro fases o etapas:

1. Identificación de riesgos: investigación inicial según la cual se identifican las sustancias que pueden suponer un peligro (en función de su presencia y concentración en el medio, características químicas, etc.) y se identifica la naturaleza de estos riesgos (mecanismos de toxicidad, distribución en el organismo), que se concretan en categorías de efectos (hepatotoxicidad, neurotoxicidad, efectos reproductivos, carcinogénesis, etc.).
2. Valoración de la toxicidad: obtención de la información toxicológica relevante que permite relacionar los efectos adversos producidos con la concentración de las sustancias (relación dosis – respuesta). Esta información, procedente de ensayos biológicos de laboratorio o de datos epidemiológicos, suele recopilarse de la bibliografía científica.
3. Valoración de la exposición: consiste en estimar la intensidad, frecuencia y duración de la exposición de los receptores (en este caso, los seres humanos) a las sustancias objeto del estudio. Se toman en consideración también factores relacionados con la persistencia, degradabilidad y destino ambiental de las sustancias.

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

4. Caracterización del riesgo: consiste básicamente en comparar las cantidades de contaminantes recibidas por el receptor con las cantidades máximas teóricas que un receptor puede recibir sin acusar un efecto adverso sobre su salud. Según esto, se considera la existencia de riesgo si la exposición recibida por el receptor supera esas cantidades máximas consideradas sin efecto.

5.1 Análisis de riesgos como herramienta para calcular NGR

La metodología establecida para calcular los NGR para la protección de la salud humana se basa en el análisis de riesgos. Consiste en determinar primero qué se considera un nivel de riesgo aceptable, tanto para efectos cancerígenos como no cancerígenos y, partiendo de las mejores estimaciones disponibles de valores toxicológicos de referencia para los metales evaluados (es decir aquellos que no deben producir efectos adversos significativos por exposición generalmente a lo largo de toda la vida) calcular cuál es la máxima concentración en el suelo que da lugar a que se cumplan los umbrales de riesgo definidos como aceptables.

5.2 Usos del suelo y vías de exposición

Como se ha explicado, el presente trabajo consiste en calcular NGR para metales en la Región de Murcia, que serán las concentraciones máximas de metales admisibles en el suelo que garanticen que no se producirán efectos adversos en la salud de las personas receptoras. Para cada metal se calcularán tres NGR; uno para cada uno de los tres usos genéricos del suelo: industrial, urbano y otros usos, tal y como establece el Real Decreto 9/2005.

Igualmente, el Real Decreto 9/2005 establece que a cada uso le corresponden unas vías de exposición a la contaminación del suelo que se recogen en la siguiente tabla:

	Uso del suelo		
	Industrial	Urbano	Otros usos
Inhalación de vapores del suelo	✓	✓	✓
Inhalación de partículas de suelo contaminado	✓	✓	✓
Ingestión accidental de suelo contaminado	✓	✓	✓
Contacto dérmico con el suelo contaminado		✓	✓
Ingestión de alimento contaminado			✓

Tabla 15. Vías de exposición consideradas en el cálculo de los NGR para los usos del suelo.

Fuente: Guía de aplicación del RD 9/2005. Año 2007.

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

La inhalación de vapores del suelo contaminado como vía de exposición está establecida en el Real Decreto 9/2005 debido a que el documento está planteado también para sustancias orgánicas volátiles. Sin embargo, en el caso de los metales, la vía de inhalación de vapores sólo sería de aplicación en el caso del mercurio, que tiene una presión de vapor que en condiciones ambientales hace que sea ligeramente volátil. Por tanto, cabe señalar que en el presente trabajo se ha considerado la vía de exposición de inhalación de vapores, que solo reporta valores cuantitativos distintos de cero para el caso excepcional del mercurio.

5.3 Recopilación de datos de partida

Para llegar a cuantificar la cantidad máxima de una sustancia que puede estar presente en el suelo sin entrañar un riesgo para la salud humana según los usos previstos (es decir, los NGR), se necesita realizar cálculos complejos que toman como datos de partida tres tipos de datos: datos toxicológicos de los metales objeto de estudio, parámetros de exposición de las personas receptoras del riesgo y parámetros del medio físico (suelo, aire) en el que se encuentran los contaminantes.

IDOM ha procedido a revisar, recopilar y actualizar estos datos con el objetivo de partir de una base adecuada y fidedigna para la correcta realización de los cálculos en una etapa posterior.

5.3.1 Datos toxicológicos

Se estudian y tratan de manera diferente las sustancias con efectos tóxicos, sistémicos o no cancerígenos y las sustancias cancerígenas.

Contaminantes con efectos sistémicos o no cancerígenos:

Para las sustancias con efectos sistémicos (no cancerígenos), se puede establecer un valor umbral toxicológico por debajo del cual no es previsible la aparición de efectos adversos. Este umbral viene definido por la dosis de referencia toxicológica (RfD), que es específica para cada sustancia y para su vía de exposición y se define como la cantidad máxima de un contaminante que puede ser suministrada al receptor de manera crónica sin que se produzcan efectos adversos sobre su salud, y se mide generalmente en mg de sustancia por kg de masa corporal del receptor y por día (mg/kg d).

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

La expresión que determina el riesgo al que se expone el receptor se denomina índice de riesgo y viene definido por la siguiente ecuación, en el caso de sustancias con efectos sistémicos (no cancerígenos):

$$THQ = \sum_i \frac{D_i}{RfD_i} \leq 1$$

Donde:

THQ es el índice de riesgo toxicológico.

D_i , la dosis de exposición: cantidad de contaminante recibida por el receptor (mg/kg d).

RfD es la dosis de referencia: cantidad máxima de un contaminante que puede ser suministrada al receptor de manera crónica sin que se produzcan efectos adversos sobre su salud (mg/kg d).

Si el índice de riesgo es igual o menor que 1, significa que la dosis recibida por el receptor es menor que la dosis de referencia y que por tanto, no hay riesgo (o que el riesgo es bajo y aceptable). Sin embargo, cuando el índice de riesgo es mayor que 1, significa que el receptor está recibiendo más cantidad de sustancia contaminante de que la que puede tolerar sin manifestar efectos adversos en su salud y por lo tanto, se considera que existe riesgo (o que el riesgo es inadmisibles).

Contaminantes con efectos cancerígenos:

Para las sustancias cancerígenas la situación es distinta, puesto que, teóricamente, la exposición a cualquier cantidad de una sustancia cancerígena lleva asociada la posibilidad, por pequeña que sea, de desencadenar el desarrollo de un cáncer y por tanto, conceptualmente, no existe un nivel seguro de exposición. Alternativamente el concepto de seguridad se define en términos probabilísticos y de riesgo, considerándose como riesgo aceptable que la exposición a la sustancia en cuestión a través de su concentración en el suelo conduzca, como máximo, a la aparición de 1 caso de cáncer directamente achacable al suelo, por cada 100.000 sujetos expuestos el suelo, en las condiciones de exposición a largo plazo definidas.

La potencia cancerígena de la sustancia en cuestión se define a través del concepto de “factor de pendiente” (en inglés *slope factor*) que es una medida de la probabilidad de desarrollar cáncer por la exposición a una determinada sustancia a lo largo de toda la vida con una dosis unitaria de la sustancia en cuestión y se mide en (mg/kg d)⁻¹.

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

La ecuación que define el riesgo cancerígeno es la siguiente:

$$R = \sum_i D_i \times SF_i \leq 10^{-5}$$

Donde:

R es el índice de riesgo cancerígeno.

D_i , la dosis de exposición: cantidad de contaminante recibida por el receptor (mg/kg d).

SF es el factor de pendiente (mg/kg d)⁻¹.

Si el índice de riesgo obtenido es menor o igual que 10^{-5} , significa que con la dosis recibida por el receptor se estima que se producirían menos de 1 caso de cáncer por cada 100.000 individuos expuestos, lo cual se considera un riesgo aceptable. En cambio, cuando el índice de riesgo sea mayor que 10^{-5} , significa que se produciría más de 1 caso de cáncer por cada 100.000 individuos expuestos, lo cual resulta un riesgo inadmisibles.

Los valores toxicológicos de referencia son datos obtenidos a través de procesos definidos que tienen en cuenta la incertidumbre de la evaluación y la propia calidad de los datos de partida y que se fundamentan en datos toxicológicos de efecto obtenidos experimentalmente en animales, sobre todo en mamíferos, para el caso de valores de referencia de aplicación a la protección de la salud humana. El proceso de definición de estos índices es relativamente complejo y no existen valores universalmente aceptados, aunque sí valores de referencia adoptados por diversos países en el ámbito de sus desarrollos reglamentarios en diversos contextos de evaluación de riesgos. En los trabajos realizados por otras CCAA de España para el cálculo de sus NGR para metales se han empleado, en aquellos casos en que estaban disponibles, los valores toxicológicos publicados por la USEPA en sus bases de datos IRIS y RAIS. En el presente trabajo se han utilizado estas fuentes de información toxicológica por ser las más reconocidas y fiables a nivel internacional y también en coherencia con el resto de CCAA.

Los datos toxicológicos utilizados para el cálculo de los NGR para la protección de la salud humana en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia se muestran en la siguiente tabla:

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Elemento	Factor de pendiente de ingestión (SForal)	Dosis de referencia de ingestión (RfDoral)	Factor de riesgo unitario (URF)	Concentración de referencia (RfC)
	(mg/kg-día) ⁻¹	mg/kg-día	(µg/m ³) ⁻¹	mg/m ³
Antimonio	ND	4,00E-04	ND	ND
Arsénico	1,5	3,00E-04	4,3E-03	1,50E-05
Bario	ND	0,2	ND	5,00E-04
Berilio	ND	2,00E-03	2,40E-03	2,00E-05
Cadmio	ND	1,00E-03	1,80E-03	1,00E-05
Cobalto	ND	3,00E-04	9,00E-03	6,00E-06
Cobre	ND	4,00E-02	ND	ND
Cromo (total)	ND	1,5	ND	ND
Cromo (VI)	0,5	3,00E-03	8,40E-02	1,00E-04
Estaño	ND	0,6	ND	ND
Manganeso	ND	2,40E-02	ND	5,00E-05
Mercurio	ND	3,00E-04	ND	3,00E-04
Molibdeno	ND	5,00E-03	ND	4,00E-04
Níquel	ND	2,00E-02	2,60E-04	9,00E-05
Plomo	ND	3,60E-03	ND	ND
Selenio	ND	5,00E-03	ND	2,00E-02
Talio	ND	1,00E-05	ND	ND
Vanadio	ND	5,00E-03	ND	1,00E-04
Zinc	ND	0,3	ND	ND

Tabla 16. Datos toxicológicos empleados

5.3.2 Datos físico-químicos de los contaminantes

Así como los datos toxicológicos definen los efectos negativos que las sustancias en cuestión tienen sobre la salud humana una vez han entrado en el cuerpo, los datos físico-químicos definen el comportamiento de las sustancias en el medio, su movilidad y determinan por lo tanto cómo de disponibles están para llegar hasta el receptor.

Los datos fisicoquímicos relevantes empleados para el cálculo de los NGR para la protección de la salud humana en la Región de Murcia se muestran en la siguiente tabla:

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Elemento	Factor de absorción de vegetales	Coeficiente de Partición (K_d)	Constante de Henry
	-	(mg/L)/(mg/L)	-
Antimonio	0,2	45	ND
Arsénico	0,04	29	ND
Bario	0,15	41	ND
Berilio	0,01	790	ND
Cadmio	0,55	75	ND
Cobalto	0,02	45	ND
Cobre	0,4	35	ND
Cromo (total)	0,01	19	ND
Cromo (VI)	0,01	19	ND
Estaño	0,03	250	ND
Manganeso	0,25	9,9	ND
Mercurio	0,9	52	0,467
Molibdeno	0,25	20	ND
Níquel	0,06	65	ND
Plomo	0,05	45	ND
Selenio	0,03	5	ND
Talio	0,004	71	ND
Vanadio	0,01	1.000	ND
Zinc	0,99	62	ND

Tabla 17. Parámetros físico-químicos empleados

5.3.3 Tipos de receptores y parámetros de exposición:

Los modelos de exposición que sirven de base de cálculo son modelos genéricos para unas condiciones estándar que se han determinado según las particularidades estimadas para la población española.

Igualmente, se define un tipo de receptor estándar en cada uso del suelo atendiendo al criterio del individuo razonablemente más expuesto.

A la hora de calcular los NGR, son fundamentales los parámetros de exposición seleccionados para los receptores tipo, ya que su influencia es significativa en el cálculo de los NGR.

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Para la selección de los valores cuantitativos de los parámetros de exposición se ha empleado como referencia principal la Guía de aplicación del Real Decreto 9/2005, que se ha complementado puntualmente con datos empleados por otras comunidades autónomas que ya han calculado sus NGR para metales.

La siguiente tabla muestra los datos empleados para los cálculos en este trabajo y a continuación se presenta una breve justificación.

Parámetro	Uso Industrial	Uso Urbano		Otros Usos	
	Adulto	Niño	Adulto	Niño	Adulto
Peso medio del receptor (kg)	70	15	70	15	70
Duración de la exposición (años)	30	6	30	6	30
Frecuencia de la exposición (días/año)	250	350	350	350	350
Ingestión accidental de suelo (mg/día)	50	200	100	200	450
Tasa de inhalación (m ³ /hora)	1,6	1,2	1,6	1,2	1,6
Superficie de piel expuesta (cm ²)	-	2.800	5.700	2.800	5.700
Factor de adherencia del suelo a la piel (mg/cm ²)	-	0,2	0,07	0,2	0,07
Ingestión de verduras-raíces (g/día)	-	-	-	60	119
Ingestión de verduras-tallos/hojas (g/día)	-	-	-	70	141
Fracción de verduras consumidas cultivadas en suelo contaminado				0,25	0,25

Tabla 18. Parámetros de exposición para los receptores tipo

Los parámetros biométricos y de hábitos personales utilizados para caracterizar los escenarios de exposición anteriormente definidos se han seleccionado atendiendo al individuo razonablemente más expuesto en cada caso. De forma estándar, para la definición de NGR se distinguen dos tipos de receptores potenciales: “niño” y “adulto”. El primero de ellos se define como un niño de hasta 6 años de edad, atendiendo a diversos estudios que muestran que la ingestión accidental de suelo tiene lugar durante este período y que sugieren que los NGR estén basados en esta mayor exposición infantil.

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Para los usos industrial, urbano y otros usos del suelo se ha seguido el “modelo del RD”. En este modelo el individuo razonablemente más expuesto se define en función del tipo de contaminante (cancerígeno o no), del uso del suelo y de la vía de exposición. Así, para un uso urbano y para las vías de inhalación y contacto dérmico, dicho individuo es un adulto. Para este mismo uso, cuando la vía estudiada es la ingestión de suelo y el elemento es no cancerígeno, el individuo razonablemente más expuesto es un niño, mientras que, si el elemento presenta efectos cancerígenos, éste se define como un receptor que está expuesto a la contaminación del suelo durante 6 años como niño y durante 24 años como adulto. Para otros usos del suelo, el modelo del Real Decreto 9/2005 considera que el individuo razonablemente más expuesto es un adulto, para todas las vías y para cualquier elemento. Para el uso industrial del suelo, por su propia naturaleza, se ha considerado como individuo razonablemente más expuesto un adulto y no se contempla la presencia del receptor niño.

En el peso medio del receptor existe coincidencia en la bibliografía consultada en asignarle un valor de 70 kg cuando el individuo razonablemente más expuesto es un adulto. En los casos en los que el individuo razonablemente más expuesto es un niño menor de 6 años, se ha adoptado un valor de 15 kg. Ambos valores coinciden con los utilizados por todos modelos utilizados en otras CCAA, basados en USEPA.

La duración de la exposición depende del uso asignado al suelo. USEPA considera para un uso industrial del suelo una duración de 25 años, que corresponde al percentil 95 de la función de distribución del tiempo que un individuo adulto trabaja en el mismo lugar en Estados Unidos. Sin embargo, dada la baja movilidad laboral en España con respecto a Estados Unidos, este valor pudiera considerarse poco conservador, por lo que en el presente cálculo se ha considerado para el escenario industrial una duración de la exposición de 30 años.

Para el uso urbano y otros usos, se le ha asignado a la duración de la exposición un valor de 6 años cuando el receptor es un niño, y de 30 años cuando es adulto, siguiendo las recomendaciones de la Guía de aplicación del Real Decreto 9/2005.

Como valor de frecuencia de la exposición, siguiendo las recomendaciones de la Guía de aplicación del Real Decreto 9/2005 basado en datos de USEPA, se han considerado valores de 250, 350 y 350 días/año para los usos industrial, urbano y otros usos, respectivamente.

Los tiempos medios de exposición adoptados son, por convención, iguales a la duración de la exposición para sustancias con efectos sistémicos y de 70 años para sustancias con efectos carcinogénicos.

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

La tasa de ingestión de suelo adoptada para uso industrial es de 50 mg/día acorde con los valores aceptados por la USEPA. En lo referido a este parámetro para el caso de Otros usos, esta misma institución da un valor de 100 mg/día. Sin embargo, este valor se considera poco conservador para el tipo de tareas propio de una huerta en España. Teniendo en cuenta este hecho se ha adoptado un valor más conservador, de 450 mg/día, citado igualmente por la USEPA para trabajos de jardinería en una circular suplementaria a la Guía de Valoración de Riesgos antes mencionada. Para uso urbano del suelo se adopta un valor de 200 mg/día que corresponde a la tasa de ingestión del receptor niño y de 100 mg/kg para un adulto.

Para determinar la cantidad de contaminantes que se incorpora a los receptores mediante la ingesta de verduras y hortalizas que eventualmente pudieran ser cultivadas en terrenos contaminados, se han adoptado los valores de ingesta de verdura recomendados en la Guía de aplicación del Real Decreto 9/2005, basados en datos de IHOBE obtenidos de una encuesta de nutrición en el País. Se entiende que los datos recogidos en la citada encuesta se aproximan mejor a los hábitos de alimentación del resto de España que cualquiera otros que pudieran encontrarse. Asimismo, se ha considerado que la ingesta de verduras de los niños de hasta 6 años es la mitad de la de los adultos.

Existiendo una notable ausencia de información sobre la proporción de hortalizas ingeridas por el individuo razonablemente expuesto que han sido cultivadas sobre el mismo terreno contaminado y que pueden suponer una vía de exposición cierta, se asume un valor aproximado del 25%, que es el sugerido por USEPA.

Para la estimación de la dosis de contaminante absorbida por contacto dérmico para suelos de uso urbano, áreas de juego infantil y otros usos del suelo, se ha adoptado para la superficie de piel expuesta un valor de 2.800 cm² para un niño menor de 6 años y de 5.700 cm² para un adulto, que son los que, por defecto, considera la USEPA. Por estas mismas razones, al factor de adherencia del suelo a la piel se le ha asignado un valor de 0,2 mg/cm² día para un niño menor de 6 años y de 0,07 mg/cm² día para un adulto (USEPA).

En cuanto a la tasa de inhalación USEPA asigna un valor de 20 m³/día para un individuo adulto, correspondiente a un individuo que pasa 16 horas realizando una actividad ligera y 8 horas descansando. Sin embargo, este valor podría ser poco conservador para un escenario industrial de un trabajo físicamente exigente, el escenario urbano considerando la realización de ejercicio físico o juegos infantiles o el escenario de otros usos contemplando el trabajo en la huerta. Por eso, se ha considerado una tasa de inhalación de 1,6 m³/hora (equivalente a 38,4 m³/día) para el receptor adulto y de 1,2 m³/hora (equivalente a 28,8 m³/día) para el receptor niño.

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

5.3.4 Parámetros del medio físico:

Aunque los parámetros físicos del suelo no son tan influyentes en los resultados finales de los NGR, también tienen una importancia relativa y en este caso se han empleado los parámetros correspondientes a la Región de Murcia.

Así, se ha considerado una velocidad media del viento de 4,3 m/s (AEMET) y una tasa de emisión de partículas de $6,9 \cdot 10^{-14}$ (USEPA). Asimismo, a efectos de emisión de partículas se ha considerado la situación más conservadora de un suelo desnudo, sin vegetación que lo cubra ni pavimento.

En cuanto al suelo, de textura limosa, se le han asumido las siguientes características:

Parámetros del suelo	Valor	Unidad
Porosidad total	0,387	cm ³ /cm ³
Contenido en agua	0,039	cm ³ /cm ³
Fracción de carbono orgánico	0,018	g c.o./g suelo
Densidad	1,4	g/ cm ³

Tabla 19. Parámetros del suelo

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

6. CÁLCULO DE LOS NGR DE METALES PARA LA REGIÓN DE MURCIA

6.1 Herramienta de cálculo

El software empleado por IDOM en el desarrollo de los cálculos ha sido RISC5, desarrollado por Lynn Spence de Spence Environmental Engineering y Terry Walden de British Petroleum, y distribuido por Groundwater Software.

Se trata de un software comercial utilizado y reconocido internacionalmente, que sirve tanto para desarrollar análisis de riesgo específicos de un emplazamiento calculando los índices de riesgo, como para realizar el ejercicio inverso y calcular valores objetivo de remediación o como en este caso, NGR.

RISC5 está basado en la metodología de cálculo USEPA, que es a su vez la metodología recomendada en la Guía de aplicación del Real Decreto 9/2005. Las ecuaciones que rigen los cálculos son las mismas que se presentan en el Anexo A “Metodología para el desarrollo de niveles genéricos de referencia para protección de la salud humana” de la Guía de aplicación del Real Decreto 9/2005.

6.2 NGR calculados para la protección de la salud humana

Los valores NGR calculados según la metodología descrita y basados en los datos de partida seleccionados se presentan en la siguiente tabla, en la que también se muestran los valores de fondo naturales derivados de la campaña de muestreo llevada a cabo por IDOM en la Región de Murcia.

Elemento	Valor de fondo (VR90)	Uso Industrial	Uso Urbano	Otros Usos
	mg/kg			
Antimonio	1,2	5.456	10,68	3,34
Arsénico	13	31,8	3,61	0,79
Bario	290	1.000.000	159.600	3.146
Berilio	1,0	584.000	4.469	434,5
Cadmio	0,37	81.760	2.813	4,37
Cobalto	12,1	613,2	22,83	13,98
Cobre	23	81.760	3.043	223
Cromo (total)	30	1.000.000	1.000.000	412.000
Cromo (VI)	-	3.815	207,9	20,26

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Elemento	Valor de fondo (VR90)	Uso Industrial	Uso Urbano	Otros Usos
	mg/kg			
Estaño	6	1.000.000	45.650	23.430
Manganeso	600	1.000.000	27.610	229,1
Mercurio	0,092	612,3	22,65	0,81
Molibdeno	1,5	10.220	380,4	42,73
Níquel	29	1.000.000	23.004	775,17
Plomo	39	7.358	273,9	113,1
Selenio	2	10.220	380,4	212,5
Talio	5	20,55	0,76	0,68
Vanadio	40	393.100	7.242	1.680
Zinc	68	613.200	22.830	706,7

Tabla 20. NGR para metales calculados para la protección de la salud humana

6.3 NGR ajustados para la protección de la salud humana

Sin embargo, los valores presentados en la tabla anterior no son los NGR finalmente propuestos, puesto que los resultados obtenidos se deben someter a algunos criterios de ajuste establecidos en el Real Decreto 9/2005 y en su Guía de aplicación.

El primero de ellos es que el NGR no puede ser menor que el valor de fondo natural del suelo de la región en cuestión, puesto que esto supondría la consideración de que toda la región tendría que ser investigada para determinar si existe un riesgo inadmisibles. Por lo tanto, en los casos en los que el NGR calculado es menor que el valor natural de fondo derivado, se adopta como NGR el valor natural de fondo.

El segundo criterio es el de contigüidad, por el cual el nivel de referencia para un uso urbano del suelo no podrá ser mayor de 10 veces el nivel de referencia para otros usos del suelo, y el nivel de referencia para un uso industrial del suelo no podrá ser mayor de 10 veces el nivel de referencia de un uso urbano del suelo.

El tercer criterio es el de reducción, por el cual, cuando el NGR sea mayor que 10.000 mg/kg, no se establece un valor numérico, sino que se establece que el NGR es del orden de decenas de gramos o simplemente >10.000 mg/kg.

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Por lo tanto, se han revisado uno por uno los valores NGR calculados y se han aplicado los criterios correspondientes, resultando finalmente que los NGR propuestos para la salud humana son los presentados en la siguiente tabla:

Elemento	Valor de fondo (VR90)	Uso Industrial	Uso Urbano	Otros Usos
	mg/kg			
Antimonio	1,2	110 ⁽²⁾	11	3
Arsénico	13	32	13 ⁽¹⁾	13 ⁽¹⁾
Bario	290	>10.000 ⁽²⁾⁽³⁾	>10.000 ⁽²⁾⁽³⁾	3.146
Berilio	1,0	>10.000 ⁽²⁾⁽³⁾	4.350 ⁽²⁾	435
Cadmio	0,37	400 ⁽²⁾	40 ⁽²⁾	4
Cobalto	12,1	230 ⁽²⁾	23	14
Cobre	23	>10.000 ⁽²⁾⁽³⁾	2.230 ⁽²⁾	223
Cromo (total)	30	>10.000 ⁽²⁾⁽³⁾	>10.000 ⁽²⁾⁽³⁾	>10.000 ⁽³⁾
Cromo (VI)	-	2.000 ⁽²⁾	200	20
Estaño	6	>10.000 ⁽²⁾⁽³⁾	>10.000 ⁽²⁾⁽³⁾	>10.000 ⁽³⁾
Manganeso	600	>10.000 ⁽²⁾⁽³⁾	6.000 ⁽²⁾	600 ⁽¹⁾
Mercurio	0,092	80 ⁽²⁾	8 ⁽²⁾	0,8
Molibdeno	1,5	3.800 ⁽²⁾	380	43
Níquel	29	>10.000 ⁽²⁾⁽³⁾	7.750 ⁽²⁾	775
Plomo	39	2.740 ⁽²⁾	274	113
Selenio	2	3.800 ⁽²⁾	380	212
Talio	5	20	5 ⁽¹⁾	5 ⁽¹⁾
Vanadio	40	>10.000 ⁽²⁾⁽³⁾	7.242	1.680
Zinc	68	>10.000 ⁽²⁾⁽³⁾	7.060 ⁽²⁾	706

(1) Valor de fondo del elemento

(2) En aplicación del criterio de contigüidad

(3) En aplicación del criterio de reducción.

Tabla 21. NGR para metales ajustados para la protección de la salud humana

7. COMPARACIÓN CON LOS NGR DE OTRAS CCAA

A continuación, se muestran tres tablas con una comparativa de los NGR propuestos para la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia con los NGR establecidos en otras CCAA de España.

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”



Región de Murcia

Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería, Pesca y Medio Ambiente
Dirección General de Medio Ambiente



UNIÓN EUROPEA

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Elemento	Uso Industrial (mg/kg)											
	Región de Murcia	Asturias	Aragón	Madrid	País Vasco	Galicia	Andalucía	Cataluña	La Rioja	Cantabria	Extremadura	Navarra
Antimonio	110 ⁽²⁾	295	300 ⁽²⁾	80 ⁽²⁾	-	100	4.700 ⁽²⁾	30 ⁽²⁾	-	290 ⁽²⁾	200 ⁽²⁾	310 ⁽²⁾
Arsénico	32	200	260 ⁽²⁾	40	200	50	40	30 ⁽¹⁾	-	38 ⁽¹⁾	61	32 ⁽¹⁾
Bario	>10.000 ⁽²⁾⁽³⁾	>10000	>10000 ⁽³⁾	>100000 ⁽³⁾	-	1.000	>10000 ⁽³⁾	1.000 ⁽³⁾	54.000	-	-	>10.000
Berilio	>10.000 ⁽²⁾⁽³⁾	205	10 ⁽²⁾	13	-	25	1.450 ⁽³⁾	90	15	-	250 ⁽²⁾	1.110 ⁽²⁾
Cadmio	400 ⁽²⁾	200	100 ⁽²⁾	300 ⁽²⁾	50	20	750	55 ⁽²⁾	700	100 ⁽²⁾	350 ⁽²⁾	90 ⁽²⁾
Cobalto	230 ⁽²⁾	300	1.500	1.500 ⁽²⁾	-	150	250	90	2.500	220 ⁽²⁾	580	230 ⁽²⁾
Cobre	>10.000 ⁽²⁾⁽³⁾	4.000	2.800 ⁽²⁾	8.000 ⁽²⁾	>10.000	200	>10000 ⁽³⁾	1.000 ⁽³⁾	13.500	3.400 ⁽²⁾	7.750 ⁽²⁾	4.500 ⁽²⁾
Cromo (total)	>10.000 ⁽²⁾⁽³⁾	>10000	>10000 ⁽³⁾	2.300 ⁽²⁾	550	300	>10000 ⁽³⁾	1.000 ⁽³⁾	2.300	2.020 ⁽²⁾	640	2.100 ⁽²⁾
Cromo (VI)	2.000 ⁽²⁾	50	2.300 ⁽²⁾	-	15	-	100	25	-	-	-	-
Estaño	>10.000 ⁽²⁾⁽³⁾	>10000	>10000 ⁽³⁾	>100000 ⁽³⁾	-	-	>10000 ⁽³⁾	1.000 ⁽³⁾	-	-	>10.000 ⁽³⁾	>10.000 ⁽³⁾
Manganeso	>10.000 ⁽²⁾⁽³⁾	9.635	>10000 ⁽³⁾	33.900 ⁽²⁾	-	2.000	-	-	33.900	>10.000 ⁽³⁾	>10.000 ⁽³⁾	>10.000 ⁽³⁾
Mercurio	80 ⁽²⁾	100	250 ⁽²⁾	15	40	20 ⁽²⁾	15	30 ⁽²⁾	15	14 ⁽²⁾	15	10 ⁽²⁾
Molibdeno	3.800 ⁽²⁾	600	300 ⁽²⁾	1.500 ⁽²⁾	750	100	3.900 ⁽²⁾	70 ⁽²⁾	-	300 ⁽²⁾	3.500 ⁽²⁾	100 ⁽²⁾
Níquel	>10.000 ⁽²⁾⁽³⁾	6.500	4.000 ⁽²⁾	15.600 ⁽²⁾	800	200	>10000 ⁽²⁾	1.000 ⁽³⁾	15.600	5.200 ⁽²⁾	7.450 ⁽²⁾	5.900 ⁽²⁾
Plomo	2.740 ⁽²⁾	800	2.700 ⁽²⁾	2.700 ⁽²⁾	1.000	500	2.750 ⁽²⁾	550 ⁽²⁾	2.700	2.620 ⁽²⁾	2.600 ⁽²⁾	2.730 ⁽²⁾
Selenio	3.800 ⁽²⁾	2.500	2.000 ⁽²⁾	3.900 ⁽²⁾	-	100	3.900 ⁽²⁾	70 ⁽²⁾	-	-	3.750 ⁽²⁾	200 ⁽²⁾
Talio	20	10	20 ⁽²⁾	30 ⁽²⁾	-	20	2 ⁽²⁾	45 ⁽²⁾	-	-	-	-
Vanadio	>10.000 ⁽²⁾⁽³⁾	1.505	10.000 ⁽³⁾	3.700 ⁽²⁾	-	1.000	3.650 ⁽²⁾	1.000 ⁽³⁾	5.250	3.410 ⁽²⁾	3.800 ⁽²⁾	3.560 ⁽²⁾
Zinc	>10.000 ⁽²⁾⁽³⁾	>10000	>10000 ⁽²⁾	>100000 ⁽³⁾	>10.000	1.000	>10000 ⁽³⁾	1.000 ⁽³⁾	>100.000	>10.000 ⁽³⁾	>100.000 ⁽³⁾	>10.000 ⁽³⁾

(1) Valor de fondo del elemento

(2) En aplicación del criterio de contigüidad

(3) En aplicación del criterio de reducción.

Tabla 22. Comparativa de NGR para uso industrial en distintas CCAA de España

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”



Región de Murcia

Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería, Pesca y Medio Ambiente
Dirección General de Medio Ambiente



UNIÓN EUROPEA

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Elemento	Uso Urbano (mg/kg)											
	Región de Murcia	Asturias	Aragón	Madrid	País Vasco	Galicia	Andalucía	Cataluña	La Rioja	Cantabria	Extremadura	Navarra
Antimonio	11	25	30	8 ⁽²⁾	-	10	470	6 ⁽¹⁾	-	29	20 ⁽²⁾	31
Arsénico	13 ⁽¹⁾	40	26 ⁽¹⁾	24 ⁽¹⁾	30	50	36 ⁽¹⁾	30 ⁽¹⁾	-	38 ⁽¹⁾	61 ⁽¹⁾	32 ⁽¹⁾
Bario	>10.000 ⁽²⁾⁽³⁾	>10.000 ⁽³⁾	8.900	15.200	-	600	>10.000 ⁽²⁾	880	5.400	-	-	6.200 ⁽²⁾
Berilio	4.350 ⁽²⁾	30	1	2 ⁽¹⁾	-	10	145	40	3	-	25	111
Cadmio	40 ⁽²⁾	20	10 ⁽²⁾	30 ⁽²⁾	8	4	75	5,5	70	10 ⁽²⁾	35	9 ⁽²⁾
Cobalto	23	25	150 ⁽²⁾	150 ⁽²⁾	-	50	25	45	250	22	90	23
Cobre	2.230 ⁽²⁾	400	280 ⁽²⁾	800 ⁽²⁾	>10.000	100	3.130	310	1.350	340 ⁽²⁾	775	450 ⁽²⁾
Cromo (total)	>10.000 ⁽²⁾⁽³⁾	>10.000 ⁽³⁾	>10.000 ⁽²⁾	230	200	100	>10.000 ⁽²⁾	1.000 ⁽³⁾	230	202	100	210
Cromo (VI)	200	5	230	-	8	-	20 ⁽¹⁾	10	-	-	-	-
Estaño	>10.000 ⁽²⁾⁽³⁾	>10000 ⁽³⁾	>10000 ⁽³⁾	46.730	-	-	>10.000 ⁽²⁾	1.000 ⁽³⁾	-	-	>10.000 ⁽³⁾	>10.000 ⁽³⁾
Manganeso	6.000 ⁽²⁾	2.135	3.390	3.390	-	1.500	-	-	3.390	8.225	9.105	>10.000 ⁽³⁾
Mercurio	8 ⁽²⁾	10	25	7	4	2	6	3	7	2 ⁽²⁾	6	1
Molibdeno	380	60	30 ⁽²⁾	150 ⁽²⁾	75	10	390	7 ⁽²⁾	-	30 ⁽²⁾	350 ⁽²⁾	10 ⁽²⁾
Niquel	7.750 ⁽²⁾	650	400 ⁽²⁾	1.560	150	100	1.530	470 ⁽²⁾	1.560	520 ⁽²⁾	745	590
Plomo	274	400	270	270	150	100	275	60 ⁽¹⁾	270	262	260	273
Selenio	380	250	200 ⁽²⁾	390	-	10	390	7 ⁽²⁾	-	-	375	20 ⁽²⁾
Talio	5 ⁽¹⁾	1	2	3	-	5	0,2	4,5 ⁽²⁾	-	-	-	-
Vanadio	7.242	190	1.000 ⁽²⁾	370 ⁽²⁾	-	250	365	190	525	341	380	356
Zinc	7.060 ⁽²⁾	4.550	4.200 ⁽²⁾	11.700 ⁽²⁾	>10.000	500	>10.000 ⁽²⁾	650 ⁽²⁾	23.415	2.720 ⁽²⁾	>10.000 ⁽³⁾	2.600 ⁽²⁾

(1) Valor de fondo del elemento

(2) En aplicación del criterio de contigüidad

(3) En aplicación del criterio de reducción.

Tabla 23. Comparativa de NGR para uso urbano en distintas CCAA de España

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”



DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

Elemento	Otros Usos (mg/kg)											
	Región de Murcia	Asturias	Aragón	Madrid	País Vasco	Galicia	Andalucía	Cataluña	La Rioja	Cantabria	Extremadura	Navarra
Antimonio	3	5	3 ⁽¹⁾	0,8	-	6	90	6 ⁽¹⁾	-	3 ⁽¹⁾	2	4 ⁽¹⁾
Arsénico	13 ⁽¹⁾	40	26 ⁽¹⁾	24 ⁽¹⁾	30	50	36 ⁽¹⁾	30 ⁽¹⁾	-	38 ⁽¹⁾	61 ⁽¹⁾	32 ⁽¹⁾
Bario	3.146	1.540	890	4.200	-	400	>10.000 ⁽³⁾	500	2.260	-	-	620 ⁽¹⁾
Berilio	435	20	0,8	2 ⁽¹⁾	-	6	145	10	3	-	20	18
Cadmio	4	2	1	3	5	2	25	2,5	7	1 ⁽¹⁾	4	0,9 ⁽¹⁾
Cobalto	14	25	15 ⁽¹⁾	15	-	40	24 ⁽¹⁾	25 ⁽¹⁾	25	20 ⁽¹⁾	33 ⁽¹⁾	21 ⁽¹⁾
Cobre	223	55	28 ⁽¹⁾	80	>10.000	50	595	90	135	34 ⁽¹⁾	180	45 ⁽¹⁾
Cromo (total)	>10.000 ⁽³⁾	>10.000	1.000	90	200	80	>10.000 ⁽³⁾	400	135	118 ⁽¹⁾	95 ⁽¹⁾	144 ⁽¹⁾
Cromo (VI)	20	2	80 ⁽¹⁾	-	8	-	20 ⁽¹⁾	1	-	-	-	-
Estaño	>10.000 ⁽³⁾	4.360	3.185	46.730	-	-	>10.000 ⁽³⁾	50	-	-	>10.000 ⁽³⁾	2.088
Manganeso	600 ⁽¹⁾	2.135	715 ⁽¹⁾	690 ⁽¹⁾	-	850	-	-	810	1.318 ⁽¹⁾	1.566 ⁽¹⁾	1.336 ⁽¹⁾
Mercurio	0,8	1	0,4	5	4	1	6	2 ⁽¹⁾	6	0,2 ⁽¹⁾	3	0,1
Molibdeno	43	6	3	15	75	7	115	3,5	-	3 ⁽¹⁾	35	1
Níquel	775	65	40	405	110	75	1.530	45 ⁽¹⁾	725	52 ⁽¹⁾	460	59 ⁽¹⁾
Plomo	113	70	45	75	120	100	275	60 ⁽¹⁾	115	58 ⁽¹⁾	110	70 ⁽¹⁾
Selenio	212	25	20	85	-	5	370	0,7	-	-	135	2 ⁽¹⁾
Talio	5 ⁽¹⁾	1	0,1	2	-	1	0,2	1,5 ⁽¹⁾	-	-	-	-
Vanadio	1.680	50	100 ⁽¹⁾	37 ⁽¹⁾	-	120 ⁽¹⁾	50	135 ⁽¹⁾	65	147 ⁽¹⁾	116	163 ⁽¹⁾
Zinc	706	455	420	1.170	>10.000	300	>10.000 ⁽³⁾	170	3.250	272	1.835	271

(1) Valor de fondo del elemento (2) En aplicación del criterio de contigüidad (3) En aplicación del criterio de reducción.

Tabla 24. Comparativa de NGR para otros usos en distintas CCAA de España

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”



8. LIMITACIONES EN EL CÁLCULO DE NGR PARA METALES

A continuación, se presentan algunas consideraciones a tener en cuenta en la utilización de los NGR propuestos y algunas limitaciones asociadas a su cálculo.

- Los NGR determinados son genéricos, es decir, aplicables a las condiciones tipo de exposición consideradas en los cálculos. Por este motivo, en determinados emplazamientos potencialmente contaminados, en los que los parámetros de exposición estén bien caracterizados y difieran significativamente de los empleados para la derivación de estos NGR, la aplicación de los mismos puede no ser apropiada y deberá realizarse una valoración más específica tomando en consideración las condiciones particulares de tales emplazamientos.
- Algunos de los parámetros empleados para el cálculo de los NGR y que condicionan la exposición a la contaminación del suelo se han tomado de estudios e informes realizados en otros ámbitos territoriales (España y Estados Unidos), por lo que no son específicos del ámbito de la Región de Murcia. Si bien se considera que ello no resta validez a los resultados alcanzados, éstos podrían ser matizados en el futuro en caso de que se adquiera información propia de esta zona.
- Los NGR han sido calculados de manera individual para elementos químicos aislados, sin tener en cuenta la posible interacción entre los mismos. Por tanto, en los casos en los que estén presentes varios de estos elementos con efectos toxicológicos similares se deberá efectuar un análisis de riesgos específico y detallado con el fin de determinar los posibles efectos sinérgicos o aditivos de los mismos.
- Los NGR han sido derivados suponiendo una exposición crónica a las sustancias consideradas. De este modo, no se han tenido en cuenta los efectos agudos provocados por una exposición a corto plazo a altas concentraciones de un determinado elemento.
- En el caso concreto de la vía de exposición de consumo de vegetales cultivados en suelos contaminados, dentro del escenario de Otros usos del suelo, las principales incertidumbres derivadas de los modelos de cálculo conciernen a uno de los factores de mayor importancia en el establecimiento de riesgos, como es la disponibilidad o movilidad. Un parámetro particularmente afectado es el coeficiente de partición de los metales (K_p) en los suelos. El cálculo del coeficiente de partición para metales es más complejo que para compuestos orgánicos, porque en estos últimos el componente fundamental de la adsorción es la presencia de carbono orgánico (y de arcilla), mientras



Región de Murcia

Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería, Pesca y Medio Ambiente
Dirección General de Medio Ambiente

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

que, para metales, además del % de materia orgánica y % de arcilla, hay otras muchas condiciones (pH, Eh, % óxidos de Fe y Al, capacidad de intercambio de cationes, presencia de iones mayoritarios, etc.). Esto justifica las grandes diferencias del Kp encontradas en la bibliografía, de varios órdenes de magnitud en algunos casos, para un mismo metal. En el caso de los NGR calculados en este trabajo, se han revisado los valores de Kp utilizados y se ha constatado que son datos fiables publicados por fuentes reconocidas internacionalmente, pero tal vez no se ajusten expresamente a las especificidades de los suelos de la Región de Murcia.

- Las incertidumbres se producen, también, en el cálculo de los niveles de referencia por ingesta de alimentos vegetales, debido a que un parámetro fundamental, el Índice de bioacumulación, depende también de las relaciones suelo-planta, es decir varía para cada tipo de suelo y también por cada especie vegetal. Según esto, la aplicación de los modelos convencionales propuestos permitiría obtener una primera aproximación que, sólo a partir de datos empíricos obtenidos en la Región de Murcia podría ser validada o corregida.



9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADRIANO, D.C. (2001). Trace elements in the terrestrial environment: biogeochemistry, bioavailability and risk of metals, 2nd edn. New York: Springer.

Consejería de Fomento, Ordenación del territorio y Medio ambiente del Principado de Asturias, Universidad de Oviedo, 2013. “Niveles Genéricos de Referencia para la protección de la salud humana y los ecosistemas de metales pesados en suelos en el Principado de Asturias”.

Consejería de Medio ambiente y Desarrollo sostenible de la Xunta de Galicia, 2009. “Niveles Genéricos de Referencia de metales pesados en suelos y otros elementos traza en suelos de Galicia”.

DEFRA & Environmental Agency (2002). Assessment of Risks to Human Health from land Contamination: An Overview of the Development of Guideline Values and Related Research, R&D Publ.CLR7. Dissemination Centre, WRc plc, Swindon, Wilts.

DOGC- Generalitat de Catalunya (2006). Orden de 9 de Febrero. Niveles Genéricos de Referencia (NGR)

DG Water - Guidance Document for Sediment Assessment. Ministry of Infrastructure and the Environment - DG Water.

EGMASA, 2010. “Datos de parámetros toxicológicos y físico-químicos válidos para la evaluación de riesgos en suelos potencialmente contaminados en la Comunidad Autónoma Andaluza. Cálculos de NGR para elementos traza.”

IGME. Instituto Geológico de España. Cartografía Geocientífica. Visor documental.

IHOBE, 1998. Investigación de la Contaminación del Suelo. Valores Indicativos de Evaluación (VIE-A, VIE-B, VIE-C). Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente. Gobierno Vasco.

Ministerio de Medio Ambiente, 2007. “Guía Técnica de aplicación del RD 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados”.

Ministerio de Educación y Ciencia, Instituto Geológico y Minero de España, 2009. “Determinación de Niveles de Fondo y Niveles Genéricos de Referencia para metales en suelos de la Comunidad Autónoma de Aragón”.



Región de Murcia

Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería, Pesca y Medio Ambiente
Dirección General de Medio Ambiente

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

RIVM (2001). Technical Evaluation of the Intervention Values for Soil/Sediment and groundwater. RIVM Report 711701023. National Institute of Public health and ten Environment, Bilthoven, The Netherlands.

RIVM (2004). Guidance for deriving Dutch Environmental Risk Limits from EU-Risk Assessment Reports of existing substances. Report 601501020/2004.

U.S. EPA, 2001. Supplemental Guidance for Developing Soil Screening Levels for Superfund Sites. OSWER 9355.4-24. Office of Solid Waste and Emergency Response. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, D.C.

U.S. EPA, 1996. Soil Screening Guidance: Technical Background Document. EPA/540/R-95/128. Office of Solid Waste and Emergency Response. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, D.C.

U.S. EPA (2011). Exposure Factors Handbook:2011 edition. EPA/600/R-09/052F. National Center for Environmental Assessment. Office of Research and Development.

U. S. EPA (1991). Risk Assessment Guidance for Superfund. Vol. I: Human Health Evaluation Manual. Supplemental Guidance “Standard Default Exposure Factors”

U.S. EPA. (2001). Integrated Risk Information System (IRIS).



Región de Murcia

Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería, Pesca y Medio Ambiente
Dirección General de Medio Ambiente

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

ANEXO 1

PLANOS

Metales pesados y otros elementos traza en los suelos de la
Comunidad Autónoma de la

Región de Murcia



Región de Murcia

Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería, Pesca y Medio Ambiente
Dirección General de Medio Ambiente

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

ANEXO 2

ACTAS DE LABORATORIO

Metales pesados y otros elementos traza en los suelos de la
Comunidad Autónoma de la

Región de Murcia

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”



Región de Murcia

Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería, Pesca y Medio Ambiente
Dirección General de Medio Ambiente

DOCUMENTO 1: Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos.

ANEXO 3

TABLAS DE RESULTADOS ANALÍTICOS

Metales pesados y otros elementos traza en los suelos de la
Comunidad Autónoma de la

Región de Murcia

Fondo Europeo de Desarrollo Regional: “Una manera de hacer Europa”