

## ESTUDIO DE SUELOS CONTAMINADOS SECTOR PP-4 "CÁRCAVAS ESTE"

Alcorcón (Madrid)

PROPIEDAD:  
COMISIÓN GESTORA DEL SECTOR 4 "CÁRCAVAS ESTE"  
Julio 2004

Arnaiz CONSULTORES, S.L.  
*Departamento de Medio Ambiente*

INFORMADO FAVORABLEMENTE  
POR DECRETO DE LA CONCEJALA  
DE URBANISMO DE 24.01.05  
ALCORCON 24.01.05  
EL OFICIAL MAYOR

## ÍNDICE

<b>1. Introducción .....</b>	<b>3</b>
1.1. Marco legal.....	3
1.2. Objetivos .....	4
<b>2. Metodología .....</b>	<b>4</b>
2.1. Caracterización ambiental.....	5
2.2. Área de interés .....	6
2.3. Análisis histórico de los usos del suelo .....	7
2.4. Modelo conceptual .....	10
2.4.1. Mecanismo de transporte. Escorrentía superficial .....	11
2.4.2. Mecanismo de transporte. Escorrentía subterránea.....	12
2.5. Vulnerabilidad a la contaminación del acuífero .....	13
<b>3. Diseño del muestreo .....</b>	<b>18</b>
<b>4. Resultados de las analíticas .....</b>	<b>21</b>
<b>5. Interpretación de los resultados .....</b>	<b>23</b>
<b>6. Evaluación de riesgos.....</b>	<b>30</b>
<b>7. Conclusiones .....</b>	<b>31</b>

APROBADO DEFINITIVAMENTE  
POR ACUERDO DE PLENO  
DE 25.05.05  
ALCORCON 09-06-06  
EL OFICIAL MAYOR



INFORMADO FAVORABLEMENTE  
POR DECRETO DE LA CONCEJALA  
DE URBANISMO DE 24.01.05  
ALCORCON 24.01.05  
EL OFICIAL MAYOR



## 1. Introducción

La realización del Plan Parcial para desarrollar el denominado Sector PP-4 (Cárcavas Este), se produce a partir de la aprobación, por la Comisión de Urbanismo de la Comunidad de Madrid el día 14 de Enero de 1999 y de acuerdo con la Resolución de 5 de Febrero de 1999, publicada en el B.O.C.M. el 22 de Marzo de 1999, del Plan General de Ordenación Urbana de Alcorcón.

El ámbito del Sector PP-4 objeto de desarrollo urbanístico mediante un Plan Parcial, está clasificado en el Planeamiento vigente del año 1999 como Suelo Urbanizable, calificado en su mayor parte como suelo industrial y comercial.

La cercanía de dicho Sector al municipio de Madrid, la existencia de numerosas vías de comunicación (N-V, M-40, M-501, etc.) y el predominio de polígonos industriales y grandes superficies comerciales en la zona de estudio, justifican la propuesta de calificación industrial y comercial del Sector-4 (Cárcavas Este).

La realización del presente estudio de contaminación de suelos se justifica por el uso previsto de tipo industrial que se plantea en el Plan Parcial.

### 1.1. Marco legal

A nivel nacional, la legislación medioambiental en materia de suelos contaminados está recogida en la Ley 10/1998 Básica de Residuos.

En dicha ley, se define como un suelo contaminado a "todo aquel cuyas características físicas, químicas o biológicas han sido alteradas negativamente por la presencia de componentes peligrosos de origen humano, en concentración tal que comporte un riesgo para la salud humana o el medio ambiente, de acuerdo con los criterios o estándares que se determinen por el gobierno".

En el contexto de la Comunidad de Madrid, el régimen jurídico de los suelos contaminados es regulado por el Decreto 326/1999, de 18 de noviembre, que reglamenta el régimen jurídico de los suelos contaminados. En dicho Decreto, en su Disposición Transitoria 1<sup>ª</sup> se especifica, que para declarar un suelo como contaminado debe concurrir la siguiente circunstancia: haberse producido o producirse una movilización de contaminantes en las aguas, el suelo o la atmósfera que alteren sustancialmente las características físico-químicas existentes en el entorno natural del emplazamiento.

El marco legal para la redacción de este informe es la Ley 16/2002, de Prevención y Control Integrados de la Contaminación, que para el caso del desarrollo urbanístico de zonas industriales, implica determinar su estado ambiental. Se trata de marcar un 'blanco ambiental', es decir, definir la calidad inicial del suelo sobre el que se va a desarrollar la actividad propuesta. De modo que pueda contarse con una información preoperacional, que permita identificar los elementos más vulnerables del mismo, así como que sirva de base de comparación en el caso de que ocurran con posterioridad episodios de contaminación.

APROBADO DEFINITIVAMENTE  
POR ACUERDO DE PLENO  
DE 25/03/05  
ALCORCON 09-06-06  
EL OFICIAL MAYOR

APROBADO DEFINITIVAMENTE  
POR DECRETO DE LA CONCEJALA  
DE URBANISMO DE 24.01.05  
ALCORCON 24.01.05  
EL OFICIAL MAYOR

La prevención de la contaminación constituye el eje básico que debe centrar la mayor parte de los esfuerzos de gestión ambiental, entendiendo que la preservación de los suelos en todos sus usos es la base de un desarrollo sostenible. La actuación preventiva y, en general, la protección del suelo, debe orientarse según el principio de multifuncionalidad, es decir, conservar el suelo para que pueda ejercer todas sus funciones. Debe, asimismo, ir encaminada a la caracterización de espacios susceptibles de ser contaminados, como consecuencia de las actividades actuales o de futura implantación.

## 1.2. Objetivos

Se trata de definir la calidad inicial del suelo, con el fin de definir el 'blanco ambiental' del Sector objeto de ordenación. De modo que se puedan cumplir los objetivos planteados en el Plan Regional de Actuaciones en Materia de Suelos Contaminados de la Comunidad de Madrid (2001-2006).

En dicho Plan, se especifica que la política de suelos contaminados de la Comunidad de Madrid tiene dos objetivos principales: a) la protección de la salud humana y del ecosistema; b) la protección de los recursos (desarrollo sostenible).

## 2. Metodología

Se ha realizado una caracterización detallada del Sector PP-4 de Alcorcón, en relación con la naturaleza, concentración y extensión de las potenciales fuentes de contaminación, con el fin de proporcionar los datos necesarios para la evaluación correcta de los riesgos derivados de la situación descrita, y finalmente, si es necesario, poder establecer el sistema o sistemas más idóneos para el tratamiento de la contaminación existente, caso de que existiera, así como la recuperación del suelo para usos determinados, en caso de ser esto último necesario.

En la primera etapa del estudio, se ha realizado la descripción del emplazamiento, así como de su entorno. Se han tratado aspectos tales como: situación geográfica; vegetación; contexto geológico; litología; hidrología; hidrogeología.

Seguidamente, se llevó a cabo una campaña de campo realizada, tanto en el sector PP-4, como en su entorno próximo. La amplitud del radio de estudio, se definió tomando como criterio la determinación de los límites de la subcuenca hidrográfica, en el que se encuentra ubicada el emplazamiento estudiado, así como de las correspondientes divisorias piezométricas.

Posteriormente, se llevó a cabo un análisis histórico de los usos del suelo. Esta fase tiene como objetivo principal definir las fuentes potenciales de contaminación, ya sean de origen difuso o puntual, y en consecuencia, determinar los contaminantes que de un modo u otro podrían llegar a afectar a los 'receptores', entendiendo por tales a: la salud humana, los ecosistemas y otros compartimentos ambientales.

A continuación, se realizó un modelo conceptual del emplazamiento en el que se determinaron los mecanismos de transporte de contaminantes. Asimismo, el número de contaminantes potenciales fue acotado, mediante la realización de un estudio de la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero existente en la zona.

APROBADO DEFINITIVAMENTE  
POR ACUERDO DE PLENO  
DE 25.05.05  
ALCORCON 09-06-06  
EL OFICIAL MAYOR

APROBADO FAVORABLEMENTE  
POR DECRETO DE LA CONCEJALA  
DE URBANISMO DE 24.01.05  
ALCORCON 24.01.05  
EL OFICIAL MAYOR

Sobre la base del análisis histórico realizado, así como del modelo conceptual creado, se diseñó la campaña de muestreo para su posterior tratamiento analítico.

La fase siguiente, consistió en la interpretación y examen de los datos analíticos obtenidos en el Centro de Espectrometría Atómica de la Universidad Complutense de Madrid. Las analíticas obtenidas, se compararon con los valores de fondo y de referencia definidos para la Comunidad de Madrid.

Los resultados derivados de las etapas anteriores fueron interpretados con el fin de conformar un informe, que sirvió para realizar una evaluación de riesgos del Sector PP-4.

Finalmente, dado que no se encontraron evidencias de contaminación, tanto a nivel del suelo como de las aguas subterráneas, no se considero necesario estudiar la alternativa de tratamiento más viable, tanto desde un punto de vista económico como medioambiental.

## 2.1. Caracterización ambiental

La zona de estudio se localiza al Suroeste del municipio de Madrid, en los denominados *Llanos del Suroeste* dentro del término municipal de Alcorcón. Toda la zona se encuentra muy influenciada por la actividad antrópica, factor que ha provocado la degradación ambiental de todo el entorno.

La zona de actuación propuesta (Sector PP-4) se encuentra integrada en una serie de actuaciones previstas dentro de la revisión del Plan General de Ordenación Urbana de Alcorcón. De hecho, el Sector PP-4 se encuentra limitado al Norte por la *Subsanación del P.G.O.U de Alcorcón* (uso previsto residencial unifamiliar y multifamiliar), al Oeste el Sector PP-6, (uso previsto industrial y terciario), y al Sur los Sectores PP-5 (uso previsto industrial y comercial) y *Parque Oeste* (uso previsto comercial y terciario).

La fisiografía de la zona se define por el dominio de la *Depresión* y la unidad de la *Divisoria* que separa las cuencas hidrográficas de los ríos Guadarrama y Jarama. Un rasgo aplicable al área de estudio es la ausencia de pendientes significativas.

La litología predominante se compone de arcosas y arcillas. Son materiales con una porosidad media, lo que permite la existencia de formaciones hidrogeológicas de interés. De hecho, en la zona de actuación se localiza el acuífero de Madrid que es el más importante de la Comunidad Autónoma.

La zona de estudio se encuentra dentro del Sistema Acuífero Nacional nº 14 (ITGE), denominado Terciario Detrítico de Madrid-Toledo-Cáceres. En esta unidad se pueden distinguir varias subunidades en función del contenido en materiales finos (arcillas), de manera que la zona de estudio se engloba en la subunidad 6a, que es la de mayor permeabilidad. Existen tres pozos inventariados, dos de ellos se dedican a abastecimiento y agricultura, mientras que el tercero no se utiliza.

El Sector PP-4 se localiza en la cuenca hidrográfica del Tajo e incluido en la divisoria de los ríos Guadarrama y Manzanares. El único cauce que se observa en el área de estudio se localiza en la zona central con una dirección N-S y un desnivel de 7 metros en los 300 metros de recorrido por el Sector PP-4. Se trata de un curso de agua esporádico cuyo funcionamiento se limita a episodios de fuertes tormentas o en periodos de lluvias frecuentes (otoño e invierno).

APROBADO DEFINITIVAMENTE  
POR ACUERDO DE P. ENO  
DE ALCORCÓN  
Nº 08/05  
INFORMADO FAVORABLEMENTE  
POR DECRETO DE LA CONCEJALA  
DE URBANISMO DE 24.01.05  
ALCORCON 24.01.05  
EL OFICIAL MAYOR

En el Sector PP-4, predominan los Luvisoles, siendo uno de los tipos de suelo de mayor representación y extensión dentro de la Comunidad de Madrid.

La vegetación potencial de la zona estaría representada por encinares de ombroclima seco (*Quercus rotundifolia*). En la actualidad, estas formaciones no están presentes en la zona de estudio, siendo la única vegetación arbórea existente la incluida dentro de fincas colindantes al Sector PP-4. El resto de la zona está ocupada por cultivos de secano y eriales, procedentes del progresivo abandono de los cultivos.

El clima correspondiente a la zona de estudio es de tipo Mediterráneo templado-seco. La estación meteorológica más cercana de la que se han tomado los datos es la de Alcorcón "F. Fuentecisneros", situada a 680 m. de altitud y con coordenadas 40°20'20"N, 03°51'17"W. Los datos corresponden a temperatura y precipitación para un periodo de tiempo de 30 años (1961-1990).

La precipitación media anual es de 476,1 mm. Estacionalmente se aprecian las fluctuaciones típicas del clima mediterráneo, así la pluviometría media durante el invierno es de 127,4 mm; 131,2 mm en primavera; 47,7 mm en verano y 169,8 mm en otoño.

Respecto a las temperaturas, la media anual es de 13,9 °C y puede apreciarse en los datos la oscilación de temperatura a lo largo del año, correspondiendo al invierno y otoño las temperaturas más bajas (6,8 °C y 9,8 °C, respectivamente) y a la primavera y verano las más altas (15,8 °C y 23 °C, respectivamente).

## 2.2. Área de interés

La subcuenca hidrológica superficial, donde se encuentra ubicado el Sector PP-4, se ha definido a partir de la cartografía digital a escala 1:5.000 del área. Dicha cartografía ha sido tratada en un Sistema de Información Geográfica (SIG), sobre la aplicación informática IDRISI 32, con el fin de adecuarla a los requerimientos del software SURFER 8, donde se ha llevado a cabo la interpolación de los datos, para generar un modelo digital de elevaciones (MDE) del Sector, así como de su entorno.

Posteriormente, el MDE generado fue exportado a IDRISI 32, donde a su vez fue reexportado a formato Arcraster, con el objetivo de que el archivo creado pudiera ser abierto en ArcVIEW 3.2.a., donde se activó la extensión HEC-GeoHMS, que entre otras aplicaciones permite delimitar cuencas hidrográficas a partir de un MDE.

Para la delimitación de la cuenca hidrológica subterránea, se utilizó la información existente en el inventario de puntos de agua realizado por el Instituto Geológico y Minero de España (I.G.M.E). Así, partiendo de las coordenadas UTM especificadas para cada pozo, así como de sus correspondientes niveles piezométricos, se llevó a cabo la interpolación de la superficie piezométrica en SURFER 8.

Seguidamente, se utilizó la extensión HEC-GeoHMS de ArcView 3.2 a, para aplicar de modo cualitativo la ley de Darcy, así, se determinaron los límites de la subcuenca hidrogeológica.

Para el caso que nos ocupa, se ha considerado como 'área de interés' la que queda dentro de los límites de la subcuenca hidrográfica que drena al Sector PP-4. Sin embargo, en este trabajo no se ha considerado la subcuenca hidrogeológica para delimitar el área de estudio, ya que ocupa una superficie que excede los objetivos de este trabajo.

APROBADO DEFINITIVAMENTE  
POR ACUERDO DE F. C. O.  
DE 25.05.05.  
ALCORCON 05.05.05  
EL OFICIAL MA. O.  
APROBADO FAVORABLEMENTE  
POR DECRETO DE LA CONCEJALA  
DE URBANISMO DE 24.01.05  
ALCORCON 24.01.05  
EL OFICIAL MAYOR

Finalmente, destacar que se han ampliado los límites del área de estudio aguas abajo del Sector PP-4, con el fin de determinar la incidencia sobre los 'receptores' de las actividades, que se han desarrollado históricamente en dicho Sector, así como en su área de influencia.

### 2.3. Análisis histórico de los usos del suelo

Se ha realizado un análisis histórico de los usos del suelo del Sector PP-4, el cual no se ha limitado únicamente al perímetro de dicho sector. Por el contrario, se ha extendido hasta unos límites fijados, de acuerdo con los criterios hidrológicos explicados en el epígrafe anterior.

Desde un punto de vista temporal, se han estudiado los vuelos del año 1956, a escala 1/33.000, así como el del año 2001, este último a escala 1/18.000. Asimismo, se ha tenido en cuenta el desarrollo urbanístico previsto para el Sector PP-4.

Esta fase tiene como objetivos básicos; por un lado, definir las fuentes potenciales de contaminación, ya sean éstas de origen difuso o puntual, por el otro, determinar qué contaminantes pueden en un momento dado afectar a los 'receptores'.

Sobre la base de estudio fotogramétrico realizado en la foto aérea perteneciente al vuelo del año 1956, se ha podido determinar que la ocupación del suelo existente en el Sector PP-4, así como en su área de influencia, era básicamente de tipo agrícola.

En consecuencia, la fuente potencial de contaminación sería de origen difuso o no puntual. Dadas las actividades que se derivan de la actividad señalada, se puede afirmar que el uso de abonos jugaba un papel fundamental como compuesto con capacidad potencial para contaminar los suelos. Debido al carácter soluble de nitratos y fosfatos, el compartimento ambiental susceptible de ser contaminado serían las aguas subterráneas.

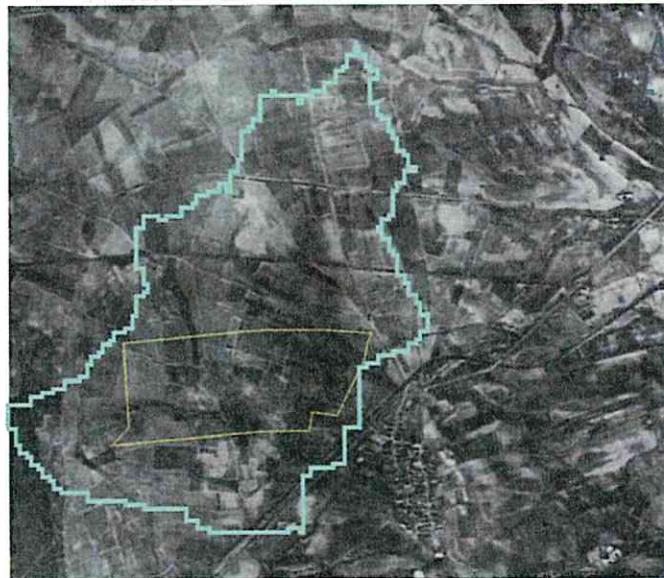


Figura 1. Año 1956. Ocupación del suelo en el Sector PP-4

DECLARATIVAMENTE  
POR ACUERDO DE PLENO  
DE 25.05.05  
ALCORCON 09-06-05  
OFICIAL MAYOR



INFORMADO FAVORABLEMENTE  
POR DECRETO DE LA CONCEJALA  
DE URBANISMO DE 24.01.05  
ALCORCON 24.01.05  
EL OFICIAL MAYOR



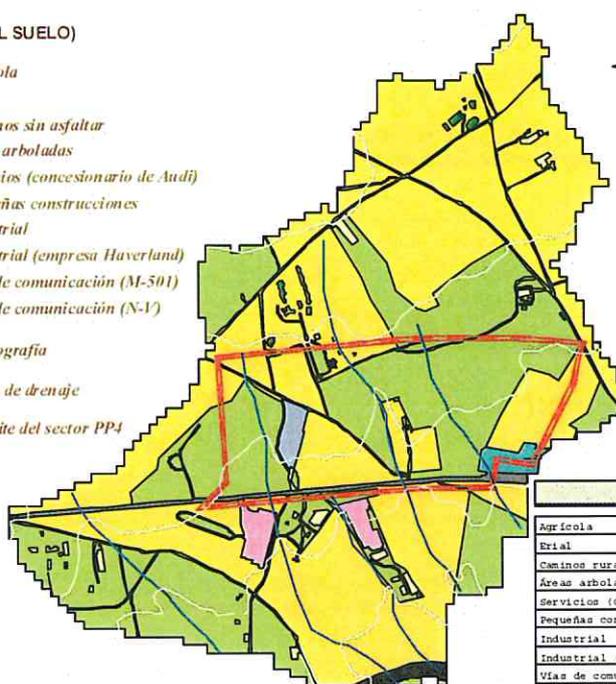
Con fecha de 2002, el área de estudio presenta un abandono parcial de la superficie que tradicionalmente se había dedicado a la actividad agrícola. Así, se alternan parcelas cultivadas con eriales. Por otro lado, el sector se encuentra atravesado por un camino principal llamado “de las Viñas”, que desde el Noroeste llega hasta la carretera M-501, ésta a su vez, coincide con el límite Sur del Sector PP-4. El sector se encuentra en la actualidad prácticamente desocupado, salvo por la presencia de pequeñas construcciones tipo chabola (al Norte) y una nave de la empresa Haverland (al Oeste), que se dedica a la fabricación de radiadores domésticos. Aguas abajo del emplazamiento estudiado, la distribución espacial de los usos es similar, aunque hay mayor número de naves industriales. Por último, la autovía de Extremadura (Nacional V) cruza el límite Sur del área de estudio (Figuras 2 y 3).



Figura 2. Foto aérea del sector estudiado, escala 1/18,000 (aereo 2001)

INFORMADO FAVORABLEMENTE  
POR DECRETO DE LA CONCEJALA  
DE URBANISMO DE 24.01.05  
ALCORCON 24.01.05  
EL OFICIAL MAYOR

LEYENDA (USOS DEL SUELO)



300 0 300 600 Metros

Usos	Hectáreas
Agrícola	72.101
Erial	46.168
Caminos rurales	3.436
Áreas arboladas	0.346
Servicios (Concesionario de Audi)	0.925
Pequeñas construcciones	1.314
Industrial	1.851
Industrial (empresa Haverland)	0.771
Vías de comunicación (M-501)	1.418
Vías de comunicación (N-V)	0.664

Figura 3. Ocupación del suelo en el Sector PP-4, así como en su área de influencia

En términos relativos, la ocupación del suelo en la zona delimitada es la siguiente: agricultura, 56%; erial, 37%; industrial, 2%; vías de comunicación (M-501 y N-V); áreas arbolada, 0,3%. En lo que al Sector PP-4 se refiere, la distribución espacial de los usos es la que sigue: agricultura, 37%; erial, 54 %; caminos rurales, 2,5%; vías de comunicación (M-501), 2,5%; industrial (empresa Haverland) 2,2%; concesionario de AUDI, 1,6%; pequeñas construcciones, 0,2%.

En consecuencia, habría dos fuentes potenciales de contaminación de origen difuso, que estarían asociadas, por un lado, al uso de abonos químicos en la agricultura, y por el otro, a la contaminación que se deriva el tráfico existente en la M-501 y en la N-V, como consecuencia de la dispersión atmosférica de los contaminantes generados por la combustión de gasolinas. Respecto a las potenciales fuentes de contaminación de origen puntual, la única que se detectó fue un depósito con capacidad para almacenar 20.000 litros de combustible perteneciente a la empresa HAVERLAND. Según testimonio del responsable de medio ambiente de la empresa, las dimensiones del mismo, así como las condiciones de emplazamiento cumplen con las normas existentes al respecto. Destacar, asimismo, que el depósito se encontraba enterrado en el interior de la instalación bajo un solado de hormigón. En este caso, los contaminantes potenciales serían hidrocarburos totales.

En cuanto al Sector PP-4 "Cárcavas Este" (Figura 4), clasificado como Suelo Urbanizable de Uso Industrial y de Servicios. Las principales características del Sector son:

- La superficie total del Sector PP-4 es de 282.793 m<sup>2</sup>.
- La edificabilidad total será de 115.945 m<sup>2</sup>.

INFORMADO FAVORABLEMENTE  
POR DECRETO DE LA CONCEJALA  
DE URBANISMO DE 24.01.05  
ALCORCON 24.01.05  
EL OFICIAL MAYOR

- La superficie industrial será de 147.909 m<sup>2</sup>, de los que 113.626 m<sup>2</sup> serán edificables.
- La superficie dedicada a uso comercial será de 1.547 m<sup>2</sup>, y la superficie edificable 2.319 m<sup>2</sup>.
- La superficie reservada para zonas verdes y espacios libres será de 40.581 m<sup>2</sup> y para equipamientos de 27.828 m<sup>2</sup>.
- El viario comprenderá 62.996 m<sup>2</sup> entre viario local, general y supramunicipal.

En la siguiente tabla se resumen las características expuestas:

SECTOR PP-4 (ALCORCÓN)	SUPERFICIE (m <sup>2</sup> )
Viario	62.996
Equipamiento social	27.828
Uso comercial	1.547
Uso industrial	147.909
Zonas verdes	40.581

Fuente: Plan Parcial Sector PP-4 (Alcorcón)

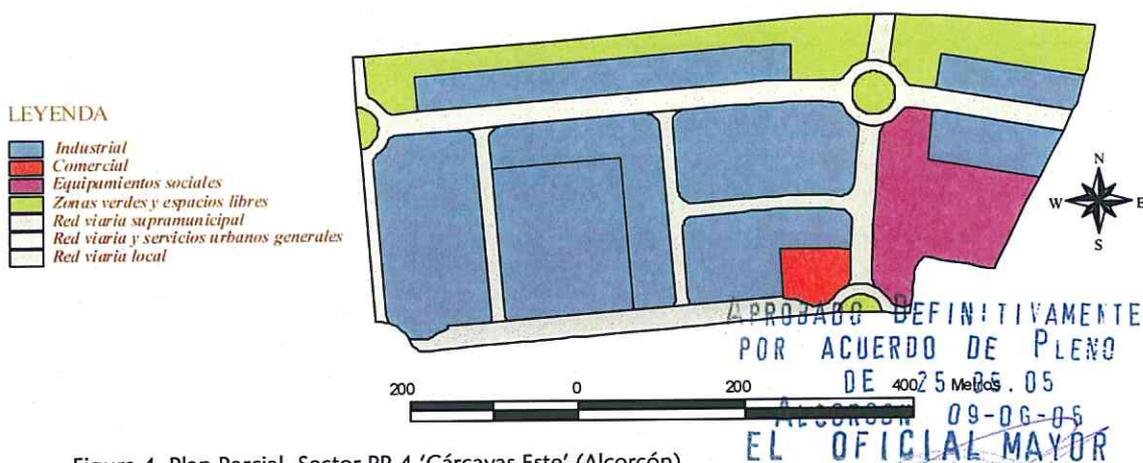


Figura 4. Plan Parcial. Sector PP-4 'Cárcavas Este' (Alcorcón)

El desarrollo del Sector PP-4, tal como está previsto, permite asumir que las fuentes potenciales de contaminación serán las que se deriven de las actividades de tipo industrial que se implanten en el sector. En consecuencia, se ha considerado que el 'blanco ambiental', consiste en determinar la presencia de metales pesados en el suelo.

## 2.4. Modelo conceptual

Un modelo conceptual es una simplificación de las condiciones reales geológicas, hidrológicas e hidrogeológicas que incluye, en relación a los objetivos planteados, los aspectos esenciales del sistema que está siendo caracterizado.

El modelo conceptual propuesto no se ha limitado únicamente al área que ocupa el sector que está siendo caracterizado, por el contrario, se ha extendido hasta unos límites que permiten asegurar que el Sector evaluado queda perfectamente caracterizado, de acuerdo a los objetivos inicialmente planteados. Generalmente, estos límites coinciden con el de la subcuenca en la que se encuentra ubicado el Sector.

Partiendo del análisis histórico de los usos del suelo, se han determinado las sustancias contaminantes que pudieran estar presentes en el medio, así como sus respectivas fuentes potenciales de contaminación, tanto las existentes dentro del área que está siendo evaluada, como también otras, que aún encontrándose fuera de los límites de la misma, puedan o hayan podido contaminar el emplazamiento. Junto con el inventario de las fuentes de contaminación, se han simulado los patrones de escorrentía, tanto superficial como subterránea, pues son mecanismos de transporte que pueden hacer llegar contaminantes a los 'receptores'. Asimismo, se ha determinado la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero, mediante la implementación del método empírico DRASTIC. De este modo se pudo acotar el número de sustancias contaminantes definidas en la etapa de análisis histórico de los usos del suelo. Finalmente, se han determinado las vías de exposición, es decir, el modo en el que una sustancia tóxica entra en contacto con una persona: ingestión, inhalación, dérmica, etc.

#### 2.4.1. Mecanismo de transporte. Escorrentía superficial

Cuando se supera el umbral de escorrentía, el agua al drenar actúa como medio de transporte, entre otras, de determinadas sustancias químicas que por sus características constituyen un peligro para los 'receptores'.

Se ha caracterizado el patrón de escorrentía superficial del emplazamiento, con el fin de determinar si hay 'receptores' afectados por las actividades que se desarrollan en el Sector PP-4, así como en su entorno.

Un modelo de escorrentía superficial consiste en realizar un mapa de circulación preferente de la escorrentía (Figura 8), a partir del modelo digital de elevaciones (MDE), en el que cada 'pixel' o 'celda' del modelo lleva asociada información espacial, que indica su posicionamiento mediante coordenadas geográficas, así como su valor de cota. La delimitación de la red hidrológica se ha hecho con la extensión de Arcview HEC-GeoHMS.

En síntesis el proceso consta de cinco etapas: 1) relleno de huecos; 2) dirección de flujo; 3) flujo acumulado; 4) definición de los cauces; 5) delimitación de cuencas.

En la etapa de relleno de huecos, se eliminan las inconsistencias del modelo, con tal fin, el programa busca todas las 'depresiones' ficticias existentes en el MDE, donde el agua podría acumularse y en consecuencia no drenar.

Para definir las 'direcciones de flujo', el programa determina el patrón de drenaje entre 'píxeles', según la dirección de máxima pendiente.

En la fase de 'flujo acumulado' se especifica el número de 'píxeles' que drenan a uno determinado. Para delimitar los cauces del área objeto de evaluación, se establece un umbral de acción sobre la capa de información creada en la etapa anterior.

APROBADO FAVORABLEMENTE  
POR ACUERDO DE PLENO  
DE 25.05.05  
ALCORCON 06-05  
EL OFICIAL MAYOR

INFORMADO FAVORABLEMENTE  
POR DECRETO DE LA CONCEJALA  
DE URBANISMO DE 24.01.05  
ALCORCON 24.01.05  
EL OFICIAL MAYOR

#### 2.4.2. Mecanismo de transporte. Escorrentía subterránea

Partiendo de las medidas de niveles piezométricos llevadas a cabo por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), se ha realizado la interpolación de los datos, con objeto de obtener la superficie piezométrica del área de estudio.

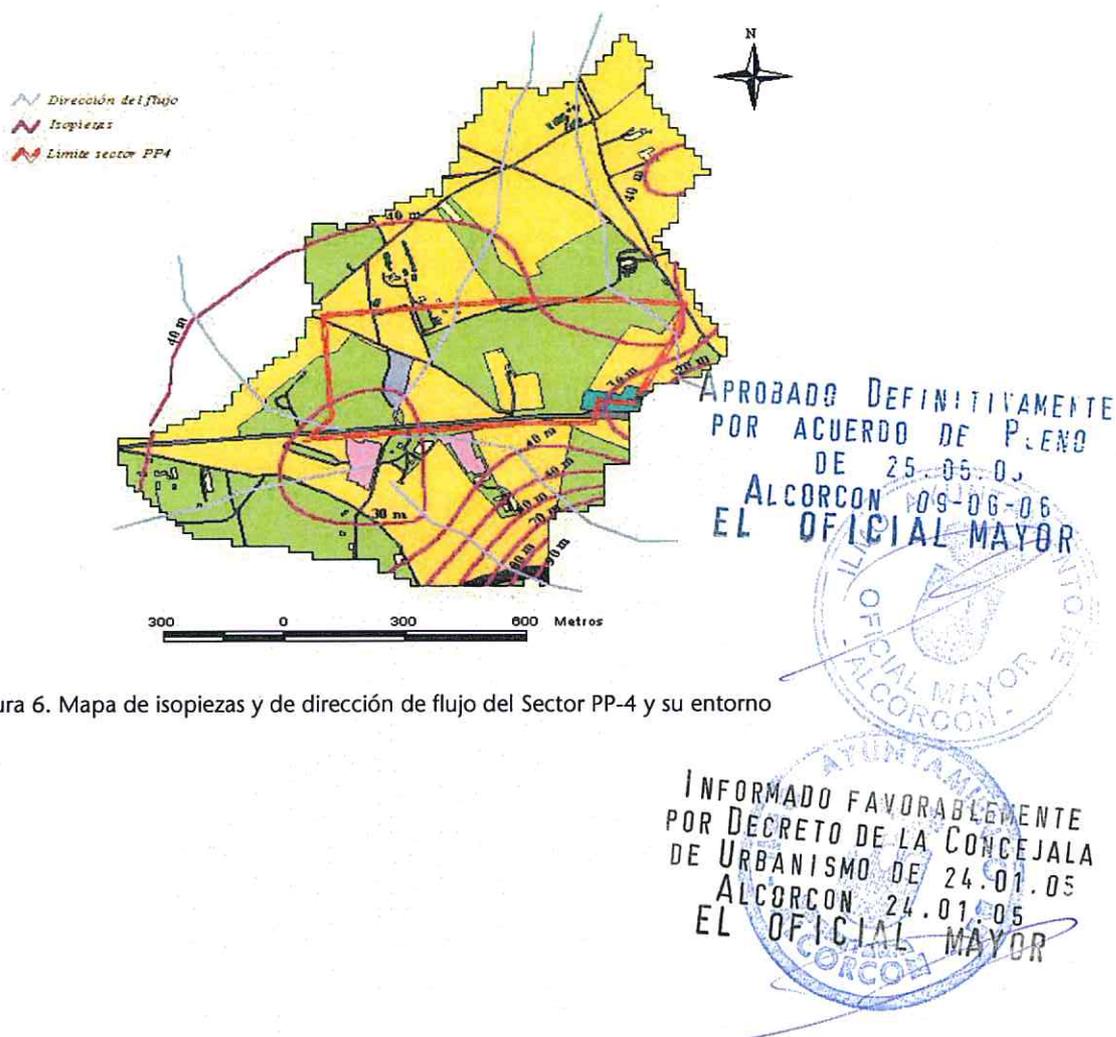


Figura 6. Mapa de isopiezas y de dirección de flujo del Sector PP-4 y su entorno

Sobre la aplicación informática SURFER 8, se ha implementado el método de interpolación Krigging, al cual se le ha asociado un variograma de tipo lineal, por ser el que mejor se ajustaba a los datos disponibles.

Una vez definida la superficie piezométrica, la dirección de flujo se determinó aplicando el concepto de gradiente (Figura 6).

## 2.5. Vulnerabilidad a la contaminación del acuífero

Se ha determinado la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero sobre el que se encuentra ubicado el Sector PP-4, mediante la aplicación del modelo DRASTIC. Este modelo fue desarrollado por el Laboratorio de Investigación Ambiental Robert S. Kerr en el año 1985, que a su vez está adscrito a la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos.

El modelo se basa en la utilización de siete factores hidrológicos, que se consideran relevantes a la hora de estimar la vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación. Cada uno de los parámetros o factores, se clasifican de acuerdo a un orden de características, en el que los extremos determinan las situaciones más y menos favorables para que tenga lugar la contaminación, esto se expresa numéricamente mediante el uso de un índice que varía entre 1 y 10. Asimismo, a cada factor se le asigna un peso, que es función de su importancia relativa. Los pesos, se sitúan en un rango que oscila entre 1 y 5. Los siete factores son los que a continuación se enumeran y describen:

Profundidad del nivel piezométrico (D); cuanto mayor es la profundidad del nivel piezométrico, más eficaces son las reacciones bioquímicas (dispersión, oxidación, atenuación natural, etc), que sufren los contaminantes, ya que se incrementa el tiempo de infiltración hasta alcanzar el acuífero. En consecuencia, cuanto mayor es la profundidad del nivel piezométrico, menor es la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación.

Nivel piezométrico (metros)

Rango	Índice
0-2	10
2-5	9
5-10	7
10-16	5
16-25	3
25-33	2
> 33	1

APROBADO DEFINITIVAMENTE  
POR ACUERDO DE P.F.N.O.  
DE 25.05.05  
ALCORCON 09-06-05  
EL OFICIAL MAYOR

INFORMADO FAVORABLEMENTE  
POR DECRETO DE LA CONCEJALA  
DE URBANISMO DE 24.01.05  
ALCORCON 24.01.05  
EL OFICIAL MAYOR

Recarga neta (R); es la cantidad de agua por unidad de área de suelo que percola al acuífero. Es el medio de transporte principal de los contaminantes al acuífero. Así, cuanto mayor es la recarga de un acuífero, mayor es también la probabilidad de que el acuífero se contamine.

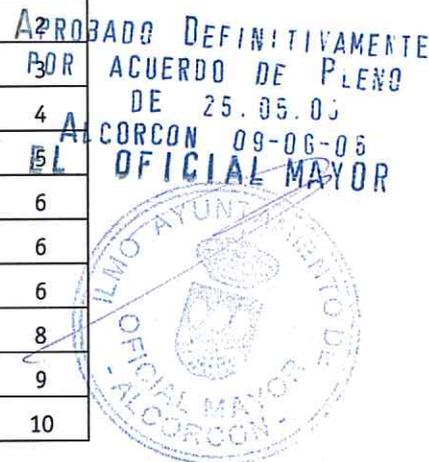
**Recarga neta**

Rango	Índice
0-50	1
50-100	3
100-175	6
175-250	8
>250	9

Geología del acuífero (A); Las características geológicas del acuífero condiciona su permeabilidad. Así, a mayor tiempo de viaje del contaminante a través del acuífero, mayor atenuación de la toxicidad del contaminante, pues se incrementa la efectividad de las reacciones bioquímicas que actúan sobre el mismo.

**Geología del acuífero**

Rango	Índice
Arcilla masiva	1
Rocas ígneas/metamórficas	3
Rocas ígneas/metamórficas meteorizadas	4
Till glaciar	5
Areniscas estratificadas, calizas y esquistos	6
Areniscas masivas	6
Calizas masivas	6
Arenas y gravas	8
Basaltos	9
Calizas carstificadas	10



**Suelo (S);** El suelo es la capa superior de la zona vadosa / no saturada y se caracteriza por una significativa actividad biológica. Esto junto con las características hidrogeológicas del acuífero, determina la cantidad de agua que percola hasta alcanzar la superficie piezométrica. Asimismo, los suelos con una proporción significativa en limos y arcillas, tienen mayor capacidad para almacenar agua, reteniendo durante más tiempo los contaminantes en el suelo.

#### Suelo

Rango	Índice
Residual o ausente	10
Gravas	10
Arenas	9
Turba	8
Agregados de arcilla	7
Areno limoso	6
Limo arcilloso	4
Arcillo limoso	3
Arcilla sin agregados	1

**Topografía (pendiente) (T);** Cuanto mayor es la pendiente del terreno, menor es la susceptibilidad de un acuífero a la contaminación, ya que la escorrentía superficial es más efectiva y en consecuencia se minimiza la infiltración.

#### Topografía (porcentaje)

Rango	Índice
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
>18	1

APROBADO DEFINITIVAMENTE  
POR ACUERDO DE PLENO  
DE 25.05.05  
ALCORCON 09-06-05  
EL OFICIAL MAYOR



INFORMADO FAVORABLEMENTE  
POR DECRETO DE LA CONCEJALA  
DE URBANISMO DE 24.01.05  
ALCORCON 24.01.05  
EL OFICIAL MAYOR



**Influencia de la zona vadosa (I);** Es la zona que se encuentra entre el horizonte edáfico y la superficie piezométrica. Técnicamente es más correcto definirla como zona no saturada. La distribución textural del material que define la zona no saturada, determina la movilidad del contaminante en este compartimento hidrogeológico.

**Influencia de la zona vadosa**

Rango	Índice
Capa confinante	1
Limo/arcilla	3
Esquisto/Pizarra	3
Rocas ígneas/metamórficas	4
Caliza	6
Arenisca	6
Caliza estratificada, arenisca, arcilla	6
Arenas y gravas con niveles alternantes de limos y arcillas	6
Arenas y gravas	8
Basalto	9
Calizas carstificadas	10

**Conductividad hidráulica (C);** La conductividad hidráulica o permeabilidad efectiva se define como el caudal que es capaz de atravesar una sección unitaria del acuífero, normal al flujo, bajo un gradiente piezométrico unitario. Así, la movilidad de los contaminantes en el acuífero es directamente proporcional a la permeabilidad efectiva del medio.

**Conductividad hidráulica**

Categoría	Rango	Índice
Calizas carstificadas	$10^{-8}$ - $10^{-3}$	10
Gravas	$1$ - $10^{-3}$	8
Arenas limpias	$10^{-2}$ - $10^{-6}$	7
Arenas limosas	$10^{-2}$ - $10^{-7}$	6
Limos	$10^{-5}$ - $10^{-9}$	6
Areniscas	$10^{-6}$ - $10^{-10}$	6
Calizas y dolomías	$10^{-6}$ - $10^{-10}$	4
Rocas ígneas y metamórficas fracturadas	$10^{-12}$ - $10^{-8}$	4

APROBADO DEFINITIVAMENTE  
POR ACUERDO DE PLENO  
DE 25.05.05

ALCORCON 09-06-05  
EL OFICIAL MAYOR



INFORMADO FAVORABLEMENTE  
POR DECRETO DE LA CONCEJALA  
DE URBANISMO DE 24.01.05  
ALCORCON 24.01.05  
EL OFICIAL MAYOR

El índice DRASTIC, se determina mediante el sumatorio del producto entre el índice y el peso asociado a cada factor:

$$DRASTIC = D_i D_p + R_i R_p + A_i A_p + S_i S_p + T_i T_p + I_i + I_p + C_i C_w$$

El resultado obtenido tras aplicar el modelo, permite clasificar el acuífero en cuatro categorías, en función de su vulnerabilidad a ser contaminado, éstas son: baja (1-100) media (101-140), alta (141-200), muy alta (>200).

De la aplicación del modelo al Sector PP-4, se han derivado los resultados siguientes.

De acuerdo con la información existente en el inventario de puntos de agua realizado por el IGME. En el Sector PP-4 existen tres pozos, dos de ellos se dedican a abastecimiento y agricultura, mientras que el tercero está en desuso. Los niveles piezométricos medidos varían entre 30 y 47 metros (tabla1).

Municipio	UTM-X	UTM-Y	Cota (m)	Nivel piezométrico (m)	Uso
Alcorcón	428967	4468216	703	47	No se utiliza
Alcorcón	428616	4468143	705	39	Abastec. y agricul.
Alcorcón	428315	4468045	702	30	Abastec. y agricul.

Tabla1. Niveles piezométricos en los pozos existentes en el Sector PP-4

Los niveles piezométricos existentes, determinan la situación más desfavorable a la ocurrencia de contaminación. En consecuencia, el índice correspondiente a este factor es de 1, habiéndosele asignado un peso de 4.

Respecto a la recarga, según López Vera & Llamas (1975), el valor medio anual de la recarga en el acuífero de Madrid oscila entre 40-100 mm. A este rango, le corresponde un índice de 3. A este factor se le ha asignado un peso de 3.

Litológicamente, el acuífero está formado por arenas arcósicas feldespáticas con abundante matriz limo arcillosa. Dado que esta categoría no aparece reflejada en el factor geología del acuífero, se ha asimilado a la categoría areniscas masivas, que tiene un índice de 6. El peso asignado fue de 3.

Los análisis texturales realizados en las muestras de suelo tomadas del Sector PP-4, lo definen como franco arcillo arenoso. Dentro del factor suelo (S), se le ha asignado la categoría areno limoso, que presenta un índice de 6. El peso asignado fue 1.

La pendiente está dentro del intervalo 2-6%, correspondiéndole un índice de 9. A este factor se le asignó un peso de 1.

A la zona 'vadosa' le corresponde la categoría arenas y gravas con niveles alternantes de arcilla. Presenta un índice de 6, siendo su peso 4.

Respecto a la conductividad hidráulica del acuífero, autores como López Vera, asignan al detrítico de Madrid un valor de permeabilidad efectiva de 4,10-2 m/día, correspondiéndole un índice de 6. El peso asignado fue de 3.

La integración de cada uno de los factores, así como de sus correspondientes índices y pesos en el modelo, definió un valor de vulnerabilidad a la contaminación igual a 88, que permite clasificar al acuífero como de baja vulnerabilidad a la contaminación.

APROBADO DEFINITIVAMENTE  
POR ACUERDO DE PLENO  
DE 24.01.05  
EL OFICIAL MAYOR

APROBADO DEFINITIVAMENTE  
POR DECRETO DE LA CONCEJALA  
DE URBANISMO DE 24.01.05  
ALCORCON  
EL OFICIAL MAYOR

### 3. Diseño del muestreo

El muestreo se diseñó, de acuerdo con las potenciales fuentes de contaminación existentes en el Sector PP-4 (Figura 7). Se han considerado, tanto las de origen puntual como difuso. Asimismo, se tuvo en cuenta el futuro ordenamiento del sector, con el fin de marcar un blanco ambiental, es decir, definir la calidad inicial del suelo sobre el que se vayan a desarrollar las actividades previstas.

En cuanto a las fuentes de origen difuso, del análisis histórico de usos del suelo, se derivan dos fuentes potenciales de contaminación de origen difuso, que estarían asociadas, por un lado, al uso de abonos químicos en la agricultura, y por el otro, a la contaminación que se deriva del tráfico existente en la M-501 y en la N-V, como consecuencia de la dispersión atmosférica de los contaminantes generados por la combustión de gasolinas, básicamente metales pesados.

En consecuencia, los contaminantes potenciales son los que se derivan del uso de abonos, básicamente nitratos y fosfatos, así como metales pesados.

A este respecto, no se consideró necesario tomar muestras de agua de los pozos existentes en el sector, ya que la actividad agrícola no supone un peligro relevante para el acuífero, tal como se ha demostrado con la aplicación del modelo DRASTIC.

En cuanto a las fuentes puntuales, únicamente se constató la existencia de un depósito de combustible perteneciente a la empresa HAVERLAND. Sin embargo, se desechó la posibilidad de tomar una muestra en el entorno del tanque, debido a que el depósito se encontraba enterrado en el interior de la instalación, bajo un solado de hormigón. Según testimonio del responsable de medio ambiente de la empresa, las dimensiones del depósito, así como las condiciones de emplazamiento del mismo cumplen con las normas preceptivas. En contrapartida, se obtuvo una muestra superficial en las proximidades de la nave industrial, con el fin de caracterizar el área de influencia de la instalación.

En el resto del sector, una vez quedo constatado tras el análisis previo de la información e inspección ocular del emplazamiento, la inexistencia de indicios de contaminación se procedió a la toma de cinco muestras superficiales, situadas todas ellas en las áreas que se van a dedicar a uso industrial. De las cinco muestras, se realizaron analíticas en tres de ellas, para determinar el contenido en metales pesados.

La toma de muestras, se llevó a cabo con una máquina marca Tecoinsa, que realiza ensayos de penetración dinámica DPSH y borros. Este modelo posee un adaptador, para extraer muestras en profundidad en modo testigo, el cual tiene unas dimensiones de 35 mm de diámetro por 500 mm de longitud (Fotos 1 y 2).

Todas las muestras se han extraído a una profundidad de 0,3 metros, ya que los valores de fondo y referencia de la Comunidad de Madrid se refieren a la capa de suelo que se extiende entre la superficie hasta una profundidad de 0,2 metros.

APROBADO DEBIDAMENTE  
POR ACUERDO DE PLENO  
DE 25.05.05  
ALCORCÓN 06-06  
OFICIAL MAYOR  
INFORMADO FAVORABLEMENTE  
POR DECRETO DE LA CONCEJALA  
DE URBANISMO DE 24.01.05  
ALCORCÓN 24.01.05  
EL OFICIAL MAYOR

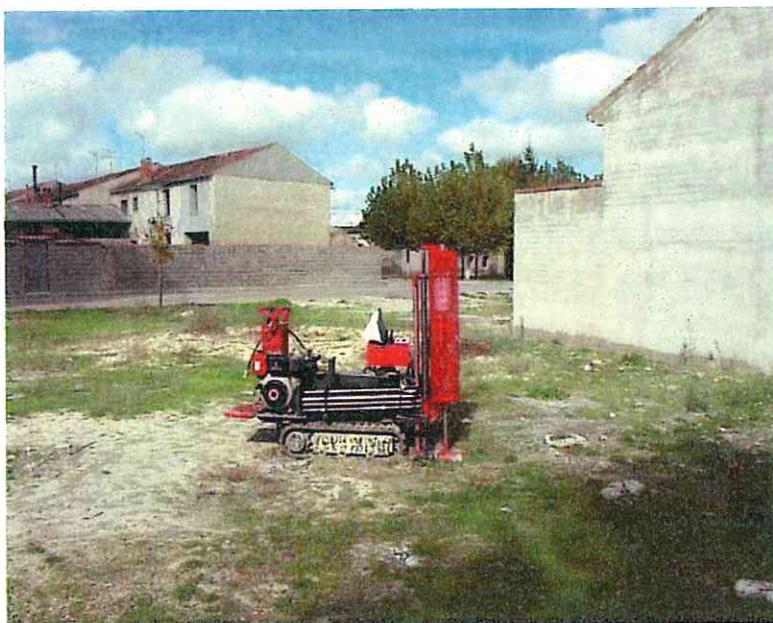


Foto 1. Maquina utilizada para la extraccion de las muestras

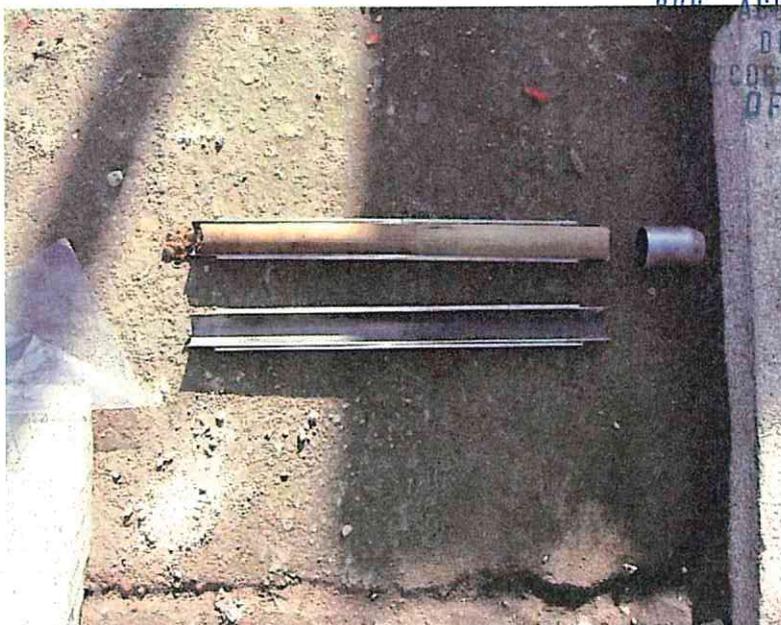


Foto 2. Toma muestras utilizado

APROBADO DEFINITIVAMENTE  
POR ACUERDO DE PLENO  
DE 25.05.05  
ALCORCON 09-06-05  
OFICIAL MAYOR



INFORMADO FAVORABLEMENTE  
POR DECRETO DE LA CONCEJALA  
DE URBANISMO DE 24.01.05  
ALCORCON 24.01.05  
EL OFICIAL MAYOR



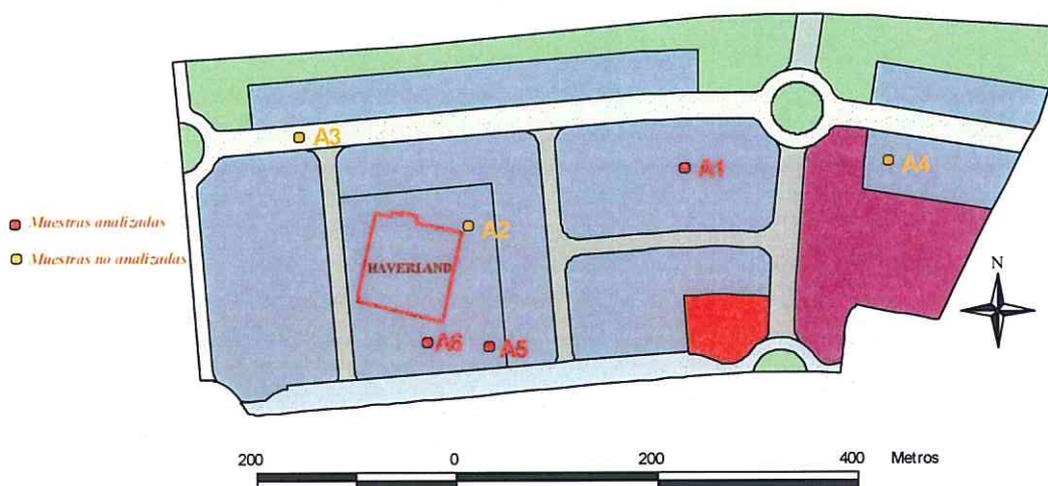


Figura 7. Localización de los puntos de muestreo

APROBADO DEFINITIVAMENTE  
 POR ACUERDO DE PLENARIO  
 DE 25.05.05  
 ALCORCON 09-06-05  
 EL OFICIAL MAYOR



INFORMADO FAVORABLEMENTE  
 POR DECRETO DE LA CONCEJALA  
 DE URBANISMO DE 24.01.05  
 ALCORCON 24.01.05  
 EL OFICIAL MAYOR

## 4. Resultados de las analíticas

Del total de seis muestras extraídas, se analizaron tres. Por un lado, se midieron los parámetros característicos del suelo: pH, contenido en materia orgánica, arcilla y textura. Por el otro, se cuantificó el contenido en metales pesados, pues se consideró que básicamente éstos, definen el 'blanco ambiental' del desarrollo propuesto.

Todas las analíticas, se realizaron en el Centro de Espectrometría Atómica de la Universidad Complutense de Madrid (UCM), con la única excepción del análisis textural, que se llevó a cabo en el laboratorio de geotecnia, perteneciente al Departamento de Geodinámica de la UCM.

La distribución textural de cada una de las muestras se obtuvo siguiendo el Método de Robinson (tabla 2)

Muestra	Peso (grs)	Are. total Amer. 2-0,05 mm	Are M. gruesa 1-0,5	Are. gruesa 1-0,5	Are. media 0,5-0,2	Are. fina 0,2-0,1	Are fina 0,1-0,05	Limo ISSS 0,02-0,002	Arcilla <0,002	Arena M. fina 0,05-0,02	Limo+ Ar.M. Fino (Lim. Amer 0,05-0,002	Are. total ISSS 2-0,02	Clas. Textu. (USDA)
A-1	19,5	49,9 %	7,0 %	12,2 %	14,0 %	9,5 %	7,0 %	11,2 %	30,5 %	8,4 %	15,4 %	58,3 %	FRANCO ARCILLOSO ARENOSO
A-5	19,8	81,2 %	6,5 %	18,7%	29,0 %	18,1 %	8,9 %	0,5 %	8,3 %	10,0 %	10,5 %	91,2 %	ARENOSO FRANCO
A-6	19,6	60,3 %	11,0%	16,9%	17,9 %	9,2 %	5,3 %	11,4 %	25,0 %	3,3 %	14,7 %	63,6%	FRANCO ARCILLOSO ARENOSO

Tabla 2. Distribución textural de las muestras

El resto de parámetros del suelo se han obtenido utilizando las técnicas siguientes: pH mediante potenciometría; conductividad, a partir de conductimetría; por último, el contenido en materia orgánica, se ha determinado mediante la técnica de volumetría de oxidación-reducción (Tabla 3)

	Fecha inicio/Fin Análisis	A-1	A-5	A-6
Materia Orgánica (%)	04-12-02/04-12-02	0,50 ± 0,03	0,28 ± 0,01	0,14 ± 0,01
pH (u de pH)	26-11-02/02-12-02	7,71 ± 0,09 (21,2°C)	7,97 ± 0,09 (21,3°C)	7,88 ± 0,09 (21,6°C)
Conductividad (25°C) (µS cm <sup>-1</sup> )	26-11-02/02-12-02	56,7 ± 3,5	114 ± 7	68,9 ± 4,3

Tabla 3. Caracterización del resto de parámetros del suelo

Por último, en lo que al contenido en metales pesados se refiere, las analíticas se han realizado mediante Espectrometría de Emisión Atómica por Plasma de Acoplamiento Inductivo.

INFORMADO FAVORABLEMENTE  
POR EL PLAZO DE LA URBANIZACIÓN DE LA ZONA DE  
ALCORCON 24.01.05  
EL OFICIAL MAYOR

Inductivo (ICP-AES) y Espectrometría de Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-MS). Esta última se ha utilizado para aquellos elementos, como el cadmio y el cobre, cuyos límites de detección están por debajo del nivel de resolución de la ICP-AES (Tabla 4).

	Fecha inicio/Fin Análisis	A-1	A- 5	A-6
As ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	21-11-02/ 05-12-02	$10,8 \pm 0,5$	<3,00	$4,86 \pm 0,24$
Cd ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	21-11-02/05-12-02	0,14	0,13	0,08
Co ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	21-11-02/05-12-02	$4,44 \pm 0,22$	$2,09 \pm 0,10$	$3,29 \pm 0,16$
Cr ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	21-11-02/05-12-02	$20,2 \pm 1,0$	$15,0 \pm 0,8$	$26,3 \pm 1,9$
Cu ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	21-11-02/05-12-02	<4,00	<4,00	<4,00
Ni ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	21-11-02/05-12-02	$8,54 \pm 0,43$	$2,63 \pm 0,13$	$3,94 \pm 0,20$
Pb ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	21-11-02/05-12-02	$43,8 \pm 1,3$	$60,1 \pm 1,8$	$26,5 \pm 0,8$
Zn ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	21-11-02/05-12-02	$57,9 \pm 1,7$	$23,8 \pm 0,7$	$39,6 \pm 1,2$

Tabla 4. Contenido en metales pesados

APROBADO DEFINITIVAMENTE  
POR ACUERDO DE F. ENO  
DE 25.05.05  
ALCORCON 09-06-05  
EL OFICIAL MAYOR



INFORMADO FAVORABLEMENTE  
POR DECRETO DE LA CONCEJALA  
DE URBANISMO DE 24.01.05  
ALCORCON 24.01.05  
EL OFICIAL MAYOR



## 5. Interpretación de los resultados

En países como España, en los que los estándares de calidad del suelo, que definen a un suelo como contaminado aún están en período de revisión, se suele hacer referencia a los estándares holandeses, para evaluar el grado de afección provocado por la presencia de un determinado contaminante en el subsuelo.

Tomando como referencia la normativa desarrollada en Holanda, en España se han diseñado diferentes estrategias. Así, en la Comunidad Autónoma del País Vasco, la Sociedad Pública de Gestión Medioambiental (IHOBE), ha desarrollado una "Propuesta para el Plan Director de Protección del Suelo", que indica los valores máximos admisibles para una serie de compuestos, en función de los usos del suelo. Asimismo, en el año 1996 la Conselleria de Industria de la Xunta de Galicia determinó los estándares de calidad para los suelos gallegos. Igualmente, la Junta de Residus (Generalitat de Catalunya) ha desarrollado los criterios de calidad del suelo en Cataluña, basado en un análisis cuantitativo del riesgo, el cual es función del escenario de exposición y uso del suelo. Se consideraron dos usos principales; industrial y no industrial.

Con fecha de 2002, la Comunidad Autónoma de Madrid, en colaboración con el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), editó un trabajo en el que se definen los valores de fondo y referencia de metales pesados y elementos traza en suelos de la Comunidad de Madrid.

En este estudio, se han utilizado los estándares de calidad estipulados en cada una de las normas anteriores.

- Norma holandesa.

La norma holandesa se basa en criterios humano-toxicológicos, es decir, define la cantidad de un determinado compuesto que puede ser ingerido de forma diaria sin que se produzcan efectos negativos para la salud humana; y en criterios eco-toxicológicos, o lo que es lo mismo, la cantidad de un determinado compuesto que puede afectar negativamente a más de un 50 % de las especies de un hábitat específico.

- Dicha norma se basa en dos valores:

- Valor Holandés Objetivo (DTV); que representa el nivel por debajo del cual un determinado compuesto no supone un riesgo para la salud humana o para el medio ambiente.
- Valor Holandés de Intervención (DIV); se define cuando la concentración de un determinado compuesto sobrepasa el DTV para este compuesto en el suelo o en las aguas subterráneas, en estas circunstancias, se deberá llevar a cabo el saneamiento del subsuelo afectado, para establecer la urgencia de las obras de descontaminación, generalmente, se requiere de un estudio detallado para determinar los riesgos concretos para la salud humana y para los ecosistemas. Los DIV se aplican cuando la extensión de la contaminación excede los 25 m<sup>2</sup> de suelo o 100 m<sup>3</sup> de agua subterránea.

APROBADO DEFINITIVAMENTE  
P.F.N.O.  
DE 25.05.05  
ALCORCON 09-06-03  
EL OFICIAL MAYOR  
INFORMADO FAVORABLEMENTE  
POR DECRETO DE LA CONCEJALA  
DE URBANISMO DE 24-01-05  
ALCORCON 24.01.05  
EL OFICIAL MAYOR

Si la concentración detectada de un compuesto químico supera el nivel determinado (IL) definido por  $(DTV + DIV) / 2$ , se deberá llevar a cabo un estudio detallado para determinar si el saneamiento del subsuelo es necesario. (Ver tabla). (NOTA: ld = límite de detección).

Los DIV y DTV han sido desarrollados para un tipo de suelo "estándar", que contiene un 10% de materia natural orgánica (MNO) y un 25% de arcilla. Los DIV y DTV tienen que ser corregidos si las condiciones del emplazamiento investigado varían de forma significativa de las del suelo "estándar". Cuando los contenidos en MO y arcilla son más bajos que en el suelo "estándar", los contaminantes tienen una movilidad mayor en el subsuelo y los DIV y DTV correspondientes son menores.

La corrección para compuestos inorgánicos tiene en cuenta tanto la materia orgánica como el contenido en arcilla. La fórmula de corrección es la siguiente:

$$DIV_{cor} = DIV_{est} \times \frac{A + B \times \%arcilla + C \times \%MNO}{A + B \times 25 + C \times 10}$$

donde:

$DIV_{cor}$  = DIV corregido para las condiciones específicas del emplazamiento

$DIV_{est}$  = DIV para suelo "estándar"

A, B y C = factores de corrección específicos para cada compuesto (Tabla 5).

% arcilla = contenido en arcilla del suelo del emplazamiento (mínimo de 2%)

%MO = materia natural orgánica del emplazamiento (mínimo del 2%, máximo del 30%)

El DTV se calcula sustituyendo el  $DIV_{est}$  por el  $DTV_{est}$ .

Debido a que el contenido en materia orgánica de las muestras es inferior al 2% (tabla 3), no se ha aplicado el factor de corrección definido con anterioridad.

Compuesto	Factor de Corrección		
	A	B	C
Arsénico	15	0.4	0.4
Bario	30	5	0
Cadmio	0.4	0.007	0.021
Cromo	50	2	0
Cobalto	2	0.28	0
Cobre	15	0.6	0.6
Plomo	50	1	1
Mercurio	0.2	0.0034	0.0017
Molibdeno	1	0	0
Níquel	10	1	0
Zinc	50	3	0

Tabla 5. Factores de corrección específicos para cada compuesto

APROBADO DEFINITIVAMENTE  
POR ACUERDO DE PLENO  
DE 25.05.05

ALCORCON 09-06-05  
EL OFICIAL MAYOR

INFORMADO FAVORABLEMENTE  
POR DECRETO DE LA CONCEJALA  
URBANISMO DE 24.01.05  
ALCORCON 24.01.05  
EL OFICIAL MAYOR

Las concentraciones en metales pesados de cada una de las muestras tomadas en el Sector PP-4, están en todos los casos, por debajo de los valores objetivo y de intervención para suelos, definidos en la actual norma holandesa (Tabla 6).

	A-1	A-5	A-6	Valor objetivo	Valor de intervención
As ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	$10,8 \pm 0,5$	$<3,00$	$4,86 \pm 0,24$	29	55
Cd ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	0,14	0,13	0,08	0,8	12,0
Co ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	$4,44 \pm 0,22$	$2,09 \pm 0,10$	$3,29 \pm 0,16$	20	240
Cr ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	$20,2 \pm 1,0$	$15,0 \pm 0,8$	$26,3 \pm 1,9$	100	380
Cu ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	$<4,00$	$<4,00$	$<4,00$	36	190
Ni ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	$8,54 \pm 0,43$	$2,63 \pm 0,13$	$3,94 \pm 0,20$	35	210
Pb ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	$43,8 \pm 1,3$	$60,1 \pm 1,8$	$26,5 \pm 0,8$	85	530
Zn ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	$57,9 \pm 1,7$	$23,8 \pm 0,7$	$39,6 \pm 1,2$	140	720

Tabla 6. Comparación de los valores objetivo y de intervención (definidos según norma holandesa), con las concentraciones en metales pesados determinados en el Sector PP-4

### Norma IHOBE

En el País Vasco, la Sociedad Pública de Gestión Medioambiental (IHOBE), desarrolló en el año 1998 una "Propuesta para el Plan Director de la Protección del Suelo", que indica los valores máximos admisibles para una serie de compuestos, en función de los usos del suelo.

Se establecieron tres niveles: VIE – A, VIE – B y VIE – C. Donde el nivel VIE – A o nivel de referencia, es el valor estimado a partir de la concentración natural de cada elemento en el suelo. Define el valor bajo el cual no existe riesgo de contaminación; el nivel VIE- B marca el límite inferior de aceptabilidad del riesgo. Una concentración entre el nivel VIE – A y VIE – B, supone un suelo con sus condiciones naturales alteradas, pero que no presenta riesgos para la salud o el medio ambiente; por último, el nivel VIE – C representa la máxima concentración tolerable; su superación indica un grave riesgo para la salud y los ecosistemas, exigiendo una intervención inmediata. Una concentración superior al nivel VIE – B, e inferior a VIE – C, indica que el suelo está contaminado. El riesgo que se derive de la contaminación dependerá de las características del emplazamiento, así como del uso que se le vaya a dar al suelo, debiendo evaluarse si éste es aceptable o no.

La comparación de las concentraciones en metales pesados determinadas en cada muestra de suelo, con los estándares de calidad definidos en la propuesta IHOBE, da como resultado que en todos los casos, los valores obtenidos están por debajo de los niveles VIE-B definidos para los usos propuestos en el Plan Parcial del Sector PP-4 (Tabla 7).

INFORMADO FAVORABLEMENTE  
POR DECRETO DE LA CONCEJALA  
DE URBANISMO DE 24.01.05  
ALCORCON 24.01.05  
EL OFICIAL MAYOR

	A-1	A-5	A-6	Uso Infantil VIE-C	Residencial/ Parque (VIE-B)	Industrial (VIE-B)	Agrícola (VIE-B) PH<7 PH>7	
As ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	10,8 $\pm$ 0,5	<3,00	4,86 $\pm$ 0,24	30	30	200		
Cd ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	0,14	0,13	0,08	15	50	100	1	3
Co ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	4,44 $\pm$ 0,22	2,09 $\pm$ 0,10	3,29 $\pm$ 0,16	(3)	(3)	(3)		
Cr ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	20,2 $\pm$ 1,0	15,0 $\pm$ 0,8	26,3 $\pm$ 1,9	200	700	1300	100	150
Cu ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	<4,00	<4,00	<4,00	7500	(2)	(1)	50	210
Ni ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	8,54 $\pm$ 0,43	2,63 $\pm$ 0,13	3,94 $\pm$ 0,20	200	700	1300	30	112
Pb ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	43,8 $\pm$ 1,3	60,1 $\pm$ 1,8	26,5 $\pm$ 0,8	150	500	1000	40	330
Zn ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	57,9 $\pm$ 1,7	23,8 $\pm$ 0,7	39,6 $\pm$ 1,2	(2)	(2)	(1)	106	1200

Tabla 7. Comparación del estándar de calidad vasco, con las concentraciones en metales pesados determinados en el Sector PP-4

Se consideró no consistente la derivación de un valor basado en los efectos sobre la salud para este uso (contaminante no prioritario para la salud humana).

El valor derivado sobrepasa la decena de miles de ppm ( $\text{mg kg}^{-1}$  suelo).

No se derivaron valores por ausencia de datos, o ausencia de evidencias de efectos.

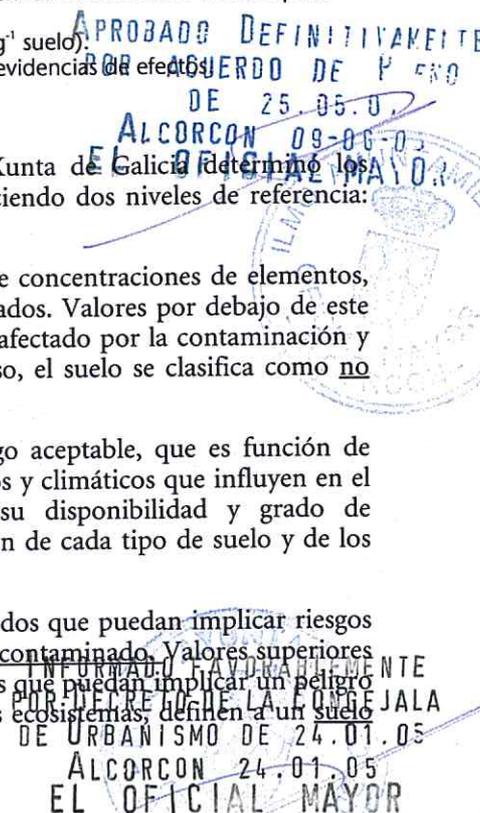
### Norma Gallega

En el año 1996, la Consellería de Industria de la Xunta de Galicia determinó los estándares de calidad para los suelos gallegos, estableciendo dos niveles de referencia: nivel 1 y nivel 2.

El nivel 1 representa el límite superior del intervalo de concentraciones de elementos, que se encuentran en los suelos naturales no antropizados. Valores por debajo de este límite, permiten afirmar que el suelo no se encuentra afectado por la contaminación y en consecuencia, el riesgo es despreciable. En este caso, el suelo se clasifica como no contaminado.

El nivel 2 se define como el límite superior de riesgo aceptable, que es función de factores locales, tales como factores edáficos, geológicos y climáticos que influyen en el comportamiento de las sustancias, determinando su disponibilidad y grado de dispersión. En consecuencia, se fijan límites en función de cada tipo de suelo y de los usos.

Los valores entre el nivel 1 y los límites superiores fijados que puedan implicar riesgos aceptables, se consideran como suelo moderadamente contaminado. Valores superiores a estos límites, o valores entre el nivel 1 y los superiores que puedan implicar un peligro grave para la salud pública y el funcionamiento de los ecosistemas, definen a un suelo como fuertemente contaminado.



De acuerdo con este estándar de calidad del suelo, de las concentraciones de metales pesados medidos en las muestras tomadas en el Sector PP-4, se deriva que el suelo no está contaminado, en consecuencia, el riesgo actual para la salud humana se considera despreciable (Tabla 8).

	A-1	A-5	A-6	Nivel 1	Nivel 2			
					Infantil	Parque	Industrial	Agrícola
As ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	$10,8 \pm 0,5$	$<3,00$	$4,86 \pm 0,24$	25-30	40	55	180	-----
Cd ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	0,14	0,13	0,08	1	13	40	125	1
Co ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	$4,44 \pm 0,22$	$2,09 \pm 0,10$	$3,29 \pm 0,16$	7-10	240	750	1750	-----
Cr ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	$20,2 \pm 1,0$	$15,0 \pm 0,8$	$26,3 \pm 1,9$	60-70	170	525	1630	100
Cu ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	$<4,00$	$<4,00$	$<4,00$	20-25	5600	(1)	(1)	50
Ni ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	$8,54 \pm 0,43$	$2,63 \pm 0,13$	$3,94 \pm 0,20$	75-100	130	175	1650	130
Pb ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	$43,8 \pm 1,3$	$60,1 \pm 1,8$	$26,5 \pm 0,8$	21-23	120	370	1140	50
Zn ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	$57,9 \pm 1,7$	$23,8 \pm 0,7$	$39,6 \pm 1,2$	350-500	(1)	(1)	(1)	735

Tabla 8. Comparación del estándar de calidad gallego, con las concentraciones en metales pesados determinados en el Sector PP-4

(1) No se ha derivado valor por falta de datos.

#### Norma Catalana

En el año 1997, las autoridades catalanas presentaron una propuesta para la que se definían los estándares de calidad del suelo para Cataluña. En la misma se establecían los valores de referencia para una serie de compuestos, que incluían: metales; pesticidas; hidrocarburos aromáticos; hidrocarburos aromáticos policíclicos; hidrocarburos clorados; compuestos inorgánicos y una serie de compuestos misceláneos.

El sistema propuesto, proporciona valores de referencia para emplazamientos de uso industrial, así como para terrenos con otro uso (agricultura, residencial, ocio, zonas infantiles, etc.). Si la concentración de un determinado compuesto no excede la concentración del nivel de referencia para el tipo de uso del terreno, se asume que la presencia de este compuesto no supone un riesgo toxicológico o ecotoxicológico para receptores humanos o ecológicos, y en consecuencia no será necesario emprender acciones correctoras.

Sin embargo, si la concentración de un determinado compuesto excede la concentración del nivel de referencia para un tipo de uso, se deberá elaborar un estudio de riesgo, con objeto de evaluar el riesgo que las concentraciones medidas implican para los 'receptores'. Si el riesgo no es asumible, se establecerán las acciones correctoras necesarias.

Para los metales, la lista con valores de referencia incluye también, los niveles medios de fondo que han sido determinados en emplazamientos industriales en Cataluña.

APROBADO DEFINITIVAMENTE  
POR ACUERDO DE P.F.M.O.  
DE 25.05.05  
EL CONCEJAL MAYOR  
INFORMADO FAVORABLEMENTE  
POR DECRETO DE LA CONCEJALA  
DE URBANISMO DE 24.01.05  
ALCORCÓN 24.01.05  
EL CONCEJAL MAYOR

Al igual, que con las normas anteriores, de la comparación de los valores de concentración de metales pesados medidos en las muestras tomadas en el Sector PP-4, con los niveles de referencia establecidos por la Junta de Residuos (Generalitat de Catalunya), no se deriva un riesgo toxicológico o eco-toxicológico para receptores humanos o ecológicos (tabla 9).

	A-1	A- 5	A-6	Valor de referencia ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Concentración máxima admisible ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	
					Uso no industrial	Uso industrial
As ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	10,8 $\pm$ 0,5	<3,00	4,86 $\pm$ 0,24	5	30	140
Cd ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	0,14	0,13	0,08	1,5	3,5	70
Co ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	4,44 $\pm$ 0,22	2,09 $\pm$ 0,10	3,29 $\pm$ 0,16	10	85	200
Cr ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	20,2 $\pm$ 1,0	15,0 $\pm$ 0,8	26,3 $\pm$ 1,9	-----	200	700
Cu ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	<4,00	<4,00	<4,00	55	270	1000
Ni ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	8,54 $\pm$ 0,43	2,63 $\pm$ 0,13	3,94 $\pm$ 0,20	49	250	700
Pb ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	43,8 $\pm$ 1,3	60,1 $\pm$ 1,8	26,5 $\pm$ 0,8	70	300	1000
Zn ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	57,9 $\pm$ 1,7	23,8 $\pm$ 0,7	39,6 $\pm$ 1,2	178	450	700

Tabla 9. Comparación del estándar de calidad catalán, con las concentraciones en metales pesados medidos en el Sector PP-4.

#### Propuesta de la Comunidad Autónoma de Madrid

Con el fin de que los valores de fondo y de referencia obtenidos fueran representativos, se sectorizó la región en seis unidades tipo, de acuerdo con la variabilidad geológica existente, ya que la litología sobre la que se desarrollan los suelos es el principal factor que condiciona de la distribución natural de concentraciones de metales, o valores de fondo.

Además de los valores de fondo, se definen unos valores de referencia. En síntesis, son unos valores de comparación que permiten afirmar si un suelo presenta concentraciones anormales o no 'naturales' de una determinada sustancia. Se define como un valor tal, que su superación por una unidad muestral de la población caracterizada sea poco probable y que, por tanto, si no ha habido modificaciones de las condiciones de muestreo sea improbable su superación por una unidad muestral obtenida posteriormente. Se considera como valor de referencia principal la cota superior del percentil 99% (p99). Adicionalmente, se ofrecen como valores de referencia secundarios las cotas superiores de los percentiles 95% (p95) y 90% (p90).

INFORMADO FAVORABLEMENTE  
 POR DECRETO DE LA CONCEJALA  
 DE URBANISMO DE 24.01.05  
 ALCORCON 24.01.05  
 EL OFICIAL MAYOR

El Sector PP-4, se encuentra dentro de la Unidad Tipo 3. La comparación de los valores de fondo y de referencia definidos en esta unidad, con los resultados de las analíticas realizadas (Tabla 5), permite concluir, con la única excepción del plomo, que el área evaluada se encuentra en condiciones naturales, en lo que a las concentraciones de metales pesados presentes se refiere.

La única fuente que explica la presencia en el Sector PP-4 de valores anómalos en plomo, sería la circulación existente en la carretera M-501, así como en menor medida en la N-V, que por procesos de dispersión atmosférica del plomo, permitiría explicar los valores de concentración medidos de este elemento en el Sector PP-4.

Destacar, sin embargo, que estos valores se encuentran muy por debajo de los establecidos por las normas: Holandesa; vasca (IHOBE); Catalana (Junta de residus); Gallega.

	A-1	A-5	A-6	Valor de fondo	Valor de referencia - 99	Valor de referencia - 95	Valor de referencia - 90
As ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	$10,8 \pm 0,5$	<3,00	$4,86 \pm 0,24$	10,170	50	25,2	17,5
Cd ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	0,14	0,13	0,08	0,04969	0,28	0,16	0,12
Co ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	$4,44 \pm 0,22$	$2,09 \pm 0,10$	$3,29 \pm 0,16$	3,737	12,2	8,6	7,1
Cr ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	$20,2 \pm 1,0$	$15,0 \pm 0,8$	$26,3 \pm 1,9$	10,0	43,7	27,7	21,8
Cu ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	<4,00	<4,00	<4,00	6,3	27,4	17,4	13,7
Ni ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	$8,54 \pm 0,43$	$2,63 \pm 0,13$	$3,94 \pm 0,20$	5,6	29,2	17,3	18,2
Pb ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	$43,8 \pm 1,3$	$60,1 \pm 1,8$	$26,5 \pm 0,8$	13,15	33,09	25,16	21,74
Zn ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	$57,9 \pm 1,7$	$23,8 \pm 0,7$	$39,6 \pm 1,2$	27,7	89,1	62,8	52,0

Tabla 10. Comparación de los valores de fondo y de referencia de metales pesados definidos para la unidad tipo 3, con las concentraciones en metales pesados determinados en el Sector PP-4.

INFORMADO FAVORABLEMENTE  
 POR DECRETO DE LA CONCEJALA  
 DE URBANISMO DE 24.01.05  
 ALCORCON 24.01.05  
 EL OFICIAL MAYOR

## 6. Evaluación de riesgos

Se denomina evaluación de riesgos al conjunto de actividades, mediante las cuales se pretende conocer la potencial o actual migración de contaminantes y sus efectos sobre la salud pública y el medio ambiente.

Para suelos, debido a los numerosos factores que intervienen y a ciertas indefiniciones, la evaluación de riesgos es de tipo cualitativo utilizándose términos de alto riesgo y bajo riesgo. En general, se combinan las características peligrosas de los contaminantes potenciales con las circunstancias específicas del emplazamiento, todas ellas obtenidas en la etapa de estudio detallado del emplazamiento.

Los riesgos a evaluar se concretarán dependiendo de los usos futuros que se vaya a dar al suelo las características del emplazamiento y la naturaleza de la contaminación

En la evaluación cualitativa se identifican las vías de transporte posible y se determina que 'receptores' podrían llegar a ser alcanzados por la contaminación, si esta llegara a producirse. Se define también el conjunto de escenarios de transporte, prediciendo la naturaleza y extensión territorial de los efectos.

Para el caso que nos ocupa, el único 'receptor' que podría resultar afectado por las actividades actuales o futuras, sería la 'salud humana', ya sea por contaminación de los suelos dedicados a agricultura, o por contaminación de los pozos dedicados a abastecimiento (Figura 8).

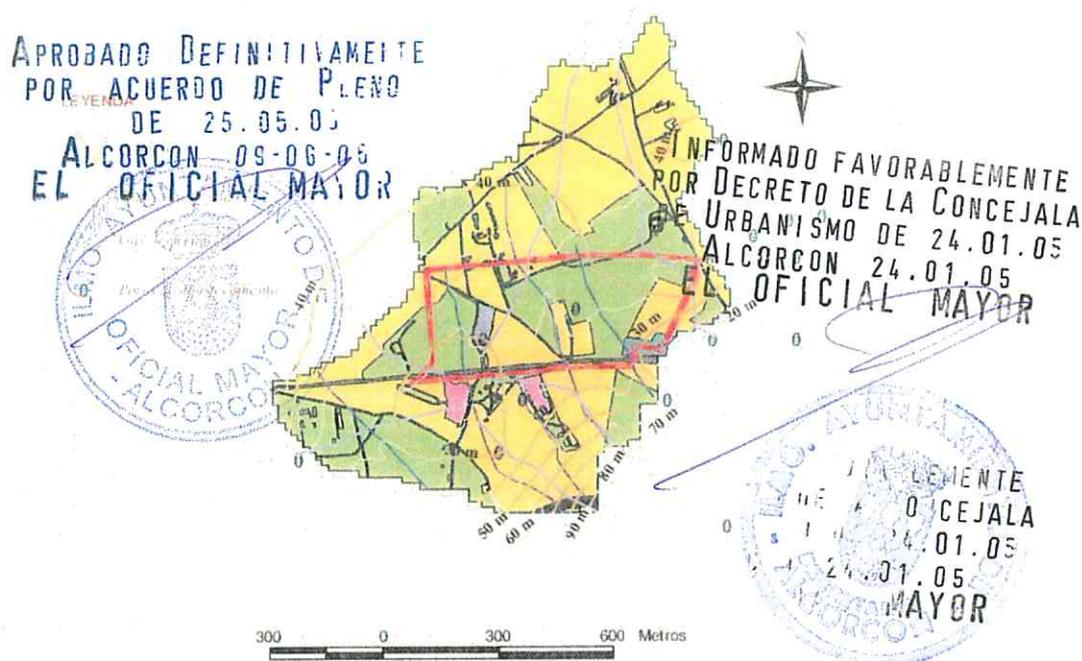


Figura 8. Evaluación cualitativa de riesgos del área estudiada

## 7. Conclusiones

Se han detectado tres fuentes de contaminación potencial, por un lado, dos de tipo difuso, asociada a la actividad agrícola, así como a la contaminación que se deriva del tráfico existente en la M-501 y en la N-V, como consecuencia de la dispersión atmosférica de los contaminantes, básicamente metales pesados, generados por la combustión de gasolinas, y por el otro, una de tipo puntual, relacionada con un tanque de combustible perteneciente a la empresa HAVERLAND.

En consecuencia, los contaminantes potenciales son los que se derivan del uso de abonos, básicamente nitratos y fosfatos, así como metales pesados producto de la combustión de gasolinas.

A este respecto, no se consideró necesario tomar muestras de agua de los pozos existentes en el sector, ya que la actividad anteriormente descrita no supone un peligro relevante para el acuífero, tal como se ha demostrado con la aplicación del modelo DRASTIC.

En cuanto a la fuente puntual, se desechó la posibilidad de tomar una muestra en el entorno del tanque, debido a que el depósito se encontraba enterrado en el interior de la instalación, bajo un solado de hormigón. En contrapartida, se obtuvo una muestra superficial en las proximidades de la nave industrial, con el fin de caracterizar el área de influencia de la instalación.

En el resto del sector, una vez quedo constatado tras el análisis previo de la información e inspección ocular del emplazamiento, la inexistencia de indicios de contaminación; se procedió a la toma de cinco muestras superficiales, situadas todas ellas en las áreas que se van a dedicar a uso industrial. De las cinco muestras, se realizaron analíticas en dos de ellas, para determinar el contenido en metales pesados.

La comparación de los valores de fondo y de referencia definidos en la Unidad Tipo 3, con los resultados de las analíticas realizadas, permite concluir, con la única excepción del plomo, que el área evaluada se encuentra en condiciones naturales, en lo que a las concentraciones de metales pesados presentes se refiere. Uno de los motivos que puede haber originado que los niveles de plomo se encuentren por encima del resto de los metales pesados, se puede deber a los elevados niveles de tráfico que soportan las carreteras próximas. En la tabla siguiente se exponen los datos de IMD:

M-501	Total	Día	Noche
IMD ligeros	12841	11354	1487
IMD pesados	991	876	115

N-V	Total	Día	Noche
IMD ligeros	87751	77587	10164
IMD pesados	8012	7084	928

Destacar, sin embargo, que estos valores se encuentran muy por debajo de los establecidos por las normas: Holandesa; vasca (IHOBE); Catalana (Junta de residus); Gallega.

INFORMADO FAVORABLEMENTE  
POR DECRETO DE LA CONCEJALA  
DE URBANISMO DE 24.01.05  
ALCORCON 24.01.05  
EL OFICIAL MAYOR

APROBADO DEFENITIVAMENTE  
POR ACUERDO DE PLENIO  
DE 25.05.05  
ALCORCON 09-06-05  
EL OFICIAL MAYOR

De la evaluación de riesgos realizada, se deriva que el único 'receptor' que podría resultar afectado por las actividades actuales o futuras, sería la 'salud humana', ya sea por contaminación de los suelos dedicados a agricultura, o por contaminación de los pozos dedicados a abastecimiento.

En Alcorcón, Julio 2004



ARNAIZ CONSULTORES, S.L.  
Dpto. de Medio Ambiente

APROBADO DEFINITIVAMENTE  
POR ACUERDO DE PLAZA  
DE 25.05.05  
ALCORCON 09-06-05  
EL OFICIAL MAYOR



INFORMADO FAVORABLEMENTE  
POR DECRETO DE LA CONCEJALA  
DE URBANISMO DE 24.01.05  
ALCORCON 24.01.05  
EL OFICIAL MAYOR

