



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

PROYECTO FIN DE MASTER EN LA EMPRESA
EMB GROUNDWATER CONSULTING

Nombre y Apellidos del ALUMNO
ENRIQUE VILLANUEVA OJEDA

Tutor empresa: ELENA MORENO BARBERO

Tutores UAL: M^a del Mar Socías Viciano; Juan Gisbert Gallego

Curso: 2010/11

Memoria de Prácticas de Empresa del Máster "Agua y Medio Ambiente en Áreas Semiáridas (AQUARID)"

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación de la Acción Integrada ref. D/030166/10 concedida por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID).



Índice

Introducción.....	4
Información básica inicial de las Prácticas	7
Desarrollo de la Práctica	10
Tareas realizadas	10
Tarea 1: Desarrollar el modelo conceptual.....	10
Tarea 2: Buscar información disponible.....	11
Tarea 3: Obtención de mapas de parámetros DRASTIC.....	14
Tarea 4: Cálculo de la vulnerabilidad DRASTIC.....	21
Discusión de resultados	24
Conclusiones	27
Conocimientos adquiridos	28
Conclusiones. Valoración y Sugerencias.....	30
Bibliografía	33
Anexos	35
1. Diario de Prácticas.....	35
a. Cronograma.....	35
b. Diario de prácticas	38
2. Material elaborado.....	40
▪ Mapas de parámetros DRASTIC	41
▪ Mapas de vulnerabilidad	48

Introducción

Este Proyecto de Fin de Máster (PFM) corresponde a las prácticas realizadas en la empresa EMB Groundwater Consulting en relación a una Asistencia Técnica que está realizando para un Proyecto de Cooperación Internacional financiado por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) entre la Universidad de Almería (UAL) y la Universidad de Orán (UO).

Este trabajo tiene como objetivo fundamental sentar las bases de un Modelo Conceptual de Evaluación de la Vulnerabilidad Hidrogeológica (MCEVH) a la contaminación de acuíferos localizados en el norte de Argelia, concretamente en la región de Orán. El trabajo realizado en esta práctica se utilizará como punto de partida en el entendimiento de las condiciones de sitio y la determinación de zonas sensibles para establecer programas de caracterización así como estudios piloto de remediación de suelos y aguas.

Los objetivos técnicos incluyen:

- Recopilación de toda la información necesaria para la elaboración del MCEVH de la provincia de Orán.
- Integración de la información disponible en un Sistema de Información Geográfica (GIS) identificando los parámetros no disponibles o su incertidumbre.
- Evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación por nitratos, metales y plaguicidas de la zona de estudio.

La evaluación de esta vulnerabilidad se realizará utilizando el método DRASTIC (Aller *et al.*, 1987). DRASTIC es un modelo de superposición cartográfica basado en la combinación de mapas de diversos atributos, empleando variables o parámetros de rango definido, y divididos en intervalos jerárquicos, de un área concreta. A cada intervalo se le asigna un valor, que no es sino el grado relativo de susceptibilidad a la contaminación.

El método DRASTIC parte de ciertas premisas (Martínez y Jiménez, 2009):

- El contaminante se introduce desde la superficie. El contaminante se introduce por infiltración del agua de lluvia.
- El contaminante se diluye en el agua y adquiere su misma movilidad, viscosidad y densidad.
- El área evaluada ocupa una extensión grande (mínimo 40 Ha).
- Los acuíferos localizados en ese área se consideran libres o confinados. El método no está pensado para situaciones intermedias y, en el caso de acuíferos semiconfinados, es necesario elegir entre una u otra posibilidad.

Estudios preliminares realizados por la Universidad de Orán sobre el uso del agua subterránea en su ciudad así como en sus inmediaciones, revelan la presencia de acuíferos de fácil acceso en un contexto urbano mal regulado y, expuestos a una mayor explotación debido al crecimiento de la demanda, así como, a un mayor número de focos de contaminación. Además de lo indicado, los acuíferos están expuestos a la contaminación generada por fugas de la red saneamiento, vertidos de efluentes industriales y existencia de fosas sépticas.

Las fosas sépticas son focos importantes de contaminación bacteriológica, así como de nitratos; se tiene constancia de muestras de agua recogidas de determinadas zona que presentan niveles de nitratos por encima de los establecidos por la Organización Mundial de la Salud. La calidad bacteriológica de estas aguas es mala, debido principalmente a que el nivel freático del acuífero carbonatado se encuentra localizado en una parte de la ciudad que no tiene un sistema de alcantarillado.

Estos estudios preliminares muestran la necesidad de realizar un seguimiento de la calidad de las aguas y suelos en la provincia de Orán y, por tanto, la evaluación del estado de sus acuíferos.

El resultado final no pretende ser rigurosamente cuantitativo, sino semi-cuantitativo ya que se anticipa la incertidumbre y falta de información asociada a ciertos parámetros, como se verá en apartados posteriores.

Los objetivos de este trabajo pretenden sentar las bases de forma cualitativa respecto a la distribución espacial de la información disponible para crear un modelo conceptual que integre el conocimiento del sitio. Tareas futuras incluirán trabajos de caracterización e investigación adicional para la determinación de parámetros cuya incertidumbre o falta de información suponen una carencia en el entendimiento de la vulnerabilidad de la zona.

Una vez realizada la evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación, los resultados servirán como punto de partida para poder aplicar los objetivos definidos en el proyecto de cooperación entre las Universidades de Almería y Orán.

Los objetivos didácticos de éste práctica incluyen, entre otros, la integración de conocimientos técnicos y la capacidad de comunicar en ambientes culturales diferentes y en lengua extranjera, así como la capacidad de comunicar de forma eficaz dentro de equipos multidisciplinares. Aunque quizá uno de los objetivos más importantes que la empresa ha intentado transmitir es la capacidad de conseguir resultados adecuados a los objetivos planteados en circunstancias adversas donde la información es incompleta y limitada.

Información básica inicial de las Prácticas

1.- Datos identificativos de la práctica:

Datos del estudiante: Enrique Villanueva Ojeda

Datos de la empresa: EMB Groundwater Consulting

Datos de los tutores: M^a del Mar Socías Viciano y Juan Gisbert Gallego (UAL), Elena Moreno Barbero (EMB Groundwater Consulting)

2.- Expectativas del estudiante ante la práctica:

Qué es lo que espera del programa de prácticas en empresa antes de conocer los detalles de su práctica: Las expectativas del programa de prácticas antes de conocer los detalles de lo que iba a realizar eran, por un lado, adquirir un mayor grado de especialización en alguna materia relacionada con la gestión del agua en alguna empresa con competencias en ese ámbito, y por otro, aprender el funcionamiento de la empresa. Igualmente pretendía dar una imagen de profesionalidad a la persona encargada de tutorizar mi trabajo allí.

Qué es lo que espera del programa de prácticas en empresa una vez conocidos los detalles de su práctica (empresa, funciones previas, conocimientos y pautas de trabajo a aprender, entre otros): Una vez conocidos los detalles de mi práctica, mis expectativas no cambiaron. Sin embargo, considero un acierto haber elegido ésta empresa ya que complementa mis conocimientos en Sistemas de Información Geográfica con una actividad relacionada de forma directa con la gestión del territorio y del recurso agua en una región árida.

3.- Descripción previa de la práctica:

Características contractuales de la práctica (horario, tareas recogidas, etc.): La práctica se ha planteado con la premisa de que debía encontrar el ámbito de trabajo y estudio más cómodo por mi parte para poder desempeñar de la mejor manera posible las tareas encomendadas, por lo que he realizado la mayor parte del trabajo en el ordenador personal de mi casa. El horario propuesto, dada mi disponibilidad al estar realizando otras actividades, se restringe a las

mañanas, de lunes a sábado, con comunicación constante con mis tutores (tanto por parte de la universidad como por parte de la empresa). Las tareas encomendadas están relacionadas con la evaluación de la vulnerabilidad de los acuíferos localizados en el noroeste de la Provincia (Wilaya) de Orán (Argelia).

Funciones y tareas a desarrollar en la práctica según el tema propuesto a desarrollar y/o primeras instrucciones del tutor de la empresa.

Realizada la reunión inicial con mi tutor en la empresa, se establecieron las funciones a desarrollar en la práctica, las cuales consistían en:

- Desarrollar el modelo conceptual del método DRASTIC: estudiar la bibliografía disponible a través de los canales previstos (información proporcionada por la UO, internet, servicio de biblioteca de la UAL).
- Buscar información disponible para cada parámetro contemplado en el modelo: niveles piezométricos, litología del acuífero y de la zona no saturada, topografía, edafología, pluviometría e infiltración, conductividad eléctrica del agua subterránea... en el área de estudio, e identificar la información no disponible con el fin de solicitarla a entidades colaboradoras en Argelia.
- Empleando ARCGIS realizar un mapa para cada uno de los parámetros de DRASTIC en la zona de estudio de la provincia de Orán.
- Comunicar los avances, así como las dudas o problemas surgidos, a mi tutor en la empresa y en la universidad a través de carpetas compartidas, vía telefónica ó por e-mail.

Conocimientos y formación previos requeridos para el desarrollo de la práctica según el estudiante y según su tutor en la empresa.

Se requieren conocimientos de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y de hidrogeología. Ambas disciplinas resultan indispensables

para realizar de forma correcta las labores encaminadas a alcanzar los objetivos planteados del proyecto.

Nuevos conocimientos y formación que se prevén adquirir en el desarrollo de la práctica. Indique, en su caso, las acciones formativas previstas inicialmente por el tutor para desempeñar correctamente las tareas a desarrollar en la práctica.

Tanto por parte del tutor como del alumno se han puesto los esfuerzos necesarios para comprender de forma eficaz cómo influyen los diferentes parámetros utilizados por un SIG para elaborar un índice que defina cómo de vulnerable es un territorio determinado frente a la presencia de posibles focos contaminantes.

También se pretende poner en conocimiento por parte del alumno de la modalidad de trabajo de una consultoría en temas hidrológicos e hidrogeológicos. En este sentido, hay que indicar que el asesor debe de tener en cuenta las necesidades del cliente al cual ayudan en la toma de decisiones desde el punto de vista técnico y científico.

Desarrollo de la Práctica

Tareas realizadas

Las tareas que se establecieron para el correcto desarrollo de la práctica se indican en la Tabla 1, en ella igualmente se muestran la relación con la titulación universitaria, los problemas planteados, las soluciones elegidas así como, los instrumentos empleados para su realización y solución.

TAREA	RELACIÓN	PROBLEMAS	SOLUCIONES	INSTRUMENTOS
Desarrollar el modelo conceptual	SI	Nomenclatura en otros idiomas (francés, inglés)	Traductores. Servicios on-line de traducción	PC, Biblioteca UAL
Buscar información disponible para cada parámetro del modelo DRASTIC	SI	No toda la información está disponible	Contactos con la ANRH*, U.de Oran	Tutor UAL, tutor EMB
Elaboración de mapas de parámetros DRASTIC	SI	Escala, antigüedad y diseño de los mapas	Unificación de criterios	PC, ARCGIS
Cálculo de la vulnerabilidad DRASTIC	SI	Falta información	Pendiente de solución	PC, ARCGIS

ANRH* Agencia Nacional de Recursos Hídricos de Orán

Tabla 1. Descripción de las tareas desarrolladas

Tarea 1: Desarrollar el modelo conceptual

La tarea consistente en desarrollar el modelo conceptual a partir de la información hidrogeológica existente, ha requerido el estudio y la recogida de información contenida en distintos artículos e informes publicados sobre diferentes aspectos del modelo hidrogeológico de la región de Orán (uso y demanda del agua, geología, hidrogeología, etc.)

El problema principal en el desarrollo de esta tarea ha sido la traducción de los términos geológicos encontrados en inglés y en otros idiomas.

Se han empleado traductores on-line, además de la aportación de expertos en traducción, para solventar este problema, y poder disponer de la información necesaria en castellano.

Tarea 2: Buscar información disponible para cada parámetro del modelo DRASTIC

El método DRASTIC evalúa la vulnerabilidad intrínseca de un acuífero en función de siete parámetros (Aller *et al.* 1987; Saibi, 2008):

- **D**epth (Profundidad del agua subterránea):
- Net **R**echarge (Recarga neta)
- **A**quifer media (Litología del acuífero)
- **S**oil type (Tipo de suelo)
- **T**opography (Cota topográfica)
- **I**mpact in vadose zone (Naturaleza de la zona no saturada)
- Hydraulic **C**onductivity (Conductividad hidráulica del acuífero)

La mayoría de la información conseguida para determinar estos parámetros se ha encontrado en la bibliografía consultada o bien ha sido proporcionada por la Universidad de Orán. Hay que señalar que los parámetros **R**, **A** e **I**, se han obtenido mediante cartografía facilitada por expertos de la UO, y que la conductividad hidráulica del acuífero así como la profundidad del agua subterránea (parámetros **D** y **C**), han sido los que han presentado más dificultades en su determinación.

Los problemas asociados a la determinación de estos parámetros, así como la solución tomada y las fuentes de información utilizadas, se ilustran a modo de resumen en la Tabla 2.

PARÁMETRO	FUENTES	PROBLEMAS ASOCIADOS	SOLUCIONES TOMADAS
D (Deep)	ANRH. UO	Información limitada	Análisis parcial a espera de recibir información
R (Recharge)	Mapa de precipitaciones medias. ANRH	No había datos de recarga	Aplicación de métodos de estimación de la recarga
A (Aquifer)	UO ISRIC	Nomenclatura sin serie estratigráfica	Apoyo bibliográfico a los mapas y de geólogos expertos de la zona
S (Soil)	EuDASM	Nomenclatura antigua (clasificación francesa de suelos)	Correlación con nomenclaturas FAO-USDA
T (Topography)	USGS	Sin problemas	-----
I (Impact)	UO ISRIC	Nomenclatura sin serie estratigráfica	Apoyo bibliográfico a los mapas y de geólogos expertos de la zona
C (Conductivity)	ANRH	No se ha proporcionado información	Estimación bibliográfica

*ISRIC: International Soil Reference and Information Centre

*EuDASM: European Digital Archive on Soil Maps of the world

*USGS: United States Geological Survey

Tabla 2. Parámetros de DRASTIC

- A fecha de entrega de la presenta memoria el parámetro **D** (profundidad) ha sido suministrado de forma parcial por expertos geólogos de la UO, por lo que los resultados tienen esta limitación en la superficie analizada. El parámetro **C** (conductividad), todavía no ha sido facilitado por la ANRH, razón por la que se ha optado por llevar a cabo una estimación cualitativa de los valores medios de Conductividad disponibles en la bibliografía. En el momento de obtener la información completa referida a los parámetros, se procederá a calcular nuevamente su valor.
- El parámetro **R** (recarga) se ha podido obtener a partir de un mapa de precipitaciones medias de la página web de ANRH. Se ha buscado un método para aplicar la recarga neta en la zona de estudio en diferentes bases de datos y a partir de los conocimientos adquiridos en la asignatura del Máster AQUARID "Los SIG en Hidrogeología".

- Los parámetros **A** (acuífero) e **I** (zona no saturada) están directamente relacionados con la geología de la zona, por lo que se ha estimado de forma general a partir de diversos mapas a escala de semidetalle (1:500.000 o inferior). Los problemas derivados de la nomenclatura se han intentado solucionar mediante la realización de consultas con expertos de la UO.
- El parámetro **S** (suelos) se obtuvo a partir de la información proporcionada por la plataforma EuDASM (European Digital Archive on Soils Maps of the world). Se trabajó con mapas elaborados por Durand y Barbut del Servicio Geográfico del Ejército datados en 1952. Estos mapas clasifican los suelos de la zona de estudio de forma diferente a las estandarizadas en la actualidad y necesarias para la evaluación del modelo (Durand, 1954; Bechetrit, 1956). Por esta razón, ha sido necesario un estudio pormenorizado de las características de esta clasificación a partir de la bibliografía disponible con el fin de identificarla con las clases edafológicas empleadas en la metodología DRASTIC (FAO-USDA).
- El parámetro **T** (topografía) se calcula a partir de los datos de pendientes de un determinado territorio. Por ese motivo, se ha buscado información sobre la topografía de la provincia de Orán con la intención de calcular las pendientes mediante el software ArcGIS. Sin embargo, el acceso a este tipo de información en Argelia está restringido por lo que ha sido necesario investigar fuentes alternativas que cumplieran los requisitos necesarios, entre ellos, una buena resolución espacial.

Estos requisitos se cumplen con la información disponible en el USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos) a través de los Modelos Digitales de Elevaciones (MDE o DEM) derivados de los proyectos SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) y los MDE elaborados por el NIMA (National Imagery and Mapping Agency) en el formato estándar DTED (Digital Terrain Elevation DATA).

Tarea 3: Obtención de mapas de parámetros DRASTIC

El proceso de elaboración de los mapas para cada uno de los parámetros del método DRASTIC sigue la siguiente estructura:

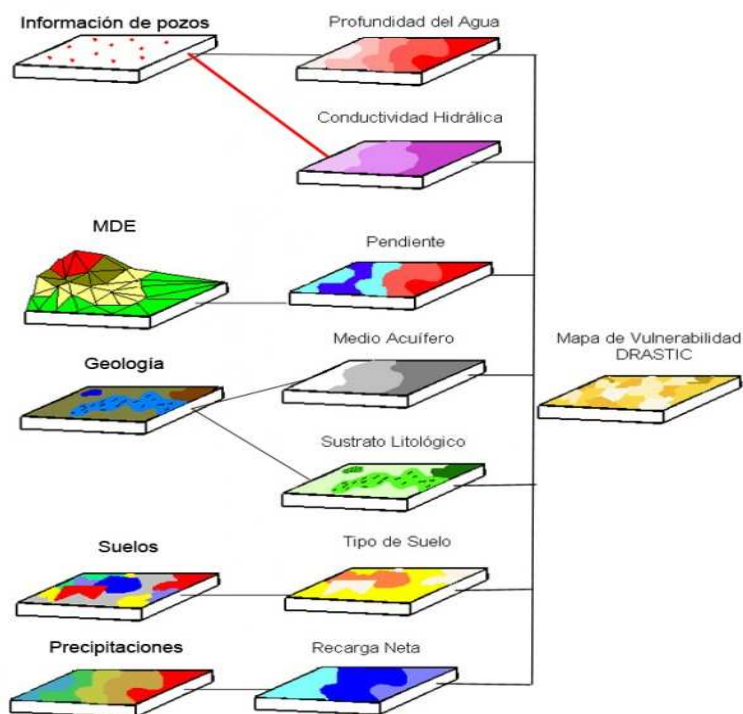


Figura 1. Modelo DRASTIC

A continuación, se comenta la diferente metodología empleada para la determinación de los parámetros debido a la heterogeneidad de documentos e información empleados:

- **Parámetro D**

Debido a las características geológicas de la zona y a la ausencia de fuentes documentales disponibles sobre este tema, es difícil establecer un modelo conceptual adecuado para este parámetro, por lo que permanece sin desarrollarse completamente a la espera de la colaboración de la ANRH y la UO.

Una vez que se posea la información completa, con la información suministrada por expertos de la UO en tres ámbitos (aglomeración urbana de la ciudad de Orán; zonas norte y sur de la Sebka de Orán), la asignación de valores al parámetro **D**

para aplicar el método en función de la profundidad, son los indicados en la Tabla 3.

Profundidad (m)	Valoración D
0-1.5	10
1.5-4.6	9
4.6-9.1	7
9.1-15.2	5
15.2-22.9	3
22.9-30.5	2
> 30.5	1

Tabla 3. Valores del parámetro D según la profundidad

Una vez asignados los valores a cada intervalo de profundidad, resulta un mapa que puede observarse en el Anexo II del PFM (Figura 1. Parámetro D).

- **Parámetro R**

La elaboración del mapa de recarga neta para la provincia de Orán se realizó a partir de un mapa de precipitaciones medias regionales obtenido en la página de la ANRH, a través del método APLIS (López-Geta *et al.*, 2003; Andreo *et al.*, 2007).

El método APLIS estima la recarga neta (como porcentaje de la precipitación) en acuíferos carbonáticos a partir de una serie de parámetros: Altitud, Pendiente, Litología, Infiltración-absorción preferencial y Suelos, tal y como se ilustra en la Figura siguiente. Por tanto, para la estimación de la recarga se ha partido de la base de que los sistemas acuíferos localizados en esta zona son carbonatados.

Esta afirmación del carácter carbonatado de los acuíferos del norte de Argelia en general (y de la zona de estudio en particular) viene orientada del análisis de estudios realizados (Hassani, 1992; Bensaoula, 2007; Fekraoui, 2007; Azzaz *et al.*, 2008; Saibi, 2008).

Altitud (m)	P
≤ 300	1
(300-600]	2
(600-900]	3
(900-1200]	4
(1200-1500]	5
(1500-1800]	6
(1800-2100]	7
(2100-2400]	8
(2400-2700]	9
> 2700	10

Tabla 1. Puntuación del parámetro altitud

Pendiente (%)	P
≤ 3	10
(3-8]	9
(8-16]	8
(16-21]	7
(21-31]	5
(31-46]	4
(46-76]	3
(76-100]	2
> 100	1

Tabla 2. Puntuación del parámetro pendiente

Litología	P
Calizas y dolomías karstificadas	10, 9
Calizas y dolomías fracturadas, algo karstificadas	8, 7
Calizas y dolomías fisuradas	6, 5
Arenas y gravas, coluviones	4
Brechas y conglomerados	3
Rocas plutónicas y metamórficas	2
Esquistos, pizarras, limos, arcillas	1

Tabla 3. Puntuación del parámetro litología

Infiltración-absorción preferencial	P
Abundantes formas de infiltración preferencial	10
Escasas formas de infiltración preferencial	1

Tabla 4. Puntuación del parámetro infiltración

Suelo	P
Leptosoles	10
Arenosoles álbicos y Xerosoles cálcicos	9
Regosoles calcáreos y Fluvisoles	8
Regosoles eútricos, dístricos y Solonchaks	7
Cambisoles cálcicos	6
Cambisoles eútricos	5
Histosoles eútricos y Luvisoles órticos y cálcicos	4
Luvisoles crómicos	3
Planosoles	2
Vertisoles crómicos	1

Tabla 5. Puntuación del parámetro suelo

Figura 2. Valoración de los parámetros del método APLIS

Una vez calculados mediante estas tablas las capas correspondientes a cada parámetro APLIS, se procede a calcular éste índice mediante superposición de capas de información en formato raster, según la fórmula siguiente:

$$R (Recarga) = \frac{A + P + 3L + 2I + S}{0.9}$$

El mapa obtenido (Figura 2. Parámetro R) puede observarse en el anexo II. Una vez calculada la recarga (como %P), se procedió a elaborar a partir del mapa de precipitaciones una imagen rasterizada de las precipitaciones de la zona de estudio, sobre la que se calculó la recarga neta y posteriormente se le otorgó el valor de DRASTIC que se indica en la Tabla 4.

Recarga (mm)	Valoración R
0-50	1
50-103	3
103-178	6
178-254	8
> 254	9

Tabla 4. Valores del parámetro R según la recarga neta.

- **Parámetro A**

Éste parámetro se corresponde con la litología de la zona acuífera, por lo que se procedió inicialmente a buscar información sobre la geología de la provincia de Orán con un detalle suficiente para discriminar zonas.

Los mapas disponibles más actuales están realizados a escalas de 1:2.000.000, por lo que emplear esta fuente en el método alteraría sensiblemente los resultados ya que la zonificación se realiza con un bajo nivel de detalle. Sin embargo, existen otros mapas, más antiguos, a escalas menores (1:500.000) que sí podrían utilizarse de no ser por la circunstancia de que carecen de leyenda para poder interpretarlos.

Por todo lo indicado, para la determinación de este parámetro, **A**, se ha hecho necesario contactar con expertos de la Universidad de Orán para que nos facilitaran una cartografía válida, a un nivel de detalle adecuado y con leyenda para poder interpretarla. En este sentido, la información proporcionada incluía formaciones típicas argelinas por lo que hubo que corroborar las aproximaciones mediante consultas a los expertos argelinos (Hassani, 1994; Fekraui, 2007).

Asimismo, estas aproximaciones realizadas son susceptibles de modificarse en el momento que se conozcan los niveles de agua subterránea en toda la zona de estudio.

La imagen raster elaborada, incluida en el Anexo II (Figura 3. Parámetro A), ha recibido los valores indicados en la Tabla 5.

Litología del acuífero	Rango	Valoración A
Lutita masiva	1-3	2
Metamórfica/Ígnea	2-5	3
Metamórfica/Ígnea metamorfizada	3-5	4
Till glacial	4-6	5
Secuencias de arenisca, caliza y lutitas	5-9	6
Arenisca masiva	4-9	6
Caliza masiva	4-9	6
Arena, grava o conglomerado	4-9	8
Basaltos/Volcánicas	2-10	9
Caliza kárstica	9-10	10

Tabla 5. Valores del parámetro A según la litología.

- **Parámetro S**

El parámetro **S** correspondiente al tipo de suelos existentes en la zona de estudio se consiguió a partir de una búsqueda exhaustiva de una cartografía de detalle. En este sentido, la cartografía encontrada resultó seguir la clasificación pedológica clásica de la Escuela Francesa distinta de las habituales (FAO, US Soil Taxonomy, etc.).

Por esta razón, ha sido necesario realizar una transformación de los datos de los suelos representados en esta cartografía y la asignación de valores de DRASTIC, ver Tabla 6, basados en el componente principal del suelo, para obtener el mapa incluido en el Anexo II (Figura 4. Parámetro S)

Tipo de suelo	Valoración S
Delgado o ausente	10
Grava	10
Arena	9
Agregado arcilloso o compactado	7
Arenisca margosa	6
Marga	5
Limo margoso	4
Arcilla margosa	3
Estiércol-cieno	2
Arcilla no compactada no agregada	1

Tabla 6. Valores de S según el tipo de suelo.

- **Parámetro T**

Las pendientes se han obtenido a partir de imágenes raster de uso público, para la zona de estudio, localizadas en el USGS (U.S. Geological Survey). En este servicio podían descargarse imágenes SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) y DTED (Digital Terrain Elevation Data) de nivel 0. La característica principal de este tipo de imágenes es su buena resolución (3 segundos de radián, lo que equivale a 90 m). Para poder proceder a la aplicación de estas imágenes fue necesario la transformación de coordenadas geográficas, en las que estaban representadas, a geométricas (UTM).

Por último, la presencia de píxeles sin datos en los archivos requirió el relleno de zonas vacías mediante interpolación. Una vez corregido y relleno, el MDE, sirvió como base para crear el mapa de pendientes, asignándoseles a las obtenidas los valores de **T** que se indican en la Tabla 7.

La imagen resultante (Figura 5. Parámetro T) se incluye en el Anexo II.

Pendiente (%)	Valoración T
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
> 18	1

Tabla 7. Valores de T según la pendiente.

- **Parámetro I**

Éste parámetro, como ya se indicó con anterioridad, se corresponde con la litología de la zona no saturada, es decir, la más próxima a la superficie. Por tanto, el procedimiento para su determinación fue muy similar al del parámetro **A**. La Tabla 8 muestra los valores asignados a **I** para la imagen raster elaborada (Figura 6. Parámetro I, ver Anexo II).

Igualmente a lo comentado para el parámetro **A**, una vez conocida la profundidad de la zona acuífera será necesario revisar nuevamente las valoraciones dadas en este parámetro.

Naturaleza de la zona no saturada (ZNS)	Rango	Valoración I
Capa confinante	1	1
Cieno-arcilla	2-6	3
Lutita	2-5	3
Caliza	2-7	6
Arenisca	4-8	6
Secuencias de arenisca, caliza y lutitas	4-8	6
Arena o grava con cieno y arcilla significativa	4-8	6
Metamórfica/Ígnea	2-8	4
Grava, arena y conglomerado	6-9	8
Basaltos/Volcánicas	2-10	9
Caliza kárstica	8-10	10

Tabla 8. Valores de I según la litología.

- **Parámetro C**

En este momento, no se han obtenido resultados o estimaciones referentes a la Conductividad Hidráulica, por ello, se ha recurrido a realizar una aproximación a partir de la bibliografía disponible. En este caso, se han utilizado los datos de Freeze y Cherry (1979), que relacionan litologías con un rango de conductividades, tal y como se indican en la Tabla 9. En esta tabla se muestran, igualmente, los intervalos de valores que puede tomar el parámetro C de DRASTIC según los rangos de conductividad.

Tipo de roca	Conductividad (cm/s)	Valoración C
Grava	10^2-10^{-1}	10
Arena	$1-10^{-5}$	3-6
Limo	$10^{-3}-10^{-7}$	1-3
Arcilla	$10^{-7}-10^{-10}$	1
Pizarra	$10^{-7}-10^{-11}$	1
Rocas ígneas y metamórficas no fracturadas	$10^{-8}-<10^{-11}$	1
Arenisca	$10^{-4}-10^{-8}$	1-5
Caliza, dolomía	$10^{-4}-10^{-7}$	1-5
Rocas ígneas y metamórficas fracturadas	$10^{-2}-10^{-6}$	1
Basalto permeable	$1-10^{-5}$	1
Caliza/dolomía karstificada	$1-10^{-4}$	3-6

Tabla 9. Valores de C según la conductividad hidráulica.

Tarea 4: Cálculo de la vulnerabilidad DRASTIC

El modelo DRASTIC es un modelo empírico, que se basa en la asignación de índices de vulnerabilidad, de acuerdo a las características y el comportamiento de las variables consideradas en su acrónimo:

D = **D**epth (Profundidad del agua subterránea)

R = Net **R**echarge (Recarga neta)

A = **A**quifer (Litología del acuífero)

S = **S**oil (Tipo de suelo)

T = **T**opography (Cota topográfica)

I = **I**mpact (Naturaleza de la zona no saturada)

C = Hydraulic **C**onductivity (Conductividad hidráulica del acuífero)

Además de la valoración entre 1 y 10 asignada a cada parámetro, el método pondera su influencia relativa en la vulnerabilidad, en función del tipo de contaminante. El resultado final se obtiene de la suma de todos los parámetros previamente multiplicados por su factor de ponderación según la siguiente expresión:

$$DRASTIC = (D_r \cdot D_w) + (R_r \cdot R_w) + (A_r \cdot A_w) + (S_r \cdot S_w) + (T_r \cdot T_w) + (I_r \cdot I_w) + (C_r \cdot C_w) \quad [I]$$

Donde, los subíndices "r" y "w" son el factor de clasificación o valoración y el factor de ponderación de cada parámetro, respectivamente.

En la presente memoria se ha realizado un cálculo de la vulnerabilidad asociada a las características propias del terreno (morfología y litología de la zona de estudio), a la que hemos llamado "General", y otro de vulnerabilidad asociado al empleo de plaguicidas en agricultura. En la Tabla 10 se muestran los valores correspondientes a los factores de ponderación para cada uno de los parámetros DRASTIC de las dos vulnerabilidades indicadas.

Ponderación W	General	Plaguicidas
D	5	5
R	4	4
A	3	3
S	2	5
T	1	3
I	5	4
C	3	2

Tabla 10. Factores de ponderación del método DRASTIC.

Así, la ecuaciones correspondientes a cada uno de estos supuestos son las que se indican a continuación:

$$DRASTIC (General) = 5D + 4R + 3A + 2S + T + 5I + 3C \quad [II]$$

$$DRASTIC (Plaguicidas) = 5D + 4R + 3A + 5S + 3T + 4I + 2C \quad [III]$$

Por último indicar, que la valoración final de la vulnerabilidad General del acuífero puede oscilar entre 23 y 230, mientras que si se considera la vulnerabilidad a la contaminación por plaguicidas el intervalo de valores se encuentran entre 26 y 260.

En la Tabla 11 aparece reflejada la clasificación del grado de vulnerabilidad en función del valor obtenido por el método DRASTIC.

Grado de vulnerabilidad	General	Plaguicidas
Muy bajo	23-64	26-73
Bajo	65-105	74-120
Moderado	106-146	121-167
Alto	147-187	168-214
Muy Alto	188-230	215-260

Tabla 11. Grado de vulnerabilidad según su carácter.

Una vez realizado el análisis de los datos y la organización de las variables y calculados los mapas raster de las variables DRASTIC, como se ha indicado anteriormente, se procede a obtener el índice DRASTIC en un mapa raster con el programa ARCGIS, según las ecuaciones II y III indicadas con anterioridad. Las imágenes resultantes se reclasifican en función de las categorías de vulnerabilidad establecidas por este método.

Los mapas de vulnerabilidad (Figuras 8. Vulnerabilidad general y 9. Vulnerabilidad a plaguicidas), se encuentran en el Anexo II.

Discusión de resultados

El cálculo de la vulnerabilidad en la provincia ha sido sólo posible en aquellas zonas donde el parámetro D (profundidad del agua) está disponible. Por lo tanto, la discusión de resultados de vulnerabilidad se centrará en las siguientes zonas donde existen datos (parciales en el tiempo) relativos a la piezometría:

- La meseta de Orán (1997)
- La zona norte de la Sebkhah de Orán (Misserghin-Bou Tlélis) (2000-2001)
- La zona sur de la Sebkhah de Orán (meseta de la Mléta)

Se observa que el cálculo de la vulnerabilidad general en estas zonas tiene presentes dos grados de vulnerabilidad: bajo y moderado; mientras que el cálculo referido a los plaguicidas presenta tres grados (bajo, moderado y alto).

- Los grados más altos de vulnerabilidad general están relacionados con los suelos arenoso-arcillosos y con la geología - fundamentalmente caliza - de la zona no saturada.
- Los grados más altos de vulnerabilidad a pesticidas están relacionados de forma clara con la topografía, la geología del acuífero y con la barrera más superficial a la contaminación que constituye el suelo.
- La recarga neta calculada en la zona de estudio influye en la determinación de ambos tipos de vulnerabilidad. Esto puede apreciarse en la zona norte de la Sebkhah (eje Misserghin - Bou Tlélis), así como en la meseta de Orán.

Relacionando estos factores, los cálculos realizados muestran una mayor vulnerabilidad en aquellas zonas donde el nivel de agua subterránea es más próximo a superficie (piedemonte de los Montes Murdjadjo y de Tessala -en el borde norte y sur de la Sebkhah de Orán, respectivamente-), y en el extrarradio de la ciudad de Orán, donde, además, encontramos litologías más permeables (zonas marcadas en la Figura 3).

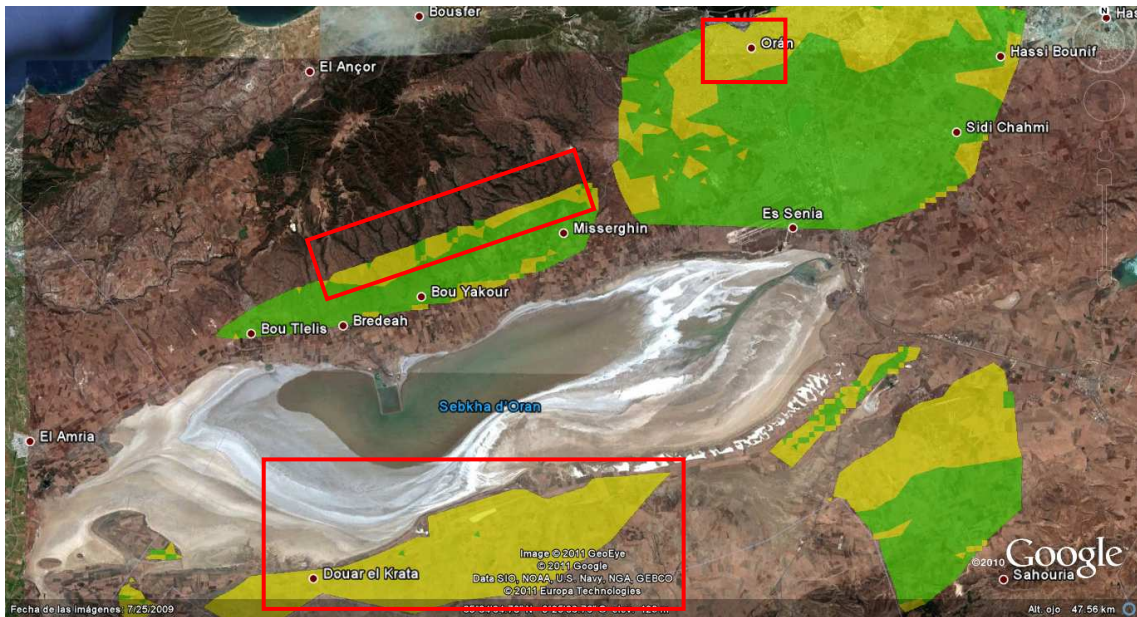


Figura 3. Vulnerabilidad general. En amarillo, zonas más vulnerables.

Respecto a la vulnerabilidad a plaguicidas, se extiende por una mayor superficie debido a la mayor influencia en la ponderación de los parámetros geológicos de la zona no saturada derivados de la presencia de suelos arenosos y menor pendiente, en zonas como Oued el Haimour y Feratsa, al sur de la Sebkha; y Daïet el Bagrat, al oeste del aeropuerto de Tafaraoui (zona marcada en naranja señalada en rojo en la figura 4).

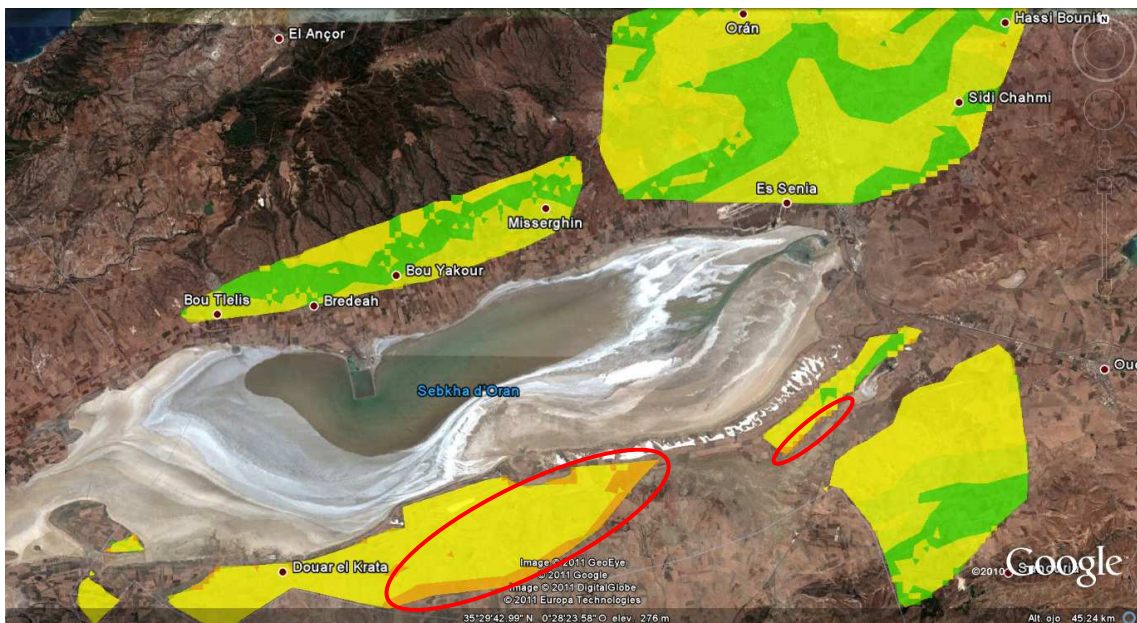


Figura 4. Vulnerabilidad a plaguicidas. En naranja, zonas más vulnerables.

Los resultados de vulnerabilidad acuífera en términos de superficie para la zona de estudio pueden observarse en la tabla siguiente:

Grado de vulnerabilidad	General	Plaguicidas
Muy bajo	-	-
Bajo	20472.68	9353.91
Moderado	17276.33	27389.33
Alto	-	1019.69
Muy Alto	-	-
TOTAL SUPERFICIE (HA)	37749.01	37762.93

Tabla 12. Superficie estudiada según el grado de vulnerabilidad.

Las superficies calculadas asociadas a cada uno de los niveles de vulnerabilidad arriba representados muestran que, respecto a la vulnerabilidad general, la mayor extensión de superficie se corresponde con un grado de vulnerabilidad bajo (un 54% del total estudiado). Si observamos la vulnerabilidad a plaguicidas, el grado moderado de vulnerabilidad es el predominante en la zona estudiada (un 73% de la superficie estudiada), además de presentar más de mil hectáreas con un grado más de vulnerabilidad (vulnerabilidad Alta, un 3%).

Conclusiones

Analizando todos los mapas generados (presentados en el anexo II), se observa que las zonas de piedemonte de los Montes Tessala y Murdjadjo, así como el extrarradio de la ciudad de Orán reúnen unas características, tanto geológicas como edáficas que resultan en una mayor vulnerabilidad con respecto al total estudiados. Son suelos arenosos y litologías de buena conductividad en su zona no saturada y acuífera -arenas y gravas, calizas-, en terrenos de escasa pendiente donde la recarga -sin incluir retornos agrícolas- es superior a 100mm anuales.

Es importante destacar que más del 50% del territorio analizado tiene vulnerabilidad general moderada, mientras que este porcentaje asciende hasta casi tres cuartas partes del territorio analizado cuando contemplamos la vulnerabilidad a plaguicidas.

Respecto a la información abarcada, es necesario mencionar la incertidumbre asociada con ciertos parámetros, como la conductividad y la profundidad del agua. La propagación de esta incertidumbre se extiende también a los parámetros que definen el medio acuífero y la zona no saturada. Por lo tanto, esta incertidumbre debe ser considerada y analizada en más profundidad en un futuro, ya sea a través de la incorporación de información adicional, estudios de sondeo o en su ausencia, a través de estudios de sensibilidad.

Este estudio constituye una primera estimación y precisa de una revisión y actualización por parte de las personas responsables en la elaboración de los mapas, así como de los integrantes del proyecto de colaboración entre las universidades de Almería y Orán.

El trabajo realizado pretende ser una herramienta de consulta y apoyo a la toma de decisiones dentro de las actividades contempladas en la Acción Integrada de la AECID. Por tanto, los resultados pretenden optimizar los esfuerzos encaminados a la selección de aquellas zonas con mayor potencial para desarrollar dichas actividades.

Conocimientos adquiridos

A través de las actividades contempladas en cada una de las tareas realizadas en estas prácticas en la empresa EMB Groundwater Consulting, se han adquirido los siguientes conocimientos:

1. Conocimientos sobre la empresa o institución: La empresa EMB Groundwater Consulting es una consultoría técnica ambiental, localizada en Almería, especializada en recursos hídricos subterráneos. Cuenta con una alta capacitación técnica y amplia experiencia en hidrología subterránea. El equipo está dirigido por Elena Moreno Barbero, doctora en Ingeniería Ambiental por Colorado School of Mines (EE.UU.) y con una experiencia previa internacional en proyectos de consultoría con puestos de responsabilidad en Arcadis (EE.UU.).

Los servicios ofrecidos por la empresa están relacionados con la caracterización y remediación de aguas subterráneas, como:

- **Caracterización de acuíferos:** diseño de programas de sondeo y muestreo; desarrollo de modelos conceptuales de sitio para la toma de decisiones; análisis de riesgos cuantitativos; modelos de simulación numérica; estudios con trazadores, etc.
- **Recuperación de acuíferos contaminados:** desarrollo de protocolos de actuación; desarrollo de estrategias de remediación y estudios de viabilidad; estudios piloto; contención de la contaminación; optimización de sistemas de remediación o captación.
- **Formación:** Cursos y seminarios

2. Conocimientos-habilidades-actitudes adquiridos durante el trabajo en la empresa: los conocimientos adquiridos se fundamentan en el análisis de la información (en forma de datos informáticos, bibliografía y en formato papel) para aplicar el método DRASTIC en una zona de estudio diferente de los escenarios planteados en el Máster (fundamentalmente la provincia de Almería, y por extensión las regiones semiáridas y áridas de la Península Ibérica). Dichos conocimientos y habilidades se fundamentan en:

- Una comprensión de la realidad física del norte de Argelia, concretamente de la provincia de Orán, en lo que se refiere a geología, edafología y climatología.
- Una mejora en los conocimientos relacionados con la toma de datos, digitalización y georreferenciación de mapas en formato papel, creación de bases de datos localizadas geográficamente (Geodatabases) y análisis de la información proporcionada por estos datos.
- Resolución de problemas informáticos relacionados con la representación geográfica de los datos, localización y subsanación de errores debidos a ausencia de datos espaciales, así como la generación de nueva información mediante técnicas de análisis espacial con ARCGIS.
- Finalmente, conocimiento del método DRASTIC como modelo para generar información acerca de la vulnerabilidad de los acuíferos y como instrumento auxiliar para la toma de decisiones en la Ordenación del Territorio.

Conclusiones. Valoración y Sugerencias

A continuación, tal y como indica el Manual de Orientaciones para la Elaboración del Proyecto Fin de Máster (Prácticas de Empresa), se exponen las siguientes conclusiones:

1. Cumplimiento de los objetivos académicos de la práctica.

- Nuevos conocimientos teóricos adquiridos

En la presente práctica se han adquirido conocimientos relativos a la evaluación de la vulnerabilidad de acuíferos mediante técnicas cuantitativas-cualitativas, como instrumento eficaz para la correcta gestión de los recursos hídricos.

Se han conocido los fundamentos básicos de la modelización hidrológica, así como su aplicación en políticas de gestión de recursos hídricos y proyectos de investigación relacionados con la prevención de la contaminación y calidad de las aguas subterráneas.

Las presentes prácticas también me han permitido adquirir conocimientos acerca de las herramientas de búsqueda bibliográfica, como la plataforma RefWorks, así como las bases de datos Scopus y Springer Link.

- Nuevos conocimientos prácticos (habilidades y destrezas) adquiridos.

Las presentes prácticas me han permitido adquirir la capacidad de trabajo cuando la información es incompleta o parcial, buscando vías alternativas para lograr los objetivos que se me marcaron al comienzo de la práctica. También se ha potenciado la capacidad de trabajo dentro de equipos multidisciplinares. Finalmente, he aprendido.

- Grado de aplicación de los conocimientos obtenidos de la titulación universitaria en el trabajo desarrollado en la práctica.

En la práctica se han aplicado de forma directa los conocimientos adquiridos en las asignaturas "Los SIG en Hidrogeología", "Tratamiento y Análisis de Datos Aplicados a las Aguas" y "Calidad y Contaminación del Agua". Además, de forma indirecta se aplican nociones conceptuales de materia docente de asignaturas como "Recarga en áreas semiáridas".

2. Cumplimiento de los objetivos laborales de la práctica:

- Cumplimiento de las obligaciones laborales por parte del estudiante.

Hasta la fecha de presentación del PFM, se han cumplido de forma satisfactoria las obligaciones laborales, tal y como se ha ido comunicando periódicamente a la empresa y al tutor de la UAL.

- Cumplimiento de las obligaciones laborales por parte de la empresa.

Las obligaciones laborales por parte de la empresa se han cumplido de forma satisfactoria. Además, se han cumplido todas las expectativas surgidas del alumno en cuanto al ritmo de comunicación y la tutorización por parte del tutor de la empresa.

- Valoración de la experiencia adquirida del trabajo en grupo.

La coordinación entre el alumno del Máster y la empresa donde se ha realizado la práctica puede calificarse como muy buena. También se puede valorar como buena la cooperación realizada entre la Universidad de Almería y la empresa (y el alumno).

- Valoración global de la experiencia laboral adquirida.

La experiencia adquirida con la participación en este proyecto ha sido satisfactoria y positiva en tanto que complementa mi perfil como experto en Sistemas de Información Geográfica (SIG), mediante la aplicación de una metodología cuantitativa-cualitativa de gestión de recursos hídricos y ordenación territorial mediante software SIG desarrollando el modelo DRASTIC en la provincia de Orán.

3. Sugerencias del estudiante para mejorar la práctica:

- Sugerencias planteadas durante la práctica.

El alumno pretende poner en conocimiento de la empresa en la cual ha realizado las prácticas, así como a la Universidad de Almería, de su disponibilidad a continuar colaborando con ellas en el momento que lo soliciten.

Bibliografía

- Aller, L.; Bennett, T.; Lehr, J.H.; Petty, R.H. y Hackett, G. (1987), *DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings*, en US Environmental Protection Agency, 622 pp.
- Andreo, B.; Vías, J.M.; Mejías, M.; Ballesteros, B.J.; Marín, A.I. (2007), *Estimación de la recarga mediante el método APLIS en el acuífero jurásico de El Maestrazgo (Castellón, NE España)*, en Los acuíferos costeros: retos y soluciones. Vol. 1-2, pp. 893-902
- Azzaz, H.; Cherchali, M.; Meddi, M.; Houha, B.; Puig, J.M.; Achachi, A. (2008), *The use of environmental isotopic and hydrochemical tracers to characterize the functioning of karst systems in the Tlemcen Mountains, northwest Algeria*, en Hydrogeology Journal, n.16. pp. 531-546.
- Bechetrit, M. (1956), *Les sols d'Algérie*, en Revue de géographie alpine, T.44 n.4. pp. 749-761.
- Bensaoula, F.; Adjim, M.; Bensalah, M. (2007), *L'Importance des eaux karstiques dans l'approvisionnement en eau de la population de Tlemcen*, en Larhyss Journal, nº6, pp. 57-64.
- Durand, J.-H. (1954). *Notice explicative générale de la Carte des Sols de l'Algérie au 1/200.000^e et au 1/500.000^e*.
- Fekraoui, A. (2007), *Caractéristiques géochimiques des eaux géothermales de la région d'Oran*, en Revue des Energies Renouvelables CER'07, Oujda 2007. pp. 75-80.
- Hassani, M.I.; Hayane, S.M.; Sastre, A. (1994). *Aspects hydrogéologiques de la salinisation du bassin de la Grande Sebkhá d'Oran (Algerie)*, en Análisis y Evolución de la Contaminación de las Aguas Subterráneas, T. II, pp. 141-148.
- López-Geta, J.A.; Andreo, B.; Vías, J.; Durán, J.J.; Carrasco, F. y Jiménez, P. (2003). *Aproximación metodológica para evaluar la*

recarga en acuíferos carbonáticos en Boletín Geológico y Minero 115 (2), pp. 177-186.

- Martínez, C.; Jiménez, A. (2009), *Evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de las masas de agua subterránea intercomunitarias. Masas detríticas y mixtas* en Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas: Actividad 9 (Protección de las aguas subterráneas empleadas para consumo humano según los requerimientos de la Directiva Marco del Agua).
- Saibi, H.; Ehara, S. (2008), *Hydrogeology and vulnerability assessment of groundwater resources in the Mostaganem Plateau, Northwestern Algeria* en Journal of Environmental Hydrology, Vol. 16.

Anexos

1. Diario de Prácticas

- a. **Cronograma**
- b. **Diario de prácticas**

2. Material elaborado

- **Mapas de parámetros DRASTIC**
- **Mapas de vulnerabilidad**

Anexo I.

- a. Cronograma**
- b. Diario de prácticas**

a. Cronograma

MAYO 2011

lun	mar	mié	jue	vie	sáb	dom
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					







JUNIO 2011

lun	mar	mié	jue	vie	sáb	dom
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30			

JULIO 2011

lun	mar	mié	jue	vie	sáb	dom
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31

Clave de lectura de la planificación inicial:

	Reunión		Tareas 1 y 2		Tarea 3
	Tarea 4		DRASTIC-PFM		PFM

b. Diario de prácticas

MAYO 2011

- Miércoles 11 de mayo: Reunión con Elena Moreno en su oficina, establecimiento de objetivos de las prácticas. Definición de un esquema de trabajo.
- 12 de mayo-1 de junio:
 - Consulta de documentación.
 - Información general relativa al proyecto.
 - Solicitud AECID
 - Informes de modelo conceptual. Estudio y comprensión del modelo DRASTIC
 - Contactos con la ANHR (Argelia)
- Lunes 23 de mayo: Reunión en Orán entre el equipo de investigación de la UAL y representantes del ANHR.

JUNIO 2011

- 2 de junio-17 de junio: Búsqueda de información relativa a parámetros del modelo DRASTIC.
 - Modelo Digital de Elevaciones (MDE/DEM)
 - Transformaciones pertinentes para su aplicación
 - Resolución de problemas de formato
- 18 de junio-15 de julio:
 - Obtención del mapa de pendientes (parámetro T de DRASTIC).
 - Planificación de la reunión con M^a del Mar Socías, directora del proyecto AECID.
 - Elaboración de una presentación explicativa del modelo DRASTIC y aplicaciones en la zona de estudio

JULIO 2011

- 4 de julio: Reunión con Elena Moreno para preparar la reunión con M^a del Mar Socías.
- 5 de julio: Reunión con M^a del Mar Socías en la Universidad de Almería. Presentación del modelo DRASTIC de evaluación de la vulnerabilidad hidrogeológica. Definición de:

- Parámetros disponibles
- Parámetros no disponibles
- 20 de junio-15 de julio:
 - Obtención del mapa edafológico (parámetro S de DRASTIC).
 - Aplicación del método APLIS para estimar la recarga potencial del área de estudio.
 - Obtención del mapa de recarga (parámetro R de DRASTIC).
- 18 de julio-22 de julio:
 - Obtención de resultados iniciales del modelo DRASTIC.
 - Discusión de resultados.
 - Elaboración del informe preliminar de prácticas de empresa.
- 25 de julio-29 de julio:
 - Modelización de la vulnerabilidad en la provincia de Orán mediante el método DRASTIC. Resultados.
 - Elaboración de la memoria de prácticas.

AGOSTO 2011

- 01 de agosto-18 de agosto:
 - Correspondencia vía e-mail con expertos de la U. de Orán.
 - Obtención de información geológica de la zona de estudio. Digitalización y obtención de los mapas geológicos (parámetros A e I de DRASTIC).
 - Aproximación teórica de la conductividad hidráulica de los materiales geológicos. Obtención del mapa de conductividad (parámetro C de DRASTIC).
 - Obtención de información gráfica de profundidad de varias zonas de Orán. Georreferenciación y digitalización de la información.

SEPTIEMBRE 2011

- 30 de agosto-13 de septiembre:
 - Correspondencia vía e-mail y telefónica con tutor de la

empresa y de la UAL.

- Obtención del mapa de profundidad del agua subterránea (parámetro D de DRASTIC).
 - Aplicación del método DRASTIC para cálculo de la vulnerabilidad general y a plaguicidas con la información disponible.
- 12 de septiembre: Reunión con Elena Moreno y María del Mar Socías para revisión completa y fijación de objetivos para el PFM.

Anexo II. Material elaborado.

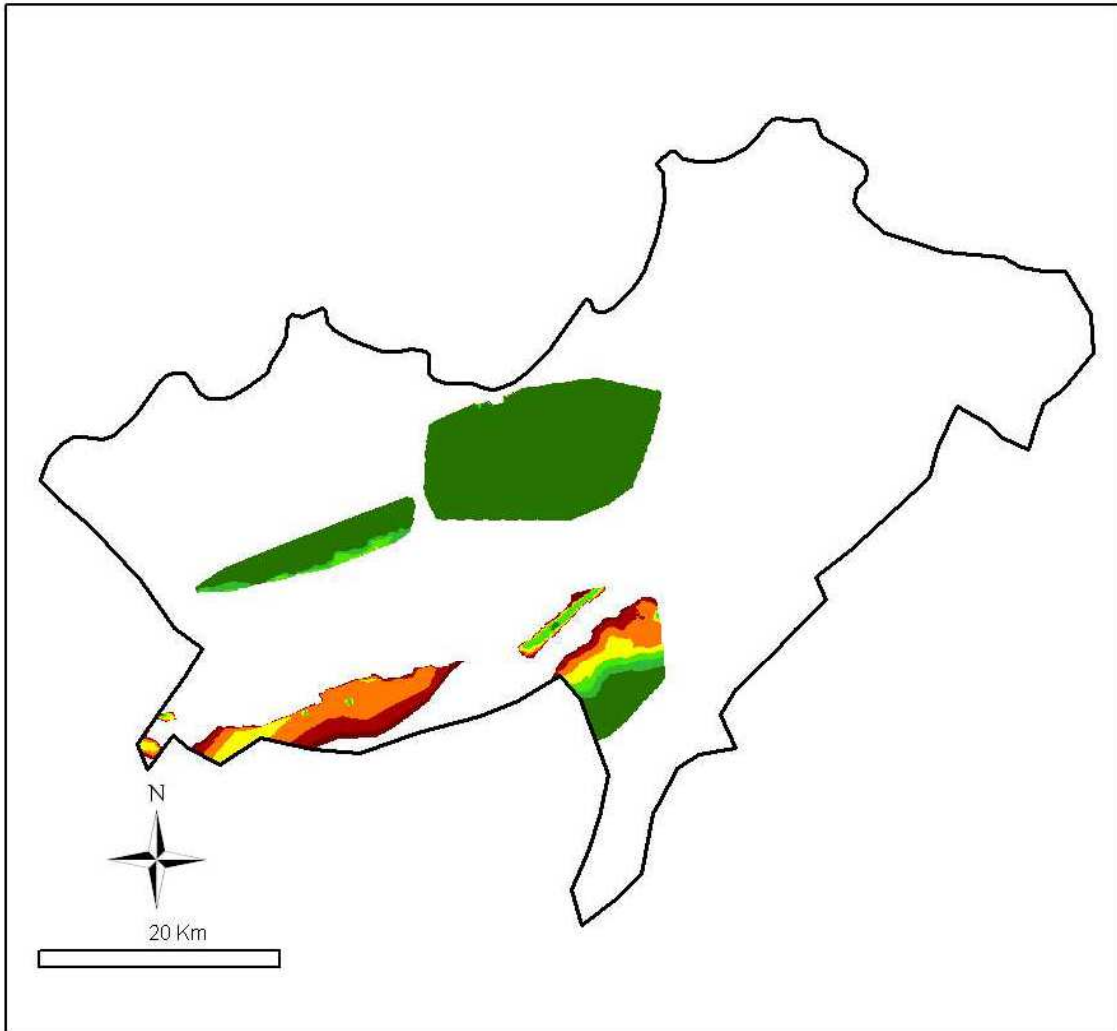
- **Mapas de parámetros DRASTIC**

- i. Figura 1. Parámetro D (Profundidad del agua)
- ii. Figura 2. Parámetro R (Recarga neta)
- iii. Figura 3. Parámetro A (Medio acuífero)
- iv. Figura 4. Parámetro S (Tipo de suelo)
- v. Figura 5. Parámetro T (Topografía)
- vi. Figura 6. Parámetro I (Impacto en la ZNS)
- vii. Figura 7. Parámetro C (Conductividad hidráulica)

- **Mapas de vulnerabilidad**

- viii. Figura 8. Vulnerabilidad general
- ix. Figura 9. Vulnerabilidad a plaguicidas

FIGURA 1. PARÁMETRO D (PROFUNDIDAD DEL AGUA)



Mapa obtenido a partir de datos piezométricos para la aglomeración urbana de Orán y las zonas norte y sur de la Gran Sebkhá. Los valores asignados según la profundidad son:

- 0 - 1.5 m --> 10
- 1.5 - 4.6 m --> 9
- 4.6 - 9.1 m --> 7
- 9.1 - 15.2 m --> 5
- 15.2 - 22.9 m --> 3
- 22.9 - 30.5 m --> 2
- > 30.5 m --> 1

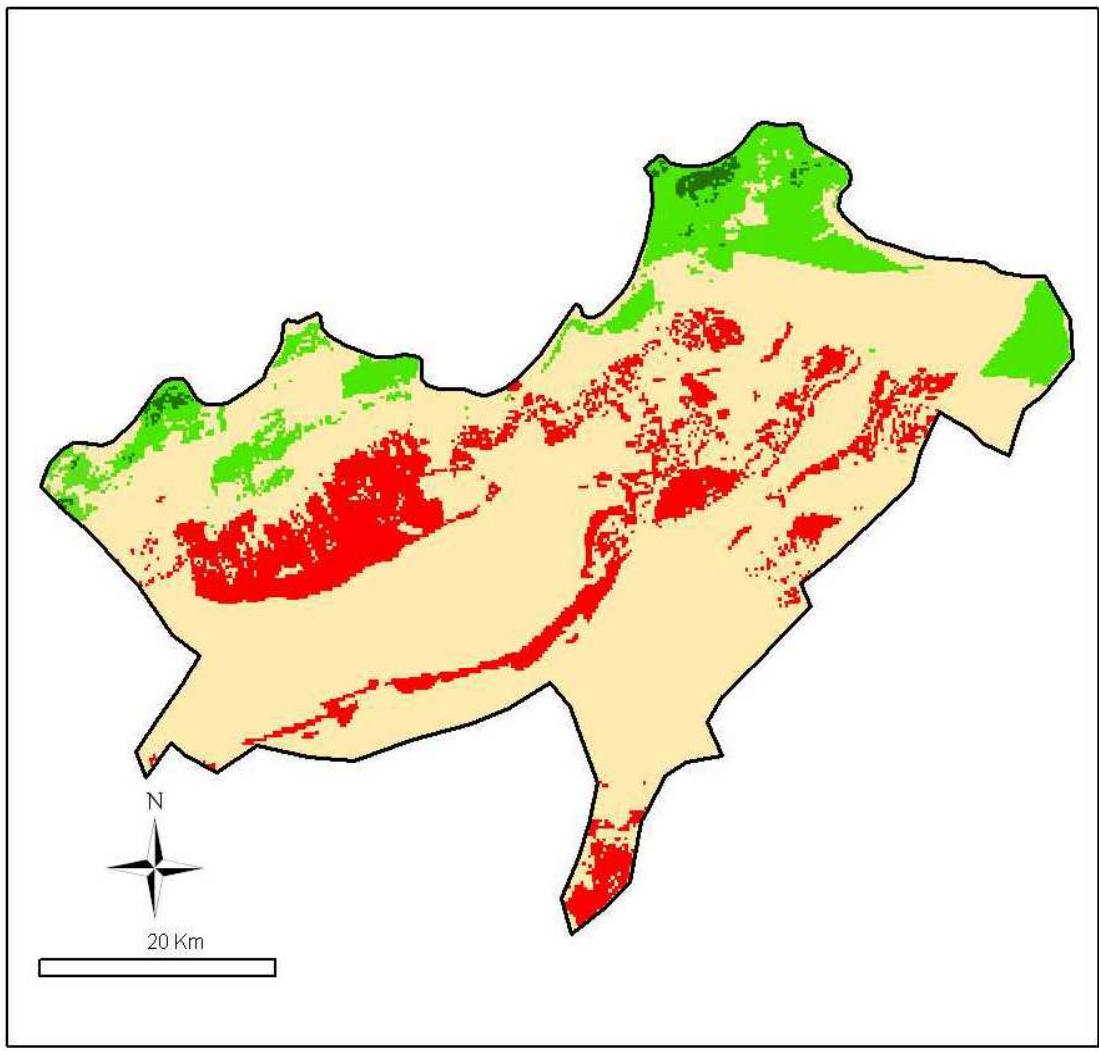
MASTER AQUARID

Acción Integrada ref. D/030166/10

Enrique Villanueva Ojeda



FIGURA 2. PARÁMETRO R (RECARGA NETA)



VALORES R - RECARGA NETA

1	Dark Green
2	Light Green
3	Yellow-Green
4	Yellow
5	Light Orange
6	Orange
7	Red-Orange
8	Red
9	Dark Red
10	Black

Mapa obtenido a partir de datos pluviométricos. Para calcular la recarga neta se ha empleado el método APLIS, el cual estima el porcentaje de recarga en acuíferos carbonáticos.

0 - 50 mm --> 1
 50 - 103 mm --> 3
 103 - 178 mm --> 6
 178 - 254 mm --> 8
 > 254 mm --> 9

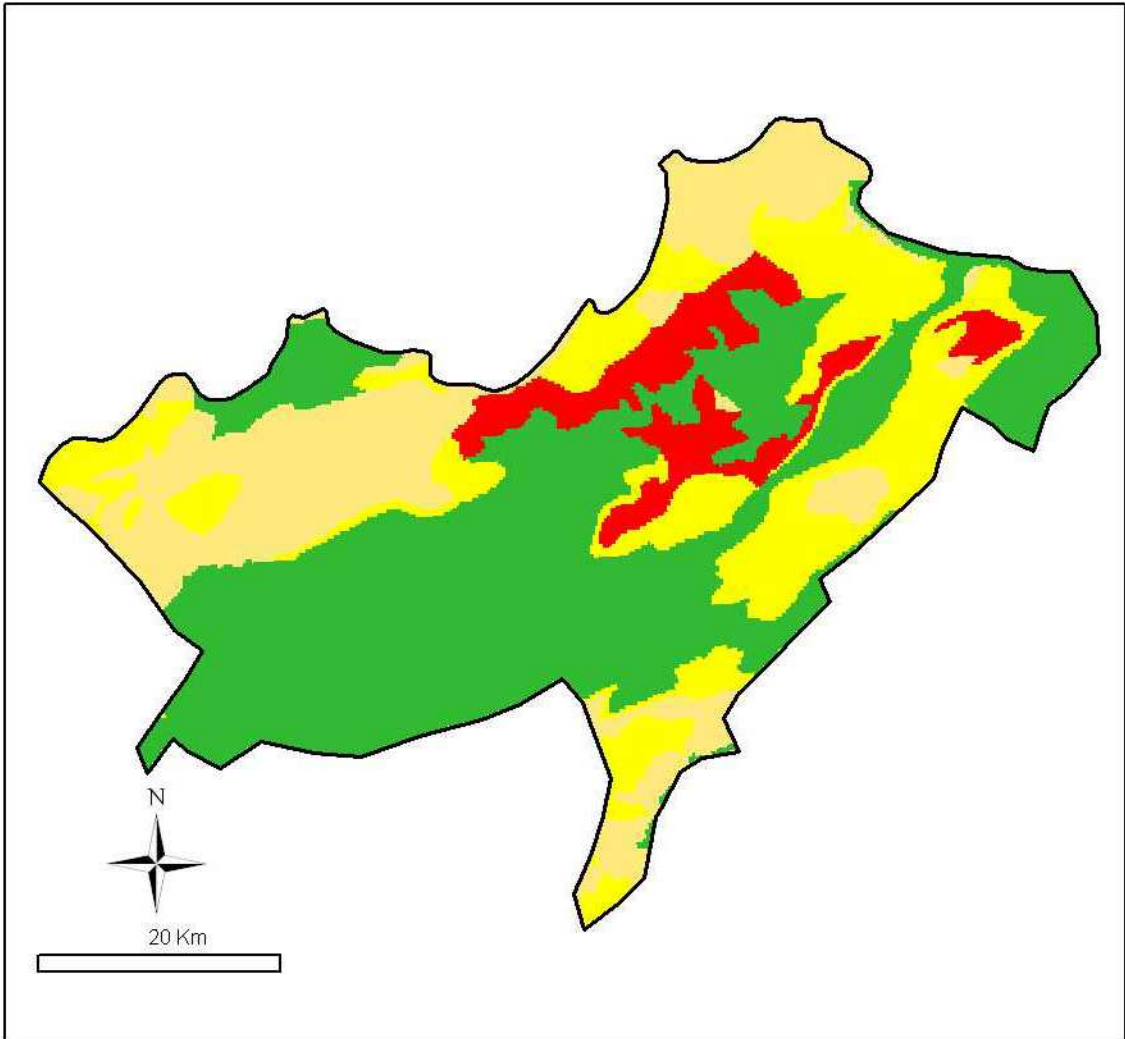
MASTER AQUARID

Acción Integrada ref. D/030166/10

Enrique Villanueva Ojeda



FIGURA 3. PARÁMETRO A (MEDIO ACUÍFERO)



VALORES A - LITOLOGÍA

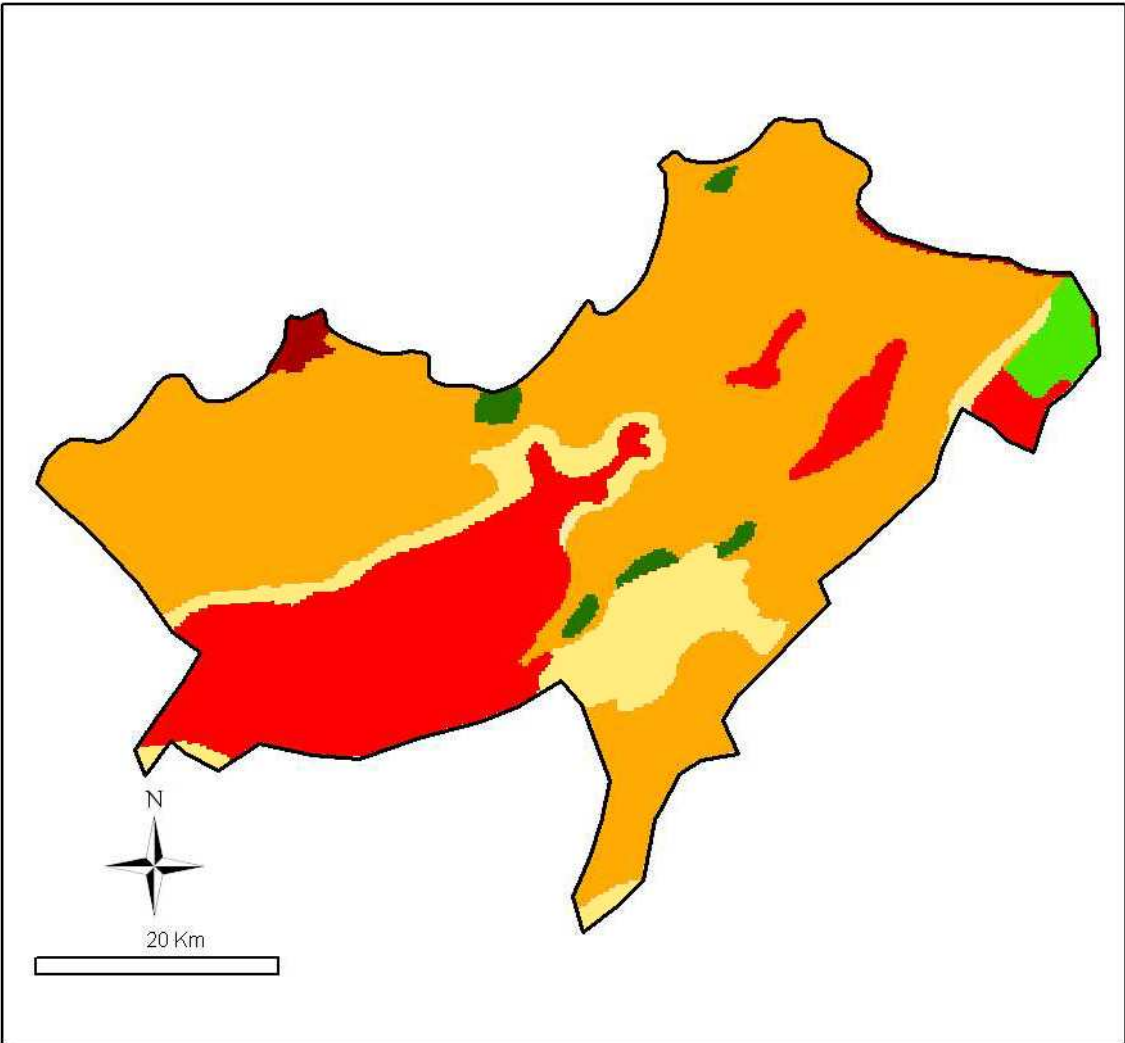
1	Dark Green
2	Green
3	Light Green
4	Yellow-Green
5	Yellow
6	Light Orange
7	Orange
8	Red-Orange
9	Red
10	Dark Red

Mapa obtenido a partir de cartografía de Thomas (1985). Los valores asignados a cada litología del acuífero son: Lutitas masivas (2); Metamórficas/Igneas (3); Metamórfica/igneas meteorizada (4); Till glacial (5); Secuencias de arenisca, caliza y lutitas (5); Arenisca masiva (6); Caliza masiva (6); Arena o grava (8); Basaltos (8); Caliza kárstica (10)

MASTER AQUARID
Acción Integrada ref. D/030166/10
Enrique Villanueva Ojeda



FIGURA 4. PARÁMETRO S (TIPO DE SUELO)



VALORES S - TIPO DE SUELO

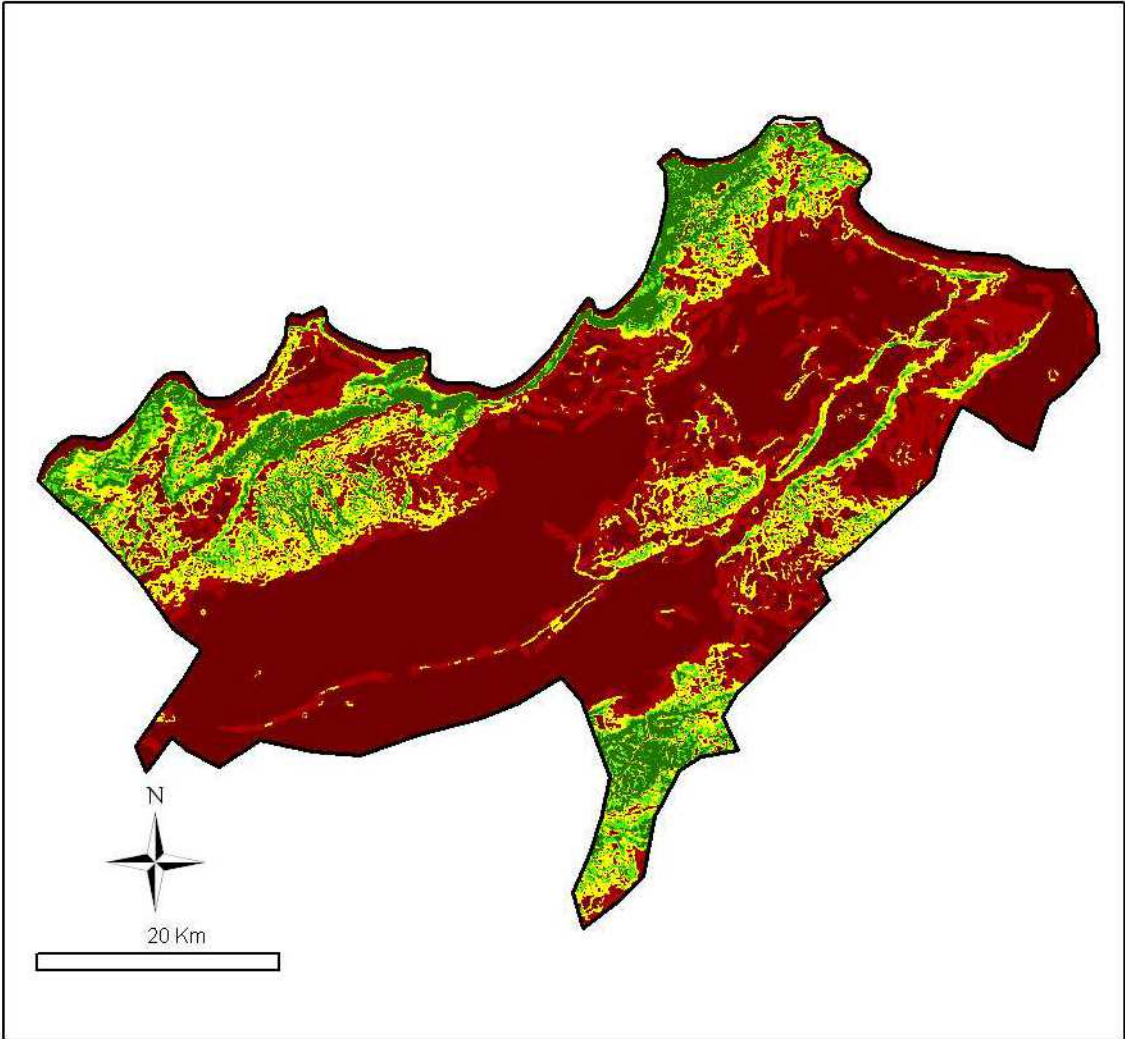
1	Dark Red
2	Red
3	Orange-Red
4	Orange
5	Light Orange
6	Yellow
7	Light Green
8	Green
9	Dark Green
10	Very Dark Green

Mapa obtenido a partir de la Carte des sols de l'Algerie (Durand y Barbut, 1952). Los valores asignados a cada tipo de suelo son: Delgado o ausente (10); Grava (10); Arena (9); Agregado arcilloso o compactado (7); Arenisca margosa (6); Marga (5); Lim o margoso (4); Arcilla margosa (3); Estiércol-cieno (2); Arcilla no compactada no agregada (1)

MASTER AQUARID
 Acción Integrada ref. D/030166/10
 Enrique Villanueva Ojeda



FIGURA 5. PARÁMETRO T (TOPOGRAFÍA)

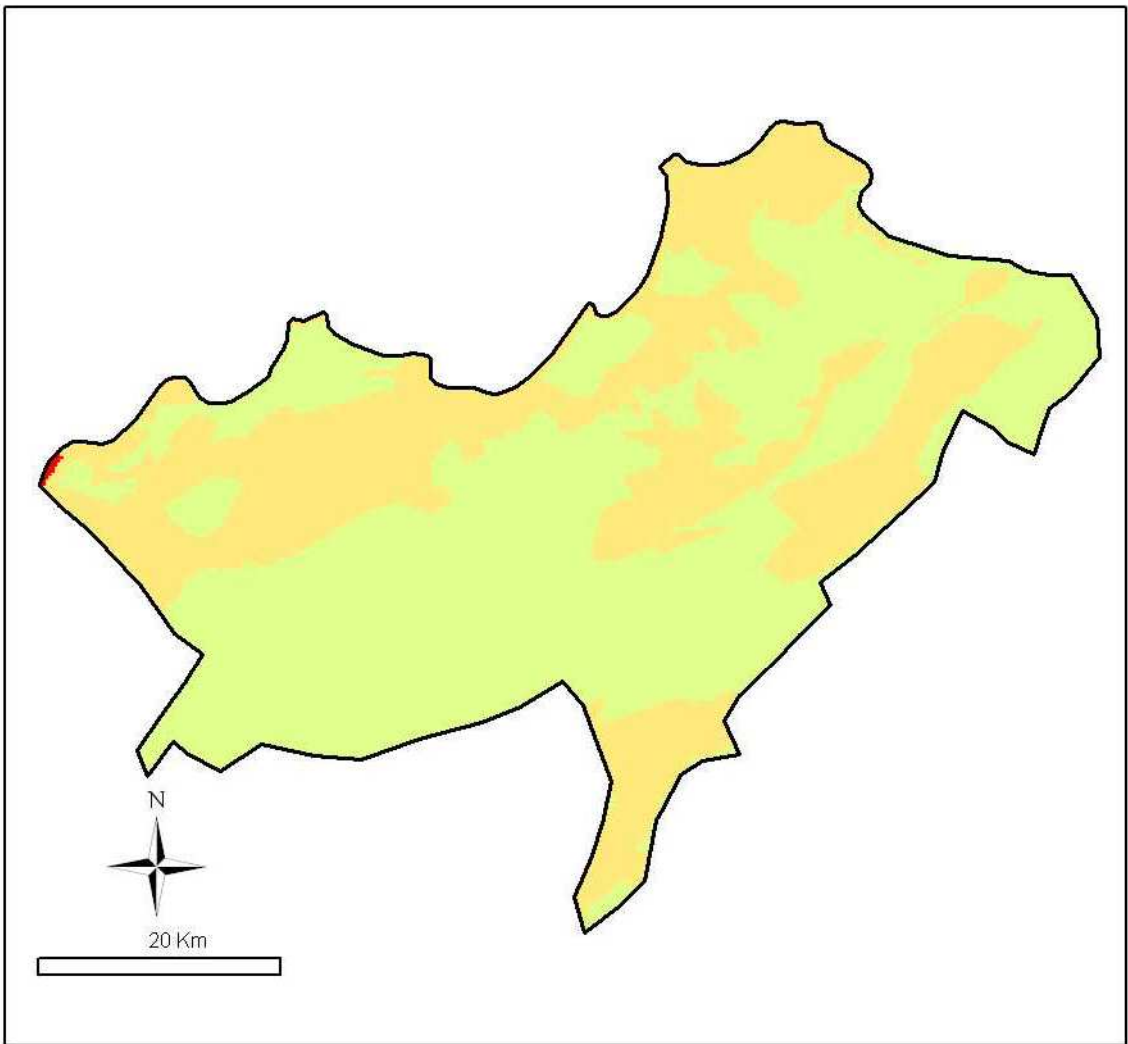


Mapa obtenido a partir del Modelo Digital de Elevaciones (MDE) del United States Geological Survey (USGS). Los valores dados en función de la pendiente son los siguientes:
0 - 2 % → 10
2 - 6 % → 9
6 - 12 % → 5
12 - 18 % → 3
≥ 18 % → 1

MASTER AQUARID
Acción Integrada ref. D/030166/10
Enrique Villanueva Ojeda



FIGURA 6. PARÁMETRO I (IMPACTO EN LA ZNS)

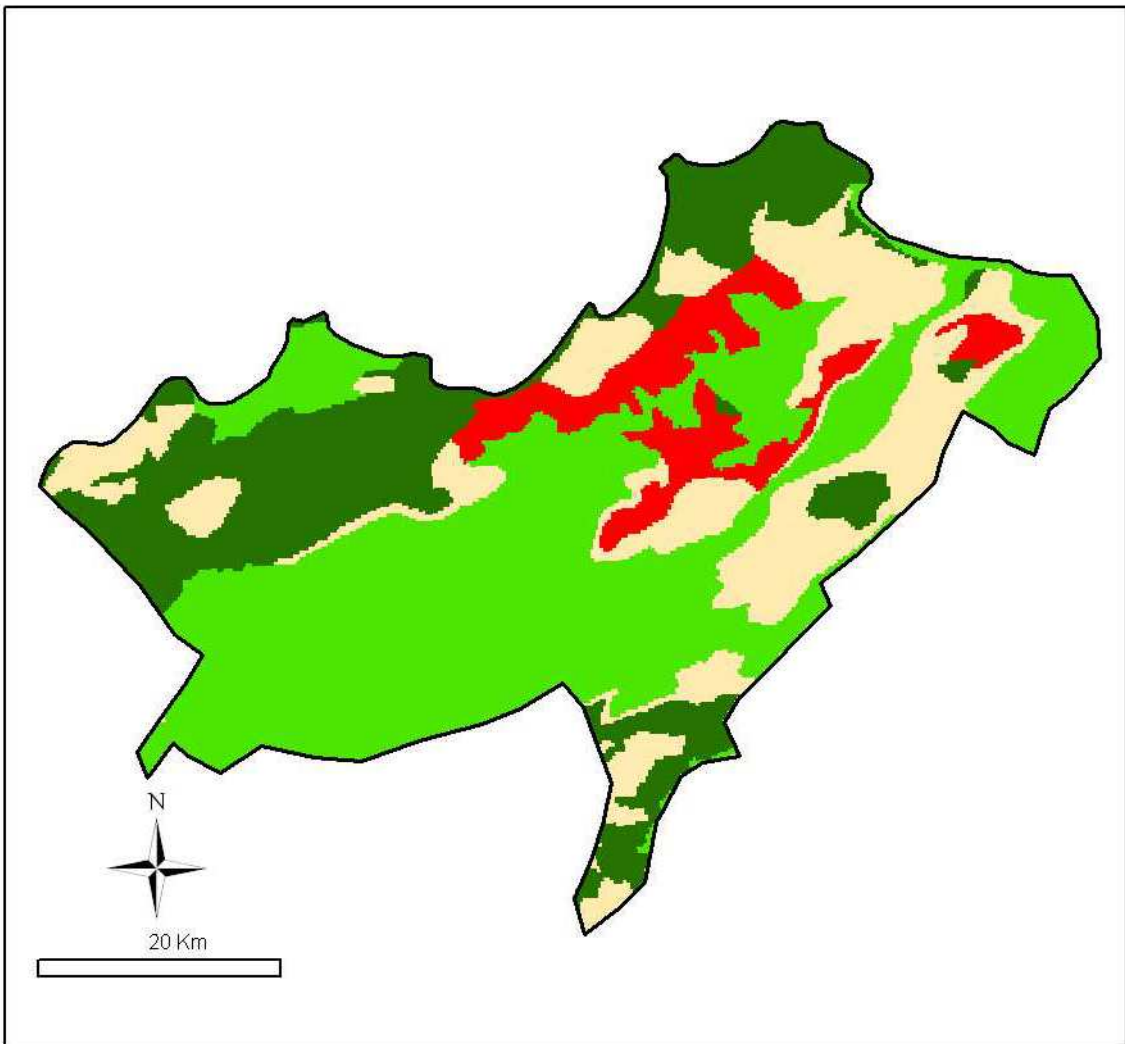


Mapa obtenido a partir de cartografía de Thomas (1985). Los valores asignados a cada litología de la Zona No Saturada (ZNS) son: Capa confinante (1); Lutita (2); Cieno-Arcilla (4); Caliza (6); Arenisca (6); Secuencia de arenisca, caliza y lutita (6); Arena o grava, con cielo y arcilla significativa (6); Metamórfica/ígneas (4); Grava y arena (8); Basalto (8); Caliza kárstica (10).

MASTER AQUARID
 Acción Integrada ref. D/030166/10
 Enrique Villanueva Ojeda



FIGURA 7. PARÁMETRO C (CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA)

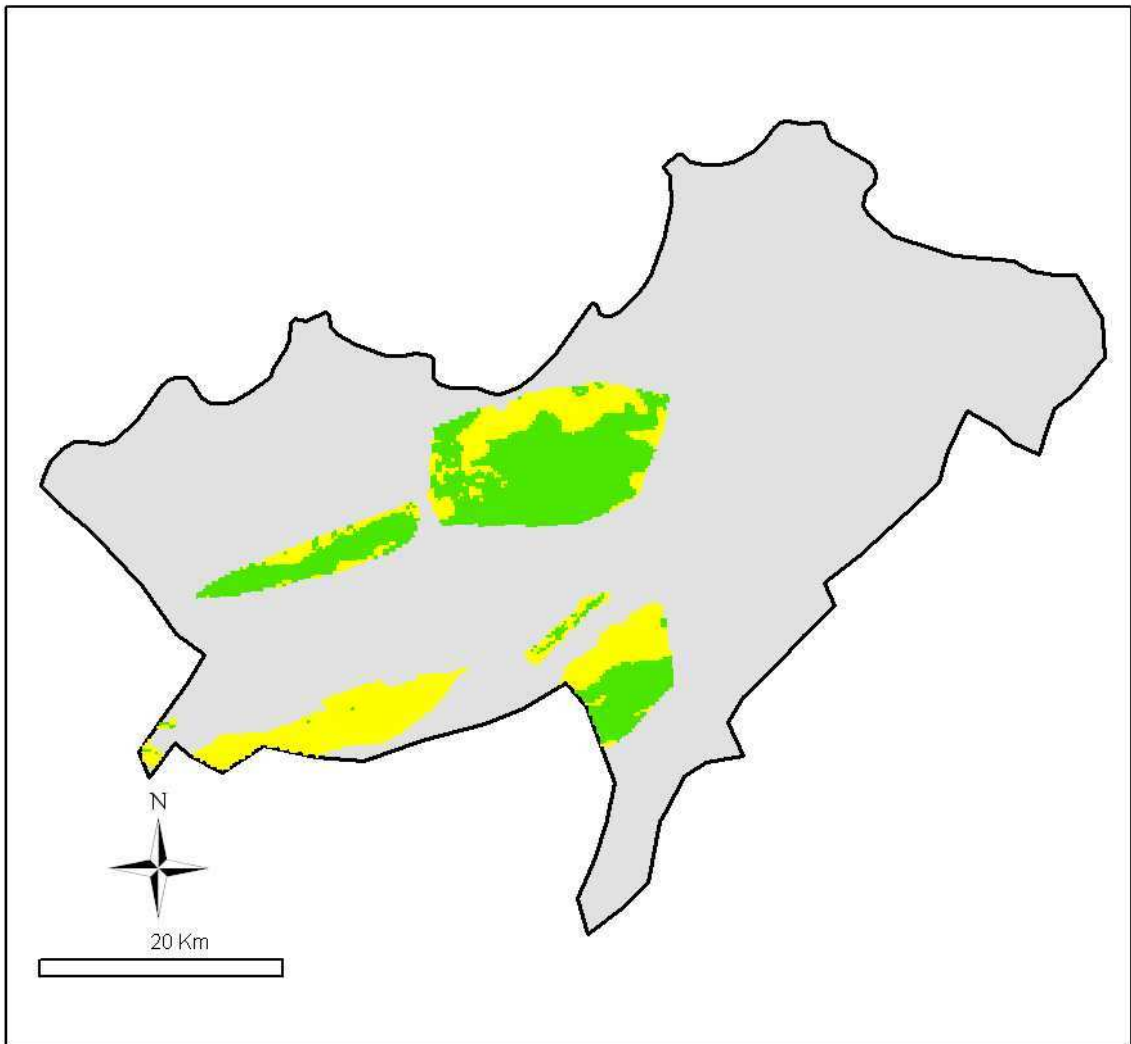


Mapa obtenido a partir de la cartografía de Thomas (1985), aproximando los valores de conductividad hidráulica de las diferentes litologías con Freeze y Cherry (1979), según la siguiente relación:
 0.04 - 4.08 m/día --> 1
 4.08 - 12.22 m/día --> 2
 12.22 - 28.55 m/día --> 3
 28.55 - 40.75 m/día --> 6
 40.75 - 81.49 m/día --> 8
 > 81.49 m/día --> 10

MASTER AQUARID
 Acción Integrada ref. D/030166/10
 Enrique Villanueva Ojeda



FIGURA 8. VULNERABILIDAD GENERAL



VALORES - VULNERABILIDAD

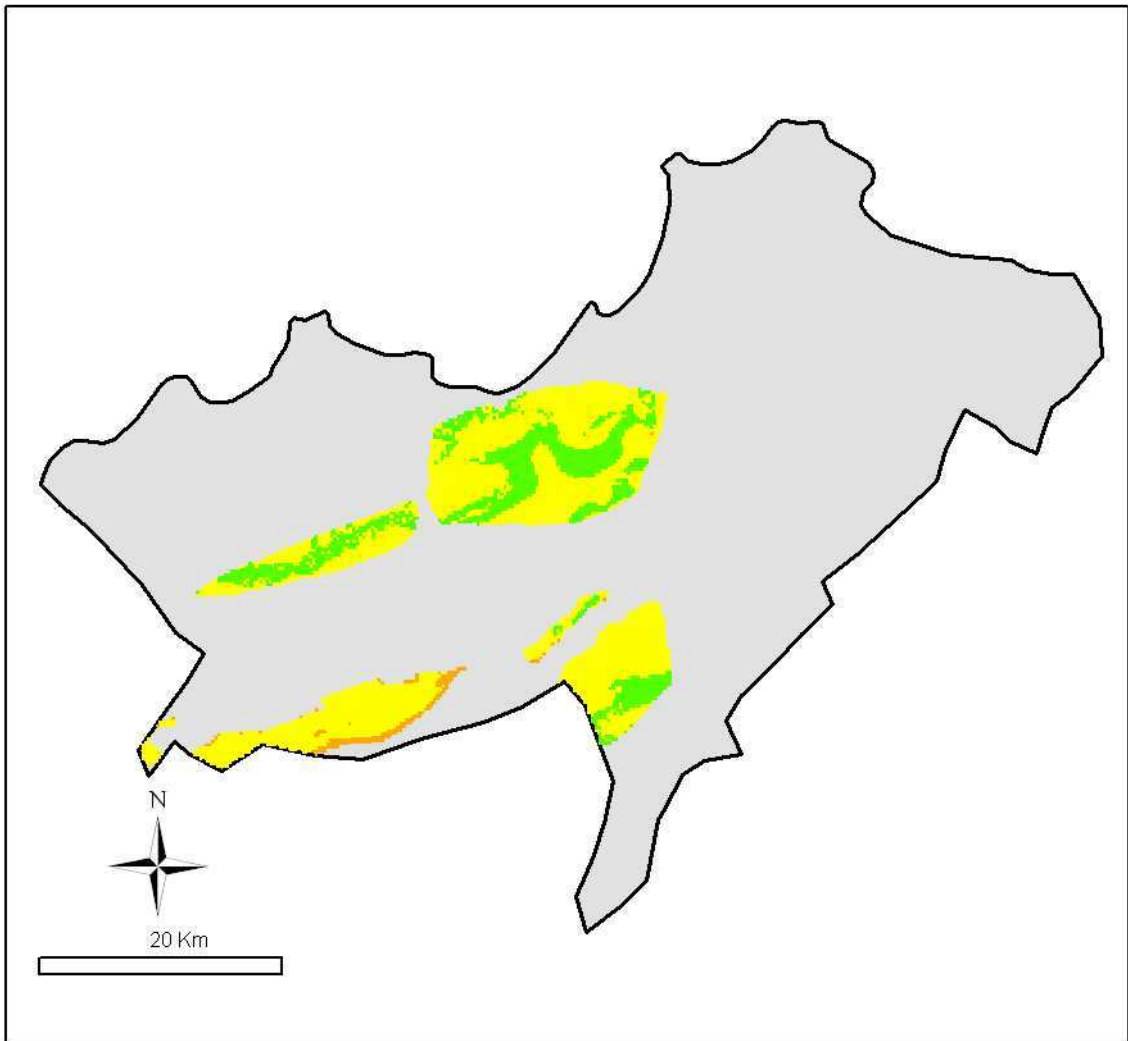
	65- 105 --> BAJA
	105-146 --> MODERADA

Mapa obtenido a partir de los parámetros anteriores (Fig. 1 a 7) con la fórmula siguiente:
 $5D+4R+3A+2S+T+5I+3C$
 para la evaluación de la vulnerabilidad general

MASTER AQUARID
 Acción Integrada ref. D/030166/10
 Enrique Villanueva Ojeda



FIGURA 9. VULNERABILIDAD A PLAGUICIDAS



VALORES - VULNERABILIDAD

	74- 120 --> BAJA
	120-167 --> MODERADA
	167-180 --> ALTA

Mapa obtenido a partir de los parámetros anteriores (Fig. 1 a 7) con la fórmula siguiente:
 $5D+4R+3A+5S+3T+4I+2C$
 para la evaluación de la vulnerabilidad a plaguicidas

MASTER AQUARID
 Acción Integrada ref. D/030166/10
 Enrique Villanueva Ojeda

