

# DISPONIBILIDAD Y CALIDAD DE LAS AGUAS DEL ACUÍFERO DE “EL CALERIZO” DE CÁCERES.”

## PROYECTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE DEL CORREDOR URBANO DE LA RIBERA DEL MARCO

Susanne Schnabel,  
Juan Gil Montes,  
Álvaro Gómez Gutiérrez,  
Ignacio López Martín.

Grupo de Investigación GeoAmbiental (GIGA) de la  
Universidad de Extremadura.

Cáceres, 30 de julio de 2012.

Financiado por el Mecanismo Financiero del Espacio Económico Europeo y el  
Ayuntamiento de Cáceres.



iceland liechtenstein norway  
Con ayuda de una subvención de Islandia,  
Liechtenstein y Noruega a través del Meca-  
nismo Financiero del EEE



AYUNTAMIENTO DE CÁCERES



# DISPONIBILIDAD Y CALIDAD DE LAS AGUAS DEL ACUÍFERO DE “EL CALERIZO” DE CÁCERES.

Proyecto financiado por el Mecanismo Financiero del Espacio Económico Europeo y el Ayuntamiento de Cáceres en el marco del

PROYECTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE DEL CORREDOR URBANO DE LA RIBERA DEL MARCO.

Autores:

Susanne Schnabel (coordinadora),

Juan Gil Montes,

Álvaro Gómez Gutiérrez,

Ignacio López Martín.

Grupo de Investigación GeoAmbiental (GIGA).  
**Universidad de Extremadura.**

Cáceres, 30 julio de 2012.



## ÍNDICE

1. Título de la Investigación.
2. Antecedentes.
3. Equipo de trabajo.
4. Objeto de la investigación.
5. Relación con el proyecto.
6. Desarrollo de los trabajos.
  - 6.1. Información general de El Calerizo de Cáceres:
    - 6.1.1. Geología:
      - 6.1.1.1. Historia Geológica.
      - 6.1.1.2. Estratigrafía.
    - 6.1.2. Tectónica.
    - 6.1.3. Geomorfología.
    - 6.1.4. Hidrogeología.
    - 6.1.5. Información básica acerca de los acuíferos *kársticos* (fundamentos geológicos y geomorfológicos).
      - 6.1.5.1. Formación de un *karst*: Disolución de carbonatos.
      - 6.1.5.2. Características superficiales y subsuperficiales de las calizas: *exokarst* y *endokarst*.
      - 6.1.5.3. El Calerizo de Cáceres.
  - 6.1.6. El balance hidrológico de un acuífero.
7. Metodología
  - 7.1. Resultados
  - 7.2. Cartografía.
    - 7.2.1. Superficie de las entidades geológicas en El Calerizo.
    - 7.2.2. Delimitación de las cuencas vertientes superficiales de descarga de El Calerizo.
    - 7.2.3. Cartografía de los puntos de interés visitados en campo.

Georreferenciación de la imagen de INGEMISA con las divisorias subterráneas.

7.2.1.1. Delimitación de las cuencas subterráneas.

7.2.1.2. Corrección de la cartografía geológica de El Calerizo.

7.2.2. Balance hidrológico de El Calerizo.

7.2.2.1. Descargas naturales.

7.2.2.2. Extracciones y drenajes artificiales.

7.2.2.3. Resumen de las descargas.

7.2.2.4. Análisis de los antecedentes.

7.2.2.5. Análisis de la recarga del acuífero.

7.2.2.6. Calidad del agua.

7.2.2.7. Caracterización físico-química y microbiológica.

A. Toma de muestras.

B. Metodología de análisis.

C. Resultados de análisis.

7.3.4. Determinación de los focos de contaminación.

## **1. TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN**

Disponibilidad y calidad de las aguas del  
acuífero de “El Calerizo” de Cáceres



## 2. ANTECEDENTES

El desarrollo de la Ribera de El Marco depende del **agua** que fluye por su cauce. Existe una estrecha relación entre el caudal del Arroyo de El Marco, también llamado Arroyo del Concejo, y la vegetación que crece en su ribera. Igualmente, de él depende el riego de las huertas ubicadas en su llanura aluvial. En una **gestión sostenible del espacio** de la Ribera de El Marco se debería asegurar un caudal mínimo a lo largo de todo el año y sobre todo durante los años de extrema sequía pluviométrica.

El caudal del Arroyo de El Marco se genera, por un lado, a través de las aguas superficiales producidas en las laderas de su cuenca hidrográfica durante los sucesos de precipitación, y, por otro lado, de los aportes de agua subterránea. Los caudales originados por la escorrentía superficial provocan crecidas de poca duración y de volúmenes variables, dependiendo fundamentalmente de la intensidad de las lluvias. Además, la aportación originada por los flujos superficiales es baja, debido a la reducida extensión de la cuenca de drenaje.

Es la surgencia natural de la **Charca del Marco** la que contribuye con mayores cantidades de agua subterránea al caudal del Arroyo. Este manantial procede del acuífero denominado **El Calerizo** y como cualquier fuente de origen *kárstico* debería tener un flujo permanente y relativamente regular a lo largo del tiempo.

El caudal de la surgencia depende de la pluviometría, de la capacidad del acuífero y de las extracciones mediante pozos de sondeo o galerías de drenaje realizados sobre El Calerizo. En los últimos años se ha podido observar que los caudales de origen natural en el Arroyo del Marco son muy pequeños, habiendo aumentado el caudal de aguas residuales procedentes de colectores.

Los **estudios hidrogeológicos** realizados sobre El Calerizo han aportado información muy valiosa para entender su naturaleza y comportamiento hidrogeológico, pero no permiten abordar la problemática actual, ya que desde los últimos trabajos se han producido cambios, fundamentalmente en las

extracciones incontroladas y en la escasa recarga pluviométrica por el cambio climático. Los estudios recientes más importantes han sido:

- ***Investigación geológico-geotécnica y de riesgos de “El Calerizo” de Cáceres (INGEMISA, 1990).*** Dicho estudio describe el entorno de El Calerizo desde el punto de vista de la litología y estima un balance hidrológico para “El Calerizo” de Cáceres, determinando la recarga y descarga hidrológica del mismo. Para la recarga tiene en cuenta la superficie total que vierten sus aguas hacia El Calerizo, estimada en unos 30 Km<sup>2</sup>, con una recarga media anual en torno a 2,77 Hm<sup>3</sup>. Para la descarga tiene en cuenta los puntos de extracción de agua, así como las surgencias naturales, localizando un total de 18. INGEMISA estima en 2,9 Hm<sup>3</sup> de agua el volumen anual de descargas. Además, desarrolló un extenso estudio geotécnico acerca de los riesgos de hundimientos y colapsos que pueden producirse en la superficie de El Calerizo por la sobreexplotación incontrolada del acuífero.
- ***Estudio hidrogeológico y estimación de la capacidad de extracción de agua del acuífero de “El Calerizo”, desde las labores mineras abandonados de Aldea Moret (Cáceres).*** (A. Jorquera de Guindos y J. Gil Montes, 1994). Dicho estudio estima un balance hídrico de El Calerizo, determinando la recarga en función de la capacidad de infiltración y la superficie ocupada por cada uno de los diferentes materiales que se localizan sobre El Calerizo, siendo el resultado de 3 Hm<sup>3</sup>, al igual que la descarga, para la cual se han tenido en cuenta 13 puntos de extracción.
- ***Estudio previo y de alternativa hidráulica sobre “Integración de la Ribera del Marco en el entorno de la Ciudad de Cáceres”*** (ARISTOS, 2008). Este estudio solo ha facilitado la localización de algunos puntos que potencialmente pueden contaminar El Calerizo.
- ***Estudio hidrogeológico del Calerizo de Cáceres*** (Servicio Geológico de Obras Públicas, 1970).
- ***Programa de vigilancia ambiental en el Club de Golf Norba (Cáceres)*** (A. Jorquera de Guindos, 1992-1994). Los resultados más importantes se recogen en A. Jorquera de Guindos y J. Gil Montes (1994).

Por último, y de gran relevancia, es la **calidad de las aguas** del acuífero, fundamental para su uso doméstico o agrícola como es el riego de las huertas que se encuentran en las inmediaciones del Arroyo del Concejo, aguas abajo de la surgencia de la Charca de El Marco. El hecho de que El Calerizo sea un espacio periférico a la ciudad de Cáceres y muy vulnerable por su naturaleza kárstica de gran permeabilidad, ha propiciado que se cometan en él importantes abusos y atentados ecológicos, causantes de fuertes impactos ambientales y de su progresivo deterioro ecológico.

### 3. EQUIPO DE TRABAJO

- Dra. Susanne Schnabel, coordinadora (geógrafa, especialista en Hidrología y Geomorfología).
- Ldo. Juan Gil Montes (geólogo, especialista en Hidrogeología).
- Dr. Ignacio López Martín (químico).
- Dr. Álvaro Gómez Gutiérrez (ingeniero de Geodesia y Cartografía; geógrafo, especialista en análisis espacial y cartografía).

## 4. OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN

Los objetivos principales del presente estudio son la determinación de la recarga natural del acuífero *El Calerizo* y de la descarga natural a través de las surgencias o manantiales, así como la estimación del volumen anual de las extracciones mediante las bombas de los sondeos. Otro objetivo tratará de la evaluación de la calidad de las aguas del acuífero en diferentes puntos de descarga y la definición de posibles focos de contaminación.

Los objetivos específicos del presente estudio se resumen a continuación:

1. Estudio de la información existente acerca del acuífero.
2. Localización de las descargas naturales y de los puntos de extracción de agua.
3. Determinación de los caudales naturales (por ejemplo, la surgencia en la Charca del Marco).
4. Estimación de los volúmenes de extracción de agua subterránea, fundamentalmente en los pozos de sondeo.
5. Estimación de la recarga natural del acuífero y sus variaciones temporales.
6. Establecer el balance hidrológico del acuífero.
7. Determinación de la calidad de las aguas de los manantiales y de las extracciones.
8. Elaboración de la cartografía digital:
  - Cuencas de drenaje superficial (red de drenaje, cuencas hidrográficas)
  - Delimitación de las superficies de recarga de aguas subterráneas
  - Focos potencialmente contaminantes de las aguas subterráneas del acuífero
9. Propuestas para la gestión de *El Calerizo*.

## **Actividades desarrolladas:**

1. Recopilación de la información existente sobre el acuífero de El Marco y la gestión del mismo por parte de las autoridades y empresas responsables. Por un lado, se revisarán los estudios hidrogeológicos disponibles y, por otro lado, se recopilará toda la información por parte de las autoridades y empresas relacionadas con la gestión del agua en la ciudad de Cáceres.
2. Se ha desarrollado el trabajo de campo con el objetivo de localizar las descargas o pérdidas de agua de El Calerizo, tanto naturales (fuentes) como extracciones artificiales (pozos y galerías).
3. Determinación de las cantidades de agua extraída (caudales) en base a todas las fuentes de información disponibles y entrevistas con las personas y/o empresa implicadas.
4. Cálculo de los parámetros hidrológicos en base a las características de las captaciones superficiales y subterráneas.
5. Análisis de datos climáticos.
6. Determinación de la recarga natural de agua.
7. Estimación de los caudales naturales (manantiales de El Marco, Arropez, La Alberca, Sta. Ana y el Junquillo).
8. Análisis e interpretación de toda la información y de los datos recopilados acerca de la recarga natural, volumen del acuífero, extracciones y caudales. Determinación del recurso extraíble anual, que representa el volumen máximo de agua que se puede bombear, como media interanual, sin incidir de forma negativa en el régimen de funcionamiento natural del acuífero, en sus reservas totales y en el caudal permanente de la surgencia que origina la Ribera del Marco.
9. Muestreo de agua en varios puntos del acuífero (agua de manantiales y extraída por pozos de sondeo) y caracterización química y bioquímica.
10. Elaboración de un sistema de información geográfico (SIG) de El Calerizo y su área de influencia

11. Cartografía de focos potencialmente contaminantes de las aguas subterráneas de El Calerizo: Realización de trabajo de campo con el fin de localizar con GPS los puntos potencialmente contaminantes (construcciones ilegales, escombreras y basureros incontrolados, vertidos de aguas residuales por la red de alcantarillado, pozos negros, desguaces, infraviviendas, etc.). Esta información se ha integrado posteriormente en un mapa digital del área de estudio con la ayuda de un SIG.
12. Conclusiones del trabajo y propuestas de gestión.

## 5. RELACIÓN CON EL PROYECTO

La importancia del acuífero en el medio natural de la Ribera del Marco y en las actividades que en ella se desarrollan, el desconocimiento acerca de la disponibilidad del recurso subterráneo de agua, así como de su calidad, justifican el inicio de un estudio hidrogeológico acerca de El Calerizo.

Las actividades están dirigidas claramente hacia la potenciación y mejora del recurso, base fundamental que justifica toda la existencia misma de la Ribera del Marco: **Las aguas subterráneas**. No pueden darse ciertas actividades socioeconómicas sin este recurso clave, y por ello entendemos que el proyecto se adecúa perfectamente a los objetivos del área 18 de la acción del Proyecto de Desarrollo Sostenible en el Corredor Urbano de la Ribera del Marco y, en general, a la filosofía de la acción en su conjunto.

## 6. DESARROLLO DE LOS TRABAJOS

### 6.1. Información general sobre *El Calerizo*

La ciudad de Cáceres, capital de la provincia que recibe el mismo nombre, se localiza en el centro de la Comunidad Autónoma de Extremadura.

Los límites naturales del área de estudio son: al norte el profundo foso del valle del río Tajo; al oeste las pobres tierras del berrocal granítico de Cabeza de Araya; al sur el umbral constituido por las Sierras de San Pedro y Montánchez; y al este la extensa penillanura trujillana-cacereña. En el centro de este marco geográfico, se levanta la estratégica Sierra de la Mosca (La Montaña de Cáceres) y de su núcleo calcáreo surge permanentemente el único manantial de importancia que existe entre las aguas del Tajo y del Guadiana en esta comarca extremeña. Estas aguas dan origen a la Ribera del Marco, las cuales después de abrirse paso entre las cuarcitas y pizarras de La Montaña, se reparten en la rica vega que ha abastecido de productos hortícolas la ciudad.

La Sierra de la Mosca representa una macroestructura de plegamiento: El Sinclinal de Cáceres, marcada en los flancos por las duras crestas cuarcíticas, y en su núcleo las calizas dolomíticas de El Calerizo de Cáceres. Dicha sierra se eleva sobre la penillanura trujillana - cacereña hasta una altura máxima de 646 metros en el vértice del Portanchito, seguido por cotas menores como el Cerro del Milano con 644 metros, La Alberca de 640 metros y el Cerro de la Señorina de 580 metros de altitud. El Calerizo de Cáceres se localiza al sur de la ciudad y sus afloramientos calcáreos forman un anillo ovalado, de espesor irregular, con altitudes que oscilan entre los 430 y 500 metros.

La red fluvial del área de estudio presenta un drenaje radial con centro en el núcleo del sinclinal, atravesando el citado anillo de rocas calizas. De todos los arroyos que forman dicha red fluvial, el Arroyo del Concejo presenta escorrentía durante todo el año, gracias a la aportación del manantial de El Marco situado en su cabecera, (localizado bajo la Charca El Marco); así como el arroyo del Alcor de Santa Ana, aunque en este caso se debe actualmente a causas antrópicas, ya que éste cauce recibe la mayor parte de su aportación de la galería de drenaje de la Mina Esmeralda y de la estación depuradora de aguas residuales de la urbanización *Ceres Golf* y del Campamento Militar.



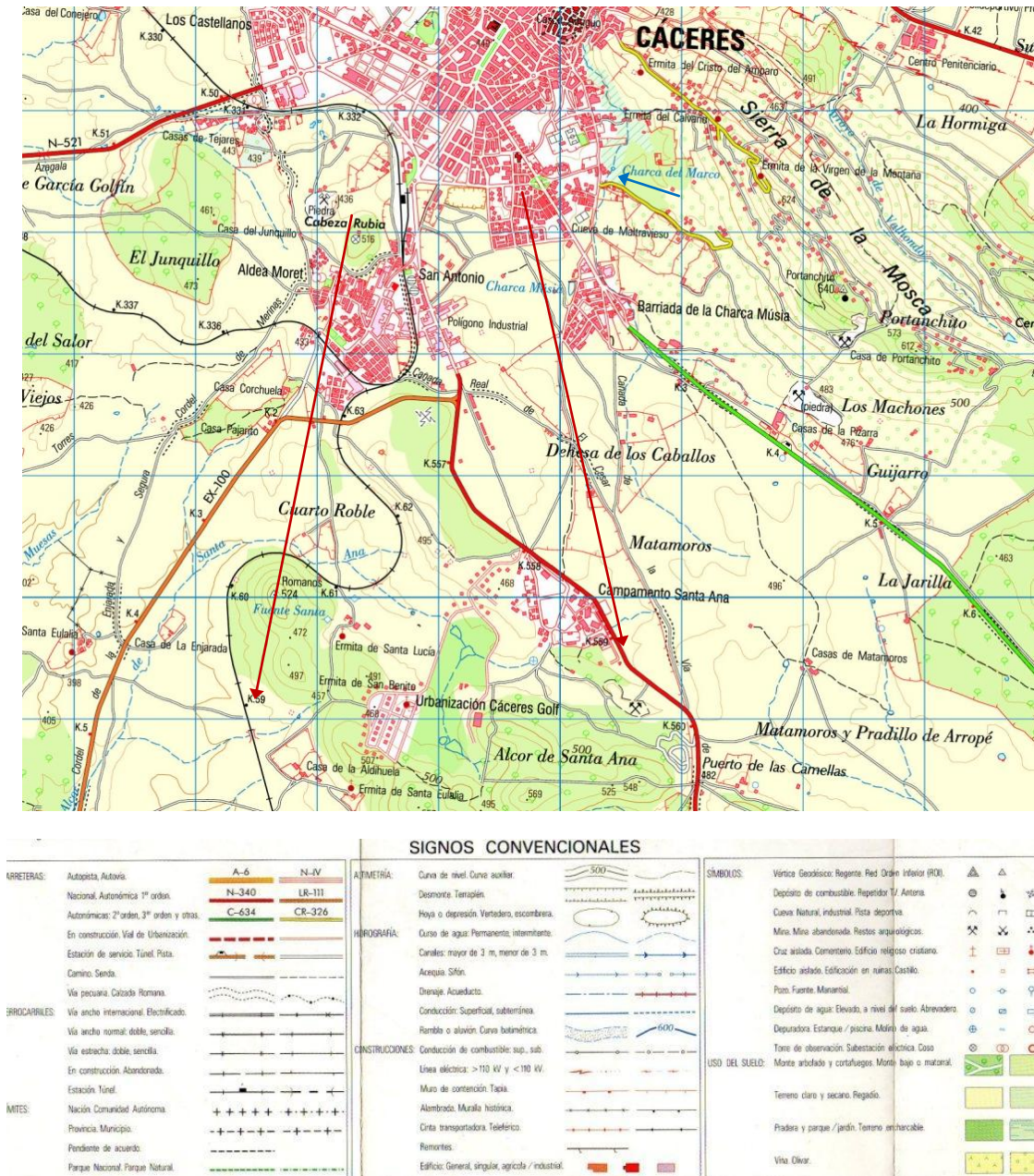


Figura 1. Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 del área del estudio. La flecha azul indica la localización de la Charca del Marco.



### 6.1.1. Geología

La información sobre la geología del área de estudio se basa fundamentalmente en la memoria que acompaña el mapa geológico de Cáceres, hoja nº 704, escala 1/50.000 de la serie MAGNA del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), cuyos autores son M. Tena Dávila y L.G. Corretge, publicado en 1982.

#### 6.1.1.1 Historia geológica

Durante el Precámbrico Superior se producen numerosos depósitos marinos de una potente serie detrítica con algunas intercalaciones volcánicas, conocida como “Complejo Esquisto-Grauváquico” (CEG).

En el Cámbrico Inferior y Medio debería haberse depositado una serie detrítica y carbonatada, pero en el área de estudio se da una laguna estratigráfica que se produce después del Cámbrico Medio y que se caracteriza en esta zona por suaves pliegues de dirección NE-SO, acompañada de una fase erosiva importante.

A partir del Ordovícico Inferior se instalan de nuevo condiciones netamente marinas que van a sufrir pocas variaciones, depositándose arenas y limos que por litogénesis darán lugar a cuarcitas, areniscas y lutitas (pizarras), que indican aguas de playas arenosas y aguas más profundas (limos).

Durante el Silúrico se mantiene sin variaciones apreciables el ambiente de sedimentación marina, a excepción de la deposición de lutitas ampelíticas al aumentar la profundidad de la cuenca sedimentaria.

La serie detrítica continúa en el Devónico, en el que se producen variaciones en la profundidad originando diferentes tramos lutíticos y/o cuarcíticos.

Seguidamente, en el Carbonífero Inferior la cuenca sufre una importante disminución en la profundidad, depositándose calizas coralinas. A continuación, la cuenca vuelve a adquirir mayores profundidades, dando lugar a depósitos de características distales.

Todos estos materiales paleozoicos serán deformados por la orogenia hercínica, dando lugar a macroestructuras como el Sinclinal de Cáceres.

Además, tiene lugar la intrusión de los batolitos graníticos de la zona, que producen un metamorfismo de contacto que afecta tanto a los materiales anteordovícicos como a la serie paleozoica.

Por último, a partir del Carbonífero Superior, el área se encuentra emergida y la posible sedimentación en cuencas continentales restringidas será desmantelada por sucesivas etapas de erosión, que culminarán en el Pliocuatrnario con el arrasamiento de los materiales precámbricos y paleozoicos, dejando al Sinclinal de Cáceres al descubierto y dando lugar a la formación de la penillanura, así como a la sedimentación de depósitos de las rañas.

La **figura 2** presenta un detalle del mapa geológico, junto con la leyenda, y las **figuras 3 y 4** los perfiles geológicos correspondientes, extraídos del IGME (1982). Ambas figuras ilustran acerca de la estructura del Sinclinal de Cáceres, observándose los afloramientos de las calizas dolomíticas que constituyen el acuífero de El Calerizo, conformando un anillo ovalado irregular de dirección NW-SE.

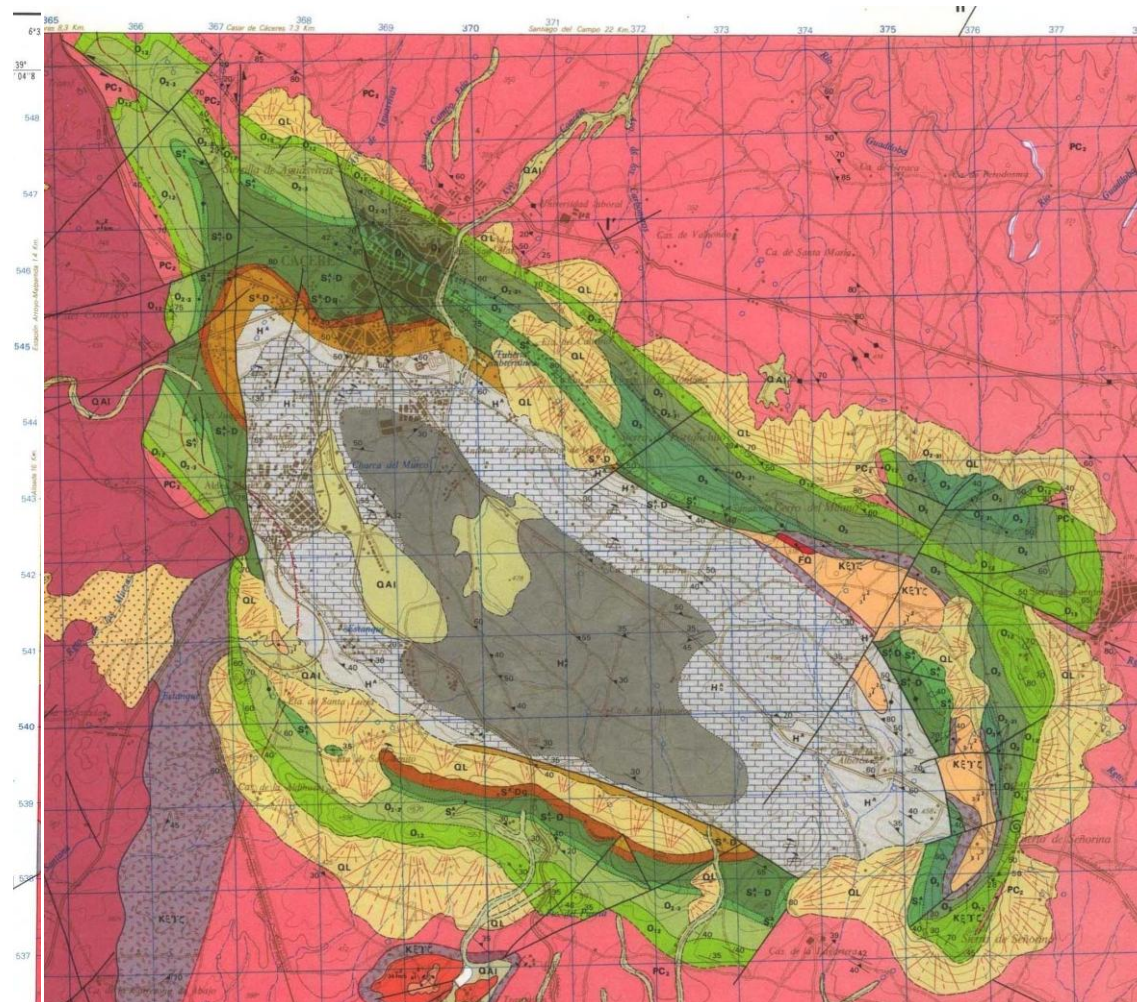


Figura 2. Mapa geológico del Sinclinal de Cáceres (IGME, 1982).

### LEYENDA

| CUATERNARIO       |                | D.E                         | Q.A.I                       | Q.E                         | Q.L                                                          |
|-------------------|----------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------|
| CARBONIFERO       | INFERIOR       | H <sub>p</sub> <sup>A</sup> | H <sub>p</sub> <sup>A</sup> | H <sub>p</sub> <sup>A</sup> | Derrubios de ladera                                          |
|                   |                | H <sub>2</sub> <sup>A</sup> | H <sub>2</sub> <sup>A</sup> | H <sub>2</sub> <sup>A</sup> | Q.A.I Aluvial                                                |
|                   |                | H <sub>1</sub> <sup>A</sup> | H <sub>1</sub> <sup>A</sup> | H <sub>1</sub> <sup>A</sup> | Q.E Eluvial                                                  |
|                   |                | H <sup>A</sup>              | H <sup>A</sup>              | H <sup>A</sup>              | H <sub>2</sub> <sup>A</sup> Pizarras                         |
| DEVONICO SILURICO | LLANDOVERYENSE | H <sup>A</sup>              | H <sup>A</sup>              | H <sup>A</sup>              | H <sub>1</sub> <sup>A</sup> Calizas                          |
|                   |                | S <sup>A</sup> -D           | S <sup>A</sup> -D           | S <sup>A</sup> -D           | H <sup>A</sup> Pizarras y Tuff volcánicos                    |
|                   |                | S <sup>A</sup> -Dq          | S <sup>A</sup> -Dq          | S <sup>A</sup> -Dq          | S <sup>A</sup> -D Cuarcitas, pizarras y areniscas rojas      |
|                   |                | S <sup>A</sup> -D           | S <sup>A</sup> -D           | S <sup>A</sup> -D           | S <sup>A</sup> -Dq Cuarcitas                                 |
|                   |                | S <sup>A</sup> -D           | S <sup>A</sup> -D           | S <sup>A</sup> -D           | S <sup>A</sup> -D Pizarras y areniscas micaceas              |
|                   |                | S <sup>A</sup> -D           | S <sup>A</sup> -D           | S <sup>A</sup> -D           | S <sup>A</sup> Cuarcitas, Ampelitas a techo                  |
| ORDOVICICO        | SUPERIOR       | S <sup>A</sup> <sub>1</sub> | S <sup>A</sup> <sub>1</sub> | S <sup>A</sup> <sub>1</sub> | O <sub>2-3</sub> Pizarras, cuarcitas y areniscas             |
|                   |                | O <sub>3</sub>              | O <sub>3</sub>              | O <sub>3</sub>              | O <sub>3</sub> Pizarras                                      |
|                   | CARADOCIENSE   | O <sub>2-21</sub>           | O <sub>2-21</sub>           | O <sub>2-3</sub>            | O <sub>2-21</sub> Cuarcitas                                  |
|                   |                | O <sub>2</sub>              | O <sub>2</sub>              | O <sub>2</sub>              | O <sub>2</sub> Pizarras que intercalan cuarcitas y areniscas |
|                   | MEDIO          | O <sub>2</sub>              | O <sub>2</sub>              | O <sub>2</sub>              | O <sub>2</sub> Cuarcita armoricana                           |
|                   |                | O <sub>2</sub>              | O <sub>2</sub>              | O <sub>2</sub>              | PC <sub>2</sub> Grauwacas, esquistos y pizarras              |
| INFERIOR          | SKIDAWIENSE    | O <sub>12</sub>             | O <sub>12</sub>             | O <sub>12</sub>             | c.g Conglomerado de cuarzo                                   |
|                   | PREC.          | SUPERIOR                    | PC <sub>2</sub>             | c.g                         |                                                              |

- Q.L. Derrubios de ladera
- Q.A.I. Aluvial
- Q.E. Eluvial
- H<sub>p</sub><sup>a</sup> Pizarras
- H<sub>p</sub><sup>a</sup> Calizas
- H<sup>a</sup> Pizarras y Tuff volcánicos
- S<sup>a</sup>-D Cuarcitas, pizarras y areniscas rojas
- S<sup>a</sup>-Dq Cuarcitas
- S<sup>a</sup>-D Pizarras y areniscas micaceas
- S<sup>a</sup> Cuarcitas, Ampelitas a techo
- O<sub>2</sub> Pizarras, cuarcitas y areniscas
- O<sub>2</sub> Pizarras
- O<sub>2</sub> Cuarcitas
- O<sub>2</sub> Pizarras que intercalan cuarcitas y areniscas
- O<sub>2</sub> Cuarcita armoricana
- PC<sub>2</sub> Grauwacas, esquistos y pizarras
- cg Conglomerado de cuarzo

### ROCAS PLUTONICAS

|  |                  |                                                               |
|--|------------------|---------------------------------------------------------------|
|  | $\gamma_{10m}^2$ | Granitos, granodioritas y cuarzodioritas de dos micas         |
|  | $\gamma_{10m}^2$ | Granito biotítico moscovítico con megacrístales de feldespato |
|  | $\gamma_{10m}^2$ | Granito de grano grueso y leucogranitos                       |
|  | $\gamma_{10m}^2$ | Granito alcalino aptítico de la Zafra del Casar               |
|  | $\gamma_{10m}^2$ | Granito de dos micas del Trasquilón.                          |
|  | $\gamma_{10m}^2$ | Leucogranito de caracter aptítico del Trasquilón              |
|  | $\gamma_{10m}^2$ | Granito porfídico de dos micas                                |
|  | $\gamma_{10m}^2$ | Leucogranito de biotita y moscovita                           |
|  | $\gamma_{10m}^2$ | Granito inequigranular de dos micas                           |
|  | $\gamma_{10m}^2$ | Granito biotítico clorítico tectonizado                       |
|  | $\gamma_{10m}^2$ | Facies aptíticas de borde                                     |

### ROCAS FILONIANAS

|  |    |                  |
|--|----|------------------|
|  | FQ | Diques de cuarzo |
|--|----|------------------|

### METAMORFISMO DE CONTACTO

|  |                               |                                                                                  |
|--|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
|  | K <sub>2</sub>                | Cornubianitas                                                                    |
|  | K <sub>2</sub> T <sub>2</sub> | Grauwacas, esquistos, pizarras y cuarcitas mosqueadas y nodulosas, Cornubianitas |

Leyenda del mapa geológico (IGME, 1982).

### 6.1.1.2. Estratigrafía

Los materiales que conforman el Sinclinal de Cáceres y nuestra área de estudio son los siguientes (IGME, 1982):

1. Cuarcita armoricana del Ordovícico Inferior ( $O_{12}$ ).
2. Pizarras que intercalan cuarcitas y areniscas del Ordovícico ( $O_2$ ).
3. Cuarcitas del Ordovícico superior ( $O_{2-31}$ ).
4. Pizarras del Ordovícico ( $O_3$ ).
5. Pizarras, cuarcitas y areniscas ( $O_{2-3}$ ).
6. Cuarcitas, ampelitas a techo, del Silúrico ( $S_1^A$ ).
7. Pizarras y areniscas micáceas del Silúrico ( $S_1^A-D$ ).
8. Cuarcitas del Devónico ( $S^B-Dq$ ).
9. Cuarcitas, pizarras y areniscas rojas del Devónico ( $S^B-D$ ).
10. Pizarras y tuff volcánicos del Carbonífero ( $H^A$ ).
11. Calizas del Carbonífero Inferior ( $H^A_c$ ).
12. Pizarras del Carbonífero ( $H^A_p$ ).
13. Aluviales del Cuaternario (QAI).
14. Derrubios de ladera del Cuaternario (QL).
15. Granito biotítico clorítico tectonizado ( $3\gamma^2$ ).
16. Grauvacas y esquistos precámbricos (CEG), pizarras mosqueadas y nodulosas ( $K\xi\gamma\zeta$ ) y cornubianitas ( $K\zeta$ ).

Así, a continuación se describirán los diferentes materiales, siguiendo el mismo orden, que parte desde el exterior del Sinclinal de Cáceres hacia el núcleo, dejando para el final algunos materiales minoritarios y que sólo se localizan en algún punto concreto y que no siguen la dirección de la estructura del sinclinal.

#### 1. CUARCITA ARMORICANA ( $O_{12}$ ).

Esta unidad, bien diferenciada cartográficamente, es la que perfila morfológicamente el Sinclinal de Cáceres sobre el Complejo Esquisto-Grauváquico (CEG) y establece las más altas cotas topográficas del área de estudio. Su área de afloramiento queda reducida únicamente a la estructura hercínica más externa y que, con dirección general NW-SE, conforma el borde externo del denominado Sinclinal de Cáceres.

Esta unidad resulta ser el nivel más competente de los depósitos ordovícicos y se encuentra en puntos locales fuertemente replegada con una potencia de



entre 35 a 45 metros. Su techo se localiza en un límite arbitrariamente establecido, en el punto donde comienzan los primeros niveles de pizarras (lutitas) ordovícicas.

## 2. PIZARRAS QUE INTERCALAN CUARCITAS Y ARENISCAS (O<sub>2</sub>).

Este conjunto litológico está formado por pizarras y esquistos gris-oscuros con finas laminaciones arenosas y/o nódulos cuarcíticos bien estratificados que intercalan niveles cuarcíticos y areniscosos que se hacen más frecuentes hacia el techo de la unidad cartográficamente delimitada.

Esta unidad, por estar por encima de un nivel litológicamente resistente a la erosión, suele dar lugar al desarrollo de laderas, frecuentemente coluvionadas, por lo que la observación en su totalidad es difícil.

La potencia de esta unidad se estima en aproximadamente 200 metros, aunque el espesor aparente es algo mayor debido a los repliegues que se desarrollan en la unidad.

El techo se establece en un nivel de cuarcita O<sub>2-31</sub> de escasa potencia, que si bien es fácil de identificar en el flanco norte del sinclinal, norte de la Sierra del Portanchito, no resulta tan fácil de seguir en el flanco sur del sinclinal.

## 3. CUARCITAS DEL ORDOVÍCICO (O<sub>2-31</sub>).

Este nivel corresponde a un nivel de cuarcitas con un espesor medio inferior a los 10 metros, que se dispone concordantemente sobre la unidad descrita anteriormente (O<sub>2</sub>).

Petrologicamente son cuarcitas con un 85% de cuarzo, con matriz sericítica en 1% y cemento ferruginoso el 5%. La fracción arena es predominantemente en un 87%, mientras que la de arcilla se encuentra en un 10%, y un 3% la fracción limo.

4. PIZARRAS (O<sub>3</sub>).

Sobre el nivel anteriormente descrito aflora un conjunto de 125 metros de pizarras grises y negras que intercalan finos niveles areniscos y cuarcíticos, que no suelen superar los 20 cm. No se observan con facilidad debido a los recubrimientos coluviales provenientes del resalte topográfico producido por la cuarcita que marca el techo de esta unidad.

A techo de este tramo, con un espesor de 20 a 30 metros, se encuentran pizarras que tienen cloritoides, las cuales sólo se han visto en el flanco sur del sinclinal, en el barranco más próximo al oeste de las casas de la Lagartera.

5. PIZARRAS, CUARCITAS Y ARENISCAS (O<sub>2-3</sub>).

Se engloban en esta unidad las tres unidades anteriormente descritas (O<sub>2</sub>, O<sub>2-31</sub> y O<sub>3</sub>) que en el flanco sur se han individualizado al no identificarse con claridad la cuarcita (O<sub>2-31</sub>). Las características por tanto, son el compendio de las expresadas en los apartados anteriores y la edad atribuida será, por tanto, Ordovícico Medio-Superior.

6. CUARCITAS, AMPELITAS A TECHO (S<sub>1A</sub>).

Concordantemente dispuesta sobre la unidad de pizarras, cuarcitas y areniscas (O<sub>2-3</sub>) aflora en el interior del sinclinal un nivel cuarcítico que morfológicamente origina un fuerte resalte. A techo aflora un nivel de pizarras negras grafitosas.

La potencia de este conjunto es de unos 50 metros, e inmediatamente por encima de estas cuarcitas aparece una estrecha banda de pizarras ampelíticas.

7. PIZARRAS Y ARENISCAS MICÁCEAS (S<sub>1A-D</sub>).

Sobre la unidad anterior se apoya concordantemente un conjunto de pizarras blancas rosadas micáceas que alternan con cuarcitas arenosas ferruginosas y también micáceas, presentando una potencia aproximada de 150 metros, aunque, o por fracturas o por pliegues, el espesor de afloramiento es bastante superior.



8. CUARCITAS (SB-D<sub>0</sub>).

Por encima del tramo anteriormente descrito y concordantemente aparece una nueva barra cuarcítica que por su espesor, 40–60 metros, se ha diferenciado cartográficamente.

Esta barra cuarcítica aflora desde el NW del sinclinal a todo el flanco sur, si bien sus condiciones de afloramiento están interrumpidas por recubrimientos modernos, así como por fenómenos tectónicos. La ausencia de fósiles en este nivel hace que se le asigne una edad Silúrico Superior - Devónico, si bien el techo probablemente no sobrepase el Devónico Inferior por las mismas razones que las mencionadas en el apartado anterior.

9. CUARCITAS, PIZARRAS Y ARENISCAS ROJAS (SB-D).

Conjunto litológico de cuarcitas, pizarras y areniscas de coloración roja que únicamente aflora en el cierre nordeste del Sinclinal de Cáceres, al norte de Aldea Moret, y en el sur del sinclinal, justo en el contacto con las calizas (H<sup>A</sup>).

10. PIZARRAS Y TUFF VOLCÁNICOS (HA).

Sobre la unidad de cuarcitas, pizarras y areniscas del Silúrico-Devónico se encuentra un conjunto de eminente carácter volcánico que intercala episodios pelíticos y arenosos.

Estos materiales vulcano-clásticos intercalan niveles pizarrosos y arenosos con textura afanítica, lepidoblástica y detrítica, cuyos minerales principales son el cuarzo, sericita y clorita; como accesorios aparecen pirita y circón.

El conjunto presenta una potencia aproximada de 200 metros y no aflora en todo el sinclinal por la existencia de fracturas que parcial o totalmente hacen desaparecer la unidad.

### **11. CALIZAS (HAc).**

Este conjunto de color gris del mapa geológico está constituido por calizas y dolomías marmóreas interestratificadas, con karstificación bien desarrollada y con numerosas drusas de calcita y grietas de tensión rellenas de carbonato.

Estos afloramientos carbonatados dan lugar a una morfología variada en función de su posición estructural; así, pueden generar formas alomadas o bien fondos de valle, donde no suelen aflorar, sino que reflejan su existencia por la presencia de un suelo arcilloso de color rojo, resultado del lixiviado de las calizas, quedando estas arcillas como el residuo del lavado, entre el que esporádicamente se observan pequeños bloques carbonatados con una alteración superficial muy desarrollada, y que se manifiesta por su aspecto oqueroso y coloración pardo-negrusca.

La potencia de esta unidad oscila entre los 40 y 60 metros, y está parcialmente fracturada.

### **12. PIZARRAS (HAP).**

Estas pizarras, de color gris negruzcas que intercalan niveles arenosos discontinuos, son los depósitos más modernos que se encuentran en el Sinclinal de Cáceres, concordantemente dispuestas sobre las calizas carboníferas. La potencia aflorante de este conjunto pizarroso se puede estimar entre 50 y 60 metros.

### **13. ALUVIAL (QAl).**

Los materiales aluviales se localizan sobre el Complejo Esquisto-Grauváquico por acumulación de los materiales erosionados en las tres unidades morfológicas más elevadas del Sinclinal de Cáceres.

Litológicamente están constituidos principalmente por cantos de cuarzo inmerso en una matriz de limos y arcillas. Presentan un escaso desarrollo tanto en espesor como en extensión superficial y en el área de estudio, concretamente en el núcleo del sinclinal, se localizan algunas gravas procedentes de la erosión y transporte de los materiales cuarcíticos, principalmente Cuarcita Armoricana.

14. DERRUBIOS DE LADERA (QL).

Alrededor de todo el Sinclinal de Cáceres se desarrollan derrubios de ladera de color rojizo, ricos en cantos y bloques de cuarcitas angulosas, inmersos en una matriz areno-arcillosa color rojiza. Estos depósitos se forman principalmente a expensas de las crestas cuarcíticas e impiden la observación de los contactos entre los materiales precámbricos y paleozoicos, así como en los materiales pizarrosos que con espesor variable suelen ser generalmente cubiertos.

15. GRANITOS BIOTÍTICO CLORÍTICO TECTONIZADO (3γ2).

En la terminación oriental del Sinclinal de Cáceres aparece un granito paraconcordante, que muestra características estructurales y petrográficas muy diferentes a los restantes granitos de la región, ya que, en primer lugar, destaca la tectonización producida por cizallas, y en segundo lugar, por una cloritización generalizada en todos los afloramientos.

16. GRAUVACAS, ESQUISTOS, PIZARRAS Y CUARCITAS MOSQUEADAS Y NODULOSAS. CORNUBIANITAS (Kξγξ).

Estos materiales aparecen al sureste del sinclinal y corresponden a materiales afectados por metamorfismo de contacto, debido a las intrusiones de carácter granítico. Tienen una textura porfidoblástica y están formadas por cuarzo, biotita, moscovita y cordierita y clorita.

En las zonas de pizarras negro-grisáceas carboníferas del sinclinal, en las proximidades de las masas graníticas, aparecen esquistos nodulosos andalucíticos.

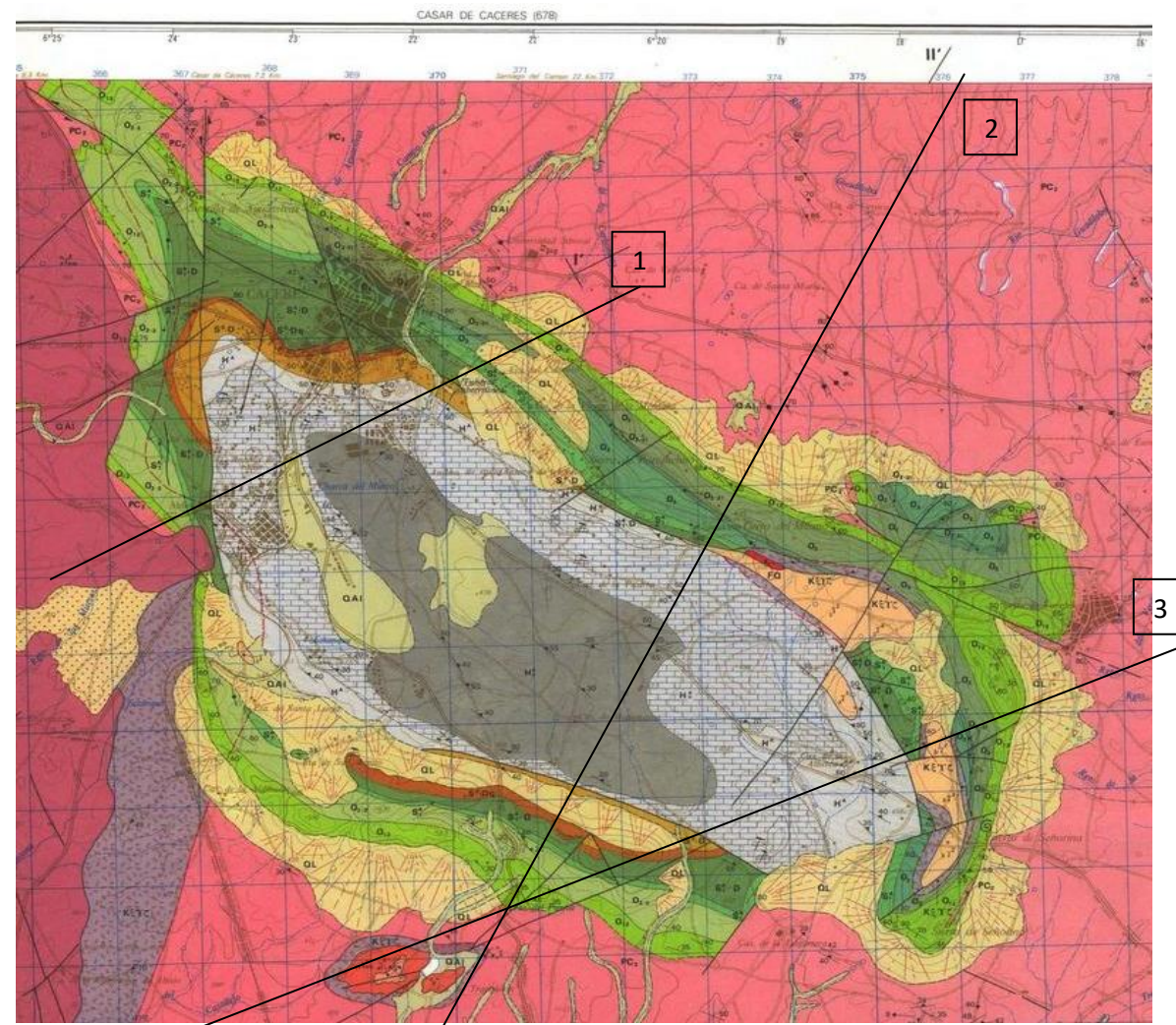
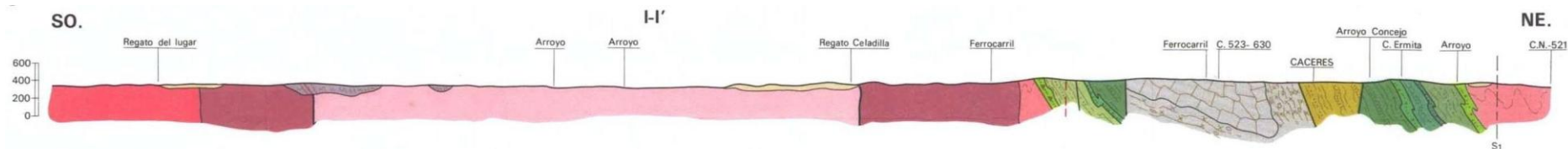
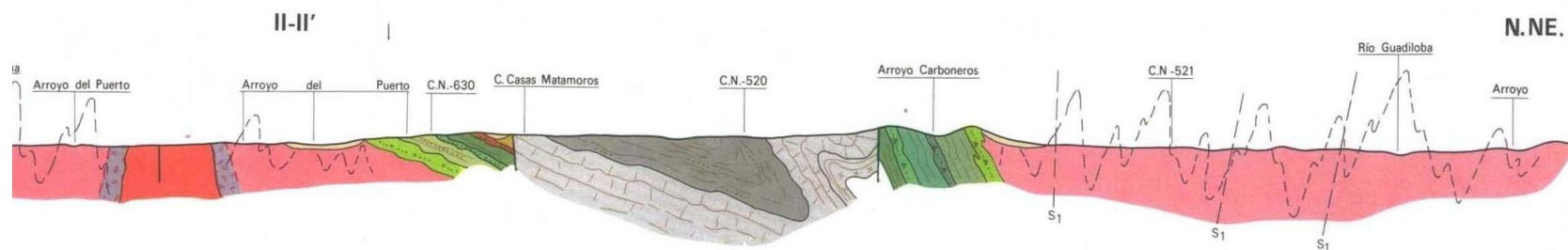


Figura 3. Situación de los perfiles geológicos sobre el mapa geológico.

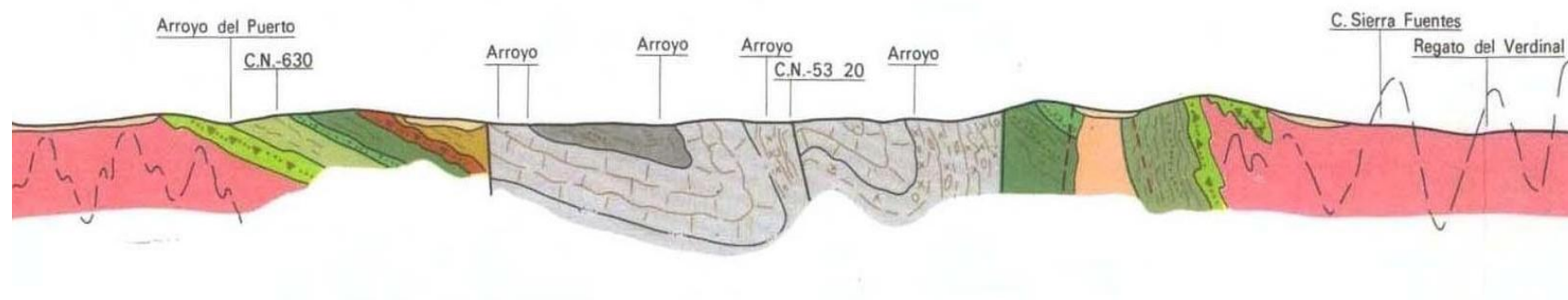
### Perfil 1



### Perfil 2



### Perfil 3



**Figura 4.** Perfiles geológicos (adaptados de IGME, 1982). Las escalas son distintas para cada perfil.



### 6.1.2. Tectónica.

Según el IGME (1982), el sinclinal en el que se localiza El Calerizo de Cáceres corresponde a un pliegue de primera fase con plano axial N 135° E, buzando 50° - 80° al NE con el flanco norte invertido y convergencia sur. En estos materiales paleozoicos se encuentran pliegues asimétricos y cilíndricos dado que la deformación afecta a superficies originariamente planas. El estilo corresponde a pliegues isópacos en las capas competentes, tendiendo a similares en las incompetentes.

También existen asociados a este sinclinal meso y micropliegues, que se pueden observar con mejor claridad en los afloramientos cuarcíticos de la Ermita del Risco, de Sierra de Fuentes, cuyas directrices estructurales están rotadas debido a las fallas de desgarre, lo que provoca una discordancia en cuanto al plano axial y a los ejes de los pliegues del sinclinal.

En el conjunto de esta estructura y su entorno, se distinguen dos tipos de fracturas: fracturas paralelas a las fracturas y fracturas oblicuas a la estructura. Las primeras son más difíciles de detectar en los materiales anteordovícicos que en los depósitos paleozoicos, aunque en el sinclinal, los abundantes derrubios dificultan también la localización de algunas de estas fracturas. Son fracturas normales (subverticales) que provocan un hundimiento de los depósitos del sinclinal, materiales carboníferos y devónicos principalmente. Las segundas, fracturas oblicuas a la estructura, también son subverticales, dando lugar a un sistema conjugado con direcciones N 30° - 60°E y 150° -180° E, siendo similares a las que se detectan en todo el ámbito del macizo hespérico.

La **figura 5** muestra el mapa de las lineaciones estructurales observadas y cartografiadas por la empresa INGEMISA (1990).



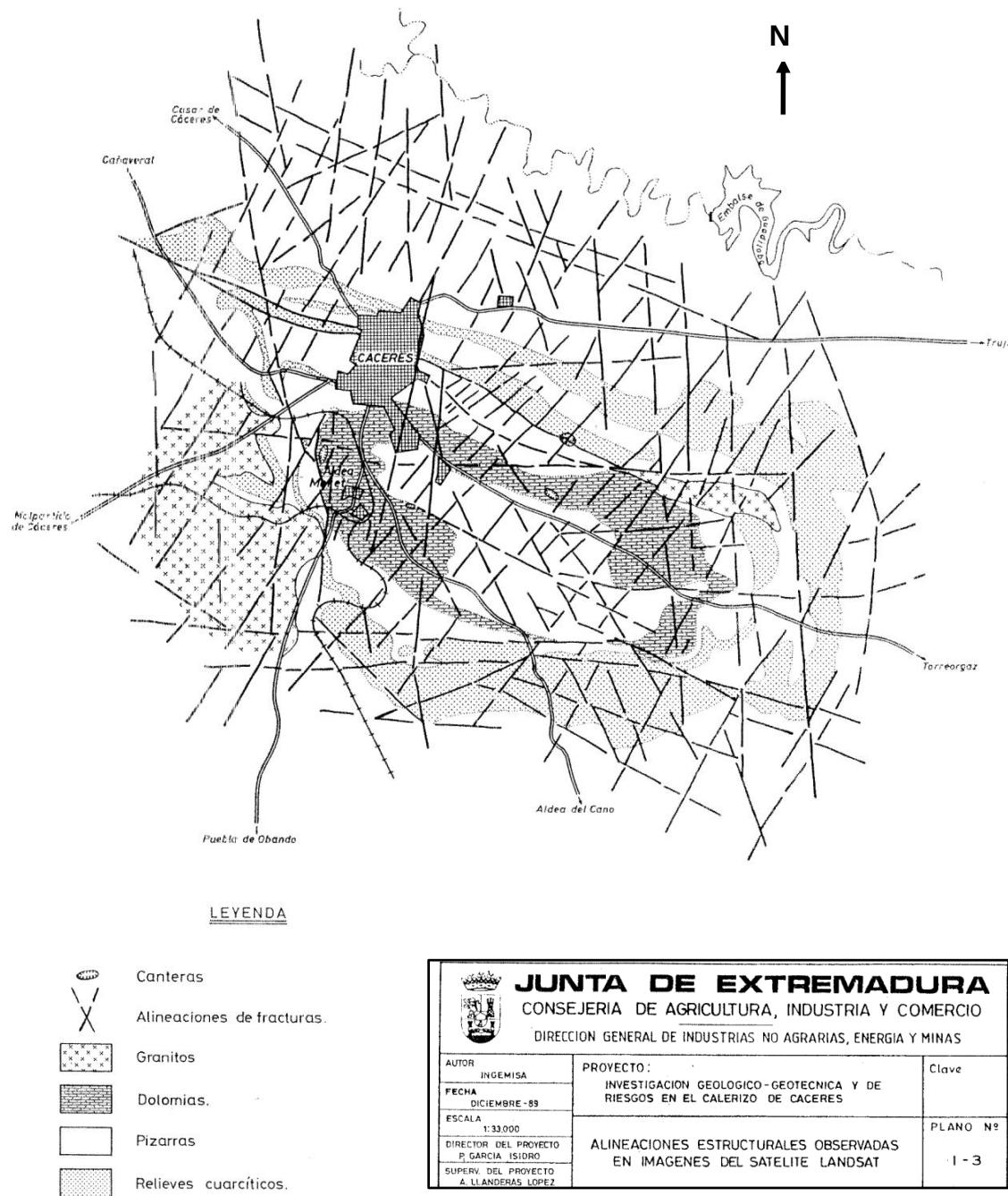


Figura 5. Alineaciones estructurales observadas (imagen extraída de INGEMISA, 1990).

### 6.1.3. Geomorfología.

Según INGEMISA (1990), las diferencias litológicas entre los materiales del núcleo del sinclinal en que se encuentra El Calerizo y los de sus flancos, han condicionado una morfología estructural bien diferenciada, ya que:

- En el núcleo afloran pizarras, calizas y dolomías del Carbonífero Inf., en las que se ha desarrollado un relieve plano y alomado, como resultado del fuerte periodo erosivo que afectó durante el Neógeno a esta región.
- En las inmediaciones de Mina Esmeralda destaca una línea de escarpes, probablemente asociada a una fractura reciente.
- En la orla circundante al núcleo, adquieren especial desarrollo las barras rocosas (hog-back) asociadas a estratos cuarcíticos en posición subvertical, así como crestas rocosas, que en este caso, representa estados iniciales de hog-back, o bien interfluvios agudos.
- Por último, en las sierras meridionales de Santa Ana, Puerto de las Camelias, etc., son especialmente frecuentes los escarpes, en relación con niveles cuarcíticos que buzcan entre 60 y 30° hacia el Norte. En el techo de estos niveles no han llegado a desarrollarse superficies estructurales de extensión cartografiable.

Los cursos fluviales que transcurren por la superficie de El Calerizo son de pequeña envergadura y, por tanto, no han desarrollado formas de acumulación importantes. Por ello, los depósitos aluviales se relacionan con los arroyos del Concejo y de la Alberca, puesto que en ambos casos estos depósitos se corresponden con los lechos de inundación actuales, en los que aún no se han encajado los cursos.

Así, por lo general los valles son abiertos y sólo se encajan, en cierto modo, al atravesar el anillo cuarcítico.

Por su parte, los depósitos coluviales (cantos angulosos de cuarcita empastados en una escasa matriz arcillosa de tonos rojizos) se desarrollan extensamente en las vertientes de la Sierra del Portanchito, y en la septentrional de la alineación Santa Ana-Aropez.

En su actual distribución son evidentes los procesos de arroyada difusa, pero no se descarta una participación de la gelifracción como proceso que origina la acumulación de clastos en los afloramientos de cabecera (INGEMISA, 1990).





Figura 6. Mapa geomorfológico (extraído de INGEMISA, 1990).





**Foto 1.** Afloramientos de dolomías en el escarpe en las inmediaciones de Mina Esmeralda (vista hacia el norte, 22/02/2012). Las piedras que se observan son acumulaciones de las antiguas actividades mineras.



**Foto 2.** Escarpe de dolomías (flecha) en las inmediaciones de Mina Esmeralda (vista desde el oeste, 22/02/2012).



**Foto 3. Escarpe de dolomías (flecha roja) y contacto con las pizarras impermeables (flecha amarilla) en las inmediaciones de Mina Esmeralda (22/02/2012).**



**Foto 4. Parte central del sinclinal de Cáceres (parte sur). A mano derecha se aprecian edificaciones de la urbanización Ceres Golf y al fondo la Sierra de la Mosca.**



### 6.1.4. Hidrogeología.

Según INGENISA (1990) El Calerizo se divide en tres cuencas hidrogeológicas subterráneas que drenan sus excedentes en: A) La fuente de “El Marco”, la cual tiene una extensión de 6 Km<sup>2</sup>; B) “La galería Mina Esmeralda”, con una extensión de 4,5 Km<sup>2</sup>; y C) “Fuente La Alberca”, esta última cuenca consta de dos subcuencas y tiene una superficie de 3,5 Km<sup>2</sup>. Y D) Habría que añadir el nacimiento del arroyo Arropez en la finca El Pradillo.

La divisoria entre las cuencas “El Marco” y “Mina Esmeralda” se puede situar entre el Cerro de Cabeza Rubia y la Estación de Ferrocarril; la divisoria entre “El Marco” y “La Alberca” se localiza a la altura del camino que partiendo de la carretera de Miajadas asciende al antiguo Sanatorio; y, por último, la divisoria que diferencia las cuencas de “Mina Esmeralda” y “La Alberca” se sitúa en la divisoria de aguas superficiales que origina el puerto de las Camelias (en la carretera de Mérida).

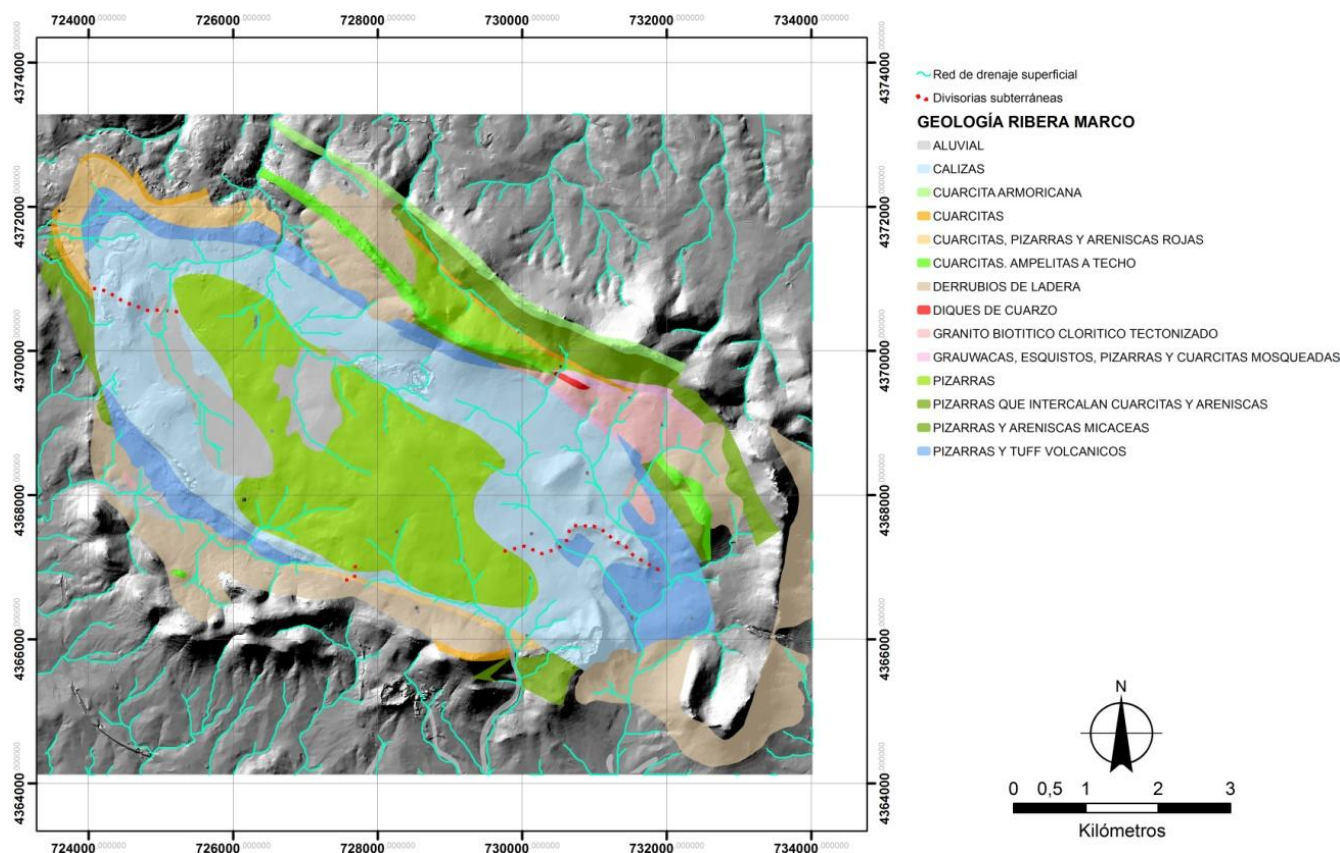


Figura 7. Cuencas hidrológicas subterráneas de El Calerizo.

### 6.1.5. Información básica acerca de los acuíferos kársticos (fundamentos geológicos y geomorfológicos).

La palabra karst es la castellanización del vocablo alemán *karst* (de uso generalizado internacionalmente), transliteración a su vez del topónimo *Kras*, que designa una región eslovena-croata (Pedraza, 1996). Esta región presenta terrenos calizos que aparecen desprovistos de vegetación (Kranjc, 2004, en Gutiérrez Elorza, 2008).

Pero el karst es un tipo de paisaje que se extiende por diversas partes del planeta, modelado por la disolución de las rocas calcáreas por el agua de las precipitaciones, la cual se infiltra rápidamente a través de los conductos de disolución y las fracturas de los macizos calcáreos. Así mismo, los ríos y barrancos pueden perder buena parte de su caudal o incluso llegar a desaparecer. El agua circula subterráneamente a través de conductos y galerías hasta que finalmente, emerge en la superficie en las fuentes, manantiales o surgencias. De este modo, se pueden distinguir tres partes en un karst : las formas de absorción (en superficie), las formas de conducción y reserva subterránea, y las formas de emisión: los manantiales (Pellicer, 1997).

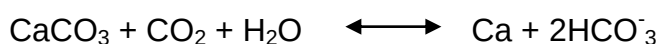
#### 6.1.5.1. Formación de un karst: disolución de carbonatos.

Los karst se forman por un proceso de carstificación, que produce la disolución de las rocas calcáreas, o parte de las mismas desmoronando la red cristalina de los minerales que las conforman: calcitas (carbonato cálcico), dolomitas (carbonato cálcico-magnésico) y magnesitas (carbonato magnésico). Dicho proceso, según Pedraza (1996), es una meteorización, mezcla de acciones químicas (disolución, hidratación, sustitución iónica y óxido-reducción) y físicas (transferencia de masa y difusión).

El carbonato cálcico, bajo la forma de calcita o aragonito, es poco soluble en agua pura. No obstante, la capacidad de disolución del agua aumenta con la presencia de dióxido de carbono. Este gas está presente en la atmósfera, en el suelo y disuelto en las aguas de lluvia y subterráneas, ríos, lagos y océanos. El

agua con CO<sub>2</sub>, se transforma en ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), aumentando notablemente su agresividad, constituyendo así el propulsor de la disolución de los carbonatos y, por consiguiente, de la generación del karst (Dreybott, 1988, 2004; en Gutiérrez Elorza, 2008).

Por tanto, uno de los agentes más importantes que genera estos modelados son las precipitaciones, portadoras de gases atmosféricos (CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, sobre todo). Las siguientes reacciones expresan la disolución de la calcita y la dolomita, que son los minerales carbonatados más dominantes en la superficie terrestre:



Según Pedraza (1996) el proceso de carstificación tiene lugar en cuatro fases:

1. Disolución escasa en agua pura (con bajos contenidos del anión bicarbonato), disociándose en anión carbonato y catión metálico. La tasa de disolución es alta pero muy limitada en el tiempo, generando formas superficiales con desarrollo rápido.
2. Formación de ácido carbónico disociado (anión bicarbonato + patrón) en bajas proporciones, a partir de la oxidación del anión carbonato (pH < 8,5). La tasa de disolución es alta-media, dando lugar a formas más incisivas, también superficiales.
3. Intervención del dióxido de carbono atmosférico o edáfico, que está físicamente disuelto en el agua. Una pequeña proporción será hidratada y químicamente disuelta dando ácido carbónico disociado, y retroalimentando el proceso al formarse más ácido carbónico a partir de aniones carbonatos procedentes de la roca. La disponibilidad del mismo (fuerte y agresivo) hace que esta fase, aun con tasas de disolución medias, sea la más importante en la carstificación superficial.
4. Fase con total interacción atmósfera – agua - roca. El desequilibrio entre el contenido en dióxido de carbono del aire y el agua llega a suplirse, disolviendo físicamente grandes cantidades de dióxido (en función de su

disponibilidad y la temperatura del agua). Así aparecen numerosas reacciones reversibles hasta llegar a un cierto equilibrio que puede ser alterado por diferentes factores: el flujo del agua, superficie de la roca, variaciones del nivel freático, temperatura, etc. Las tasas de disolución disminuyen progresivamente, aunque la duración de esta etapa llega a generar karstificaciones importantes.

#### 6.1.5.2. Características superficiales y subsuperficiales de las calizas: exokarst y endokarst.

La forma en la que las calizas afloran en la superficie se denomina *lapiaz* y se caracteriza por la existencia de pequeños surcos o agujeros. La agrupación de dichas microformas conforman los *campos de lapiaz*.

El lapiaz se agrupa, junto con las simas y sumideros, en formas exocársticas destructivas menores y se desarrollan, bien en superficies libres (afloramiento de calizas en superficie) o en superficies cubiertas por vegetación y suelo (subterráneamente).

El principal factor que origina estas morfologías es la esorrentía, proceso que puede formar dos tipos de lapiaz según Gutiérrez Elorza (2008):

- *Lapiaz libre*: formado a partir de la acción del agua fluyendo por los afloramientos calizos.
- *Lapiaz cubierto o semilibre*: es el lapiaz que se forma cuando la disolución se produce en la interfase suelo-caliza. Cuando este tipo de lapiaz se denuda y exhuma, pasará a estar en unas condiciones en las que le afectarán los mismos procesos que los que modelan el lapiaz libre, pudiendo encontrar campos de lapiaz complejos.

Las microformas más comunes son: surcos, canales, crestas agudas y coalescentes, surcos meandriformes, surcos paralelos y de crestas redondeadas, hendiduras o depresiones ovaladas según la pendiente, microdolinas y callejones. A partir de estas microformas el agua se infiltra, pudiendo crear conductos y cavidades.

Por otro lado, en el karst subterráneo o endokarst los procesos de corrosión se desarrollan con mayor o menor potencia formando rocas solubles litificadas y dando lugar a oquedades. Si están próximas a la superficie se denominan cuevas, las cuales permiten acceder a las oquedades subterráneas, denominadas cavidades. Dichas cavidades suelen tener dimensiones más grandes a las de las cuevas.

Los principales factores, según Gutiérrez Elorza (2009) que inciden en la formación de las cavidades son:

1. *Tipo y estructura de las calizas*: la estratificación y diaclasamiento que presenta este material normalmente, facilita la penetración del agua al subsuelo. Además, su inclinación y grado de diaclasado influyen sobre las formas de las cavidades.
2. *Tipo y cantidad de flujo de agua*: flujo freático (las cavidades están llenas de agua), flujo vadoso (flujo que se encuentra por encima del nivel freático) y flujo parafreático o epifreático (flujo intermedio, que en ocasiones funciona como flujo freático y en otras como vadoso).
3. *Factores fisiográficos y climáticos*: la altura relativa y el relieve existente afectan al desarrollo de las cavidades, así como la temperatura y las precipitaciones, puesto que el endokarst tiene un mayor desarrollo en las zonas húmedas que en las secas.



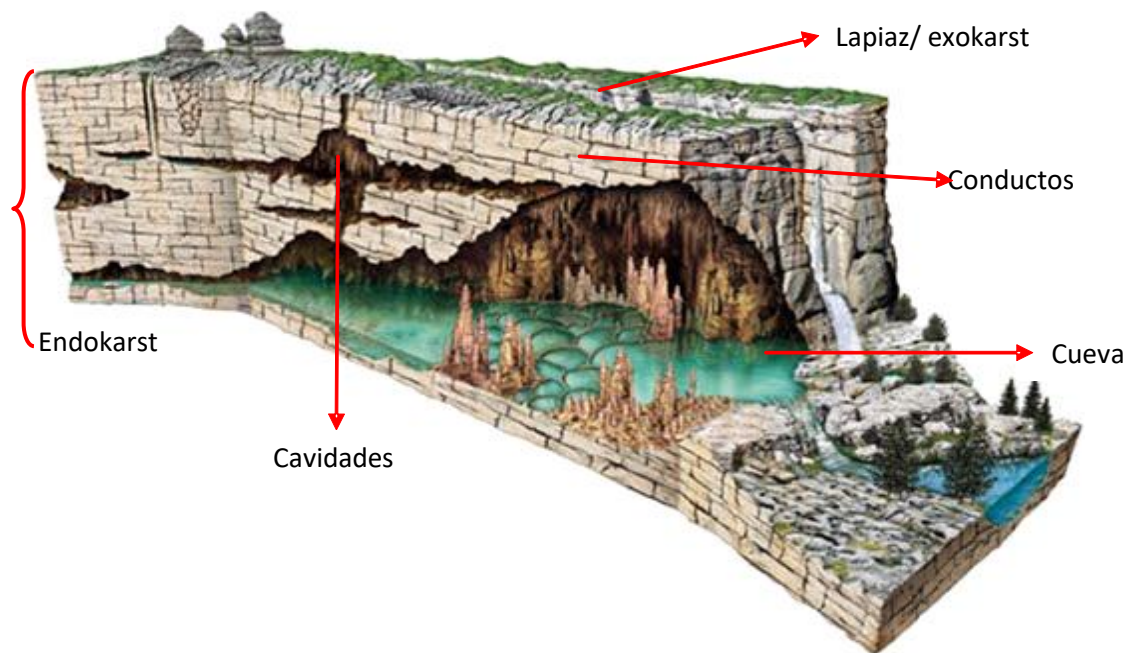


Figura 8. Ilustración de las formas de Karst (fuente: <http://teo-geoteo.blogspot.com>).



Foto 5. Lapiaz en dolomías carboníferas del Sinclinal de Cáceres.





*Foto 6. Lapiaz con oquedades. Afloramiento de dolomía en las inmediaciones de Cáceres.*

#### **6.1.5.3.** El Calerizo de Cáceres.

El principal material de *El Calerizo* son dolomías, o bien calizas dolomíticas, que son menos susceptibles a ser carstificadas que las calizas puras.

La morfología de El Calerizo está fuertemente influenciada por los planos de discontinuidad, es decir por la estratificación y las fracturas de dirección N 20-40° E y N 140° E, dominantes en la zona. La mayor parte de su afloramiento está ocupada por un lapiaz, con distinto grado de desarrollo en función de la zona.





*Foto 7. Afloramientos de dolomías en la Charca del Marco.*



*Foto 8. Lapiaz en las inmediaciones de la Urbanización Ceres Golf.*





*Foto 9. Afloramientos de dolomías en las inmediaciones de la Mina Esmeralda.*

Según INGEMISA (1990) en las áreas más elevadas de los principales relieves y en las laderas, estas formas de disolución están espaciadas; entre ellas hay superficies planas (interfluvios planos) y normalmente su profundidad no excede de 1 metro. Por el contrario, en sectores de baja pendiente el lapiaz es denso, los interfluvios suelen ser agudos y su profundidad excede de 1 m. En esta segunda zona se localizan con mayor frecuencia los embudos de disolución, que corresponden a estadios iniciales de dolinas, los cuales suelen ser irregulares o redondeados, con diámetros comprendidos entre 2 y 3 metros, si bien se llegan excepcionalmente a 5 metros (Cerro de La Alberca). Su fondo está ocupado por arcilla de descalcificación, donde alcanzarían de 1 - 2 metros de profundidad, con paredes prácticamente verticales.

Es común encontrar alineaciones de embudos de disolución asociados tanto a fracturas como a planos de estratificación. En el primer caso, siguen predominantemente una directriz N 140°E, mientras que en el segundo, las formas se concentran en las proximidades del contacto litológico entre las dolomías y los recubrimientos de los fondos de las depresiones o valles (INGEMISA, 1990). Así, las formas deprimidas y dolinas pueden formar una gran uvala, que son dolinas coalescentes que suelen generar depresiones amplias cerradas y de fondo plano e irregular, donde se produce una intensa

infiltración. Ello puede indicar la existencia de determinados tramos de la serie en los que la karstificación ha progresado en mayor cuantía (INGEMISA, 1990).

En ningún caso los bordes de las dolinas son abruptos, existiendo en ocasiones cierta dificultad para definir sus límites, al no existir un cambio nítido de pendiente entre el fondo y los márgenes. Por lo que esta especial tipología hace pensar en una asociación de fenómenos de disolución química con una fuerte erosión del sector, de manera que no han llegado a progresar formas kársticas que induzcan relieves diferenciales (INGEMISA, 1990).

En la parte en la que el Karst se encuentra oculto, las arcillas se localizan en los fondos planos de las dolomías y tapizan parte de las laderas de suave pendiente, aunque en este caso se puede encontrar exhumado el sustrato carbonatado. Dichas arcillas reciben el nombre de arcillas de descalcificación y se ubican en los tramos de techo de la secuencia carbonatada.

El desarrollo de estos fenómenos kársticos subterráneos se han podido reconocer en puntos concretos como canteras y cuevas. En las primeras, es llamativo el aspecto masivo de la mayor parte de los frentes, en los que sólo se reconocen los efectos de la karstificación en los metros superficiales o bien asociados a planos específicos de discontinuidad (estratificación y/o fracturas). Un caso particular corresponde a la cantera próxima al Ferial de Cáceres, la cual se encuentra en uno de los escasos enclaves calizos reconocidos. En ella el lapiaz penetra hasta 3 – 5 metros de profundidad y de él parten numerosos conductos kársticos, que normalmente están rellenos de arcillas de descalcificación. En los metros iniciales estos conductos se relacionan con fracturas y son subverticales, mientras que a mayor profundidad pasan a asociarse con los planos de estratificación y a presentar un desarrollo más horizontal. Este esquema se mantiene hasta los 10 – 15 metros de la superficie, donde se observa un cambio ostensible en el aspecto de los taludes, ya que a partir de esta profundidad son esporádicos los signos de karstificación. Niveles de profundidad en los que se hace más patente la fracturación regional de dirección N 40°E y a ella se le asocian unas cavidades de desarrollo horizontal y dimensiones métricas, que se encuentran rellenas de arcillas amarillentas, muy similares a las arcillas neógenas que se localizan bajo un recubrimiento reciente en las proximidades de El Marco. Estos rellenos de cavidades evidencian una etapa de karstificación antigua, anterior al depósito de los sedimentos neógenos y a la importante etapa de arrasamiento, con la que parecen estar relacionadas las formas kársticas visibles en superficie (INGEMISA, 1990).





**Foto 10.** *Cantera La Olleta. Extracción de dolomías de El Calerizo. Se observa un lago cuyo nivel corresponde con el nivel freático local. En esta parte la superficie de El Calerizo es relativamente plana. La siguiente fotografía muestra un detalle ampliado de esta imagen.*



**Foto 11. Cantera de los Hnos. Olleta. Detalle del corte en las dolomías. La primera capa está formada por un suelo rojizo con un elevado contenido en arcillas. En la parte intermedia las calizas alteradas dan lugar a arcillas de descalcificación y se observan estructuras verticales. La parte inferior corresponde a dolomías con un grado de alteración menor y se aprecian conductos verticales.**

Las cuevas de Maltravieso y El Conejar presentan un desarrollo horizontal, debido a la intersección de la superficie estratificada y los planos de fracturas. Los rellenos de estas cuevas son arcillas de descalcificación, observándose localmente ciertas laminaciones. Sus cámaras miden varios metros y están conectadas entre sí por conductos bastante rectilíneos de menor tamaño que las cámaras, como es el caso de la Cueva de Maltravieso, donde la cámara de mayor tamaño presenta unas dimensiones de 10 x 10 x 3 m., mientras que los conductos que conectan unas cámaras con otras miden de 2 – 3 m<sup>2</sup>.

Según INGEMISA (1990) el nivel piezométrico se encuentra entre la cota 430 (Fuente del Marco) y 440 metros s.n.m. en la mayor parte del acuífero, elevándose a cotas superiores en el extremo oriental.

## 7.1. Metodología

La metodología del presente estudio se puede estructurar en cinco grandes bloques:

1. Recopilación de información sobre El Calerizo.
2. Trabajo de campo.
3. Elaboración de cartografía.
4. Estudio del balance hidrológico del acuífero.
5. Análisis de la calidad del agua y estudio de posibles puntos de contaminación del acuífero.

Así, en primer lugar se ha realizado una recopilación de todos los estudios ya existentes sobre El Calerizo, buscando con más interés textos que trataran sobre las cantidades de recarga y descarga del acuífero, tales como el estudio hidrogeológico *Investigación geológico-geotécnica y de riesgos de El Calerizo de Cáceres* (INGEMISA, 1990), *Estudio de protección y explotación racional del acuífero de El Calerizo* (Gil Montes, 1992) o el *Estudio hidrogeológico y estimación de la capacidad de extracción de agua del acuífero de El Calerizo, desde las labores mineras abandonadas de Aldea Moret (Cáceres)* (Jorquera de Guindos, 1992-1994).

Además, se han realizado entrevistas y reuniones con organismos y empresas relacionadas con la gestión del agua para recopilar información relevante acerca del acuífero, incluyendo la Confederación Hidrográfica del Tago como máximo responsable en temas de agua, la empresa ACCIONA (concesionaria de la gestión de abastecimiento y saneamiento de la ciudad de Cáceres) y el Ayuntamiento para recabar toda la información existente acerca de la gestión de las aguas en el área de estudio.

En segundo lugar se ha realizado un rastreo del área del estudio para localizar las salidas naturales del acuífero y los puntos de extracción artificial, intentando estimar los caudales de esos puntos, con el objetivo de obtener información útil

para el balance hidrológico de El Calerizo. Además, se han tomado una serie de fotografías que ilustran el entorno del área de estudio, las surgencias y manantiales, los puntos de extracción artificial y los riesgos ambientales.

En tercer lugar se ha desarrollado una cartografía sobre el acuífero de El Calerizo, utilizando cartografía digital basada en el mapa geológico de la serie MAGNA, mapa topográfico y ortofotos aéreas, para:

1. Determinar las superficies de materiales permeables.
2. Delimitar las cuencas vertientes superficiales que aportan agua.
3. Cartografiar los puntos de interés visitados en el campo.
4. Delimitar las cuencas subterráneas.
5. Determinar la capacidad del acuífero.
6. Mejorar la precisión del mapa geológico de la serie MAGNA en cuanto a la delimitación del área ocupado por las calizas/dolomías.

En cuarto lugar se ha desarrollado un balance hidrológico, mediante:

- 1º. La estimación de la recarga de agua del acuífero a partir de tres métodos diferentes para determinar la evapotranspiración (Thornthwaite, Turc y evaporímetro), utilizando datos climáticos de los observatorios meteorológicos del entorno de Cáceres.
- 2º. Analizando la descarga del acuífero, mediante la estimación del caudal de las surgencias y manantiales naturales en campo, y la determinación del volumen de agua extraída de manera artificial a través de entrevistas con los propietarios o gestores de los pozos de sondeo.

Por último, se ha analizado la calidad del agua tomando muestras en los puntos de descarga del acuífero, para comprobar si realmente el agua está contaminada o no. Para determinar posibles focos de contaminación del acuífero, se han realizado visitas al campo y se ha desarrollado un estudio de la red de saneamiento de la ciudad de Cáceres en los puntos donde afecta a El Calerizo, para detectar posibles puntos de contaminación por infiltración de aguas residuales.



Los métodos y técnicas utilizadas se describen con detalle en los correspondientes apartados del siguiente capítulo de Resultados.

## 7.2. Resultados

### 7.2.1. Cartografía.

### 7.2.2. Superficie de las entidades geológicas en El Calerizo.

Con la ayuda de la cartografía digital se definen las diversas superficies, necesarias para determinar el balance de agua del acuífero. Se trata de las superficies de las unidades litológicas, la de las cuencas hidrográficas (también denominadas cuencas vertiente), cuyas aguas superficiales vierten agua hacia el Calerizo y, por último, de la superficie de aquellas unidades litológicas que posiblemente puedan drenar agua subterránea hacia el Calerizo.

Del mapa geológico de Cáceres (serie MAGNA) en formato digital se extrae la cartografía de unidades de la figura 9 y figura 10, en esta cartografía puede verse un identificador en el polígono de cada entidad geológica que se corresponde con el campo FID de la tabla del mismo nombre y donde puede consultarse el área (km<sup>2</sup>) y perímetro de cada entidad. Toda la cartografía que aparece en esta memoria se presenta de forma anexa a la misma, como archivos de imagen con una resolución de 600 dpi y que pueden ser imprimidos sobre formatos que exceden el A4 tradicional.

En el mapa de la figura 9 pueden observarse los elementos litológicos y al mismo tiempo impreso en cada elemento litológico el identificador de dicho polígono, también aparecen las curvas de nivel con una equidistancia de 5 m que nos sirven para aclarar qué elementos vierten sus aguas hacia el Calerizo. En el mapa figura 10 se presentan los elementos litológicos con etiquetas mostrando la superficie de cada uno de ellos en km<sup>2</sup> y sobre el fondo la ortofotografía de la zona.

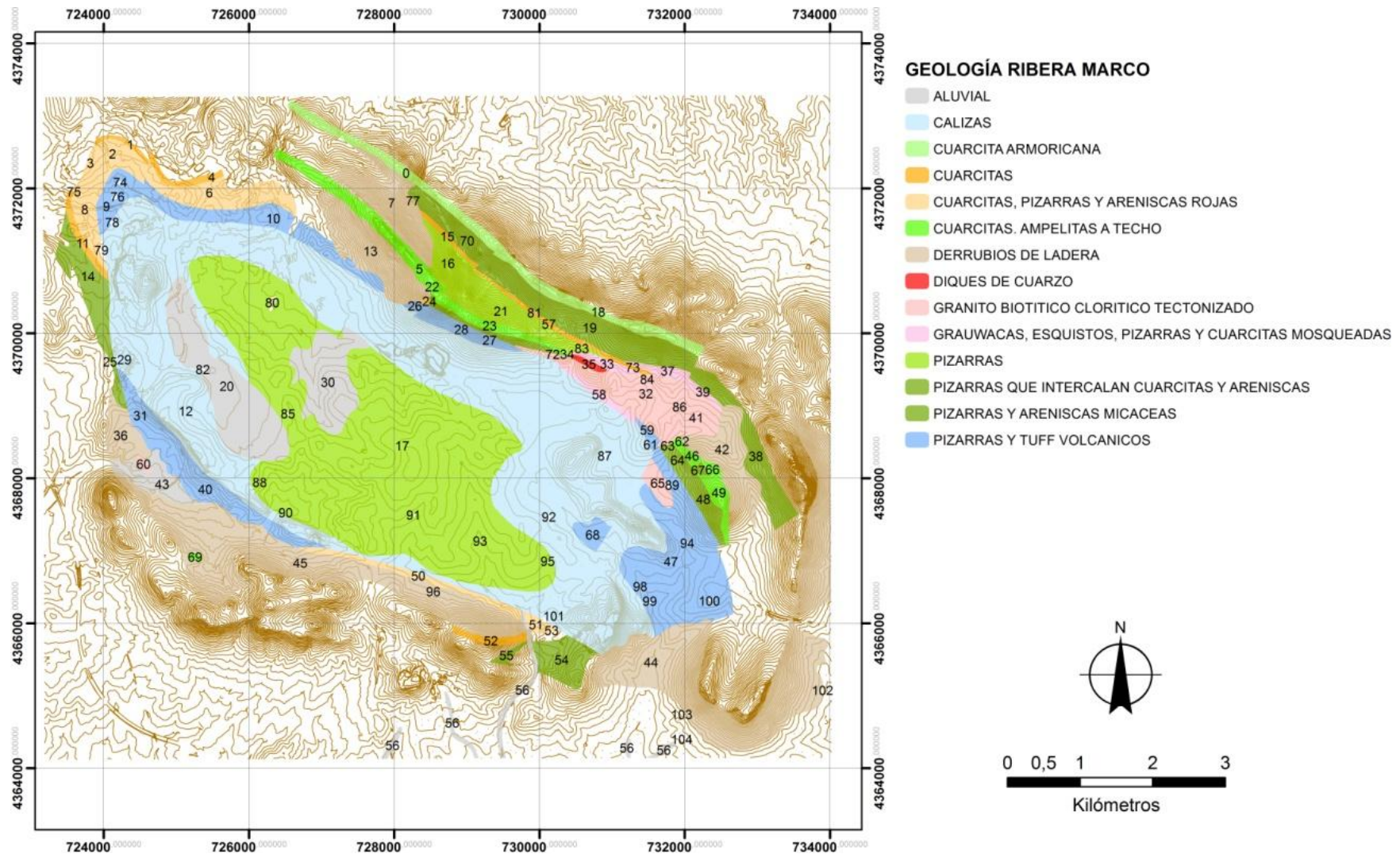


Figura 9. Mapa RIBERA MARCO 1 donde se muestran los elementos litológicos junto con las curvas de nivel con una equidistancia de 5 m.



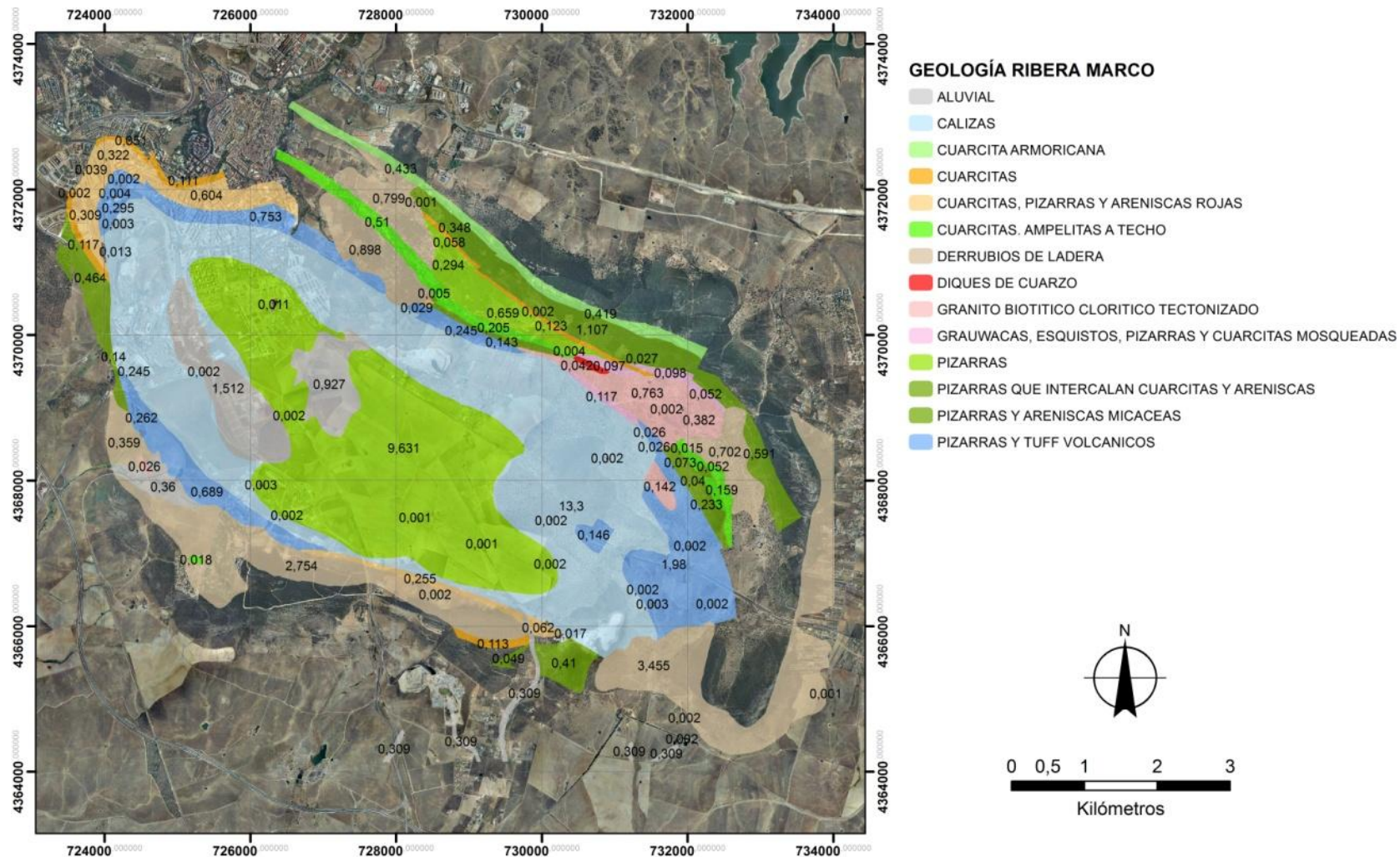


Figura 10. Mapa RIBERA MARCO 2 donde se muestran los elementos litológicos y cuerpos de aguas superficiales con las etiquetas de cada uno, donde se presenta el área que ocupan sobre el fondo de la ortofotografía de la zona de estudio.

La tabla 1 muestra el resultado del análisis, es decir las superficies que corresponden a las distintas litologías y que posiblemente vierten agua a nuestro acuífero.

A modo de resumen y para hacernos una idea del área de captación de El Calerizo, decir que el anillo de calizas presenta una superficie de **13,3 km<sup>2</sup>**, a lo que hay que sumar la superficie de los depósitos aluviales (cód. 20 y 30) que se sitúan sobre las calizas con áreas de 1,512 km<sup>2</sup> y 0,931 km<sup>2</sup>, respectivamente. Los depósitos con código 20 se superponen a las calizas y pizarras. Para posteriormente realizar un balance hidrológico resulta necesario estimar la parte del polígono 20 que se superpone a las calizas y a las pizarras ya que su permeabilidad debe ser considerada de forma independiente. Dicha estimación resultó en 1,276 km<sup>2</sup> de depósitos aluviales sobre calizas y 0,236 km<sup>2</sup> sobre las pizarras. En la estimación se trató de proyectar el contacto de las calizas con las pizarras sobre el material aluvial. También habría que añadir la superficie en el centro del anillo de calizas ocupada por las pizarras cámbricas que se disponen sobre las calizas (polígono 17) con 9,63 km<sup>2</sup>. En la parte SE, aparece un polígono de Pizarras y Tuff volcánicos como 'inclusión' en las calizas, con una superficie de 0,146 km<sup>2</sup>.

**Tabla 1. Superficies de recarga de agua.**

| <b>Tipo</b>                                                  | <b>Superficie (km<sup>2</sup>)</b> |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Calizas                                                      | 13,300                             |
| Aluvial sobre calizas*                                       | 1,512                              |
| Aluvial sobre pizarras*                                      | 0,927                              |
| Pizarras carboníferas                                        | 9,631                              |
| Pizarras y tuff volcánico                                    | 0,146                              |
| Cuenca vertiente superficial hacia El Calerizo <sup>\$</sup> | 4,305                              |

\*Se trata de materiales litológicamente constituidos por cantos de cuarzo inmerso en una matriz de limos y arcillas con un escaso desarrollo (IGME, 1980). <sup>\$</sup>La cuenca de los materiales litológicamente diferenciados que vierten a la cuenca del Arroyo del Marco y del Arroyo de la Alberca y que aparecen desgranados en la tabla 2.



Por otra parte, hay que tener en cuenta que en la zona Norte y Este existe una vertiente bastante escarpada que va desde la línea de cumbres de las cuarcitas de la Sierra de la Mosca hasta el contacto con las calizas. Se trata de una zona de elevada pendiente y con materiales que pueden considerarse semipermeables en términos generales (cuarcitas y pizarras), por lo que habría que añadir su superficie al área de captación de El Calerizo. Para determinar la superficie de dichos materiales se realizó un proceso de recorte sobre el Mapa geológico 1:50.000 en su versión digital usando como capa de recorte las subcuencas que se presentan en el apartado 7.2.1.2. Las aguas superficiales que se originan sobre estos materiales vierten a las subcuencas del Arroyo Marco y del Arroyo de la Alberca. En la tabla 2 se desglosan las superficies y materiales que drenan hacia cada uno de los arroyos y la litología correspondiente.

**Tabla 2. Superficie de los materiales que vierten hacia El Calerizo en la zona N y E hasta el contacto con las calizas.**

| <b>Tipo</b>                                           | <b>Superficie (km<sup>2</sup>)</b> |
|-------------------------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Arroyo del Marco</b>                               | <b>1,116</b>                       |
| Cuarcitas, ampelitas a techo                          | 0,129                              |
| Cuarcitas, pizarras y areniscas rojas                 | 0,118                              |
| Derrubios de ladera                                   | 0,312                              |
| Pizarras y areniscas micáceas                         | 0,054                              |
| Pizarras y tuff volcánicos                            | 0,503                              |
| <b>Arroyo de la Alberca</b>                           | <b>3,189</b>                       |
| Aguas superficiales                                   | 0,006                              |
| Cuarcitas                                             | 0,050                              |
| Derrubios de ladera                                   | 0,483                              |
| Diques de cuarzo                                      | 0,041                              |
| Granito biotítico                                     | 1,145                              |
| Grauwacas, esquistos, pizarras y cuarcitas mosqueadas | 0,483                              |
| Pizarras y areniscas                                  | 0,403                              |
| Pizarras y tuff volcánicos                            | 0,131                              |

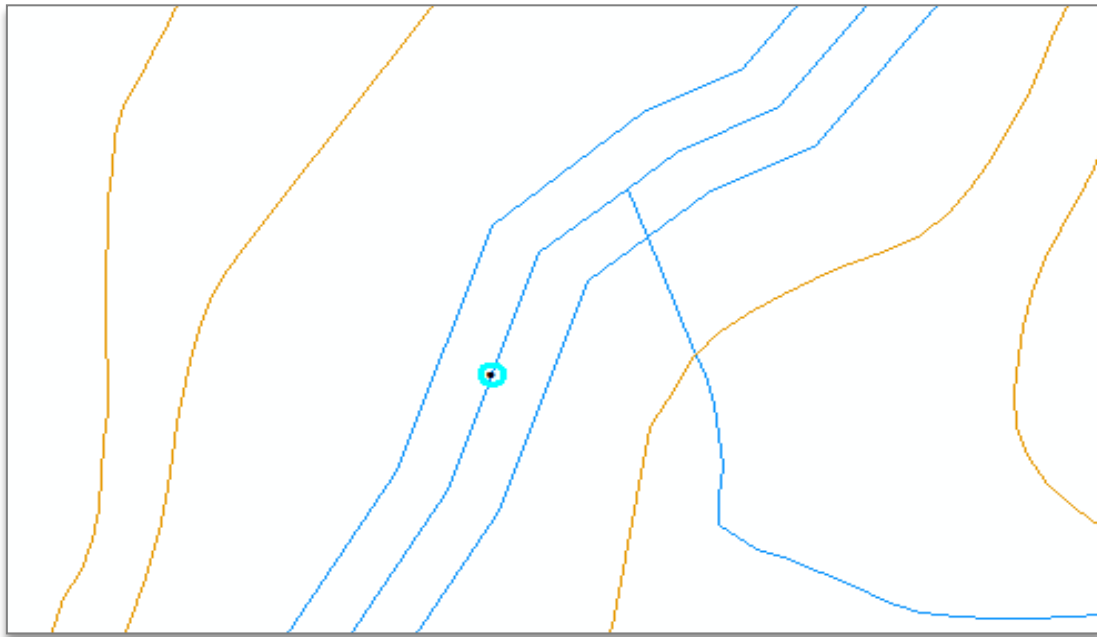
Finalmente, para obtener la superficie correspondiente a las calizas, incluyendo los elementos interiores al mismo, habría que sumar el área ocupada por las aguas superficiales en esta zona, si bien son poco significativas, se incluyen en

la cartografía sus identificadores, y en la tabla adjunta del mismo nombre puede consultarse su superficie y perímetro.

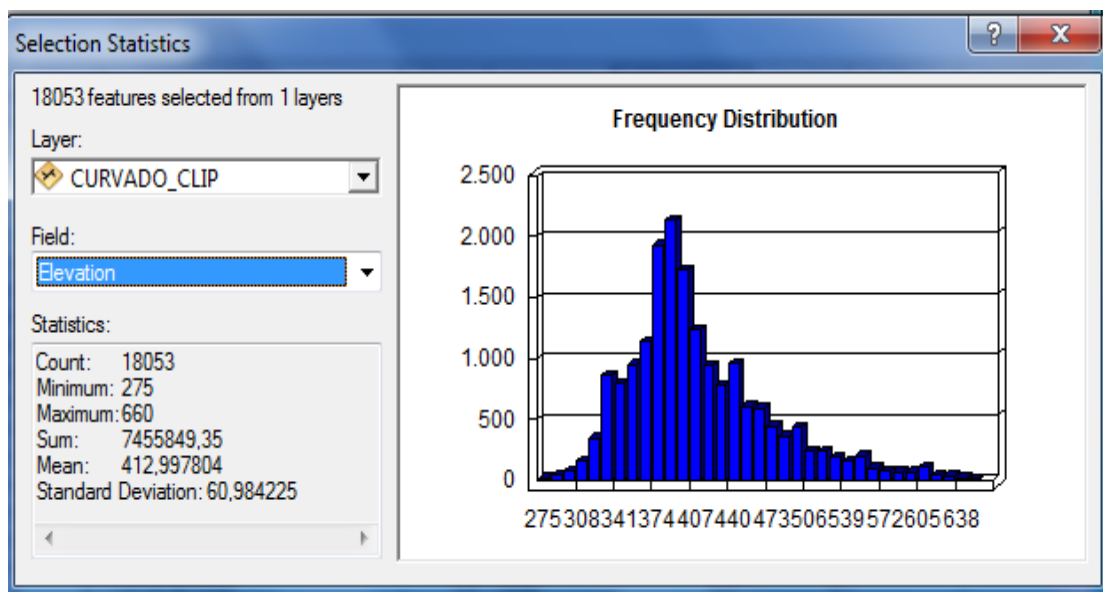
#### 7.3.1.1. Delimitación de las cuencas vertientes superficiales de cada salida de aguas de El Calerizo.

El objetivo de este análisis es conocer las superficies de las cuencas hidrográficas que drenan las calizas por los distintos cauces de El Calerizo. Para ello es necesario conocer el rumbo del agua sobre el terreno y por tanto el primer paso es generar un **Modelo Digital de Elevaciones** (MDE), ya que la información altimétrica que se nos facilita es un curvado (entidades discretas) y no permite la realización de un análisis de este tipo. Un MDE de calidad podrá ser empleado posteriormente en cálculos hidrológicos de interés. Para obtener un MDE coherente desde el punto de vista hidrológico, en primer lugar hay que realizar un filtrado de la información altimétrica de las curvas de nivel y elementos que serán utilizados. Con posterioridad al filtrado y eliminación de errores groseros, hay que seleccionar un método de interpolación que permita pasar de la información altimétrica discreta que representan las curvas de nivel y puntos con cota a la información continua de una superficie raster. Se optó por la utilización del algoritmo *topo to raster* (Hutchinson, 1988), ya que permite la inclusión durante el proceso de generación del MDE de elementos superficiales con elevación constante (por ejemplo las zonas ocupadas por los cuerpos de agua superficial), los cauces (forzando a la superficie resultante a que drene por la zona especificada) y además permite el relleno de depresiones, garantizando continuidad hidrológica (condición necesaria para delimitar correctamente el área de drenaje).

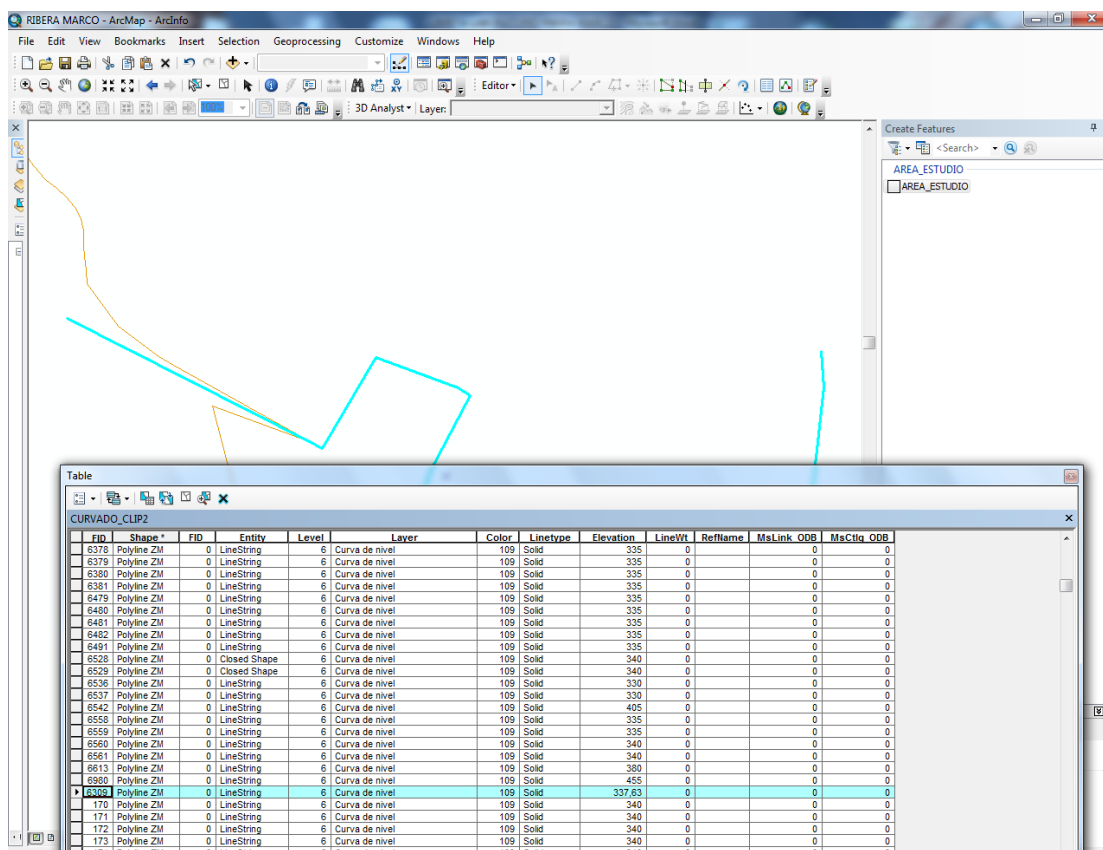
La depuración de la información altimétrica consistió en un análisis de la base de datos asociada a las capas que serán utilizadas en la generación del MDE y la edición de las mismas, suprimiendo cualquier valor anómalo. Se depuraron, por ejemplo, los puntos con cota, que aparecían como líneas con forma circular y un determinado diámetro, para convertirlos en puntos con elevación. También se eliminaron algunas curvas de nivel con incoherencias (por ejemplo curvas que se cortan entre sí). En las figuras 11, 12 y 13 pueden observarse algunos de estos detalles.



*Figura 11. Cota con estructura lineal y que fue convertida a entidad puntual durante el proceso de depuración y filtrado.*



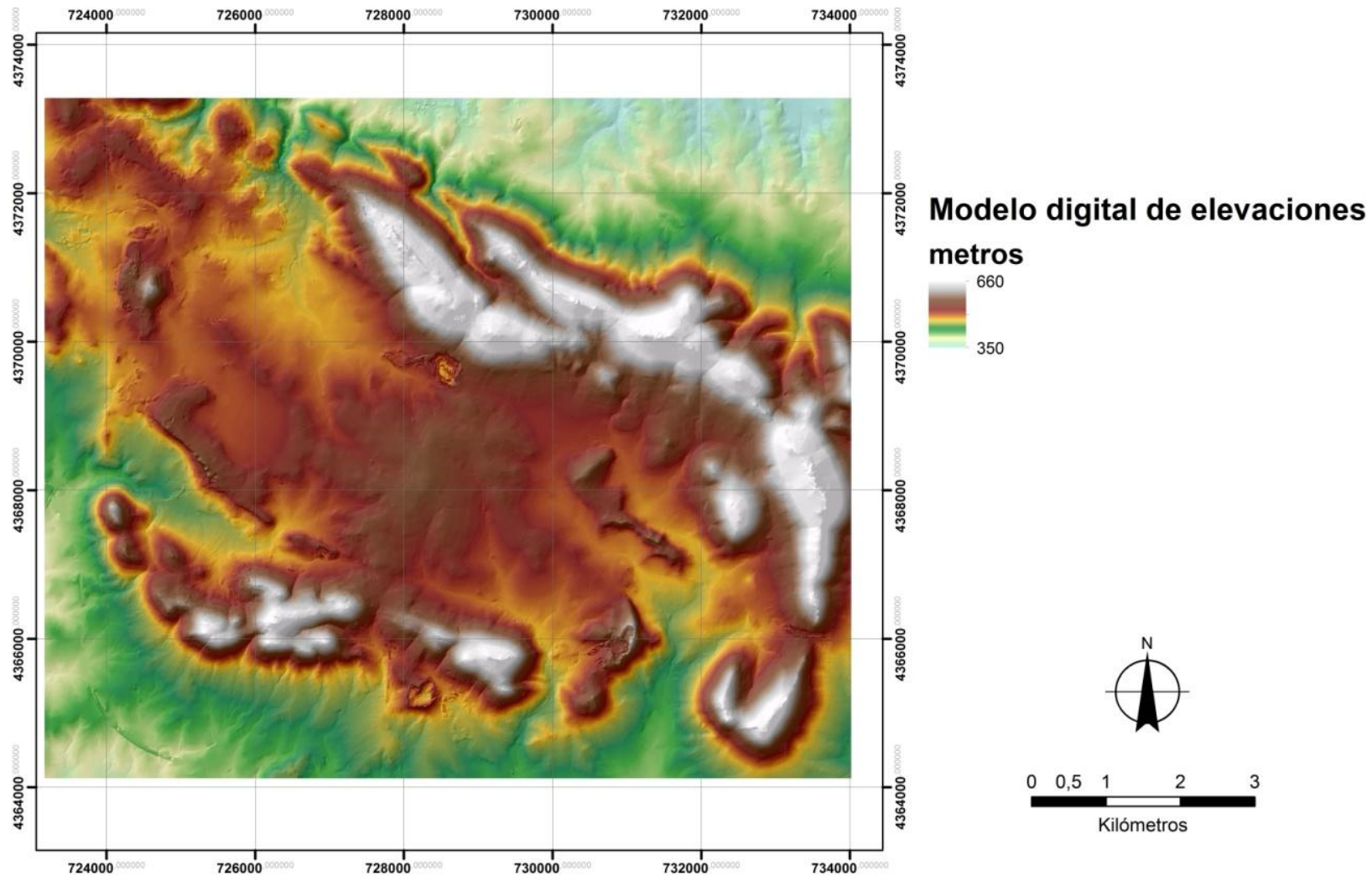
*Figura 12. Distribución de frecuencias del curvado y estadísticas generales.*



**Figura 13.** Captura de pantalla mostrando una curva de nivel que cruza a otra y su valor en la base de datos.

Tras la depuración de los datos, y previo al cálculo del MDE, hubo que realizar un recorte de la información de entrada para reducir el tiempo y la dificultad de cálculo y definir el sistema de coordenadas de origen de las capas, que es ETRS89 UTM29. Con los puntos con cotas se realizó una división de la información de entrada en puntos de entrenamiento y de test que servirá para estimar la calidad del MDE generado. En función de la densidad de los datos de entrada y la equidistancia de las curvas de nivel, así como su densidad en determinadas zonas de interés, se seleccionó un tamaño de píxel de 1 m. En el mapa de la figura 14 se presenta el MDE obtenido sobre un modelo digital de sombras que fue generado para aportar sensación de relieve y mejorar la visualización de algunas capas cartográficas. El análisis del error cuadrático medio para el MDE generado resultó en 1,6 m.





*Figura 14. Modelo digital de elevaciones generado para la zona de estudio se corresponde con el Mapa RIBERA MARCO 3 adjunto a este informe.*

Con el MDE procedemos a prepararlo para calcular las cuencas de drenaje en la zona de El Calerizo. El primer paso consistió en rellenar los sumideros. Posteriormente, se calcularon los modelos digitales de direcciones de flujo y de flujo acumulado. A partir de este último, se detectaron las principales salidas de agua superficial de El Calerizo. Más tarde, el análisis hidrológico permitirá realizar una simplificación ajustando las 13 vías de escape que se observan a priori a un total de 10 subcuencas en El Calerizo. Con cada una de estas salidas se procedió a delimitar su cuenca de drenaje y calcular su superficie, si bien la mayor parte de las situadas en la zona Noroeste presentan áreas de pequeña entidad. En la **figura 15** aparecen las subcuencas superficiales, junto con la red de drenaje sobre el fondo del MDE y el Modelo de sombras. Se trata de un resultado fundamental que ayuda en las estimaciones de captación superficial y permite conocer la estructuración espacial del drenaje superficial.

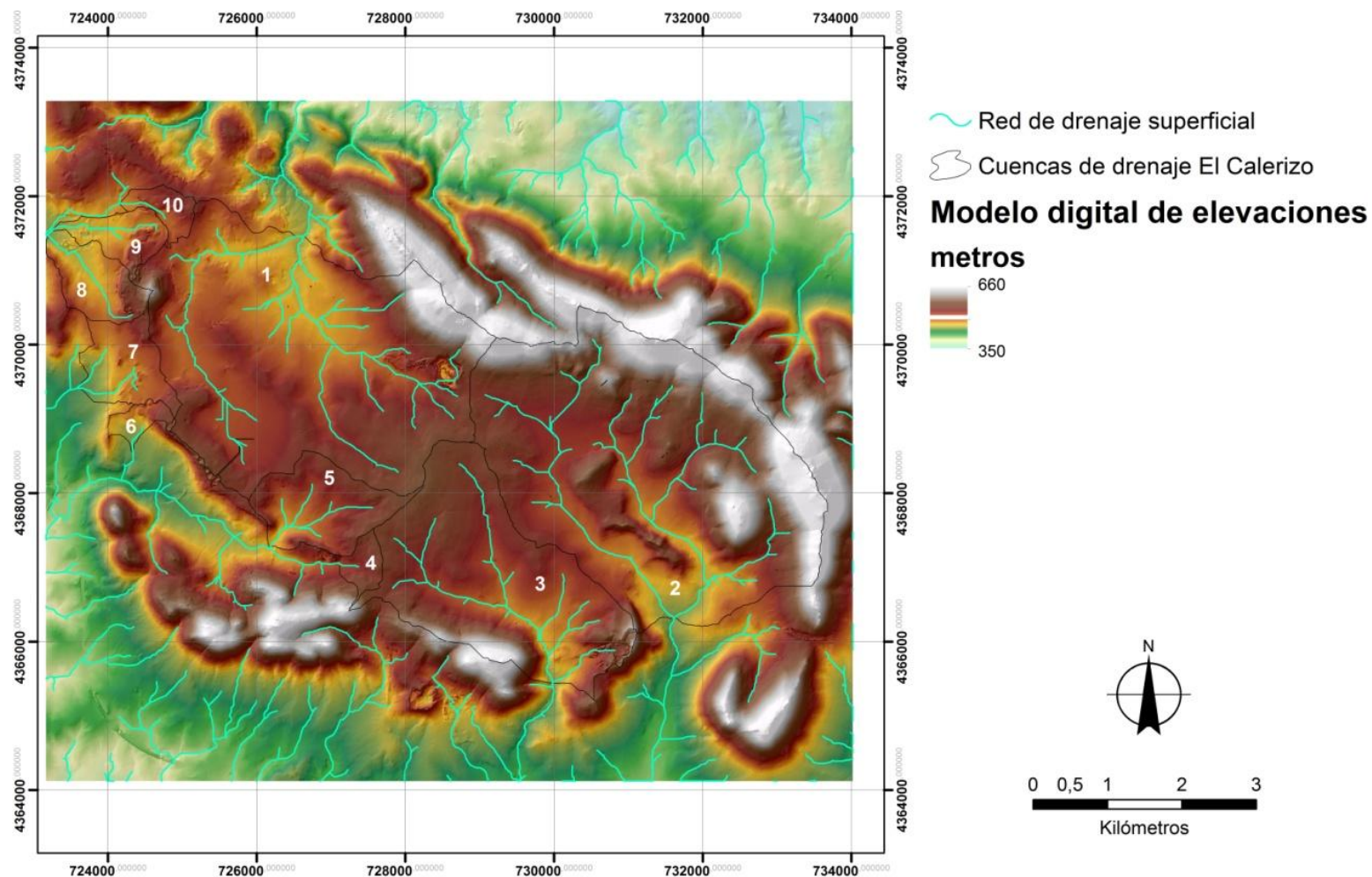


Figura 15. Mapa RIBERA MARCO 4 donde se observa la red de drenaje superficial, las cuencas que drenan desde El Calerizo y el MDE, se incluyen identificadores para cada cuenca que se corresponden con los presentados en la tabla 3 que presenta la superficie y toponimia.

Tras delimitar las cuencas y editar las subcuencas, añadiendo un identificador para poder conocer la superficie que drena hacia cada punto de salida de El Calerizo, se utiliza la calculadora de geometrías del Sistema de Información Geográfica para añadir el área de cada subcuenca en la tabla de atributos. Como resultado de este análisis se obtiene que la superficie que drena de forma superficial a El Calerizo proviene de una cuenca vertiente de 38,11 km<sup>2</sup>, que se fragmenta en 10 subcuencas cuya superficie puede consultarse en la tabla 1 y visualizarse en la figura 15. Hay que tener en cuenta que los límites de estas subcuencas no coinciden de forma neta con los elementos litológicos presentes en la zona y el tamaño de las subcuencas se estima aguas abajo de la salida para asegurar que se incluye en ese punto de salida la zona drenada por las calizas. Al realizar esta operación, se añaden también superficies circundantes formadas por diferentes materiales litológicos y que no estarían, por tanto, incluidas en las expuestas en la tabla 1.

**Tabla 3.** Área de las subcuencas superficiales de El Calerizo, se corresponden con las cuencas que aparecen en la figura 15, el identificador se incrementa en sentido horario desde el Norte, donde drena el flujo superficial a través del Arroyo del Marco hacia el Este (Arroyo de la Alberca) y así sucesivamente.

| Subcuenca                         | Superficie (km <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| 1 - Arroyo del Marco              | 12,39                         |
| 2 - Arroyo La Alberca             | 13,63                         |
| 3 - Arroyo Arropez                | 6,38                          |
| 4 - Alcor de Santa Ana 1          | 0,34                          |
| 5 - Alcor de Santa Ana 2          | 1,78                          |
| 6 - Afluente Alcor de Santa Ana 1 | 0,40                          |
| 7 - Afluente Alcor de Santa Ana 2 | 0,72                          |
| 8 - El Junquillo 1                | 1,03                          |
| 9 - El Junquillo 2                | 1,14                          |
| 10- El Junquillo 3                | 0,30                          |
| <b>Total</b>                      | <b>38,11</b>                  |



#### 7.3.1.2. Cartografiado de los puntos de interés visitados en campo.

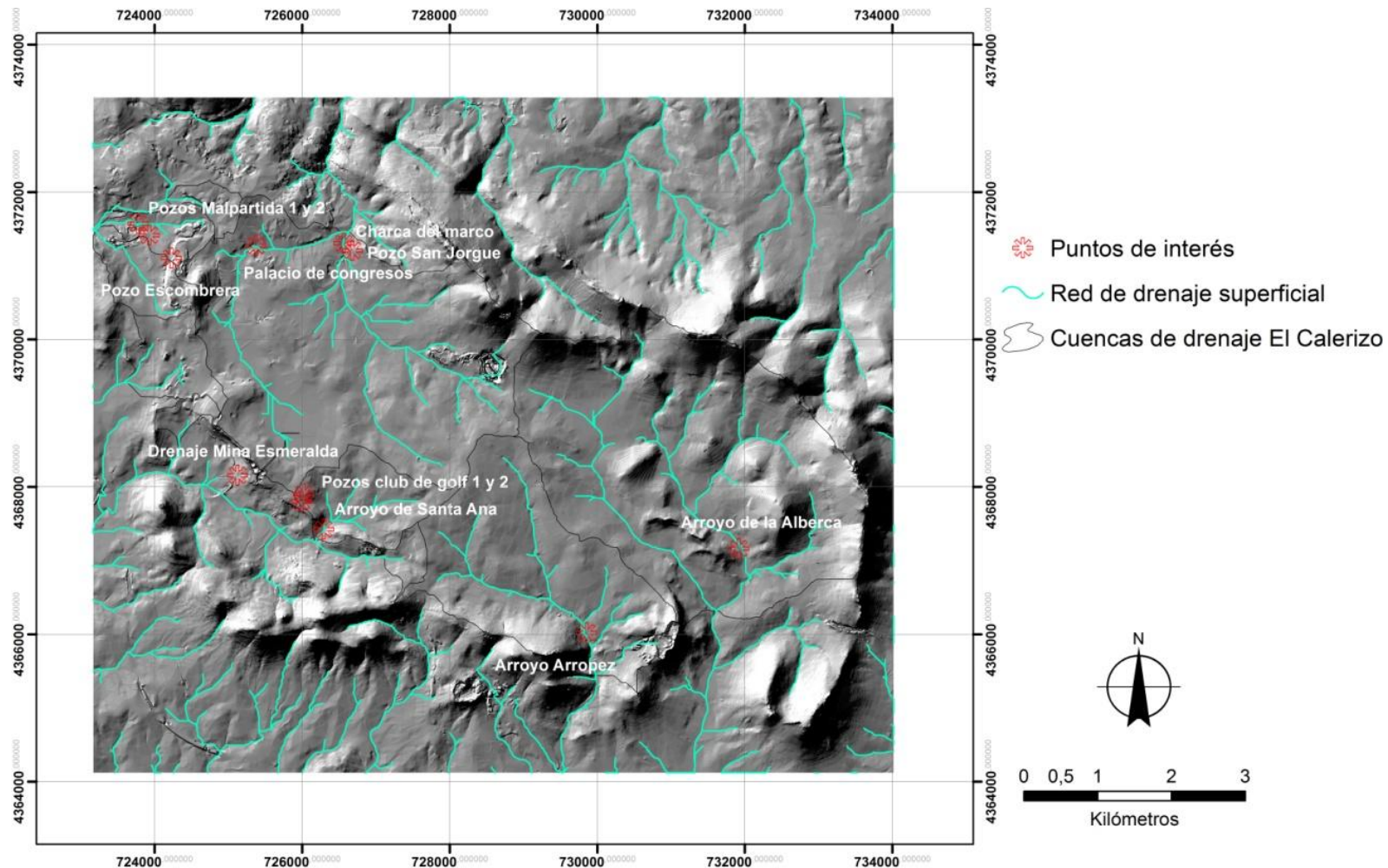
Sobre la ortofotografía aérea y con el fin de documentar cartográficamente elementos de interés, en el presente trabajo se llevó a cabo un proceso de digitalización. El resultado puede observarse en la imagen de la figura 16 (mapa RIBERA MARCO 5 adjunto al informe).

#### 7.3.1.3. Georreferenciación de la imagen de INGEMISA con las divisorias subterráneas.

Para conocer las divisorias subterráneas se procedió a la Georreferenciación, con los siguientes puntos:

- **PTO1:** intersección de la vía del ferrocarril con la carretera de Cáceres-Malpartida de Cáceres.
- **PTO2:** intersección de la carretera de Malpartida de Cáceres con la carretera de Plasencia N-630, ahora en el centro de una rotonda.
- **PTO3:** rotonda en la salida de la carretera de Badajoz, tras la rotonda del ferial.
- **PTO4:** intersección carretera de Miajadas.

Como resultado de la Georreferenciación se obtiene una imagen por convolución cúbica y un error cuadrático medio para una transformación polinomial de primer orden de 6,6 metros.



**Figura 16.** Mapa RIBERA MARCO 5 donde se observa la red de drenaje superficial, las cuencas que drenan desde El Calerizo y el MDE, se incluyen identificadores para cada cuenca que se corresponden con los presentados en la tabla 3 que presenta la superficie y toponimia.

#### 7.3.1.4. Delimitación de las cuencas subterráneas.

En base al Proyecto de *Investigación Geológico-Geotécnica y de Riesgos en el Calerizo Cáceres* (INGEMISA, 1990) y a la Georreferenciación de algunos planos de dicho trabajo, se delimitaron las divisorias subterráneas para posteriormente calcular que área de drenaje subterráneo corresponde a cada salida del Calerizo. Lo primero que observamos al realizar la superposición de la cartografía es que existe un solape casi perfecto y sin embargo los planos del trabajo de INGEMISA presentan detalles que la cartografía de la serie MAGNA no presenta. Dichas diferencias se achacan a un factor de escala, con la serie MAGNA a una escala 1:50.000 y con la cartografía del trabajo de INGEMISA a 1:20.000 (para el plano con información de las divisorias subterráneas). Según estas divisorias y utilizando el MDE para completar la parte interior del anillo, tendríamos una aproximación a la cuenca de drenaje subterráneo de cada una de las secciones del acuífero generado por esas divisorias. En la figura 17 (Mapa RIBERA MARCO 6) del presente informe pueden observarse dichas divisoras superpuestas a la geología de la zona.

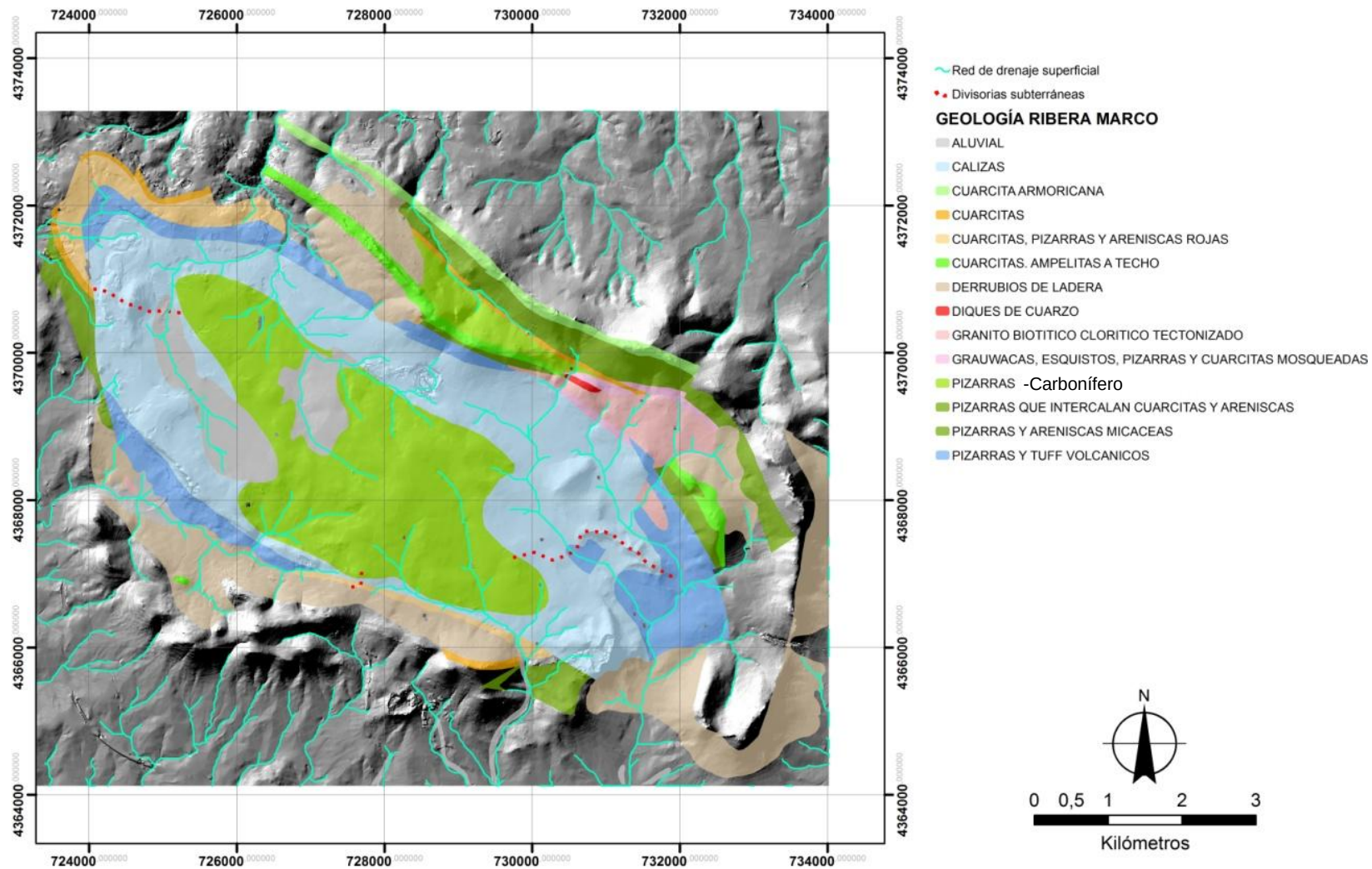


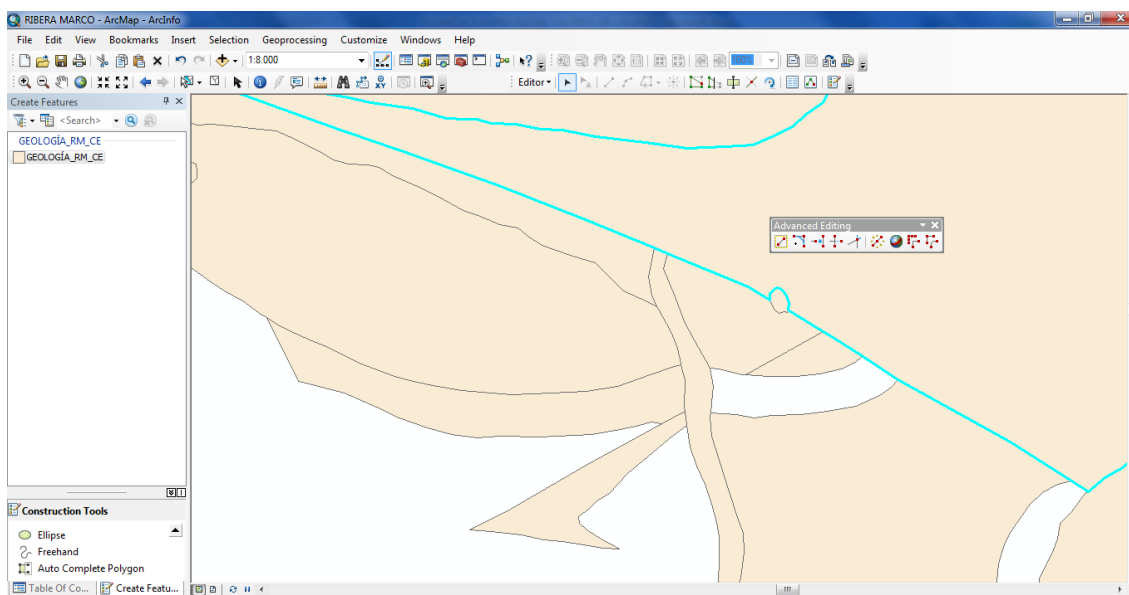
Figura 17. Mapa RIBERA MARCO 6 donde se observa la red de drenaje superficial, los elementos litológicos y las divisorias subterráneas obtenidas a partir de la digitalización y edición de la cartografía del trabajo de INGENISA (1990).



### 7.3.1.5. Corrección de la cartografía geológica de El Calerizo.

De forma posterior a la realización de la cartografía que se incluye anteriormente, se ha llevado a cabo un cartografiado preciso de los límites de las calizas/dolomías de Carbonífero de Cáceres, para ello, se ha utilizado como base el archivo *shapefile* de la serie MAGNA (Cartografía geológica del IGME a escala 1:50.000). Sobre dicha base y con datos de campo se han realizado modificaciones.

Pese a tratarse de modificaciones menores, el resultado final supone, quizás, el cartografiado más preciso que existe sobre los límites de esta unidad litológica. La delineación de la nueva extensión de la superficie ocupada por las calizas, supone la modificación de las capas aledañas y una labor de edición cartográfica que incluye la edición de vértices, autocompletado y fusión de polígonos, ajustes de bordes con detección gráfica de conflictos cartográficos y generalizaciones. En la siguiente imagen se muestra un paso de dicho proceso de edición cartográfica (**figura 18**).

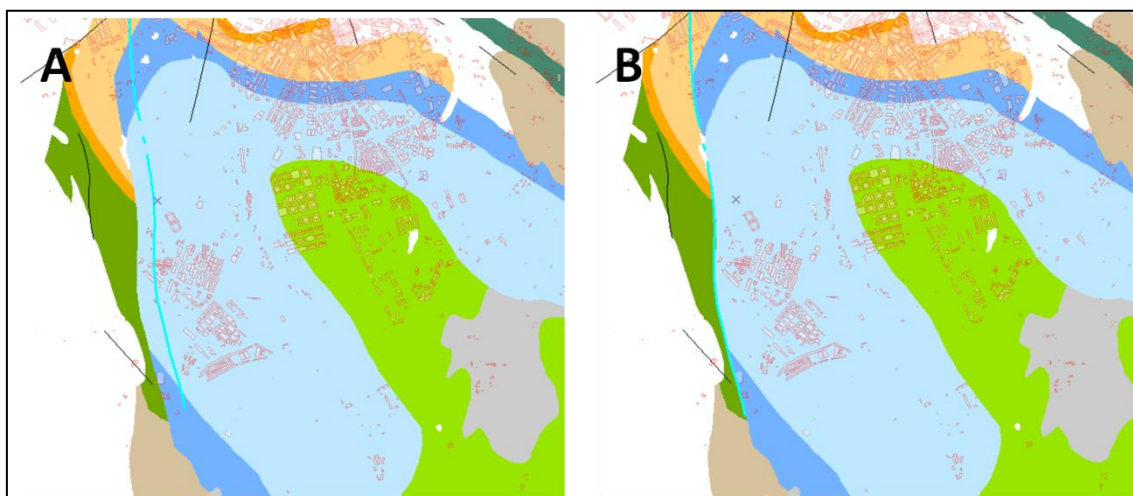


**Figura 18.** Ejemplo de uno de los pasos realizados en la modificación cartográfica.

Después de obtener los nuevos límites fue necesario ajustar otras capas que se encuentran directamente relacionadas con el contacto de las calizas, se

trata, más concretamente de los contactos mecanizados. En definitiva, hubo que desplazar las fallas que se producían a lo largo de los contactos de las calizas. La figura 19 muestra un ejemplo.

El resultado final se presenta en la figura 20. En la elaboración y edición se han mantenido los colores y tramas estándar y habitualmente utilizados por el IGME, figura 21.



**Figura 19. A) Contacto mecanizado sin corrección tras la redefinición de los límites de las calizas en la parte N de El Calerizo y B) posición del contacto mecanizado corregido.**

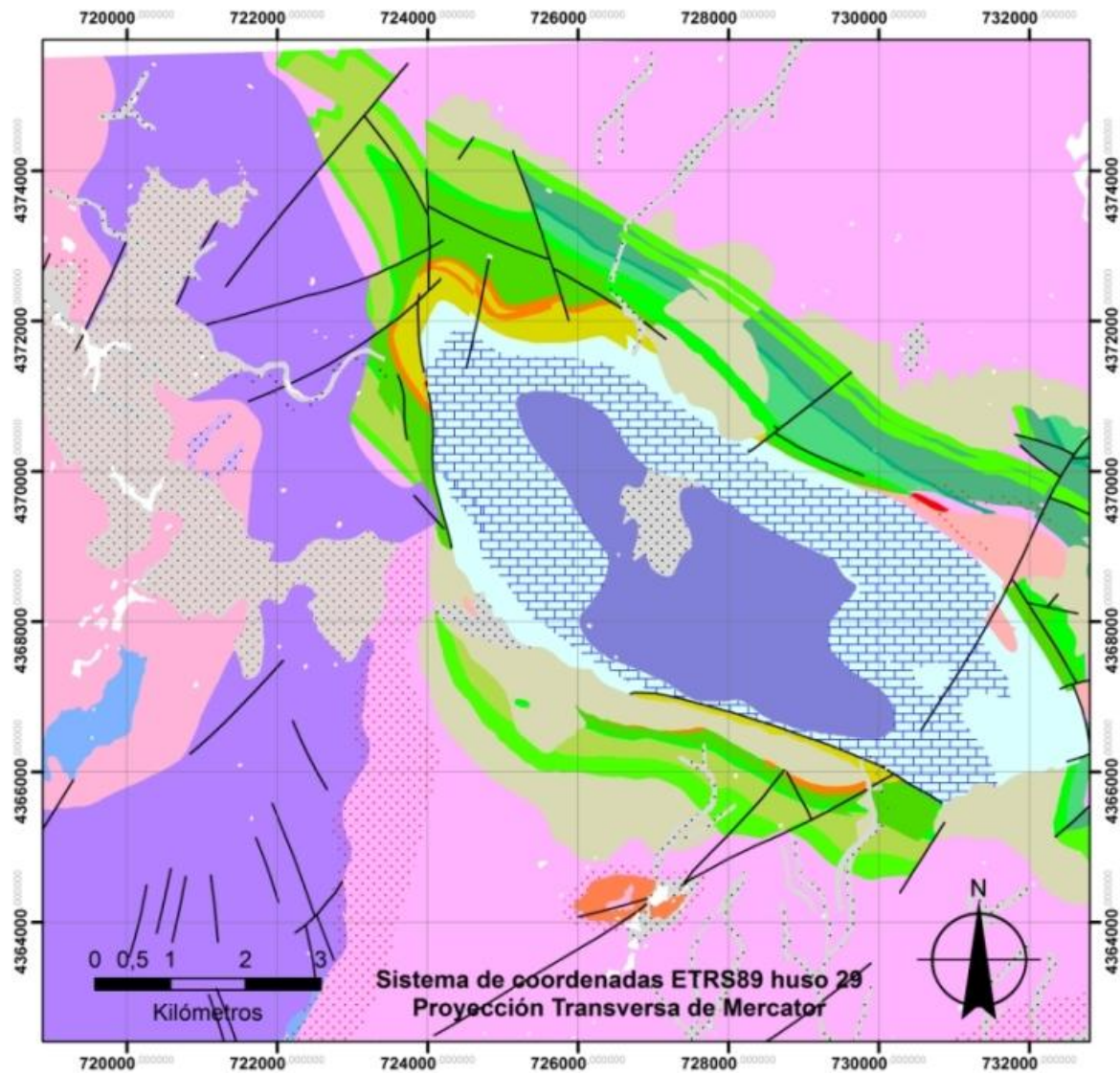


Figura 20. Mapa geológico con los límites de El Calerizo corregidos.

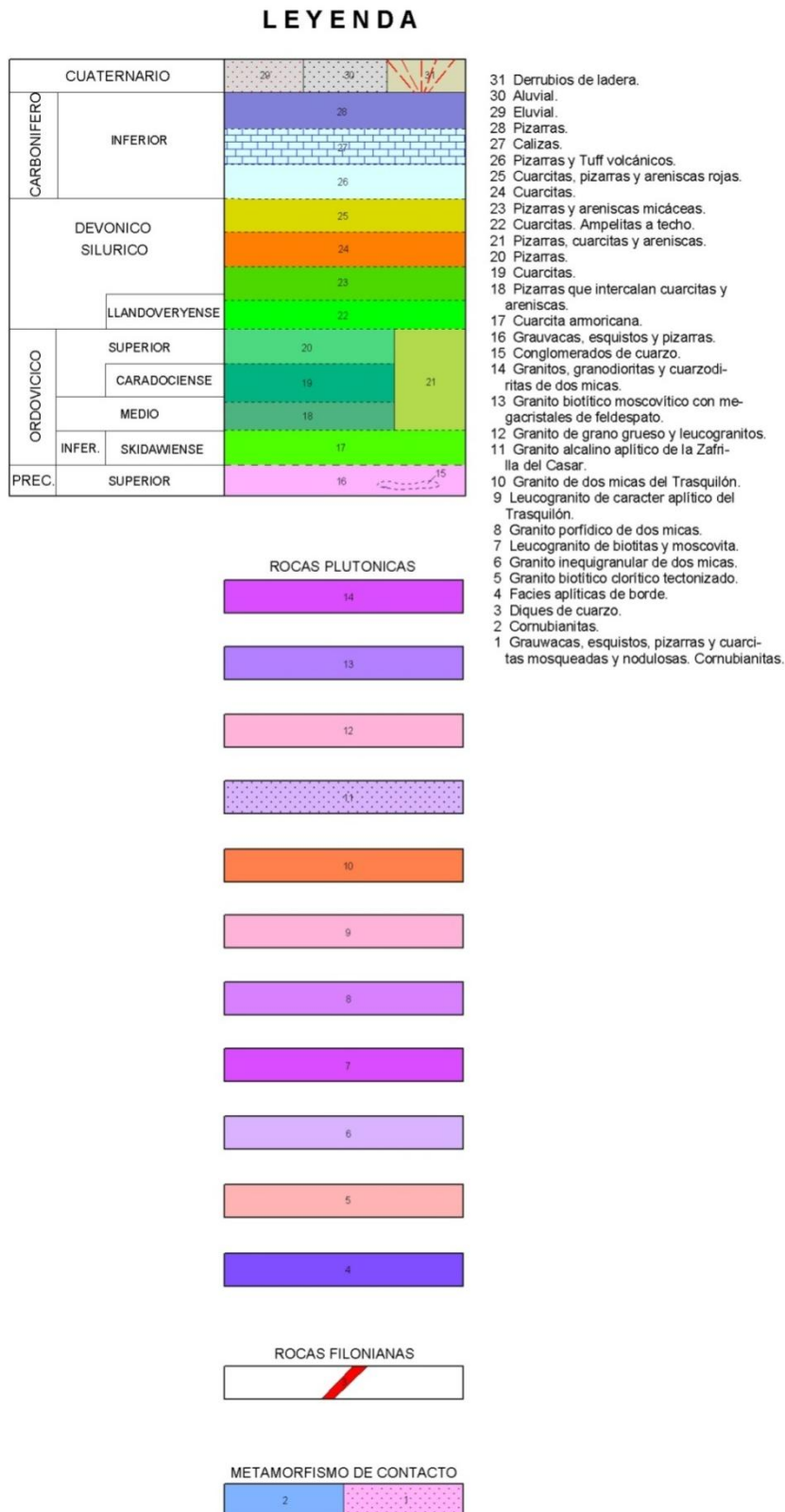
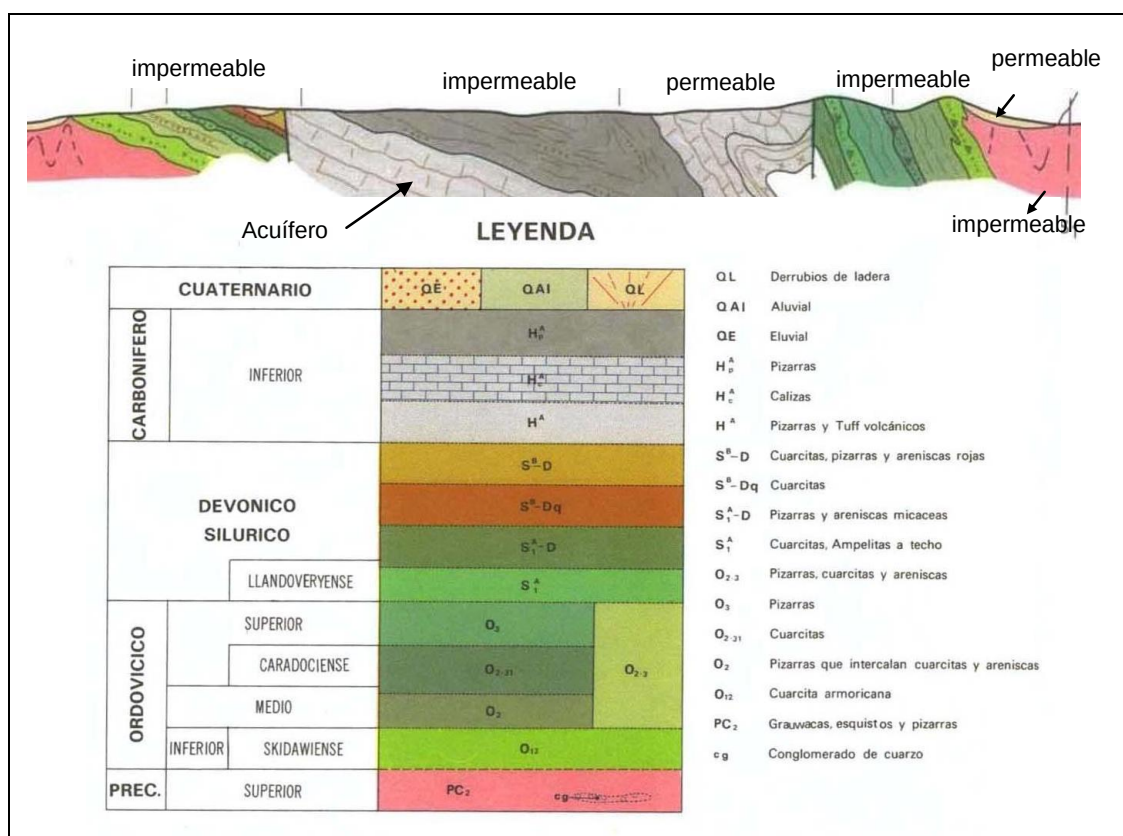


Figura 21. Leyenda del IGME.



### 7.3.2. Balance hidrológico de El Calerizo

El Sinclinal de Cáceres está formado por rocas con diferentes características de permeabilidad, como ilustra el corte geológico, presentado en la **figura 22**. Las calizas dolomíticas del Carbonífero Inferior y que forman el acuífero El Calerizo son rocas muy permeables. Las demás rocas, fundamentalmente pizarras y cuarcitas se pueden considerar semipermeables. Otros materiales de elevada permeabilidad en el área de estudio son los sedimentos aluviales y coluviales de escasa potencia.



**Figura 22.** Ilustración del acuífero El Calerizo (elaboración propia a partir del mapa geológico de IGME, 1982)

Existen pocos estudios sobre el balance hidrológico de El Calerizo, destacando los desarrollados por INGEMISA (1990) y Jorquera (1992-1994). Por ello, este apartado constará de varias partes: primero, se presentan las descargas naturales y artificiales (pozos de sondeo y drenajes), seguido por un resumen de los dos estudios sobre el Calerizo más destacados, y por último se exponen los resultados de las estimaciones de la recarga del presente estudio, junto con el balance hidrológico.

### 7.3.2.1. Descargas naturales

Durante el desarrollo del estudio se ha realizado un importante trabajo de campo en el que se han localizado las surgencias naturales de El Calerizo, en forma de manantiales o fuentes, y estimando los caudales a partir de observaciones directas. Por ello, en este apartado se presenta información acerca de estas salidas, así como fotografías que ilustran las condiciones actuales.

Los caudales naturales de ríos o manantiales, así como las extracciones de pozos de sondeo, se miden en litros partido por segundo (l/s) y se refieren a los valores medios anuales, salvo casos indicados expresamente en el texto.

#### Charca del Marco

La Charca del Marco constituye el lugar de la surgencia natural que da origen a la Ribera del Marco, localizada en la parte septentrional de El Calerizo (figura 23). La corriente de agua es llamada también Arroyo del Concejo y discurre por la ciudad de Cáceres en dirección Norte, desembocando en el río Guadiloba después de un recorrido de aproximadamente 8 Km.

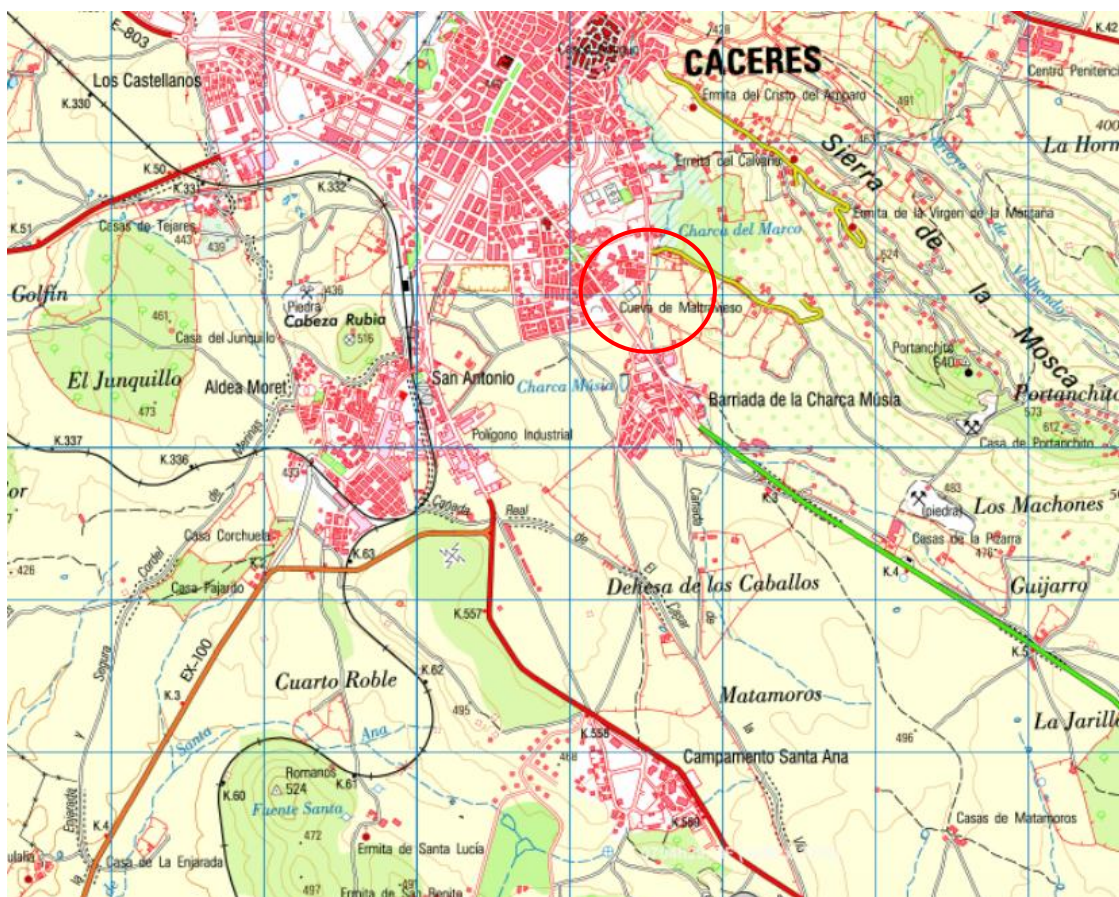


Figura 23. Localización de la Charca del Marco en el MTN a escala 1:50.000.

La surgencia no es visible, debido a la construcción de una pequeña presa que da lugar a una charca que impide observar brotar el agua de El Calerizo en este punto (foto 12). La charca no supera una profundidad de aproximadamente 1,0 metro y una vez alcanzado este nivel, el caudal en su salida equivale al caudal de la surgencia. La foto 13 muestra la charca en febrero de 2012, cuando el caudal era aproximadamente **3 l/s**.

Por otro lado, durante la mayor parte del año, aguas arriba de la surgencia, el Arroyo de la Plata no presenta caudal (foto 14), puesto que éste se limita solo a momentos del año en los que se genera flujo superficial en las laderas de su cuenca de drenaje. Además, es probable que parte de su caudal se vuelva a infiltrar a través de su lecho en los tramos que atraviesan las calizas dolomíticas de El Calerizo.





*Foto 12. Charca del Marco. Lugar de la surgencia natural del Arroyo del Concejo, febrero 2012.*

En abril del presente año, mediante el Proyecto de Recuperación de la Ribera del Marco, dirigido por el Ayuntamiento de Cáceres, se vació la Charca del Marco, para su posterior limpieza (extracción de fangos de su fondo y acondicionamiento de su entorno). La foto 15 muestra una imagen de la charca posterior a su limpieza y la foto 16 ilustra el flujo de agua que equivale a la cantidad de agua subterránea que emerge en este momento a la superficie. El caudal se pudo estimar en unos 2 l/s.

El caudal en la surgencia de El Marco se redujo a lo largo de la primavera, llegando a cero l/s a finales de mayo de 2012, como demuestra la foto 25, tomada a pocos metros aguas abajo de la surgencia. El invierno del año hidrológico 2011-12 ha sido excepcionalmente seco, pudiendo afectar negativamente a las surgencias del acuífero.

Para realizar los balances de agua hemos usado un valor de **3 l/s** como caudal medio anual de esta surgencia.





*Foto 13. Caudal del Arroyo del Marco inmediatamente debajo de la charca en febrero 2012.*





**Foto 14.** Arroyo de la Plata canalizado, aguas arriba de la charca del Marco en febrero 2012. Observe que no tiene caudal.





**Foto 15. Charca del Marco tras su vaciado y limpieza (foto del 17/3/2012).**



**Foto 16. Caudal en la salida de la Charca del Marco tras su vaciado y limpieza en marzo de 2012.**





*Foto 17. Caudal del Arroyo del Marco a pocos metros aguas abajo de la surgencia en mayo de 2012.*

Los caudales de los otros manantiales de El Calerizo son aún más bajos, siendo los principales lugares de descarga los siguientes:

- La Alberca
- Arroyo Arropez
- El Alcor de Santa Ana

### **La Alberca**

El Arroyo de la Alberca nace en la finca La Alberquilla, la cual se localiza al sureste de El Calerizo, a la altura del kilómetro 8 de la carretera EX-206 (Cáceres – Miajadas) aproximadamente (figura 24).



En la visita que se realizó a la finca se reconoció y analizó el lugar, y no se encontró un manantial con un flujo constante. Existe una charca (foto 18) que recoge el agua que surge a la superficie en el fondo de una vaguada. Se dedujo que debería tratarse de la surgencia, ya que aguas arriba no se detectó flujo ninguno. El caudal del agua que se observa aguas abajo de la presa de la charca se estima en menos de **0.5 l/s**.

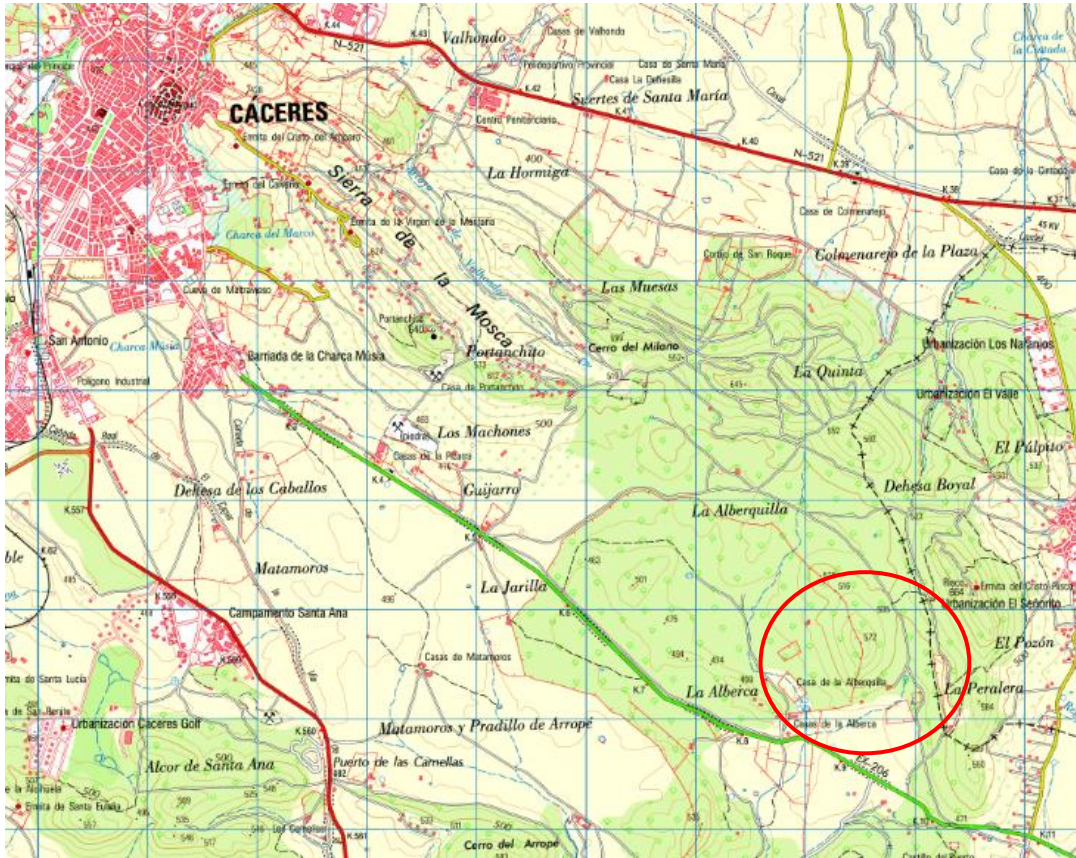


Figura 24. Localización de la surgencia La Alberca sobre el MTN a escala 1:50000.



*Foto 18. Arroyo y Charca de la Alberca.*

### **Arroyo Arropez.**

Está situado en la parte meridional de El Calerizo, en la finca El Pradillo (figura 25). Según nos cuentan los lugareños, el nombre de la finca se debe a la presencia de pardillas que habitaron el arroyo en el pasado. A este hecho se debe probablemente el nombre del “arroyo del pez”, Arropez.

Los propietarios de la finca construyeron una presa de mampostería que forma una pequeña charca (foto 19).

El caudal en la salida de la charca es de aproximadamente **1 l/s** (foto 20).



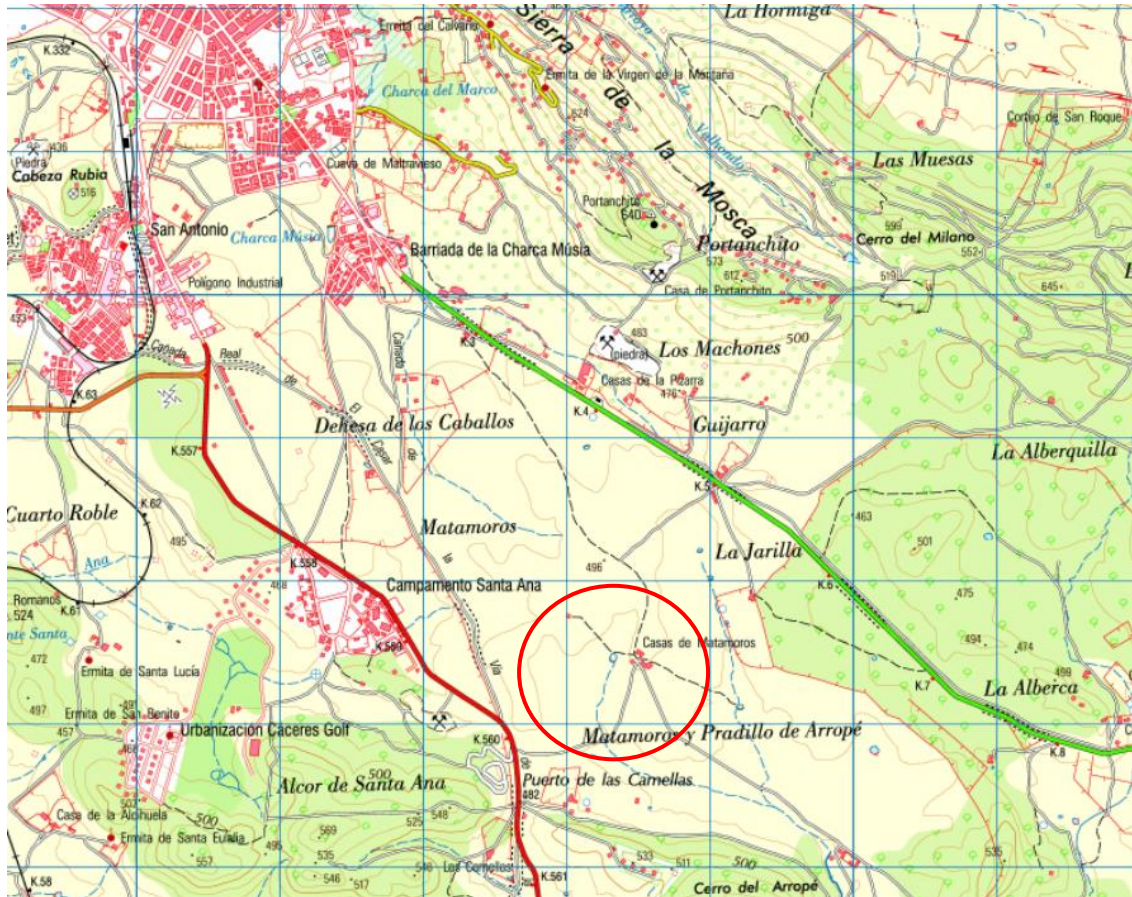


Figura 25. Localización de la surgencia del Arroyo Arropez en el MTN a escala 1:50.000.



**Foto 19.** Charca en el Arroyo Arropez que capta la surgencia de agua subterránea, Finca El Pradillo (29/2/2012).



**Foto 20.** Arroyo Arropez aguas abajo de la charca. Se observa una reducida cantidad de flujo superficial pero en profundidad circula un caudal superior.



### Arroyo del Alcor de Santa Ana

Un tercer manantial nace en el sur de El Calerizo, en las instalaciones del Campamento Militar del CIMOV (carretera N-630 que une Cáceres con Mérida) (figura 26).

Aunque intentamos acceder al manantial, no nos fue posible. No obstante, en todos los estudios sobre el acuífero, se constata un bajo caudal, estimado en no más de **0.5 l/s** como media anual.

Las aguas del manantial, junto con las aguas que drenan la Sierra de la Aldihuela, formada principalmente por pizarras y cuarcitas, dan lugar al Arroyo del Alcor de Santa Ana (foto 21).

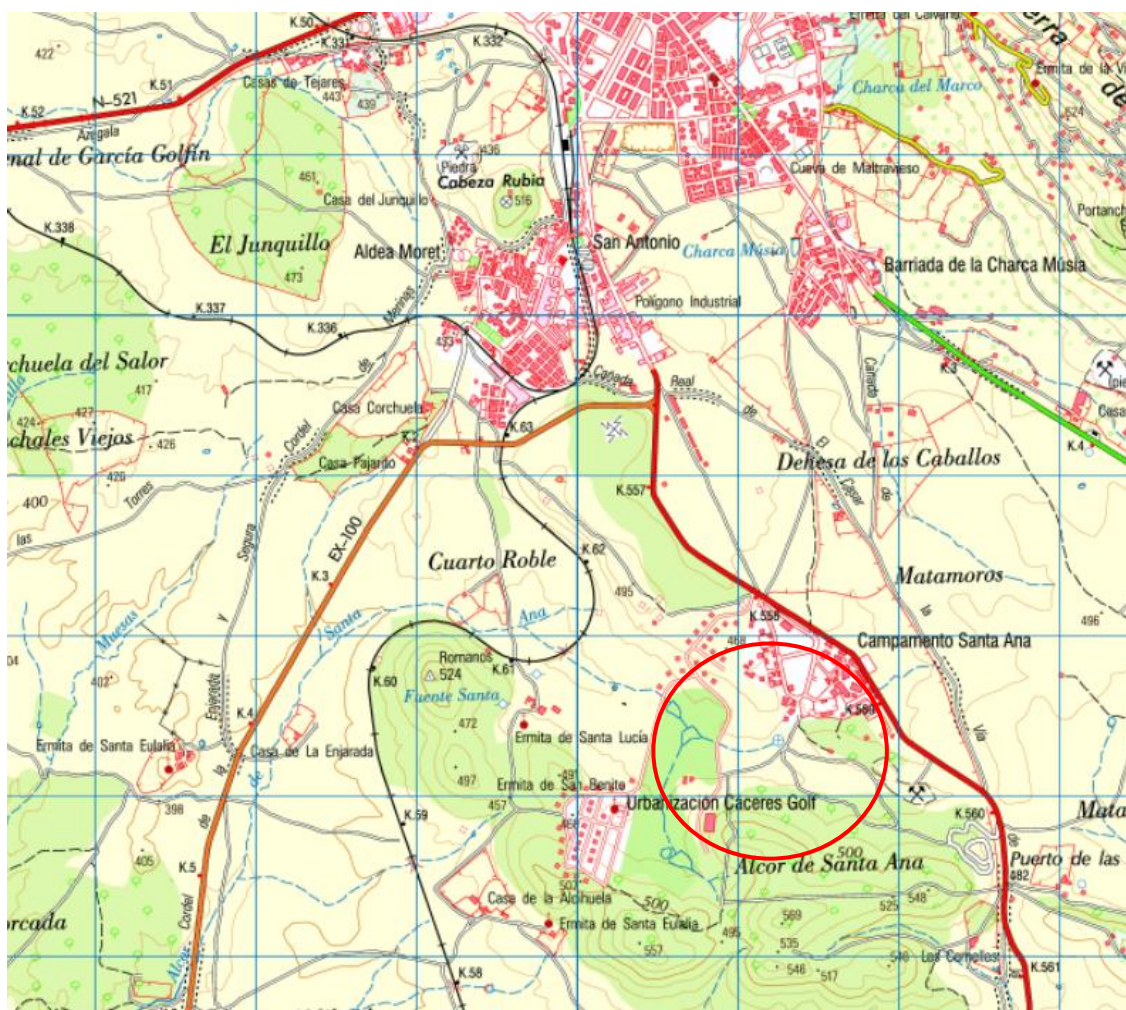


Figura 26. Localización de la surgencia del Arroyo de Santa Ana en el MTN a escala 1:50.000.

El club de golf *NORBA Golf* aprovecha las aguas superficiales que se generan en esta sierra en dos charcas para regar su césped (*greens*), aparte del agua extraída en dos pozos de sondeo situados sobre El Calerizo..



**Foto 21.** *Arroyo Alcor de Santa Ana aguas abajo de la urbanización Ceres Golf. En el fondo se aprecia la Sierra de la Aldihuela y los greens del campo de golf.*



### 7.3.2.2.Extracciones y drenajes artificiales

#### **Galería de desagüe de la Mina Esmeralda**

En la fachada oeste y a unos 50 metros de los afloramientos de las dolomías, se encuentra la salida al exterior de las aguas de la galería de drenaje de la Mina Esmeralda (foto 22 y 23).



*Foto 22. Localización de la salida al exterior de las aguas de drenaje de la Mina Esmeralda (flecha roja). La línea amarilla marca el límite aproximado entre las calizas y las pizarras. La flecha azul indica la conducción de drenaje subterránea, cuya trayectoria es desconocida (22/02/2012).*

Se trata de una captación que se construyó a principios del siglo XX para posibilitar la extracción de los fosfatos por debajo del nivel freático. Estas extracciones comenzaron en 1864 por parte de la sociedad Riotinto Minera S.A. y su actividad finalizó en los años 60 del pasado siglo. El mineral se exportó a partir de 1886 a países como Inglaterra, Alemania, Francia, Bélgica y

Holanda gracias a la construcción en 1880 de la línea de ferrocarril que unió Cáceres con Lisboa, desde donde se llevaron a cabo las exportaciones.

La construcción de la galería de desagüe de la Mina Esmeralda provocó una distorsión en el sistema de funcionamiento natural del acuífero, ya que el nivel freático, que hasta el momento describía un plano inclinado, con su punto más bajo en la surgencia de El Marco, tomó una doble inclinación (Jorquera de Guindos y Gil Montes, 1994). No obstante la localización del desagüe de la Mina Esmeralda no causó demasiados desajustes debido a la cota de altura, ya que si se hubiera construido a una cota menor a los 430 metros se hubiera modificado por completo el sistema de funcionamiento del acuífero, dejando la surgencia de El Marco seca.



*Foto 23. Salida al exterior de las aguas de drenaje de la Mina Esmeralda (22/02/2012).*

El lugar exacto del inicio de la captación y la trayectoria del canal subterráneo se desconocen, por lo que se ha realizado una búsqueda acerca de esta información, visitando el Centro de Interpretación de la Minería de Extremadura en Aldea Moret y contactando con el Ayuntamiento para ver si podían indicarnos, dónde encontrar estos datos, pero no se han obtenido resultados. No obstante, el informe de Jorquera (1994) presenta un diagrama (figura 27) de



un perfil de El Calerizo desde las minas hasta la surgencia de El Marco, donde se localizan los pozos, la galería de desagüe y el manantial.

En dicho diagrama se pueden observar dos pozos. El Pozo de Mina Esmeralda tiene unos 95 metros de profundidad y el agua se bombeaba en el nivel 70, localizándose el desagüe en el nivel 50. Por otro lado, el Pozo maestro de Mina Abundancia era de mayor profundidad, en torno a los 155 metros de profundidad.

Actualmente, el agua procedente de la galería de desagüe de la Mina Esmeralda drena hacia el Arroyo de Santa Ana, afluente del Río Salor, con un caudal estimado en **7 l/s** (foto 24) y según comentan los lugareños es un caudal bastante constante a lo largo del año, que únicamente se ve reducido en verano, cuando el Club de Golf realiza bombeos para regar los *greens*. Este dato se aproxima bastante a las estimaciones del estudio de INGEMISA que indica un caudal de 5-7 l/s.



**Foto 24. Flujo de agua en la salida al exterior de la galería de drenaje de la Mina Esmeralda (22/02/2012).**

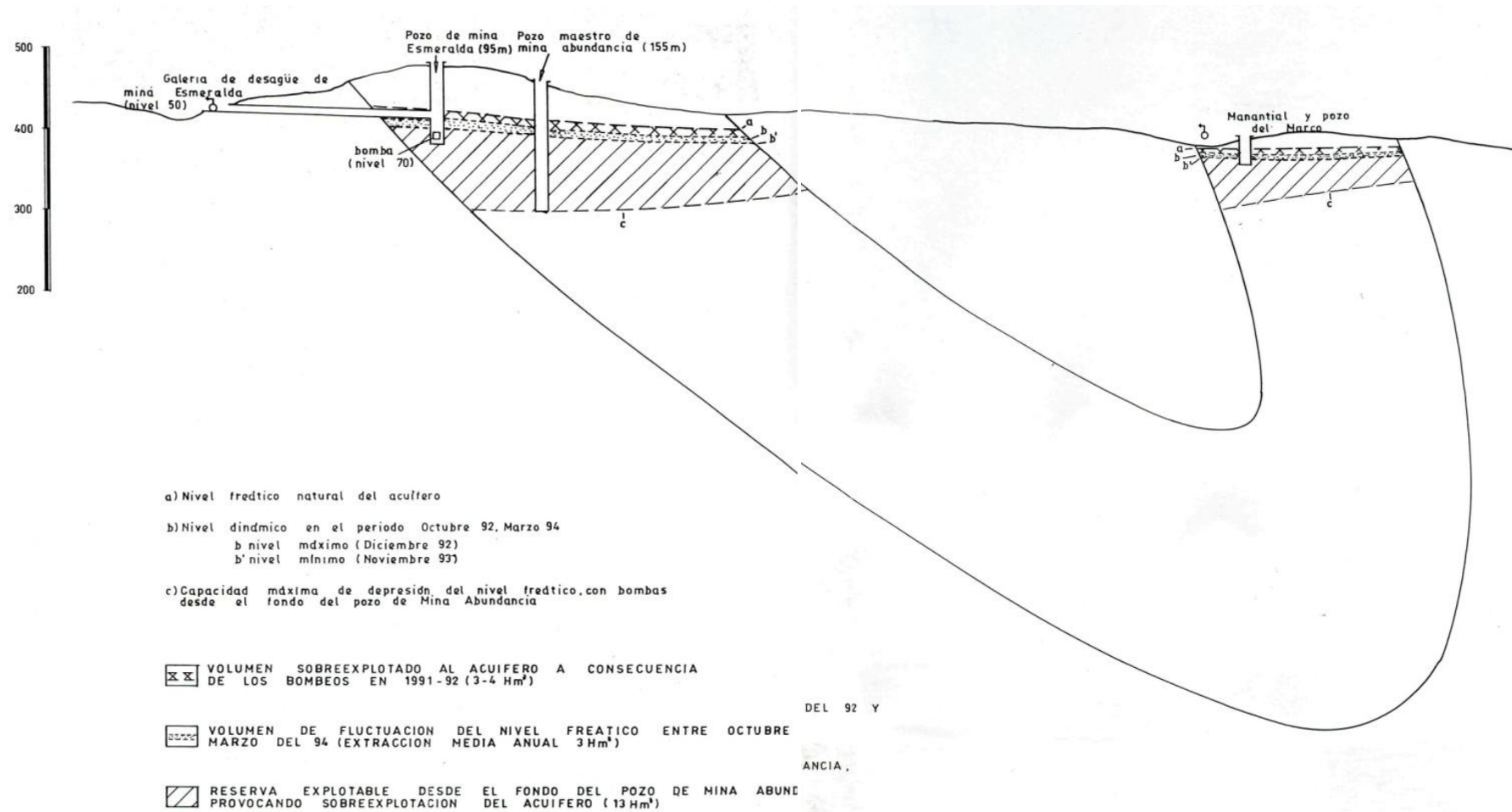


Figura 27. Corte del acuífero con esquema de funcionamiento hidrogeológico. Fuente: Jorquera de Guindos, 1994.

## **Palacio de Congresos**

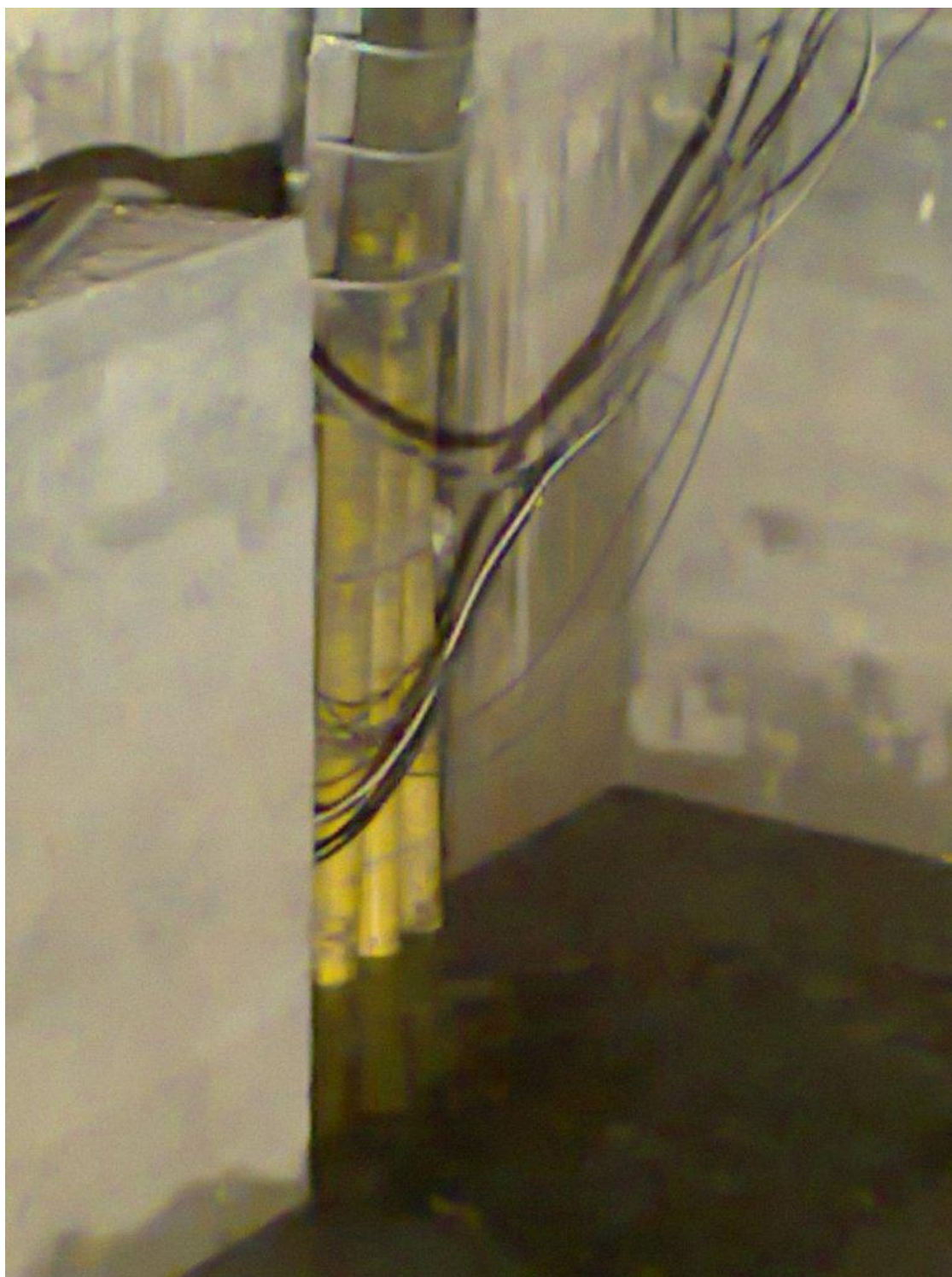
El Palacio de Congresos sufre inundaciones en los bajos del edificio desde su inauguración como Auditorio de Cáceres en 1996, viéndose afectados el lugar donde se ubica la orquesta cuando se celebran actividades. Esto se debe a que los bajos del edificio se sitúan en una cota inferior al nivel piezométrico de El Calerizo. Realizamos una visita al Palacio de Congresos el 20 de marzo de 2012, para informarnos acerca del bombeo de agua que sabíamos que se realiza para evitar las inundaciones.

En la parte inferior del edificio se construyó un recinto de hormigón que constituye una especie de piscina (foto 25) con tres bombas de extracción (foto 26). Una sonda en la piscina pone en funcionamiento las bombas cuando el agua llega a cierto nivel. Existen tres bombas que extraen agua de forma continua durante años de pluviometría normal y alta. Solamente en periodos excepcionalmente secos, como es el caso del año hidrológico actual (2011-2012), cesa la extracción debido a la depresión que sufre el nivel freático.

Según la información dada por el personal de mantenimiento del Palacio de Congresos, cada bomba tiene una capacidad de extracción de 7 a 10 l/s, por lo que se ha estimado un caudal medio anual de **20 l/s**, teniendo en cuenta que existen periodos de varios meses durante algunos años en los que cesa la actividad.

El agua que se extrae se redirige hacia la canalización de aguas pluviales y residuales de la Avenida de la Hispanidad, la cual forma parte de la red de saneamiento de Cáceres (foto 27). La figura 29 muestra la situación del Palacio de Congresos y la red de saneamiento en esa parte de la ciudad.





*Foto 25. Bombas de extracción del Palacio de Congresos (20/03/2012).*



*Foto 26. Recinto donde se produce la extracción de agua (20/03/2012).*



*Foto 27. Punto en el que se vierte el agua extraída en el Palacio de Congresos (canalización de aguas pluviales de la red de saneamiento) (20/03/12).*

### **Pozo de San Jorge**

El Pozo de San Jorge se encuentra en la parcela municipal de la Escuela Taller, a pocos metros de la Charca del Marco (foto 28), donde además existen tres pozos más, de menor tamaño, los cuales están inutilizados actualmente (foto 29).

Según información dada por la directora de la Escuela Taller, así como por Acciona, este pozo abastecía de agua la Zona de la Mejostilla, extrayéndose en torno a 5000 m<sup>3</sup>/día desde 1995 (año en el que se concesiona el Servicio Municipal de Aguas a la entidad Canal de Isabel II), hasta que en marzo de 2003 dichos pozos fueron clausurados tras la ejecución de una obra hidráulica de redes que permitía abastecer a la zona desde el llamado depósito Inferior,



que es como se está abasteciendo en la actualidad. Esta cantidad equivale a un total anual de 1,825 Hm<sup>3</sup> o a **57,87 l/s**.

Uno de los motivos para dejar de utilizar el “agua dura” de El Calerizo para abastecimiento de agua potable fue su alto nivel en Bicarbonato Cálcico, lo que producía calcificación en tuberías, electrodomésticos y griferías domiciliarias. Así, actualmente el pozo extrae agua para regar zonas verdes de la ciudad, y también se utiliza para las diversas actividades de la propia escuela taller. Esta última supone una cantidad pequeña en comparación con los riegos de calles, parques y jardines.



*Foto 28. Pozo San Jorge (05/03/12).*

La empresa ACCIONA, concesionaria actual del abastecimiento y saneamiento de las aguas de la ciudad de Cáceres, confirma la información proporcionada por la Escuela Taller. No hemos conseguido autorización para acceder al pozo y medir la altura del nivel piezométrico.



Según Acciona, actualmente existen 4 contadores que registran estos aprovechamientos hídricos.

1. El primero se localiza en la entrada del Parque del Rodeo y se le denomina Rodeo, Reutilizada en Jardines. Con él se contabiliza el agua consumida para el riego y el recebado del lago en el Parque del Rodeo.
2. El segundo contador se encuentra instalado en la zona de la Urbanización de Casa Plata, denominado como Casa Plata, Reutilizada Jardines, el cual contabiliza el agua consumida para regar los parques y parterres de la zona.
3. El tercero y el cuarto son dos conexiones realizadas a la red de agua procedente de El Calerizo que utiliza la concesionaria del mantenimiento y limpieza viaria (Conyser) para el baldeo y limpieza de calles. A estos dos contadores se les denomina:
  - a. Casa Plata, Reutilizada CYS.
  - b. Rodeo, Reutilizada CONYSER.

En la tabla 4 se pueden observar los consumos trimestrales para los distintos usos que se le da al agua extraída del Pozo de San Jorge.

La extracción de agua en este pozo en la actualidad es de **2,3 l/s** según datos proporcionados por ACCIONA.

**Tabla 4. Tabla de consumos del Pozo de San Jorge entre 2008 y el primer trimestre de 2012.**  
**Fuente: ACCIONA.**

| <b>Año/<br/>Trimestre</b> | <b>Rodeo<br/>(Jardines)</b> | <b>Casa Plata<br/>(Jardines)</b> | <b>Rodeo<br/>(CONYSER)</b> | <b>Casa Plata<br/>(CONYSER)</b> | <b>m3</b> |
|---------------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------|---------------------------------|-----------|
| <b>2008'T4</b>            | 293                         | 208                              | 10                         | 83                              | 594       |
| <b>2009'T1</b>            | 3106                        | 580                              | 4360                       | 219                             | 8265      |
| <b>2009'T2</b>            | 23770                       | 10359                            | 1045                       | 259                             | 35433     |
| <b>2009'T3</b>            | 25150                       | 12061                            | -52                        | 213                             | 37372     |
| <b>2009'T4</b>            | 6756                        | 380                              | -258                       | 63                              | 6941      |
| <b>2010'T1</b>            | 1863                        | 177                              | -7                         | 64                              | 2097      |
| <b>2010'T2</b>            | 20983                       | 4490                             | 83                         | 327                             | 25883     |
| <b>2010'T3</b>            | 20670                       | 11606                            | -7                         | 572                             | 32841     |
| <b>2010'T4</b>            | 5391                        | 448                              | -51                        | 224                             | 6012      |
| <b>2011'T1</b>            | 2843                        | 343                              | -63                        | 48                              | 3171      |
| <b>2011'T2</b>            | 15727                       | 5521                             | 341                        | 196                             | 21785     |
| <b>2011'T3</b>            | 24251                       | 7142                             | 0                          | 102                             | 31495     |
| <b>2011'T4</b>            | 5358                        | 933                              | 0                          | 47                              | 6338      |
| <b>2012'T1</b>            | 149                         | -608                             | 12685                      | 29                              | 12255     |



**Foto 29. Pozos de San Jorge, en la Escuela Taller de El Marco, inutilizados actualmente (05/03/12).**



### **Pozos del Junquillo**

El Junquillo es un área de la ciudad de Cáceres que ha sido urbanizada en fechas recientes. Siempre ha sido una zona encharcable, cuando ascendía el nivel freático de El Calerizo, por lo que seguramente fuera una surgencia natural, aunque actualmente no esté activa.

En este paraje hay dos pozos de extracción que pertenecen al Ayuntamiento de Malpartida de Cáceres (fotos 30 y 31) y que se construyeron en los años 1982-1983. Se localizan sobre una Cañada Real, por lo que al ser suelo público no pertenece al Ayuntamiento de Cáceres, aunque se encuentren en su término municipal.

El caudal global de extracción de los dos pozos es de **3,5 l/s** según datos proporcionados por el Ayuntamiento de Malpartida de Cáceres. El agua extraída se utiliza principalmente para riego, como nos indica dicho Ayuntamiento.



*Foto 30. Uno de los pozos del Junquillo (27/02/12). A la izquierda se observan los edificios de reciente construcción.*



*Foto 31. Pozo del Junquillo (27/02/12).*

### **Pozo de la Escombrera La Laboradora**

Este pozo se localiza en la escombrera de la ciudad de Cáceres, en las inmediaciones del Cerro de los Pinos (foto 32). En el mismo sitio se encontraba la Cantera Laboradora que tras el abandono de su actividad minera se transformó en escombrera.

El caudal de agua extraída en este pozo se ha estimado en unos **2 l/s**.





Foto 32. Pozo de la escombrera (27/02/12).

### **Pozos del Club de Golf**

El campo de golf perteneciente al *NORBA Club Golf* está situado en la fachada norte de la Sierra de la Aldihuela (figura 28). Hay que destacar que las calles y *greens* del campo no están situados sobre las dolomías de El Calerizo sino sobre las pizarras del valle del Alcor de Santa Ana (foto 33).

Para el riego del césped se construyeron dos pequeñas presas en el terreno del campo de golf, para embalsar agua que se genera en la Sierra de la Aldihuela y discurre al Alcor de Santa Ana, que se pueden apreciar en la imagen extraída de Google Earth (figura 28). Además, se instalaron dos pozos de sondeo en la urbanización colindante, cuya localización se puede observar en la figura 28 y que captan agua directamente de las calizas de El Calerizo (foto 34).





**Foto 33.** Greens del NORBA Club de Golf (23/02/12). Al fondo y en la parte derecha de la foto se aprecia la urbanización y al fondo izquierda las ruinas de Mina Esmeralda, ambos situados sobre los pequeños cerros formados en las dolomías del flanco oeste de El Calerizo.



**Figura 28.** Imagen extraída de Google Earth en la que se aprecia en color verde intenso el campo de golf. En la parte sur del campo y de la derecha a izquierda de la imagen se localiza la Sierra de la Aldihuela. Los afloramientos de las dolomías se encuentran bajo la urbanización, al Norte del Club de Golf (flecha azul), y la ubicación de los dos pozos se indican con una flecha roja.



El 29 de febrero de 2012 realizamos una entrevista al gerente de este Club de Golf. Nos comentó que solamente se riega con agua de los pozos durante los meses de verano, y únicamente los *greens* de un total de 20 hectáreas. Además, según el gerente, no se realiza un esfuerzo grande para mantener los greens en un estado óptimo en verano, ya que se trata de una temporada baja para la actividad del golf.

El gerente del Club de Golf nos comentó que se está reduciendo la cantidad de agua de riego, utilizando especies de gramíneas con pocas necesidades hídricas, debido en parte a una reducida profundidad de enraizamiento, con unos 13 centímetros. No obstante, como nos informó el gerente, no miden los caudales extraídos en los pozos, ni tampoco disponen de una estimación fiable de los volúmenes de agua utilizados por el riego.

La mejor información acerca de las extracciones de los dos pozos de sondeo de este club son los datos proporcionados por el estudio desarrollado por Antonio Jorquera de Guindos entre 1992 y 1994 y que arroja una media anual de aproximadamente **8 l/s**.



**Foto 34.** Los dos Pozos de Ceres Golf (23/02/12) situados sobre las calizas cercanas al CIMOV.



### **Pozos de las canteras de Olleta y de El Pradillo**

En las Cantera de los Hermanos Olleta (fotos 35-37) y El Pradillo (foto 38) se están extrayendo calizas ilegalmente, ya que no cuentan con los permisos de explotación pertinentes. Además, esta actividad minera supone un gasto de agua bastante considerable para lavar los aridos, la maquinaria, etc. Probablemente, esta agua se extrae de pozos que tampoco cuentan con los permisos de la Confederación Hidrológica del Tajo. El caudal extraído en estas explotaciones se ha estimado en 1 l/s (31.536 m<sup>3</sup>) para cada una de las canteras.

La foto 37 muestra el enorme cráter producido tras años de extracciones de las rocas de El Calerizo en la cantera de Olleta, en el que afloran las aguas subterráneas del acuífero. El nivel actual de este lago artificial coincide con el nivel piezométrico de El Calerizo en este lugar.



*Foto 35. Cantera de los Hnos. Olleta (23/02/12).*



*Foto 36. Actividad en la Cantera de Hnos. Olleta (23/02/12).*



*Foto 37. Nivel piezométrico de El Calerizo en la Cantera de Olleta (23/02/12).*



*Foto 38. Actividad en la Cantera El Pradillo (29/02/12).*

### **Otros pozos de sondeo**

Aparte de las extracciones arriba mencionadas, existen otros pozos de sondeo de pequeñas empresas y de particulares. Es imposible en el marco de este proyecto localizarlos y determinar su caudal. Además, es posible que la mayoría no cuente con los permisos correspondientes de la Confederación Hidrográfica del Tajo, por lo que sus dueños probablemente no proporcionarían esa información. Dado que se trata de pequeñas explotaciones y de usos particulares se ha estimado el caudal total medio anual en unos **2 l/s**.



**Drenaje del aliviadero de aguas residuales y pluviales en la Avenida de la Hispanidad en la confluencia con la Ribera del Marco.**

A unos 50 metros aguas abajo de la Charca del Marco existe una entrada de agua a través de un colector rectangular subterráneo. Según ACCIONA se trata del aliviadero de la canalización de aguas pluviales de la Avenida de la Hispanidad. Esta salida se localiza a la altura de la Residencia San Pedro de Alcántara, en el Paseo de San Francisco. En la foto 39 se aprecia la confluencia de las aguas del canal con el cauce del Arroyo del Marco.



*Foto 39. Confluencia del aliviadero del colector de aguas pluviales de la Avenida de la Hispanidad con la Ribera del Marco el 18/06/12.*

Nos ha llamado la atención que a 18 de Junio dicho aliviadero vertiera tanta agua, teniendo en cuenta la sequía de los últimos meses y sabiendo que el colector de aguas pluviales de la Avenida de la Hispanidad está conectado con el de la Ronda de San Francisco lo lógico es que no tuviera que aliviar agua

(figura 29). También sabemos que el Palacio de Congresos no extrae agua en la actualidad, ya que no se produce la inundación de la parte baja del edificio, por tanto, no encontramos razones por las que fluya esta agua, que en la actualidad es la fuente de agua principal de la Ribera del Marco, ya que la Charca del Marco no está aportando ningún caudal (foto 40).

Así, hemos deducido que deben existir varios drenajes en los barrios colindantes a la Avenida de la Hispanidad que desalojen agua procedente de El Calerizo y aguas residuales hacia este colector, conociendo la existencia de uno a la altura del Colegio Público Donoso Cortés (figura 29).

Por otro lado, se ha descartado que pudiera ser un aliviadero del colector de aguas sucias ya que a simple vista el agua parece bastante limpia pero huele mal. No obstante, estamos pendientes de los resultados de los análisis microbiológicos y físicos que se tomaron el día 18 de Junio del 2012. Estimamos un caudal de **11-12 l/s**.



*Foto 40. Caudal en la Ribera del Marco, debido a la entrada de agua por el aliviadero del colector de aguas pluviales de la Avenida de la Hispanidad con la Ribera del Marco el 18/06/12.*



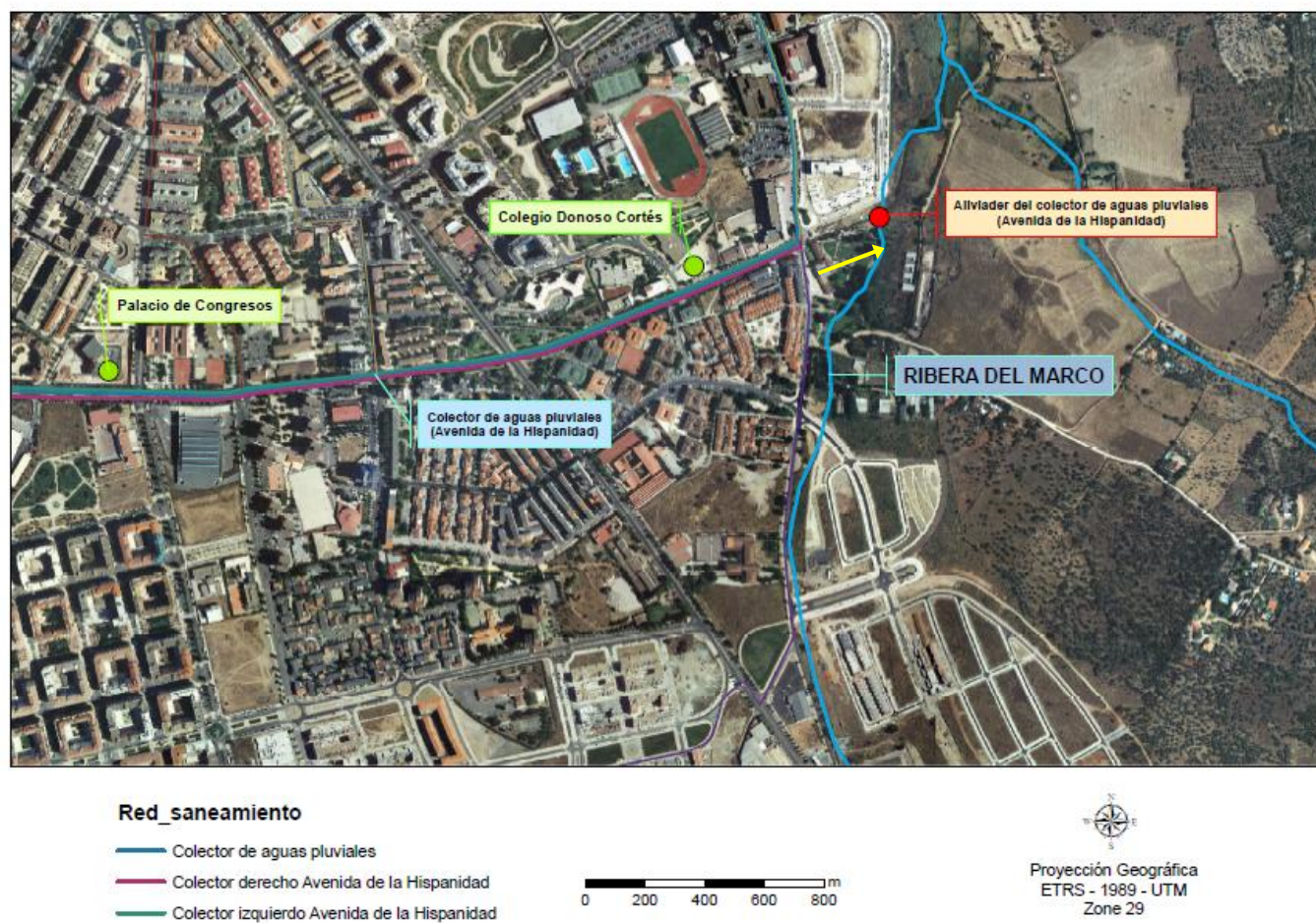


Figura 29. Mapa de la localización de los drenajes que vierten al colector de aguas pluviales de la Avenida de la Hispanidad y que desemboca en la Ribera del Marco. La flecha amarilla indica por donde debe ir el canal que vierta agua de forma constante al cauce.



### 7.3.2.3. Resumen de las descargas

La tabla 5 muestra las cantidades de agua que salen del acuífero de El Calerizo, bien sea de forma natural en las surgencias o de forma artificial, resumiendo la información aportada en anteriores capítulos. Se incluyen las extracciones por los pozos de sondeo, el drenaje de la antigua mina Esmeralda, así como el drenaje a través del aliviadero de la red de pluviales de la Avda. de la Hispanidad.

Los flujos naturales suman un volumen de 4,7 l/s, lo que equivale a un volumen de agua total anual **0,148 Hm<sup>3</sup>**. Las pérdidas de agua por extracciones de los pozos de sondeo y de los drenajes suman 55,0 l/s o 1,734 Hm<sup>3</sup>. Por tanto, las pérdidas artificiales (drenajes+pozos de sondeo) superan en más de 11 veces los flujos naturales.

En total la salida del sistema es de 59,7 l/s, lo que equivale a un volumen total anual de **1,883 Hm<sup>3</sup>**.

*Tabla 5. Estimación de las salidas de agua (naturales y artificiales) del acuífero.*

| Denominación                   | Naturaleza  | Caudal (l/s) | Fuente                                |
|--------------------------------|-------------|--------------|---------------------------------------|
| El Marco                       | Surgencia   | 3,0          | Observación (entre 0-6 l/s)           |
| Arropez                        | Surgencia   | 1,0          | Observación                           |
| Fuente Alcor                   | Surgencia   | 0,1          | Estimación                            |
| Fuente Santa Ana               | Surgencia   | 0,1          | Jorquera, 1994                        |
| Arroyo de la Alberca           | Surgencia   | 0,5          | Observación                           |
| Desagüe Esmeralda              | Drenaje     | 7,0          | Observación                           |
| Pozo de San Jorge              | Sondeo      | 2,3          | ACCIONA                               |
| Pozo Esmeralda                 | Pozo minero | 0,0          | ACCIONA                               |
| Palacio de Congresos           | Sondeo      | 20,0         | Estimación                            |
| Club de Golf                   | Sondeo      | 7,0          | Jorquera, 1994, revisado*             |
| El Junquillo                   | Sondeo      | 3,5          | Ayuntamiento de Malpartida de Cáceres |
| Cantera Olleta                 | Sondeo      | 1,0          | Estimación                            |
| Cantera El Pradillo            | Sondeo      | 1,0          | Estimación                            |
| Escombrera                     | Sondeo      | 0,2          | Estimación                            |
| Red pluviales Avda. Hispanidad | Drenaje     | 11,0         | Observación                           |
| Varios pozos de sondeo         | Sondeo      | 2,0          | Estimación                            |
| <b>Total</b>                   |             | <b>59,7</b>  |                                       |

\*Explicado en el siguiente capítulo

Las descargas naturales y artificiales actuales son considerablemente menores a las estimadas entre 1995 y 2003, periodo en el que se utilizaba el agua de El Calerizo para abastecer a parte de la población de la ciudad de Cáceres.

Realizando una estimación *groso modo* las descargas principales fueron las siguientes:

- Abastecimiento Cáceres: 59,7 l/s.
- Drenaje Mina Esmeralda: 7,0 l/s.
- Club de Golf: 7,0 l/s.
- Pozos de Malpartida: 3,5 l/s.
- Otros pozos de sondeo: 5 l/s.

Durante este periodo suponemos que las descargas naturales, a través de las surgencias, fueron insignificantes según afirman también INGEMISA (1990) y Jorquera (1992-1994).

Por tanto, podemos deducir que la cantidad total de descarga entre 1995 y 2003 fue de aproximadamente 82,2 l/s o **2,59 Hm<sup>3</sup>/ año**.

### 7.3.2.4. Análisis de los Antecedentes.

#### **Estudio de INGEMISA (1990).**

##### ***Entradas***

---

Para calcular la recarga del acuífero, INGEMISA asume una infiltración directa de las precipitaciones sobre la superficie de las calizas, cuya extensión ha sido estimada en unos 14 km<sup>2</sup>. Además, las calizas reciben agua de otros sustratos geológicos, como las pizarras del Carbonífero, localizadas en el interior del sinclinal y situadas como techo de las calizas. Estas pizarras, al ser prácticamente impermeables, generan escorrentía superficial con precipitaciones abundantes.

La red de drenaje evacúa el agua de forma radial hacia el exterior, atravesando el anillo de calizas, como ilustra la figura 16. Al atravesar las dolomías, el agua, en parte, se infiltra por el lecho de sus cauces.

Para esta superficie de 14 Km<sup>2</sup> y bajo el supuesto de una capacidad de campo de 25 mm, INGEMISA calcula una recarga media anual de **2,77 Hm<sup>3</sup>/año**, equivalente al 39,7% de las precipitaciones medias, que se estiman en 500 mm/año, de los que unos 198 mm se pueden considerar como lluvia útil. Además, suponen que la totalidad de este volumen se infiltra dadas las condiciones topográficas del acuífero.

Pero en nuestra opinión, el valor que estos autores asumen para la reserva de agua en el suelo (25 mm) es excesivamente bajo. Este valor hace referencia a la cantidad de agua que un suelo puede retener contra las fuerzas de la gravedad, en este caso 25 litros/m<sup>2</sup>. Una vez que la humedad del suelo alcance este valor se genera un excede, llamado lluvia útil y que bien percola hacia un acuífero o genera escorrentía superficial o subsuperficial. Considerando un valor más bajo de capacidad de campo en la estimación de la recarga, produce valores más elevados de lluvia útil, es decir, genera valores más elevados de recarga.

En nuestro estudio estimamos para el área de estudio una profundidad de suelo media de 30 cm, puesto que en muchas áreas el suelo es bastante más profundo, debido a la existencia de un horizonte arcilloso, originado por la



alteración química de las calizas y dolomías. A esta capa de alterita se le denomina arcillas de descalcificación. En algunas áreas el suelo desarrollado sobre las calizas es algo inferior a 30 cm, por lo que nuestra estimación parece bastante acertada. Mediciones realizadas por el Grupo de Investigación GeoAmbiental en la región dan valores de capacidad de campo en torno a 35%. Asumiendo un valor algo más bajo, el 30%, nos daría un volumen de agua de 90 litros/m<sup>2</sup> (90 mm) en condiciones de capacidad de campo.

Este ejercicio de discusión sobre las estimaciones ilustra acerca de los cambios que se introducen al cambiar las asunciones hechas que más adelante se presentarán.

Otras aportaciones que recibe El Calerizo provienen de la ladera oriental de la Sierra de Portanchito y del Puerto de las Camelias, por lo que la cuenca se amplía por una superficie de 16 km<sup>2</sup> adicionales, según INGEMISA, obteniendo un total de 30 km<sup>2</sup> de superficie de recarga.

Una vez que el agua se encuentra en el seno de la roca y alcanza el nivel piezométrico, se ve sometida a un flujo subterráneo cuyo sentido es variable según el sector del acuífero que se trate.

“En todo el flanco septentrional del afloramiento dolomítico el flujo de agua se realiza preferentemente hacia el noroeste, en dirección a la surgencia de El Marco, mientras que en el borde occidental y parte del meridional, el flujo adquiere una directriz sureste, hacia el pozo de la Mina la Esmeralda. En el resto de afloramientos el flujo se dirige hacia “Fuente Arropez” (INGEMISA, 1990). Para ilustrar estas afirmaciones, se incluye el mapa piezométrico (figura 30), elaborado por Jorquera de Guindos y Gil Montes (1994), en el que se aprecian estos flujos. El mapa incluye las divisorias hidrogeológicas establecidas por estos autores, así como las definidas por SGOP (1974).

Para esta superficie adicional de 16 Km<sup>2</sup>, suponiendo en este caso una capacidad de campo de 100 mm, INGEMISA estima una **escorrentía superficial de 1,92 Hm<sup>3</sup>/año** que puede infiltrar en el acuífero. No obstante, estos autores al final decidieron no considerar aportaciones por esta vía, argumentando la imposibilidad de determinar el volumen que percola al acuífero desde los cauces sin datos experimentales. Por otro lado, afirman que se trataría de cantidades pequeñas, ya que los principales cauces atraviesan el acuífero en las inmediaciones de las áreas de descarga (El Marco, Santa Ana, y Arropez), donde el nivel piezométrico está muy próximo a la superficie, lo que dificulta el proceso de percolación del agua.

Esta última afirmación no es del todo correcta, ya que los tramos de cauces que atraviesan el área ocupada por las calizas es bastante largo, como demuestra la figura 16, por lo que podría haber algo más de infiltración. No obstante, opinamos también que las cantidades deben ser bastante pequeñas, dada la baja frecuencia de caudal en los arroyos del área de estudio.

Con todo esto, INGEMISA estima las entradas al acuífero en **2,7 Hm<sup>3</sup>/ año**.

### Parámetros hidráulicos.

Los datos sobre parámetros hidráulicos del acuífero proceden en su mayor parte de ensayos de bombeo realizados por el SGOP (Servicio Geológico de Obras Públicas)<sup>1</sup>. El SGOP determinó la transmisividad de El Calerizo con un valor comprendido entre 136 y 1920 m<sup>2</sup>/día (0.0018 y 0.022 m<sup>2</sup>/s) y coeficientes de almacenamiento entre 0,0039 y 0,069, lo que indica unas excelentes características de cara a rendimientos de obras de captación.

A partir del control de caudales del manantial El Marco que realizó el MOPU<sup>2</sup> en el año 1945/47, como fase previa a su regulación por sondeos, se ha determinado su curva de vaciado. La figura 31 representa los resultados de este estudio, en el que se incluyen los caudales y precipitaciones, así como la recta de mejor ajuste (curva de vaciado). De ella los autores han deducido los siguientes parámetros:

- Q caudal medio aforado = 59,8 l/s
- Coeficiente de agotamiento  $\alpha$  =  $6,6 \times 10^{-3} \text{ día}^{-1}$
- Volumen de agua almacenado en el acuífero por encima de la cota de surgencia al comenzar el vaciado = 2,042 Hm<sup>3</sup>

<sup>1</sup> No ha sido posible localizar este estudio, ni en el Instituto Geológico Minero de España, ni en la Confederación Hidrográfica del Tajo (sede de Cáceres y oficina central de Madrid, departamentos de Hidrogeología y de Planificación Hidrológica).

<sup>2</sup> Suponemos que se trata del estudio realizado por el SGOP.

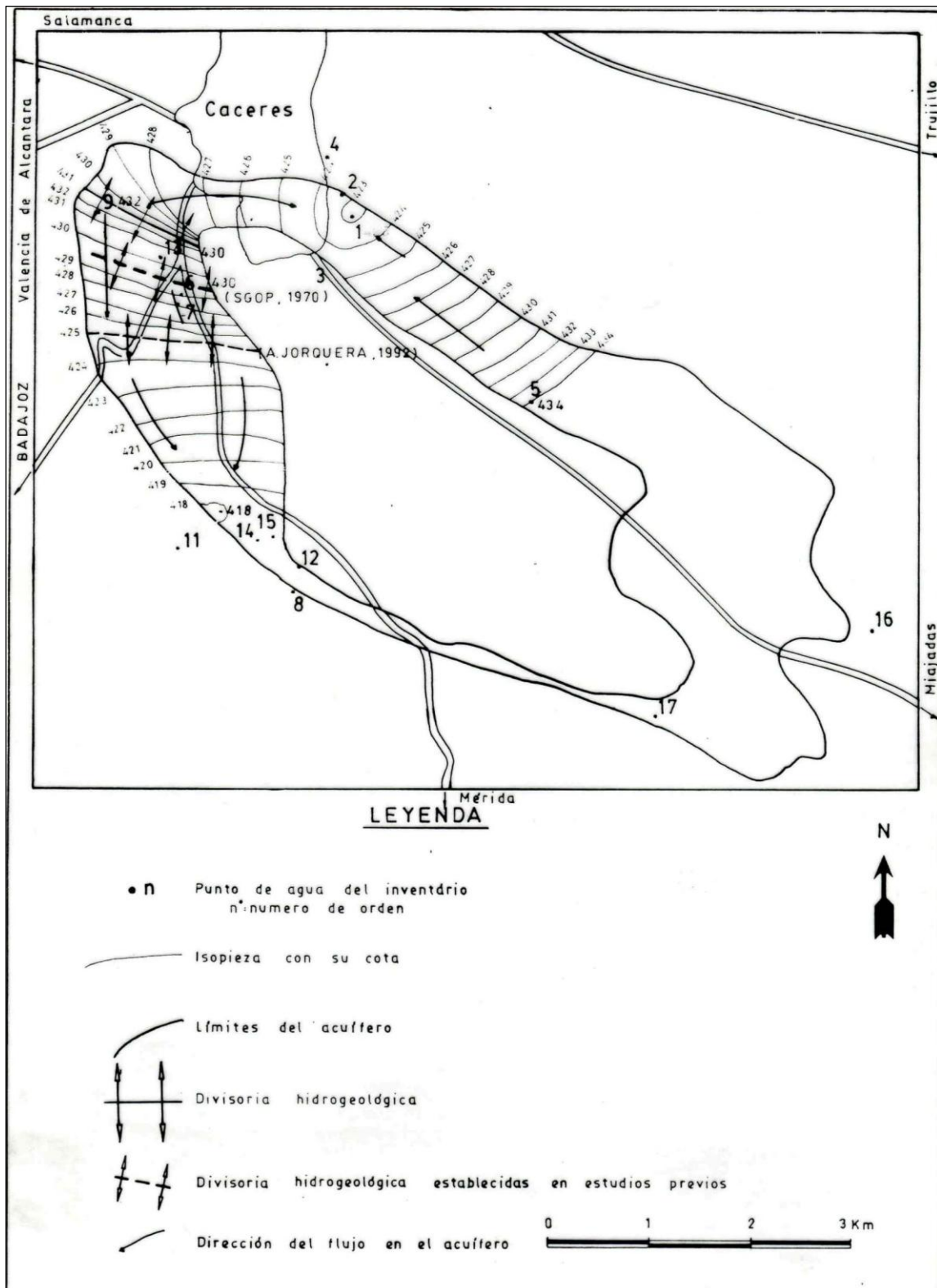
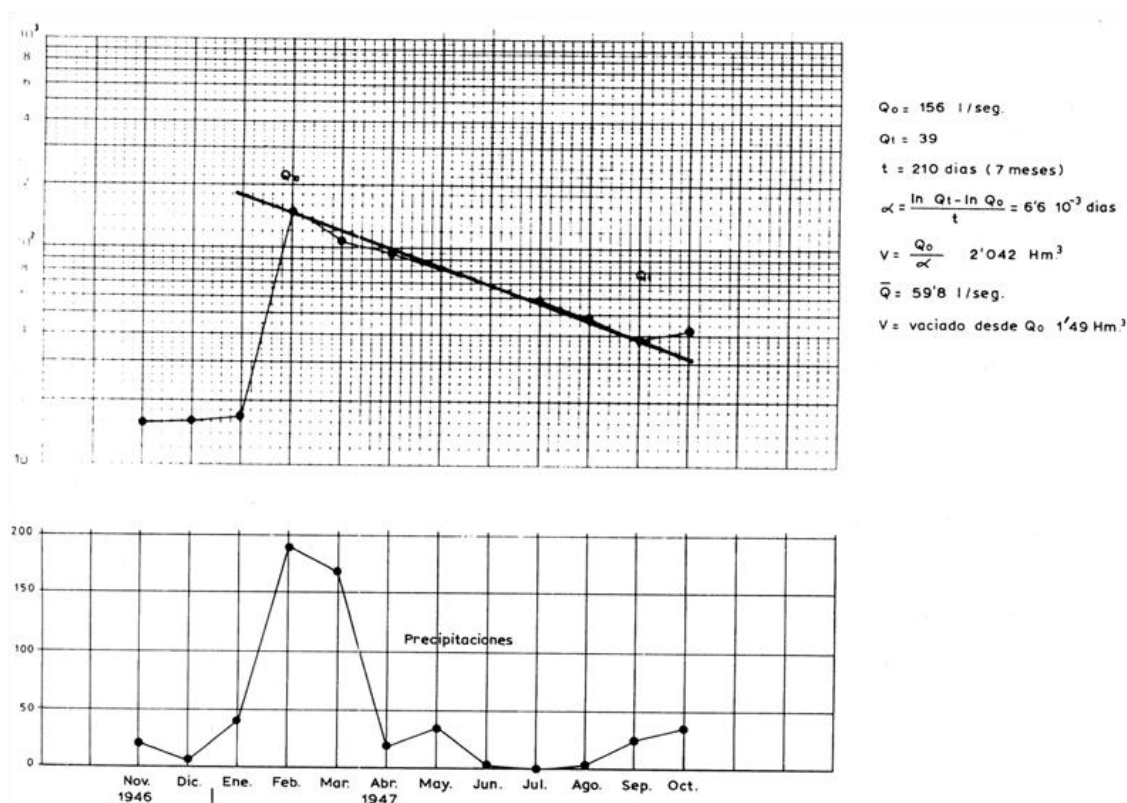


Figura 30: Mapa piezométrico del acuífero en mayo de 1994. Fuente: Jorquera de Guindos y Gil Montes, 1994.





**Figura 31.** Hidrograma del manantial del Arroyo del Marco. Abajo precipitaciones mensuales (Aforos realizados por el SGOP, extraída de INGENISA, 1990).

La ecuación utilizada es:  $Q = Q_0 e^{-\alpha t}$

De esta gráfica también se puede deducir que precipitaciones mensuales de hasta 30-40 mm tienen poca incidencia en el comportamiento de la surgencia.

No obstante, opinamos que estas medidas producen una sobre-estimación de los caudales naturales del manantial El Marco. Aunque las precipitaciones registradas durante año hidrológico 1946-1947 con 541 mm no fueron muy superiores a la media, una elevada cantidad se produjo durante un breve periodo de tiempo (365 mm en febrero y marzo). Por otro lado, las mediciones de caudal no pueden separar el origen de las aguas, es decir, determinar las cantidades correspondientes a la surgencia (agua subterránea) y las correspondientes a la escorrentía superficial. Es muy probable que durante los meses de febrero y marzo de 1947 se generó flujo superficial en las laderas de la cuenca del Arroyo del Marco. Con lluvias de elevada cantidad e intensidad se produce flujo superficial, como demuestra la foto 41, tomada tras lluvias intensas, aguas arriba de la surgencia del Marco en el arroyo, el 3 de

noviembre de 1997. Durante dos días cayeron un total de 105 mm de precipitación (Observatorio de Cáceres). Es notable que esta crecida se registró antes de producirse la tormenta de la noche del 5 al 6 de noviembre y que provocó numerosas víctimas en la ciudad de Badajoz e importantes daños en toda Extremadura, incluido el entorno de Cáceres.



*Foto 41: Crecida en el arroyo de la Plata inmediatamente aguas arriba de la surgencia del Marco, 4 de noviembre de 1997.*

Consecuentemente, creemos que el caudal presentado en la figura 31 no se debe únicamente a agua subterránea. No obstante, es imposible separar las fuentes de generación de escorrentía, es decir, determinar las cantidades que corresponden a cada una de ellas. Además, nuestra afirmación no quita valor a las mediciones presentadas en la figura 31 que constituyen una valiosa información y son los únicos datos de caudal del arroyo en el lugar de la surgencia.

Por tanto, para realizar una estimación más conservadora de las mediciones del SGOP se propone aquí considerar los dos valores que conforman el inicio y el final del hidrograma (8 y 39 l/s). El valor tan bajo al inicio del año hidrológico de 1946 se puede explicar por las bajas precipitaciones caídas durante los tres

años precedentes. **La cantidad de 39 l/s correspondería a un volumen total anual de 1,23 Hm<sup>3</sup>**. Los 59,8 l/s barajados como caudal medio de la surgencia por el SGOP (1974), y aceptados por INGEMISA (1990) y Jorquera de Guindos y Gil Montes (1994) suponen un volumen total anual de **1,89 Hm<sup>3</sup>**.

Destaca la enorme fluctuación de los caudales, incluso si se comparan los valores correspondientes a los estiajes al final del año hidrológico, superando el de 1947 casi en 5 veces el de 1946 (8 y 39 l/s).

El problema es que no disponemos de mediciones de caudal a lo largo de un periodo de tiempo más prolongado. Esto incluye también el presente estudio que solamente ha abarcado unos pocos meses. Estamos obligados a utilizar los resultados de estudios anteriores que se basaron en muy pocas mediciones puntuales que tuvieron lugar en 1946-47 y en 1992-94, con condiciones de pluviometría diversas. En el capítulo 7.1.6 se intenta determinar la influencia que ejerce la variación de las cantidades de lluvia sobre la recarga de nuestro acuífero.

Sería necesario monitorizar los caudales de la surgencia de El Marco durante un tiempo más prolongado, preferiblemente varios años.

### Descargas

---

Según el informe llevado a cabo por la empresa INGEMISA, desde la batería de sondeos en las inmediaciones de la Charca del Marco (Pozo de San Jorge, entre otros) se abasteció Cáceres entre 1958 y 1972.

Para el año hidrológico **1988-1989** se estiman que las salidas naturales presentan caudales de 20 l/s, mientras que las extracciones a través de las sondas de bombeo alcanzan un caudal medio anual de 32 l/s. Estas cifras suponen un total de **1,64 Hm<sup>3</sup>/ año**, pero los autores afirman que las salidas naturales del acuífero pueden considerarse bajas, teniendo en cuenta las condiciones pluviométricas de dicho año, el cual fue muy seco. Por ello utilizan en sustitución de las observaciones los datos del año hidrológico **1946-1947**, en el cual para las surgencias naturales se estima un caudal medio de 65,8 - 69,8 l/s, repartido entre:

- El Marco: utilizando datos de aforo medidos por el SGOP, estimando un caudal medio de 59,8 l/s.
- Fuente Santa Ana y Arroyo Arropez: 6 a 10 l/s.



Y de las extracciones correspondientes al bombeo desde Mina Esmeralda y Mina la Abundancia se ha estimado un caudal de unos 17-23 l/s, destinado al abastecimiento de Cáceres.

**En total suman entre 79 y 92 l/s, equivalente a 2,5 a 2,9 Hm<sup>3</sup>.**

Nos ha resultado difícil comparar los antiguos estudios con la situación actual, ya que no solamente son diferentes las condiciones pluviométricas, sino también porque existen nuevas extracciones y otras que se abandonaron. Por otro lado, no disponemos del trabajo original del SGOP.

En cuanto al estudio de INGEMISA, la información de las extracciones, probablemente no hace referencia a la media anual de extracción, sino a la potencia de la bomba de sondeo. Por ejemplo, se citan tres pozos con una capacidad total de 20 l/s para el abastecimiento de Malpartida. Uno de estos pozos no era servible por contaminación y que resultó ser el más caudaloso. Los otros dos tenían una capacidad máxima de 13 l/s cuando se instalaron. No obstante, ese valor no refleja las extracciones medio anuales que son más bajas, y según el Ayuntamiento de Malpartida de Cáceres, suponen un volumen de 3,5 l/s. Obviamente, tampoco sabemos si la información aportada por su representante es correcta.

### **Jorquera (1992-1994)**

#### **Recargas**

---

Jorquera (1992-1994), utilizando el mismo método para hallar la recarga del acuífero que INGEMISA, considera dos tipos de materiales que ceden agua al acuífero: las calizas, por un lado, y las pizarras del núcleo del sinclinal, con distintos valores de humedad del suelo a capacidad de campo para cada una.

Jorquera argumenta que las calizas forman suelos muy pobres, que además no ocupan la totalidad de la superficie. Además de ser más pobres y peor representados cuanto mayor es la karstificación, por lo que una gran parte de su superficie es un afloramiento de caliza fracturada y karstificada. Así, para las calizas desarrolla dos casos, en el primero utiliza una capacidad de campo de 10 mm, lo que resulta en un total de 181,3 mm de lluvia útil. Para el cálculo utilizando una capacidad de campo de 25 mm, la lluvia útil resultante es de

166,3 mm. Por último, para estimar la recarga media utiliza el valor de 173,8 mm.

El otro tipo de material considerado por Jorquera son las pizarras del núcleo del sinclinal de Cáceres, ya que aportan una parte del agua caída sobre ellos a la alimentación del acuífero. Estos materiales son impermeables y, por tanto, el agua que cae sobre ellos se transforma en escorrentía superficial después de abastecer la evapotranspiración y la reserva del suelo. Los valores de lluvia útil obtenidos son de 141,3 mm y 91,3 mm, para reservas del suelo de 50 y 100 mm, respectivamente. Con ello, y considerando que solamente el 50% de la lluvia útil media infiltra, la recarga por esta vía la estima en 58,2 mm (Jorquera, 1994).

Teniendo en cuenta los datos anteriores, y la superficie ocupada por cada uno de los dos materiales (14,2 Km<sup>2</sup> para las calizas y 10,5 Km<sup>2</sup> para las pizarras), el volumen de recarga media anual es de **3 Hm<sup>3</sup>** (2,47 procedentes de las calizas y 0,61 de las pizarras), lo que equivale a una alimentación media de **95 l/s**. Este valor es algo superior al aportado por INGEMISA.

### **Descargas**

---

El estudio de Jorquera coincide con el de INGEMISA en que en condiciones naturales el manantial de drenaje principal de El Calerizo es el de la Charca del Marco, que da origen al nacimiento de la Ribera del Marco, al que hay que sumar una pequeña cantidad de descarga por otros manantiales periféricos (Manantial de Santa Ana, Manantial de la Alberca y el de Fuente Arropez).

Apunta que el régimen de descarga natural dejó de funcionar en el momento en que se comenzó a extraer agua del acuífero de manera artificial (en principio para desagüe de las labores mineras, y después para abastecimiento de la población de Cáceres).

En el momento en el que desarrolló el estudio (1992-1994), toda la descarga se producía a través de captaciones subterráneas:

1. Pozo de Mina Abundancia.
2. Sondeo del Marco.

3. Sondeo del Hospital.
4. Gasolinera Galp (Cra. Miajadas) (Sondeo).
5. Gasolinera Pasarón (Sondeo).
6. Sondeo Campsa.
7. Sondeo CIR.
8. Cantera Labradora (Sondeo).
9. Pozo mina Esmeralda.
10. Drenaje de la galería mina Esmeralda.
11. Sondeo Fca. Aceite.
12. Pozos de sondeo del Club de Golf.

La mayor parte de la descarga se produciría desde las extracciones de Mina Esmeralda (para el abastecimiento de Valdesalor y el campamento militar), desde los Pozos de El Marco (abastecimiento de Cáceres) y desde los sondeos del Club de Golf NORBA (para riego del *green* y abastecimiento de sus instalaciones).

Las estimaciones de descarga por extracción de agua del acuífero obtenidas del estudio de Jorquera (1992-1994) son las siguientes:

- Extracciones desde el Pozo de Mina Esmeralda y de El Marco por parte del Ayuntamiento: 90 l/s en total.
- Club de Golf: 8 l/s.
- Otras captaciones: 5 – 10 l/s.

Como resultado, Jorquera indica que las descargas del acuífero se pueden estimar en torno a 3 Hm<sup>3</sup> anuales:

- 2,9 Hm<sup>3</sup> estimado teóricamente para los bombeos municipales de abastecimiento a la población.
- 0,55 Hm<sup>3</sup> entre el abastecimiento del Club de Golf y resto de captaciones.



No cuadran estos datos, ya que su total equivale a 3,45 Hm<sup>3</sup>.

Al final Jorquera afirma que de este modo, el volumen de agua de recarga del acuífero coincidiría con el volumen de agua descargada del acuífero, **3 Hm<sup>3</sup>**.

Quizá la crítica más importante que se puede realizar a este interesante estudio, es una **asunción que realiza Jorquera, y que provoca una subida del valor de la extracción estimada de los bombeos municipales a 2.9 Hm<sup>3</sup> y de esta manera hace cuadrar su balance hidrológico.**

El Ayuntamiento en su día facilitó unos datos de extracción para los bombeos de los pozos de Mina Esmeralda y de El Marco, con 800 m<sup>3</sup> diarios, para el primer caso, y 3200 m<sup>3</sup> diarios, para el segundo. La cantidad total de 4000 m<sup>3</sup>/día equivale a 46,3 l/s o un volumen anual de **1,47 Hm<sup>3</sup>**.

Si a esta cantidad se añaden los 15,5 l/s correspondientes a las otras extracciones por pozos de sondeo, incluyendo los del Club de Golf (arriba citadas), habría que añadir un volumen anual adicional de **0,49 hm<sup>3</sup>**. Las dos cantidades suman un total de 1,96, es decir aproximadamente **2 hm<sup>3</sup>**.

Jorquera no creía en la información facilitada por el Ayuntamiento y estima las extracciones en base a una dotación teórica de 350 litros por habitante, además de multiplicar la cifra resultante por dos, debido a un 50% de pérdidas que se producen a través de las conducciones de agua. La duda que nos planteamos aquí, es si el dato facilitado por el Ayuntamiento de Cáceres es creíble o no. Hay que considerar que a partir de 1972 entra en funcionamiento el embalse de Guadiloba que abastece de agua a la ciudad de Cáceres y otros pueblos del entorno e hizo reducir drásticamente las extracciones de agua en El Calerizo.

Además, debido al crecimiento de la población de Cáceres y al aumento del consumo, el agua embalsada en el Guadiloba no fue suficiente, especialmente en años de escasa precipitación. La ciudad sufrió cortes de agua durante el año 1991-92 debido a una sequía prolongada, lo que llevó a la construcción de un trasvase desde el río Almonte, ubicado en la cola del embalse de la presa de Alcántara. Durante el verano de 1992 se instalaron tres bombas con una capacidad de extracción de 1250 m<sup>3</sup>/hora y que llevan el agua a través de una conducción de 11 km de longitud al embalse de Guadiloba.

Lo que está claro con lo explicado arriba, es que **dependiendo de los supuestos que se realicen, los resultados en el balance pueden variar sustancialmente.**

Por último añadimos aquí un análisis de los datos proporcionados por el estudio de Jorquera (1992-1994) sobre las extracciones de agua realizadas por el Club NORBA Golf entre octubre de 1992 y marzo 1994. La tabla 6 y la figura 32 presentan estos datos mensuales, junto con las cantidades de precipitación que son los ofrecidos por el Observatorio Meteorológico de la ciudad de Cáceres. Durante el año hidrológico 1992-93 las extracciones suman un total de 244.904 m<sup>3</sup> o 7,77 l/s. En su estudio hidrogeológico Jorquera y Gil Montes (1994) utilizan una cantidad de 8,0 l/s<sup>3</sup>.

Durante ese año se registró un total de 354,2 mm de precipitación, por lo que se puede considerar como muy seco, si se compara con la serie larga de datos (Schnabel, 1998). Es interesante comparar la primera mitad del año hidrológico 1992-93 con el de 1993-94, durante los cuales se registraron 191,9 mm y 363,9 mm de precipitación, respectivamente. Esta diferencia de cantidad pluviométrica afectó las extracciones, realizándose en el primer caso una media de 1,89 l/s y en el segundo caso de 1,04 l/s. Además es notable que durante los primeros 6 meses de 1993-94 solamente se efectuaron extracciones durante el mes de octubre que fue excepcionalmente seco.

Los datos confirman lo que nos comentó el gerente del Club de Golf en la entrevista que mantuvimos en febrero de este año: i) se suprimen las extracciones durante los meses lluviosos, ii) la mayor cantidad de agua se extrae durante los meses de verano. Entre los meses de junio<sup>4</sup> y septiembre se extrae una cantidad de aproximadamente 5,3 l/s, expresado como caudal continuo anual. De los datos también se puede concluir que durante periodos más secos que lo normal aumentan las extracciones de forma notable.

Por tanto, estimamos que las extracciones anuales pueden variar entre 5 y 9 l/s, dependiendo de las condiciones pluviométricas, y proponemos para nuestro balance hidrológico de El Calerizo una cantidad media de 7 l/s.

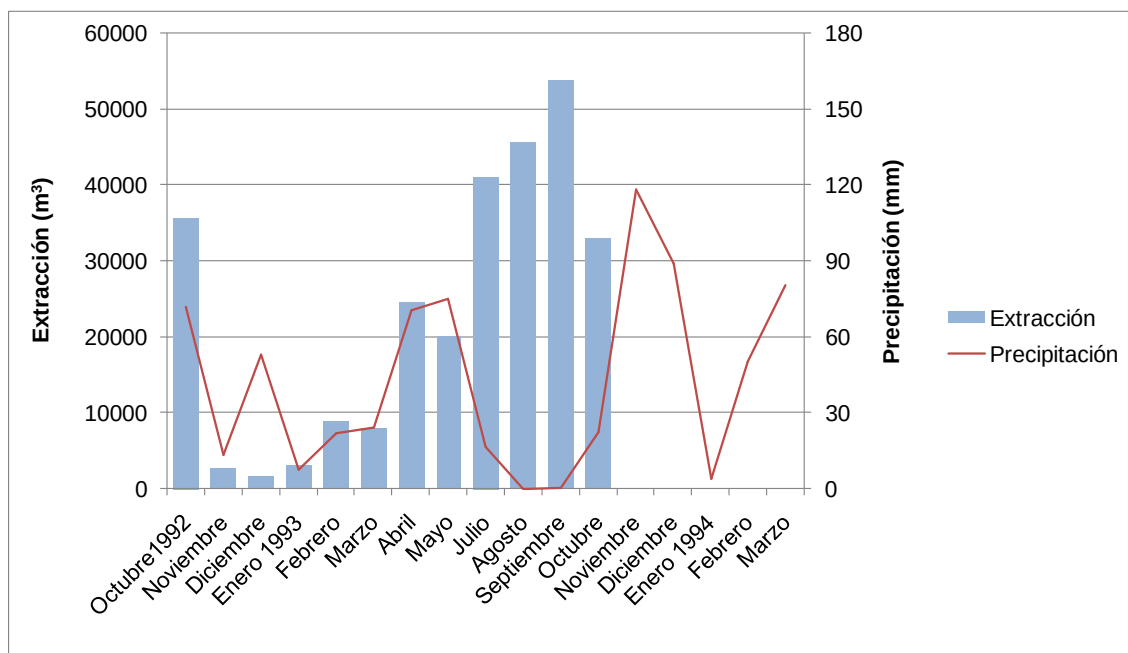
---

<sup>3</sup> No se proporcionan los datos de junio de 1993, lo que aumentaría la cantidad anual de extracción.

<sup>4</sup> Se pueden estimar en unos 35,000 m<sup>3</sup>.

**Tabla 6: Extracciones del Club NORBA Golf. Datos de Jorquera de Guindos (1992-1994).**

| Mes          | Extracción<br>(m <sup>3</sup> ) | Precipitación<br>(mm) | Extracción<br>(l/s) | Precipitación<br>(mm) | Extracción<br>(l/s) |
|--------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| Octubre 1992 | 35600                           | 71,8                  | 1,13                |                       |                     |
| Noviembre    | 2703                            | 13,2                  | 0,09                |                       |                     |
| Diciembre    | 1560                            | 53,0                  | 0,05                |                       |                     |
| Enero 1993   | 3120                            | 7,7                   | 0,10                |                       |                     |
| Febrero      | 8751                            | 22,1                  | 0,28                |                       |                     |
| Marzo        | 7938                            | 24,1                  | 0,25                | 191,9                 | 1,89                |
| Abril        | 24623                           | 70,6                  | 0,78                |                       |                     |
| Mayo         | 20071                           | 74,9                  | 0,64                |                       |                     |
| Julio        | 41080                           | 16,5                  | 1,30                |                       |                     |
| Agosto       | 45620                           | 0,3                   | 1,45                |                       |                     |
| Septiembre   | 53838                           | 0,3                   | 1,71                | 162,3                 | 5,87                |
| Octubre      | 32933                           | 22,4                  | 1,04                |                       |                     |
| Noviembre    | 0                               | 118,2                 | 0,00                |                       |                     |
| Diciembre    | 0                               | 88,8                  | 0,00                |                       |                     |
| Enero 1994   | 0                               | 4,1                   | 0,00                |                       |                     |
| Febrero      | 0                               | 50,2                  | 0,00                |                       |                     |
| Marzo        | 0                               | 80,2                  | 0,00                | 363,9                 | 1,04                |



**Figura 32: Extracciones de agua realizadas por el Club de Golf entre octubre 1992 y marzo 1994 y precipitaciones mensuales (Datos de Jorquera, 1992-1994).**



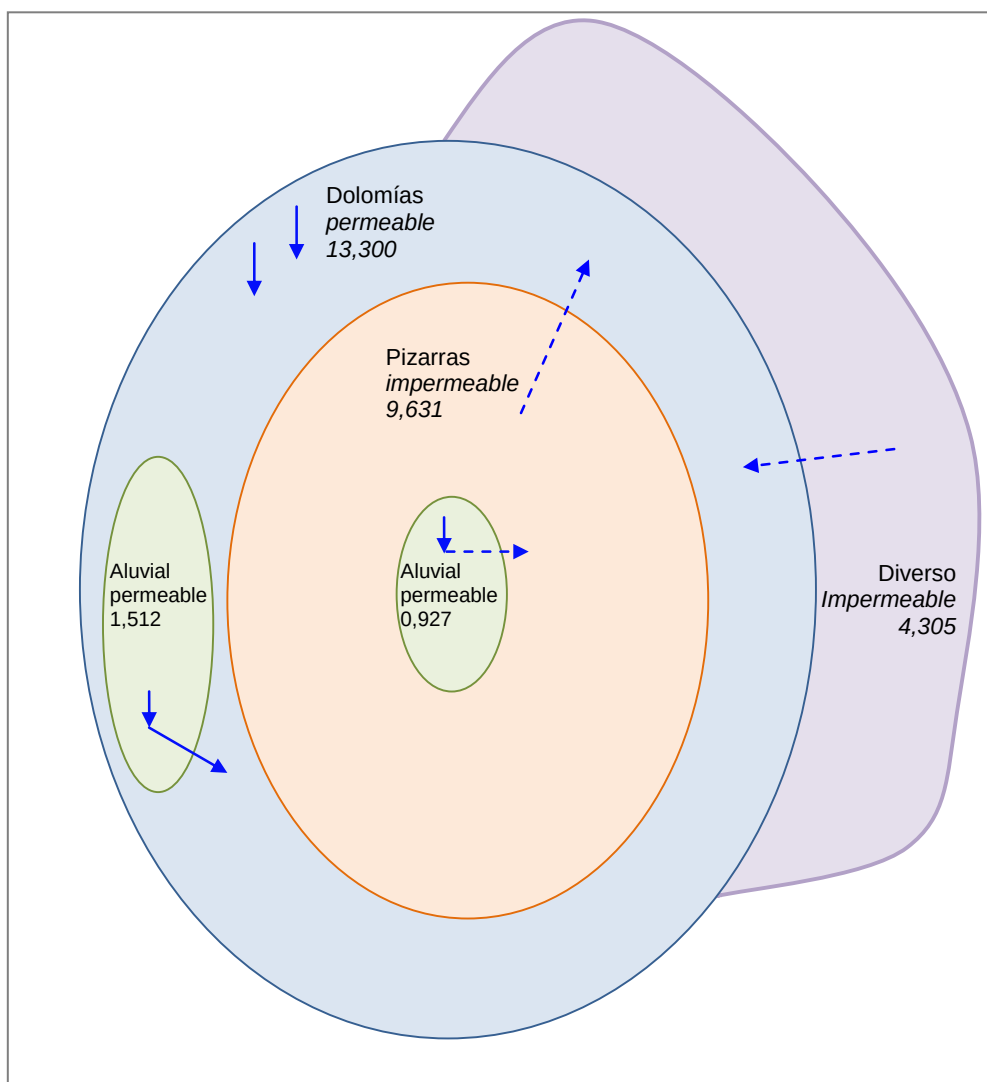
### 7.3.2.5. Análisis de la recarga del acuífero.

En el caso de *El Calerizo* las entradas de agua al acuífero se dan por infiltración directa de las precipitaciones sobre los afloramientos permeables y también por percolación de aguas superficiales desde los cauces que lo atraviesan.

Para determinar la recarga del acuífero, en primer lugar hay que definir las superficies de las distintas unidades litológicas que aportan agua de manera directa (aportaciones directas). En segundo lugar hay que determinar las superficies que aportan aguas superficiales al acuífero a través de los cauces que atraviesan El Calerizo (aportaciones indirectas). Para ello es necesario determinar las cuencas hidrológicas superficiales. Los resultados se presentaron en el capítulo 7.3.1. La figura 33 muestra de forma esquemática y resumida el resultado de este análisis. Las extensiones son las siguientes:

|                                 |                        |                              |
|---------------------------------|------------------------|------------------------------|
| <b>Aportaciones directas:</b>   | Dolomías               | 13,300 km <sup>2</sup>       |
|                                 | Aluvial sobre dolomías | 1,512 km <sup>2</sup>        |
|                                 | <b>Total</b>           | <b>14,812 km<sup>2</sup></b> |
| <b>Aportaciones indirectas:</b> | <b>Total</b>           | <b>14,863 km<sup>2</sup></b> |

Para calcular las recargas se suelen utilizar métodos que se basan en modelos sencillos de balance de agua a escala de suelo, como los usados por INGEMISA y Jorquera. Las diferencias radican en los métodos utilizados para hallar las variables que intervienen en estos modelos. La mayoría de métodos utilizan las medias mensuales de precipitación y de evapotranspiración potencial (ETP).



**Figura 33.** Extensión (km<sup>2</sup>) de las unidades litológicas que se han considerado en este estudio para calcular la recarga del acuífero. Las flechas continuas representan aportaciones directas y las discontinuas corresponden a cuencas de drenaje que aportan escorrentía superficial a través de los cauces.

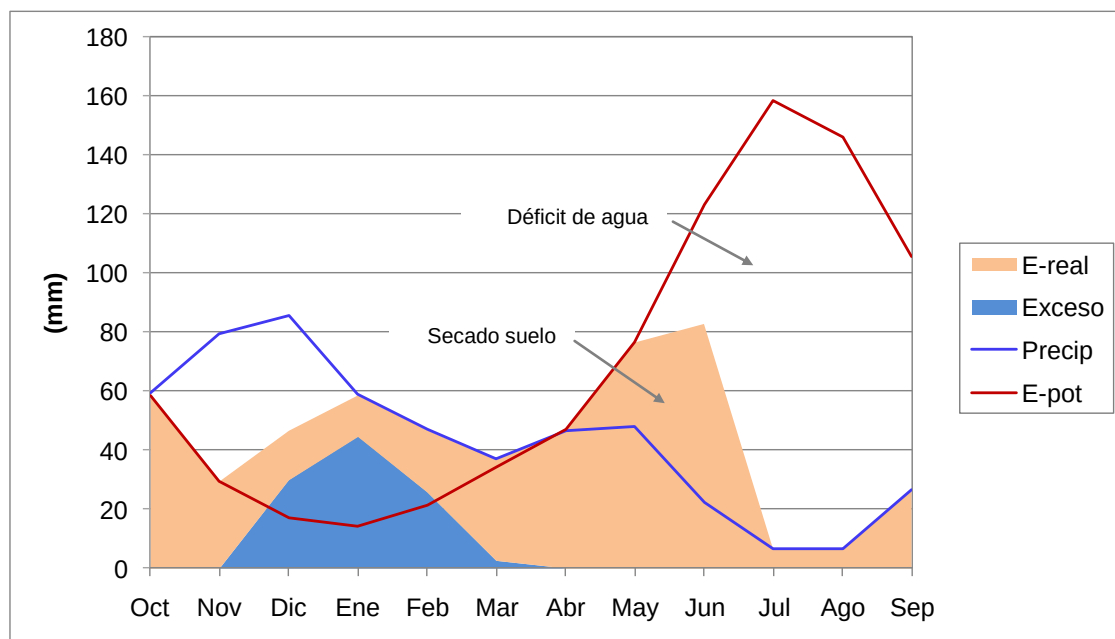
Conociendo estos valores y suponiendo el volumen de agua a capacidad de campo, se realiza una comparación entre la cantidad de precipitación y la de evapotranspiración potencial, para cada uno de los meses del año. Si la precipitación es mayor que la evapotranspiración se produce un superávit que primero llena los huecos del suelo hasta alcanzar el valor de la reserva del mismo. Una vez alcanzada esta cantidad (por ejemplo 90 mm), se produce un excedente, denominado también lluvia útil. Este puede percolar por completo, lo que se suele asumir para un acuífero muy permeable, como El Calerizo, o, por el otro extremo, transformarse en escorrentía superficial y recorrer la ladera

hasta alcanzar el sistema de drenaje (cauce). Un ejemplo de balance se muestra en la tabla 7. La figura 34 representa los datos de este balance de forma gráfica e ilustra acerca de los meses con déficit de agua o con un superávit.

A la hora de calcular este balance hay que tener en cuenta el tipo de suelo, ya que influye directamente sobre la variable “reserva útil del suelo” (cantidad de agua que es capaz de retener el suelo, y que es aprovechable por las plantas para la transpiración). Para ello se utiliza el contenido de agua del suelo a capacidad de campo. Como mencionado más arriba, utilizamos un valor de 30% para la capacidad de campo, lo que equivale con un suelo de 30 cm de profundidad a una cantidad de 90 mm (o l/m<sup>2</sup>).

*Tabla 7: Balance de agua (mm) basado en datos de precipitación y temperatura de la ciudad de Cáceres. La evapotranspiración potencial se ha calculado con el método de Thornthwaite y para una reserva de agua del suelo de 90 mm.*

| Mes        | Evapo.<br>potencial | Precipitación | Variación<br>reserva | Exceso       | Evapo.<br>real |
|------------|---------------------|---------------|----------------------|--------------|----------------|
| Oct        | 58.3                | 59.6          | 1.3                  | 0.0          | 58.3           |
| Nov        | 29.6                | 79.4          | 51.1                 | 0.0          | 29.6           |
| Dic        | 16.8                | 85.6          | 90.0                 | 29.9         | 16.8           |
| Ene        | 14.1                | 58.8          | 90.0                 | 44.6         | 14.1           |
| Feb        | 21.0                | 46.9          | 90.0                 | 25.8         | 21.0           |
| Mar        | 34.3                | 36.9          | 90.0                 | 2.6          | 34.3           |
| Abr        | 47.2                | 46.7          | 89.6                 | 0.0          | 47.2           |
| May        | 76.7                | 47.7          | 60.6                 | 0.0          | 76.7           |
| Jun        | 123.2               | 22.3          | 0.0                  | 0.0          | 83.0           |
| Jul        | 158.3               | 6.5           | 0.0                  | 0.0          | 6.5            |
| Ago        | 146.1               | 6.6           | 0.0                  | 0.0          | 6.6            |
| Sep        | 105.6               | 26.6          | 0.0                  | 0.0          | 26.6           |
| <b>Año</b> | <b>831.3</b>        | <b>523.6</b>  |                      | <b>102.9</b> | <b>420.7</b>   |



**Figura 34.** Balance de agua basado en datos de precipitación y temperatura de la ciudad de Cáceres. La evapotranspiración potencial se ha calculado con el método de Thornthwaite y para una reserva de agua del suelo de 90 mm. Nota: Las áreas del gráfico están apiladas, no así las líneas.

Para hallar el balance de agua del suelo, en primer lugar hay que determinar las cantidades de precipitación. En segundo paso es la estimación de la evapotranspiración potencial, y por último se realizan los cálculos del balance.

- Datos climáticos

Los datos climáticos utilizados para calcular la recarga del acuífero han sido los del Observatorio de Cáceres, situado en la salida de la ciudad en dirección Trujillo. Son los más idóneos para ser utilizados en el análisis hidrológico, porque es el punto de medición más cercano a la cuenca de recarga del acuífero y también es la serie más larga de toda la provincia con datos mensuales desde el año hidrológico 1907-08. No existe ninguna estación meteorológica oficial en la cuenca de El Calerizo.

Además, también se han analizado los datos pluviométricos de otras estaciones en el entorno de la ciudad de Cáceres, que son:



Malpartida de Cáceres, Casar de Cáceres, Monroy, Trujillo, Aldea del Cano, Botija y Torreorgaz.

Aunque disponemos de los datos pluviométricos mensuales de 1961 hasta 2005, solamente la serie de 1961 - 1990 (30 años) es completa, ya que el AEMET realizó las correcciones correspondientes. Los datos más recientes tienen numerosas lagunas, con excepción de la serie del Observatorio de Cáceres que está completa, además desde 1907.

Para determinar el volumen de agua precipitada sobre una cuenca hidrográfica, el primer paso consiste en el cálculo de la precipitación media de una red de pluviómetros. Existen diferentes métodos de cálculo, como el de Thiessen o el de las isohietas. Una vez determinada la cantidad media ( $\text{litros/m}^2$ )<sup>5</sup> y multiplicándola con la superficie de la cuenca ( $\text{m}^2$ ), se obtiene el volumen total de agua (litros)<sup>6</sup>.

Por otro lado, se realizan dos tipos de análisis:

- a) Caracterización de la variación espacial de las precipitaciones, en base a las ocho estaciones arriba mencionadas.
  - b) Caracterización de las precipitaciones de la serie larga de Cáceres, incluyendo un análisis de su variabilidad.
- Caracterización de la variación espacial de las precipitaciones.

Como se mencionó arriba, para calcular la cantidad de precipitación de una cuenca hidrográfica se suele utilizar datos de varias estaciones. Por ello en el presente apartado se caracteriza la variación espacial de las precipitaciones en el entorno de El Calerizo, basada en el análisis de la serie de datos ofrecidos por el AEMET para ocho estaciones.

La tabla 8 ofrece los valores medios mensuales y anuales de estas estaciones, junto con sus altitudes sobre el nivel del mar (snm). La ciudad de Trujillo registró con 656,3 mm una cantidad anual muy superior, en comparación con

---

<sup>5</sup> Nota: 1 mm corresponde a 1 l/m<sup>2</sup>.

<sup>6</sup> Dependiendo de la superficie de la cuenca se utilizan las unidades m<sup>3</sup> (1000 l) o Hm<sup>3</sup> (10<sup>6</sup> litros)

las otras estaciones en el entorno de Cáceres (figura 35). Esta diferencia se debe probablemente a la mayor altitud del observatorio de Trujillo, situado a 518 m snm. Considerando que la superficie correspondiente a los afloramientos de las dolomías y responsable de la mayor cantidad de recarga, está a menor altitud que ese observatorio, se decidió no incluirla en el cálculo de las medias.

Casar de Cáceres registró el segundo mayor valor (604,7 mm), aunque se localiza a 365 m snm. En las cantidades de precipitación intervienen, además de la altitud, también otros factores, el más probable en este caso aspectos de orientación y topografía. También influye la variación temporal, ya que la serie no es muy larga y puede producir menor representatividad de las medias aritméticas con respecto a la población de la muestra.

La precipitación media anual de las 7 estaciones es de 545,2 mm. La figura 36 presenta la distribución anual de las precipitaciones, valores que se consideran representativas y que se podrían utilizar para calcular las entradas de agua en la estimación de la recarga del acuífero. La cantidad total anual (545,2 mm) es un valor muy similar al que se puede extraer visualmente del mapa de pluviometría elaborado por Ninyerola et al. (2005) del punto correspondiente al centro de El Calerizo.

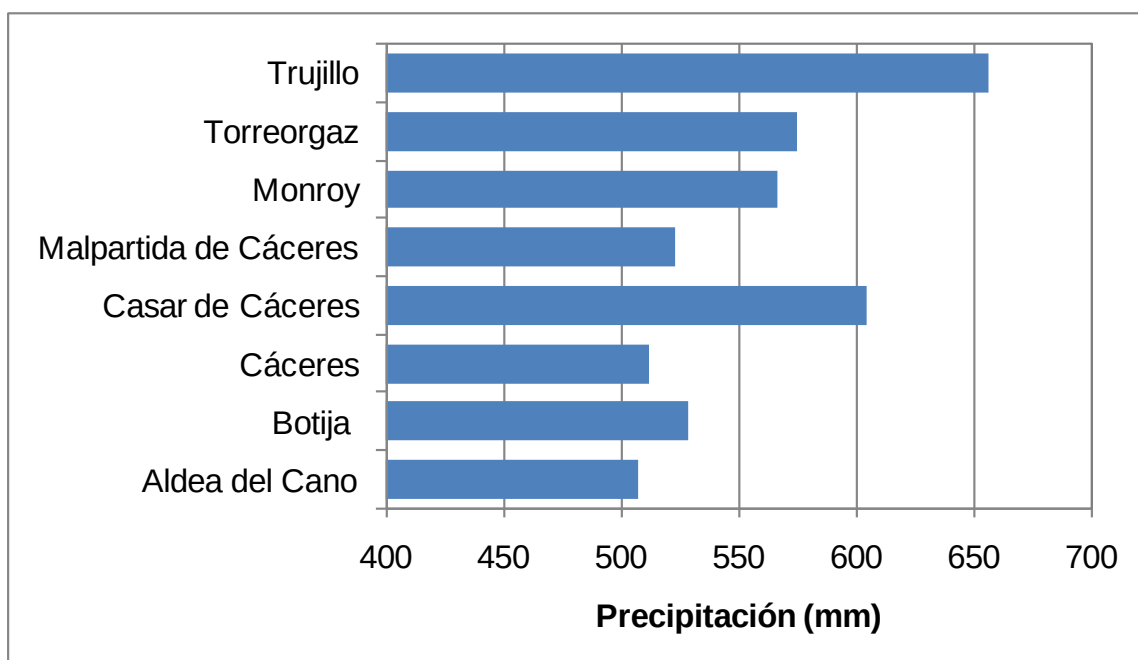
No obstante, obtamos finalmente por utilizar la serie de Cáceres, por las siguientes razones:

- Es el Observatorio más cercano al área de estudio.
- Algunas de las demás estaciones están bastante alejadas, como por ejemplo Monroy y Casar de Cáceres.
- La serie de Cáceres es muy larga con un total de 105 años completos. Las medias mensuales resultantes son estadísticamente más fiables.
- En la determinación del balance de agua para años específicos (no basado en la media), hay que utilizar preferentemente los datos de una única estación.

**Tabla 8. Precipitaciones medias mensuales y anuales, registradas en observatorios del entorno de la ciudad de Cáceres (serie 1961-1990) y sus altitudes sobre el nivel del mar.**

| Estación    | Aldea*<br>del Cano | Botija       | Cáceres      | Casar de<br>Cáceres | Malpartida<br>de Cáceres | Monroy       | Torre-<br>orgaz | Trujillo     |
|-------------|--------------------|--------------|--------------|---------------------|--------------------------|--------------|-----------------|--------------|
| Altitud (m) | 392                | 414          | 405          | 365                 | 371                      | 378          | 425             | 518          |
| Enero       | 63,1               | 63,0         | 58,7         | 74,4                | 66,4                     | 68,2         | 72,4            | 77,3         |
| Febrero     | 69,8               | 67,8         | 58,8         | 76,7                | 58,8                     | 71,8         | 70,0            | 77,1         |
| Marzo       | 45,8               | 47,9         | 43,1         | 47,5                | 41,2                     | 45,9         | 49,2            | 55,0         |
| Abril       | 47,6               | 52,8         | 49,3         | 56,8                | 50,0                     | 55,0         | 56,0            | 66,4         |
| Mayo        | 29,1               | 38,5         | 39,4         | 40,9                | 36,8                     | 42,7         | 42,2            | 48,2         |
| Junio       | 30,5               | 29,0         | 29,9         | 32,7                | 30,0                     | 27,8         | 28,9            | 39,7         |
| Julio       | 2,0                | 6,8          | 5,7          | 7,9                 | 4,3                      | 6,3          | 4,7             | 7,0          |
| Agosto      | 3,4                | 3,0          | 5,5          | 6,7                 | 5,7                      | 7,9          | 6,6             | 10,1         |
| Septiembre  | 23,8               | 23,2         | 25,5         | 29,1                | 24,2                     | 31,4         | 30,0            | 40,0         |
| Octubre     | 49,6               | 52,9         | 51,6         | 58,5                | 49,9                     | 56,4         | 54,6            | 62,8         |
| Noviembre   | 68,3               | 77,1         | 73,8         | 86,7                | 81,8                     | 75,8         | 79,1            | 86,9         |
| Diciembre   | 74,4               | 66,5         | 70,3         | 86,8                | 73,9                     | 77,3         | 81,0            | 85,7         |
| <b>Año</b>  | <b>507,3</b>       | <b>528,5</b> | <b>511,8</b> | <b>604,7</b>        | <b>522,8</b>             | <b>566,5</b> | <b>574,7</b>    | <b>656,3</b> |

\*Se realizó una corrección de 4 datos originales de Aldea del Cano basada en análisis de regresión.



**Figura 35. Precipitaciones medias anuales de 8 del entorno de El Calerizo, 1961-1990).**

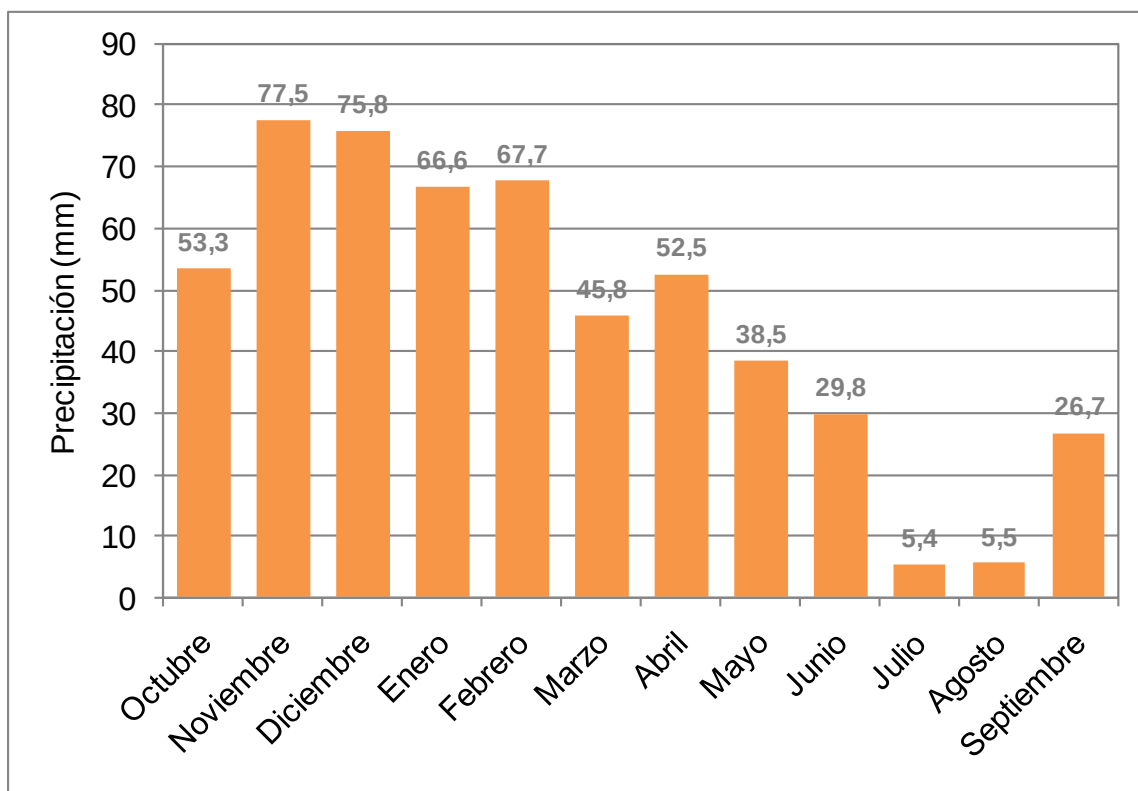


Figura 36. Precipitaciones medias mensuales (media de 7 estaciones del entorno de Cáceres, 1961-1990).

- Caracterización de las precipitaciones de Cáceres

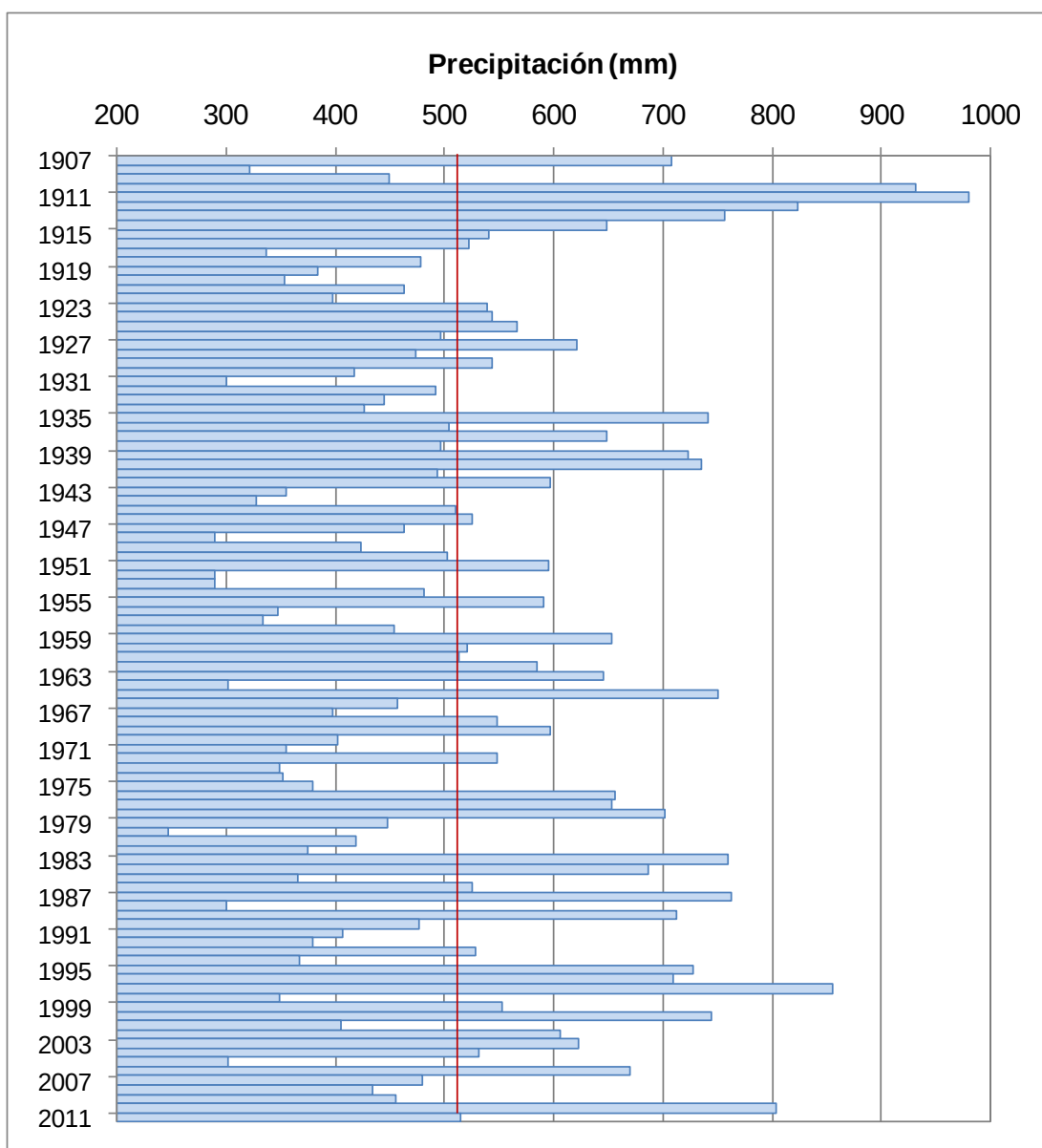
En este apartado se presentan los resultados del análisis de las precipitaciones del Observatorio de Cáceres, incluyendo su variabilidad temporal. La figura 37 muestra de forma gráfica los totales anuales registrados entre el año 1907 y 2011.

Los datos de precipitación anual, con una media aritmética de 520,3 mm, muestran una distribución de frecuencias con un sesgo positivo, dando lugar a un mayor número de años con precipitaciones inferiores a la media, y una mediana ligeramente inferior (503,8 mm). Esto quiere decir que son más frecuentes los años que llueve por debajo de la media.

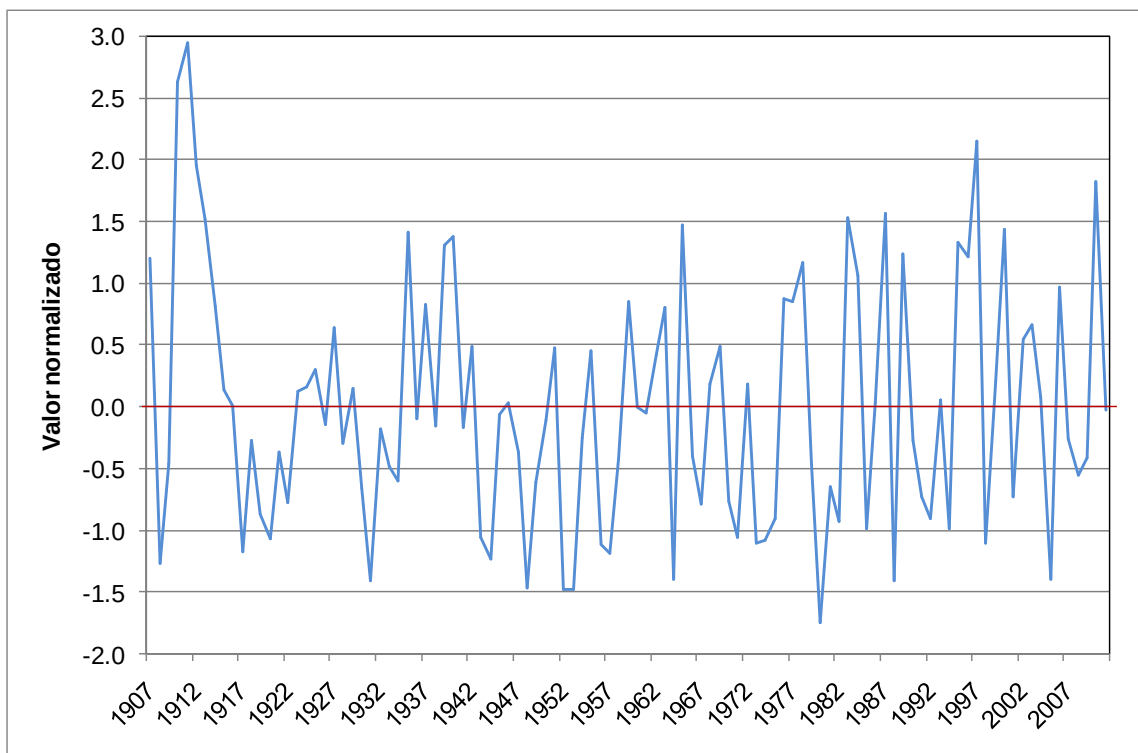
La serie anual refleja la irregularidad del régimen pluviométrico, con una desviación estándar de 156,2 mm y un coeficiente de variación del 30,0%.



La irregularidad de la precipitación, se refleja en las alternancias de periodos con valores superiores e inferiores de los medios (figura 37). En base a un análisis de las desviaciones acumuladas de lluvias mensuales de la estación de Cáceres, Schnabel (1997) ha determinado la frecuencia e intensidad de periodos prolongados secos. Este estudio pone de manifiesto la variabilidad de sequías en términos de duración e intensidad, al igual que la inexistencia de un comportamiento cíclico. La frecuencia media de sequías prolongadas es de 8 años (Schnabel, 1997).

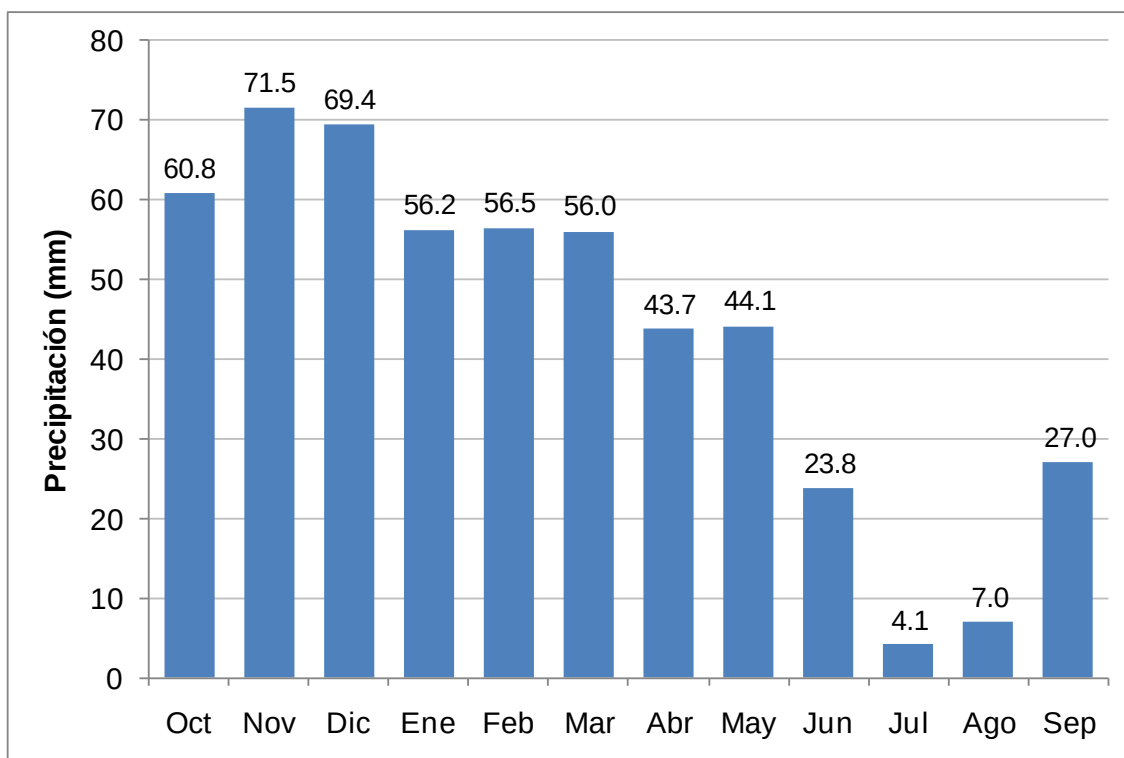


**Figura 37.** Serie de precipitación de los años hidrológicos 1907-2011 del Observatorio de Cáceres. La línea roja marca la media aritmética.



**Figura 38.** Las precipitaciones anuales expresadas como valores normalizados. La línea continua, el valor 0.0 corresponde a la media aritmética de la serie (datos del Observatorio de Cáceres, AEMET).

La distribución mensual de precipitación presenta un mínimo muy pronunciado durante los meses de julio y agosto (figura 39) Junio y Septiembre registran también precipitaciones bajas. Cantidades máximas registran noviembre y diciembre, seguido por los meses octubre, febrero, enero y marzo.



**Figura 39.** Precipitaciones medias mensuales de la serie 1907-2011 (datos del Observatorio de Cáceres, AEMET).

- Evapotranspiración potencial

El concepto de evapotranspiración potencial fue introducido por Thornthwaite en 1948 y se entiende como la evapotranspiración en condiciones de desarrollo vegetal óptimo, con un suelo constantemente húmedo. Constituye, por tanto, el límite superior de la evapotranspiración real. Representa el potencial de evaporación bajo unas condiciones atmosféricas concretas. La cantidad de agua que realmente vuelve a la atmósfera por evaporación y transpiración y se conoce con el nombre de *evapotranspiración real*.

En este estudio se han utilizado los siguientes tres métodos para determinar la evapotranspiración potencial:

1. Thornthwaite
2. Turc
3. Datos de evaporímetro tanque clase A

El método de Thornthwaite ha sido el más utilizado mundialmente por su sencillez. No obstante, numerosos estudios confirman que los valores obtenidos de evapotranspiración potencial son demasiado bajos para medios semiáridos o el clima mediterráneo (Sánchez Toribio, 1992).

#### El método de Thornthwaite.

Thornthwaite calcula la evapotranspiración potencial a partir de la media mensual de las temperaturas medias diarias del aire ( $t$ ) (Dunne y Leopold, 19). Con este valor se obtiene un índice de calor mensual ( $i$ ) a través de la siguiente fórmula:

$$i = (t/5)^{1,514}$$

A partir de él se calcula el índice térmico anual ( $I$ ), que es la suma de los mensuales:

$$I = \sum i$$

Para meses teóricos de 30 días, con 12 horas diarias de sol, utiliza la siguiente fórmula:

$$\varepsilon = 16 (10 t/I)^a$$

Por último, toma en consideración la duración real del mes y el número máximo de horas de sol, según la latitud del lugar:

$$ETP = K \cdot \varepsilon$$

Siendo:

$t$  = Temperatura media diaria mensual en °C.

$i$  = Índice térmico mensual

$I$  = Índice térmico anual.

$\varepsilon$  = Evapotranspiración potencial media en mm/día (lo que se puede evaporar en 12 horas). Es un valor que está tabulado en función de  $t$  y de  $I$ .

$$a = 675 \cdot 10^{-9} I^3 - 771 \cdot I^2 + 1972 \cdot 10^{-5} I + 0,49239$$



$$K = N/12 \cdot d/30 \cdot d$$

d = número de días del mes

#### Método de Turc.

Turc calcula la *evapotranspiración potencial* teniendo en cuenta la humedad disponible en el suelo, bien procedente de la precipitación o bien procedente del riego, y el poder evaporante de la atmósfera.

La fórmula más actualizada es la que desarrolló en 1961:

$$ETP = 0,40 \cdot t/t+15 \cdot (R_i + 50)$$

En el caso de que se esté calculando la evapotranspiración potencial para el mes de Febrero se tiene que sustituir el coeficiente 0,40 por 0,37; y cuando la *humedad relativa* ( $H_r$ ) es menor del 50% se tiene que realizar una corrección, quedando la fórmula así:

$$ETP = 0,40 \cdot t/t+15 \cdot (R_i + 50) \left( 1 - (50 - H_r / 70) \right)$$

ETP = evapotranspiración potencial durante el período considerado, expresada en mm/mes.

t = temperatura media diaria del mes en °C.

$R_i$  = radiación global incidente media diaria del mes en cal/ cm<sup>2</sup> · día.

Los datos de radiación global han sido obtenidos del “Atlas de Radiación Solar en España”, editado por la Agencia Estatal de Meteorología.

#### Método del evaporímetro tipo tanque (según la FAO).

Alternativamente, se puede determinar la evapotranspiración potencial utilizando las mediciones de evaporación, obtenidas en los Observatorios principales de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Estas mediciones se realizan en los evaporímetros denominados de *tanque clase A*. Consiste en la medida del agua perdida por evaporación de un depósito cilíndrico de chapa galvanizada con un diámetro de 120 cm y 25,4 cm de altura, instalado sobre un

enrejado de madera, a unos 15 cm del suelo. Las lecturas del tanque se realizan diariamente, temprano en la mañana a la misma hora que se mide la precipitación. Las mediciones se realizan dentro de un área estable situada cerca del borde del tanque. El área estable la produce comúnmente un cilindro de metal de cerca de 10 cm de diámetro y 20 cm de profundidad, con una pequeña abertura en la base para permitir el flujo de agua. La medición se realiza con un tornillo micrométrico que tiene un extremo en forma de gancho cuya punta se enrasa con el nivel del agua.

Generalmente las medidas obtenidas con el evaporímetro son superiores a la evaporación real por lo que precisan de corrección.

El tanque evaporímetro proporciona una medida del efecto integrado de la radiación, viento, temperatura y humedad sobre el proceso evaporativo de una superficie abierta de agua.

La evaporación del tanque está relacionada con la evapotranspiración de referencia por un coeficiente empírico derivado del mismo tanque (FAO, 2006):

$$ET_o = K_p E_{pan}$$

donde

$ET_o$  = evapotranspiración de referencia ( $\text{mm día}^{-1}$ )

$K_p$  = coeficiente del tanque evaporímetro (-)

$E_{pan}$  = evaporación del tanque evaporímetro ( $\text{mm día}^{-1}$ )

Este coeficiente depende del tipo de evaporímetro, Tanque clase A, en nuestro caso. Además, depende de las características del entorno y de la humedad relativa del aire.

Para los datos de evaporímetro proporcionados por la AEMET, hemos determinado un valor de 0,7 para  $K_p$ , siguiendo las instrucciones de FAO ().

- Comparación de los métodos de estimación de la ETP

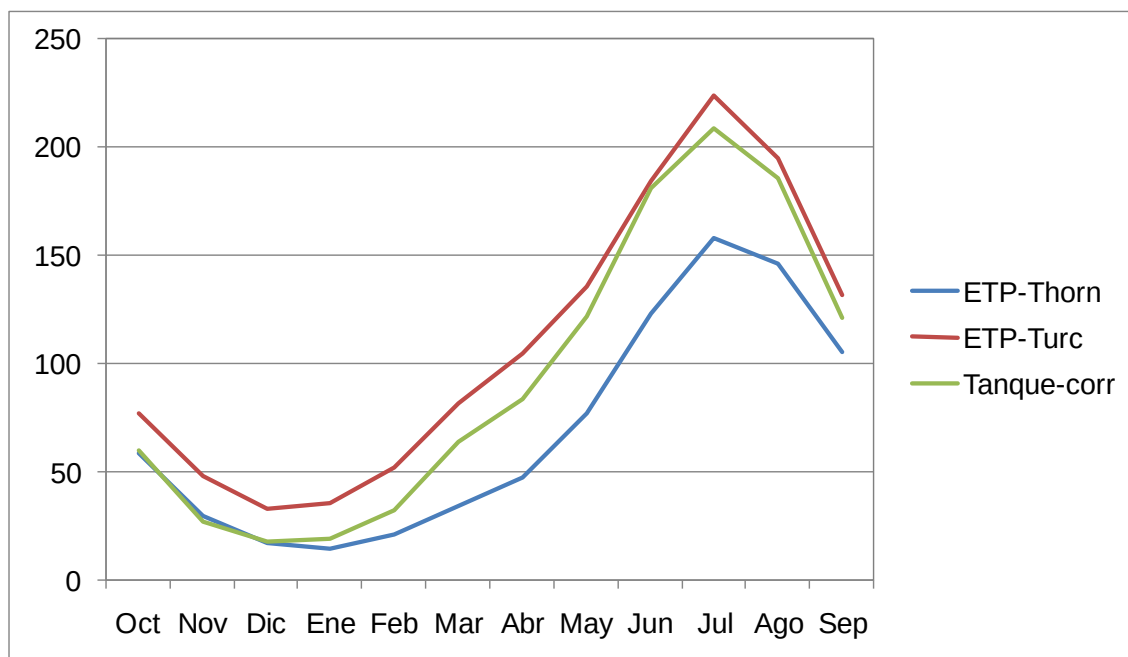
La estimación con el método de Thornthwaite sugiere un valor total anual de ETP de 831.3 mm, inferior al valor obtenido por el modelo de Turc con

1302.4 mm (tabla 9 y figura 40). Varios autores confirman que el método de Thornthwaite subestima la ETP, especialmente en climas semiáridos y Mediterráneos (Sánchez Toribio, 1992). La estimación basada en la evaporación de tanque corregido produce un valor total anual de 1122.3 mm, algo inferior al valor obtenido con el método de Turc. Como otros autores sugieren que esta última produce valores en exceso de la ETP, consideramos el resultado obtenido a través del evaporímetro tanque el más apropiado para establecer el balance de agua del área de El Calerizo.

Más adelante ofrecemos también los balances utilizando el método de Thornthwaite, para detectar las diferencias producidas por aplicar distintas técnicas de estimación de la ETP.

*Tabla 9. Valores mensuales y anuales de Evapotranspiración potencial – comparación de tres métodos de estimación. Elaboración propia, utilizando datos del Observatorio de Cáceres (Agencia Estatal de Meteorología).*

| <b>Mes</b> | <b>T-media</b> | <b>ETP-Thorn</b> | <b>ETP-Turc</b> | <b>Tanque-corr</b> |
|------------|----------------|------------------|-----------------|--------------------|
| Oct        | 16.8           | 58.3             | 77.2            | 59.8               |
| Nov        | 12.0           | 29.6             | 48.1            | 27.2               |
| Dic        | 8.9            | 16.8             | 32.9            | 17.8               |
| Ene        | 7.9            | 14.1             | 35.3            | 19.0               |
| Feb        | 9.4            | 21.0             | 52.1            | 32.3               |
| Mar        | 11.8           | 34.3             | 81.5            | 64.2               |
| Abr        | 13.4           | 47.2             | 104.8           | 83.8               |
| May        | 17.0           | 76.7             | 135.6           | 121.9              |
| Jun        | 22.0           | 123.2            | 184.3           | 181.1              |
| Jul        | 25.8           | 158.3            | 223.9           | 208.7              |
| Ago        | 25.6           | 146.1            | 194.8           | 185.5              |
| Sep        | 22.4           | 105.6            | 131.8           | 121.0              |
| <b>Año</b> | <b>16.1</b>    | <b>831.3</b>     | <b>1302.4</b>   | <b>1122.3</b>      |



**Figura 40.** Evapotranspiración potencial de la ciudad de Cáceres, utilizando tres métodos (Thornthwaite, Turc y Tanque corregido).

- Estimación del agua útil

Utilizando la ecuación de Thornthwaite para estimar la ETP y una cantidad de reserva de agua de suelo de 90 mm, da una recarga de 102,9 mm. Si aplicamos el mismo método pero una cantidad de reserva de 25 mm, utilizado por estudios anteriores, resulta una cantidad de 167,9 mm. Es una diferencia muy grande.

El resultado más interesante se produce al estimar los balances para años individuales. Para ello se ha contado con los datos del evaporímetro tanque Clase A del Observatorio de Cáceres para los años hidrológicos 1996-97 a 2006-07. Es decir se realizó el análisis, utilizando los datos de evaporación potencial de referencia ajustada siguiendo el método de FAO (2006), arriba explicado, y los de precipitación para cada uno de los años individuales.

La tabla 10 ofrece un ejemplo para el primero de los años de la serie. Se ha utilizado el valor de 90 mm de reserva máxima de agua edáfica para calcular el exceso o la lluvia útil. Este año, con un total de 706,9 mm de lluvia produjo un exceso de 207,5 mm. Lo interesante de este método es el hecho que ofrece



información acerca de la respuesta variable de la lluvia útil en función de la variación de la precipitación y de la evapotranspiración potencial.

**Tabla 10.** *Ejemplo de cálculo del balance de agua del suelo (datos del año 1996, método evaporímetro tanque).*

| Mes | Precipitación | ETP    | P-ETP  | Reserva | Exceso |
|-----|---------------|--------|--------|---------|--------|
| Oct | 69.3          | 61.7   | 7.6    | 7.6     | 0.0    |
| Nov | 72.5          | 31.8   | 40.7   | 48.3    | 0.0    |
| Dic | 183.6         | 21.8   | 161.8  | 90.0    | 120.0  |
| Ene | 110.2         | 22.7   | 87.5   | 90.0    | 87.5   |
| Feb | 0.2           | 35.5   | -35.3  | 54.7    | 0.0    |
| Mar | 0.0           | 94.4   | -94.4  | 0.0     | 0.0    |
| Abr | 17.2          | 103.9  | -86.7  | 0.0     | 0.0    |
| May | 99.7          | 117.9  | -18.2  | 0.0     | 0.0    |
| Jun | 35.8          | 139.7  | -103.9 | 0.0     | 0.0    |
| Jul | 6.3           | 183.4  | -177.1 | 0.0     | 0.0    |
| Ago | 49.7          | 179.8  | -130.1 | 0.0     | 0.0    |
| Sep | 62.4          | 121.1  | -58.7  | 0.0     | 0.0    |
| Año | 706.9         | 1113.6 |        |         | 207.5  |

Los valores anuales resultantes de este análisis se muestran en la tabla 11. Durante los 11 años de la muestra de datos las precipitaciones variaron entre 315,0 mm y 865,9 mm, es decir, recogen 2 años clasificados como muy secos (1998-99 y 2005-06), así como un año muy húmedo (1997-98). Las cantidades de evapotranspiración potencial varía menos, con valores de 1076,0 y 1254,7 mm de mínima y máxima, respectivamente. Asimismo, las pérdidas de agua por evapotranspiración reales (ETR) varía entre 315,0 y 605,3 mm, lo que constituye una variación mayor que la de la ETP.

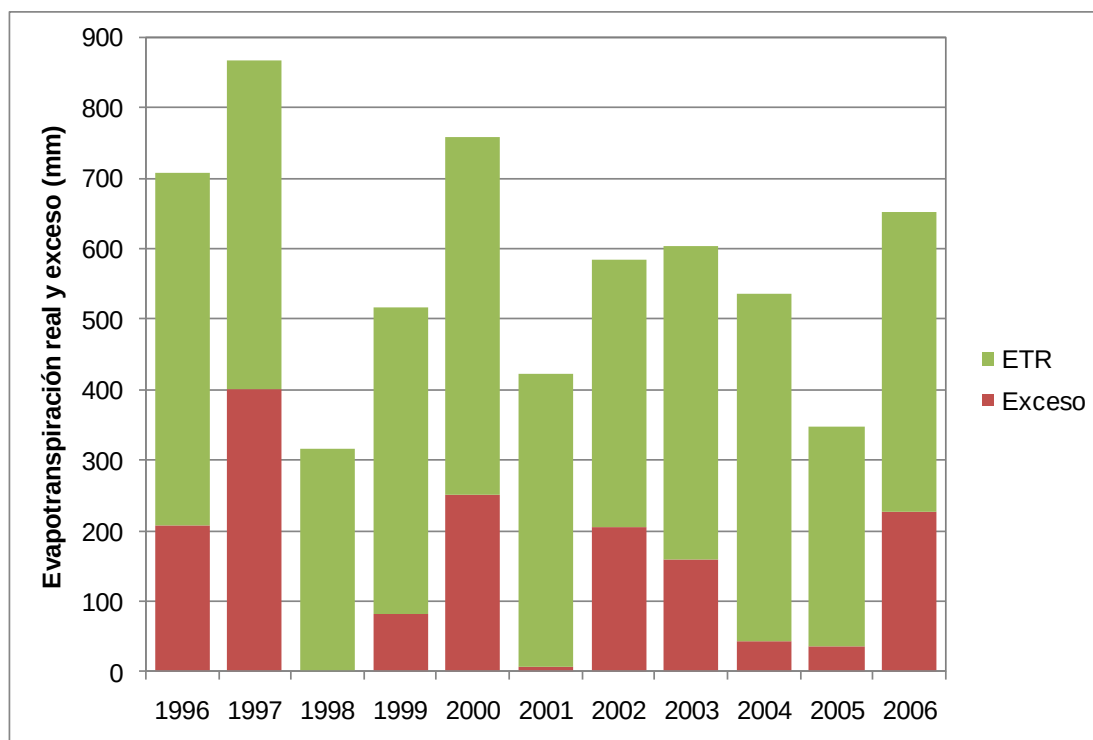
No obstante, la variable de mayor variación es la lluvia útil que, en el caso de las lluvias registradas sobre los afloramientos de las dolomías, se considera recarga (tabla 9). Así, según nuestras estimaciones, el año hidrológico 1998-99 no ha generado recarga, mientras que el año de mayor pluviometría generó 321,4 mm. La tabla recoge también las medias anuales de estas variables. Como se puede apreciar la muestra de 11 años ha registrado mayores cantidades de precipitación que la media de la serie larga, con valores de 573,5 mm y 520,3 mm, respectivamente.

Con estos datos, la media anual de la lluvia útil es de 120,9 mm, lo que correspondería a una recarga directa de las dolomías de El Calerizo de 1,791 Hm<sup>3</sup> (tabla 9)

**Tabla 11. Valores anuales de los balances de agua del suelo (método evaporímetro tanque), incluyendo los valores de la recarga directa de las dolomías de El Calerizo.**

| Año hidrol. | Exceso (mm) | Precip (mm) | ETP (mm) | ETR (mm) | Lluvia útil (mm) | Recarga (Hm <sup>3</sup> ) |
|-------------|-------------|-------------|----------|----------|------------------|----------------------------|
| 1996        | 207.5       | 706.9       | 1113.6   | 499.4    | 166.0            | 2.459                      |
| 1997        | 401.8       | 865.9       | 1093.9   | 464.1    | 321.4            | 4.761                      |
| 1998        | 0.0         | 315.0       | 1190.4   | 315.0    | 0.0              | 0.000                      |
| 1999        | 82.6        | 516.7       | 1083.6   | 434.1    | 82.6             | 1.223                      |
| 2000        | 251.5       | 757.8       | 1092.8   | 506.3    | 201.2            | 2.980                      |
| 2001        | 7.5         | 423.1       | 1076.0   | 415.6    | 7.5              | 0.111                      |
| 2002        | 204.4       | 585.1       | 1132.1   | 380.7    | 163.5            | 2.422                      |
| 2003        | 159.6       | 603.4       | 1117.6   | 443.8    | 127.7            | 1.891                      |
| 2004        | 43.2        | 536.6       | 1254.7   | 493.4    | 43.2             | 0.640                      |
| 2005        | 35.1        | 347.4       | 1148.7   | 312.3    | 35.1             | 0.520                      |
| 2006        | 227.3       | 651.0       | 1042.3   | 423.7    | 181.8            | 2.693                      |
| Media       | 147.3       | 573.5       | 1122.3   | 426.2    | 120.9            | 1.791                      |

La figura 34 ilustra de forma gráfica la variación de las pérdidas por evapotranspiración y las cantidades de lluvia útil generadas en milímetros, lo que equivale a litros/m<sup>2</sup>.



*Figura 41. Evapotranspiración real y exceso (lluvia útil). La altura de cada columna marca la precipitación.*

Debido a la enorme influencia de la cantidad de precipitación sobre la recarga y el mayor número de años húmedos de la muestra que producen una media anual de precipitación mayor que la media de la serie larga, se ha optado corregir los valores. Si a la serie de datos le restamos los primeros dos años hidrológicos (1996-97 y 1997-98) que fueron húmedos, obtenemos un valor medio de precipitación más ajustado. Con esta corrección el total de recarga directa baja a **1,663 Hm<sup>3</sup>**.

Para calcular la cantidad de recarga que llega al acuífero por escorrentía superficial, generada en las laderas de las cuencas vertientes de los cauces que atraviesan a las dolomías de El Calerizo, y que filtran a través del lecho de los cauces de los arroyos. Se ha utilizado una ecuación establecida por S. Schnabel en las Cuencas Experimentales del Grupo de Investigación GeoAmbiental, que se basa en la relación entre la precipitación anual y los excedentes generados en forma de escorrentía superficial.

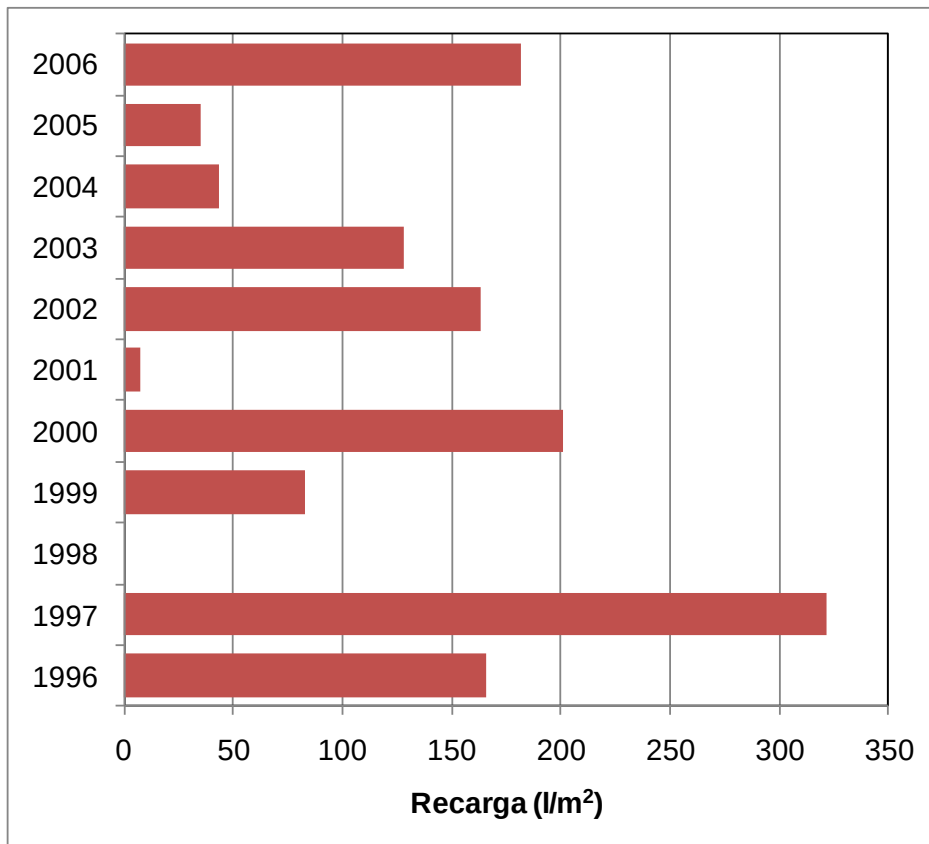
No sabemos cuánta agua reinfiltro a través de los lechos de los arroyos. Asumimos una cantidad del 20%, por tanto la recarga indirecta (a través de los lechos de arroyos hacia El Calerizo) es de **0,156 Hm<sup>3</sup>**.

Resumiendo, obtenemos los siguientes valores de recarga para el acuífero:

**Directa: 1.663 Hm<sup>3</sup>**

**A través de los cauces: 0,156 Hm<sup>3</sup>**

**Total: 1.819 Hm<sup>3</sup>**



*Figura 42. Recargas directas sobre las dolomías de El Calerizo entre 1996 y 2006.*

- Los niveles piezométricos

No hemos podido acceder a los pozos para determinar sus niveles piezométricos. Una información interesante, no obstante, ofrecen los valores de los niveles freáticos que hemos podido determinar para la surgencia de la



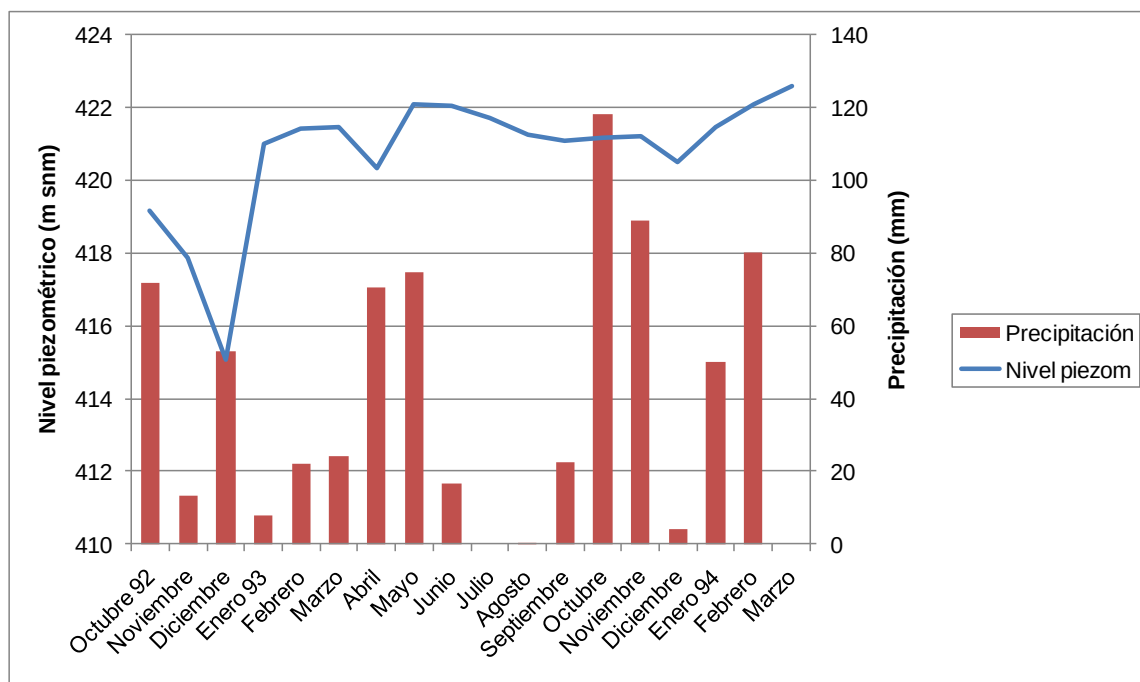
Charca del Marco (428,4 m snm), el Palacio de Congresos (428,0 m) y la Cantera Olleta (436,3 m).

Es particularmente interesante la similitud entre los niveles de la surgencia del Marco y el nivel piezométrico del Palacio de Congresos. Este hecho explica el escaso caudal de la surgencia natural, ya que la mayor cantidad de agua subterránea es evacuada a través de bombeo en el Palacio de Congresos y de drenaje subterráneo de los edificios situados en la parte Norte de El Calerizo, a poca distancia.

Información valiosa acerca de la dinámica de los niveles piezométricos de El Calerizo ofrece el estudio realizado por Jorquera (1992-94). A continuación se recogen en forma de gráficos los resultados del seguimiento de los niveles piezométricos de los pozos de San Jorge y de Mina Esmeralda establecidos por este autor.

El nivel piezométrico a lo largo del periodo de estudio, comprendido entre octubre de 1992 y marzo de 1994, del pozo de San Jorge varió relativamente poco. Como se aprecia en la figura 43, a partir de julio de 1993 se observa un ligero descenso, debido a las reducidas precipitaciones del verano. La única explicación de la fuerte depresión registrada en diciembre de 1992 son las extracciones de agua por bombeo. Lo dicho se confirma también, comparándolo con los niveles piezométrico del pozo de Mina Esmeralda, en el que no se aprecia una depresión durante este periodo, y excluye una causa natural (precipitaciones).

Una pequeña depresión del nivel piezométrico se observa en abril que es quizá consecuencia de las bajas precipitaciones registradas durante el invierno precedente. El aumento de las precipitaciones a partir de octubre de 1993 provoca un ascenso que se hace más notable en los meses del siguiente invierno.



**Figura 43.** Precipitaciones mensuales y nivel piezométrico del pozo de San Jorge entre octubre 1992 y marzo 1994 (elaborado según datos de Jorquera, 1994).

La fuerte caída del nivel piezométrico del pozo de Mina Esmeralda se debe probablemente a las extracciones del Club NORBA de Golf. Debido a la reducida distancia entre el club de golf y este pozo, las extracciones tienen su reflejo en los niveles piezométricos. Este no es el caso para el pozo de San Jorge, ya que se encuentra a mayor distancia. La recuperación de los niveles en el pozo de Mina Esmeralda es relativamente rápida, existiendo un desfase de aproximadamente 2 meses. Este dato indica la rapidez de la filtración de agua de lluvia y en su llegada al acuífero.

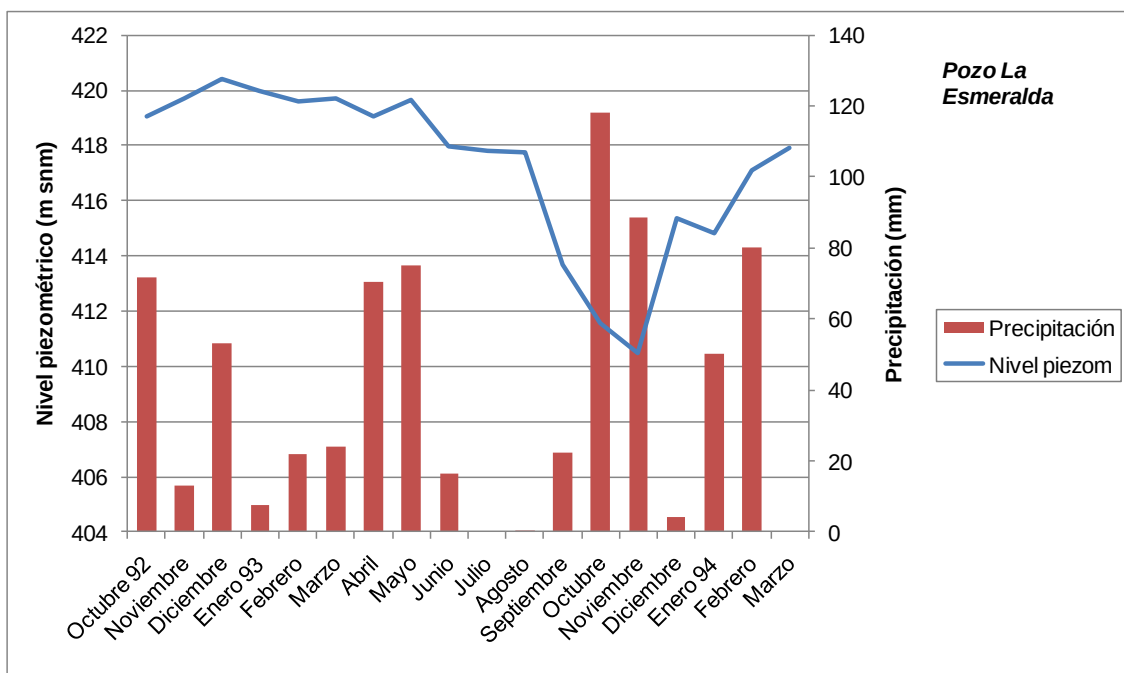


Figura 44. Precipitaciones mensuales y nivel piezométrico del pozo La Esmeralda entre octubre 1992 y marzo 1994 (elaborado según datos de Jorquera, 1994).



Figura 45. Niveles piezométricos de los pozos La Esmeralda y San Jorge entre octubre 1992 y marzo 1994 (elaborado según datos de Jorquera, 1994).

## • Balance de agua de El Calerizo

En capítulos anteriores se han estimado la recarga del acuífero y las descargas (naturales y artificiales).

**El total anual de la recarga es de 1,819 Hm<sup>3</sup>, frente a una descarga de 1,883 Hm<sup>3</sup>.** Es importante reseñar que la recarga constituye una media basada en una serie de datos climáticos de un periodo comprendido entre 1998 y 2006. La estimación de la descarga se basa en datos observados en la actualidad.

Aunque este resultado indica que la descarga es ligeramente superior a la recarga, los errores de estimación se consideran mayores que estas diferencias. Lo que sí se puede afirmar con este balance, es que el Calerizo bajo las continuaciones actuales no puede aumentar su volumen de agua, con cantidades de descarga y recarga tan parecidas.

Los resultados revelan unas variaciones temporales muy elevadas de la recarga.

Como demuestran los niveles piezométricos, la respuesta de nuestro acuífero a las entradas de agua por precipitación, y posterior percolación, es relativamente rápida. Como consecuencia, una sequía prolongada puede producir una depresión importante en los niveles piezométricos. Lo que afectaría también a los flujos naturales en las surgencias y los drenajes artificiales.

Para reducir la descarga se propone clausurar el drenaje de agua de Mina Esmeralda que pierde de forma constante una cantidad de aproximadamente 7.0 litro por segundo. Lo que resultaría mucho más difícil y costoso sería la eliminación de los drenajes del Palacio de Congresos, junto con el aliviadero de la conducción de aguas pluviales de la Avda. de la Hispanidad.

Debido a la cercanía de estos drenajes con respecto a la surgencia principal del acuífero, el Marco, son estas descargas artificiales las que provocan la reducción drástica del caudal del volumen de la surgencia.

Es una pena enorme que se pierde una gran cantidad de agua subterránea a través de la red de saneamiento, aunque una parte vuelve a la Ribera del Marco, si bien no sea a través de la surgencia, sino aproximadamente 50 metros aguas abajo de la Charca del Marco.



El NORBA Club de Golf extrae aproximadamente 7 l/s, expresado en caudal continuo. Comparada con las pérdidas por drenajes artificiales (Mina Esmeralda, Palacio de Congresos y aliviadero Avda. de la Hispanidad) de un total de aproximadamente 38 l/s, es una cantidad pequeña. Si a esto añadimos que un club de golf supone una actividad económica que produce ingresos para la ciudad de Cáceres y la Comunidad Autónoma de Extremadura, y lo comparamos con unas pérdidas de agua que cuestan dinero (gastos producidos por el bombeo de agua en el Palacio de Congresos y por una mayor cantidad de agua que llega a la depuradora para limpiar).

Hay otra razón por lo que resulta importante mantener un nivel piezométrico alto en El Calerizo. Existe un riesgo bastante elevado de hundimientos, especialmente en la parte más carstificada, la parte norte de El Calerizo. Los estudios geotécnicos desarrollados por INGEMISA (1990) comprobaron estos riesgos y aconsejaron no provocar reducciones importantes del nivel freático. El vaciado del acuífero, sobre todo en zonas donde las dolomías están muy carstificadas, aumenta el riesgo de colapsos y hundimientos.

### 7.3.3. Calidad del agua.

#### 7.3.3.1. Caracterización físico-química y microbiológica.

##### A. TOMA DE MUESTRAS.

Se ha llevado a cabo un conjunto de análisis con objeto de conocer el estado actual del agua del acuífero El Calerizo; para ello se han realizado determinaciones físico-químicas y microbiológicas. Todas las muestras se hicieron en envases estériles y fueron remitidas a análisis en menos de 24h desde su recogida. Los puntos en los que se realizó el muestreo son:

1. Arroyo Arropez
2. Pozo San Jorge
3. Charca del Marco, aliviadero
4. Desagüe Mina Esmeralda
5. Charca de La Alberca
6. Aliviadero de la red de pluviales de la Avda. de la Hispanidad

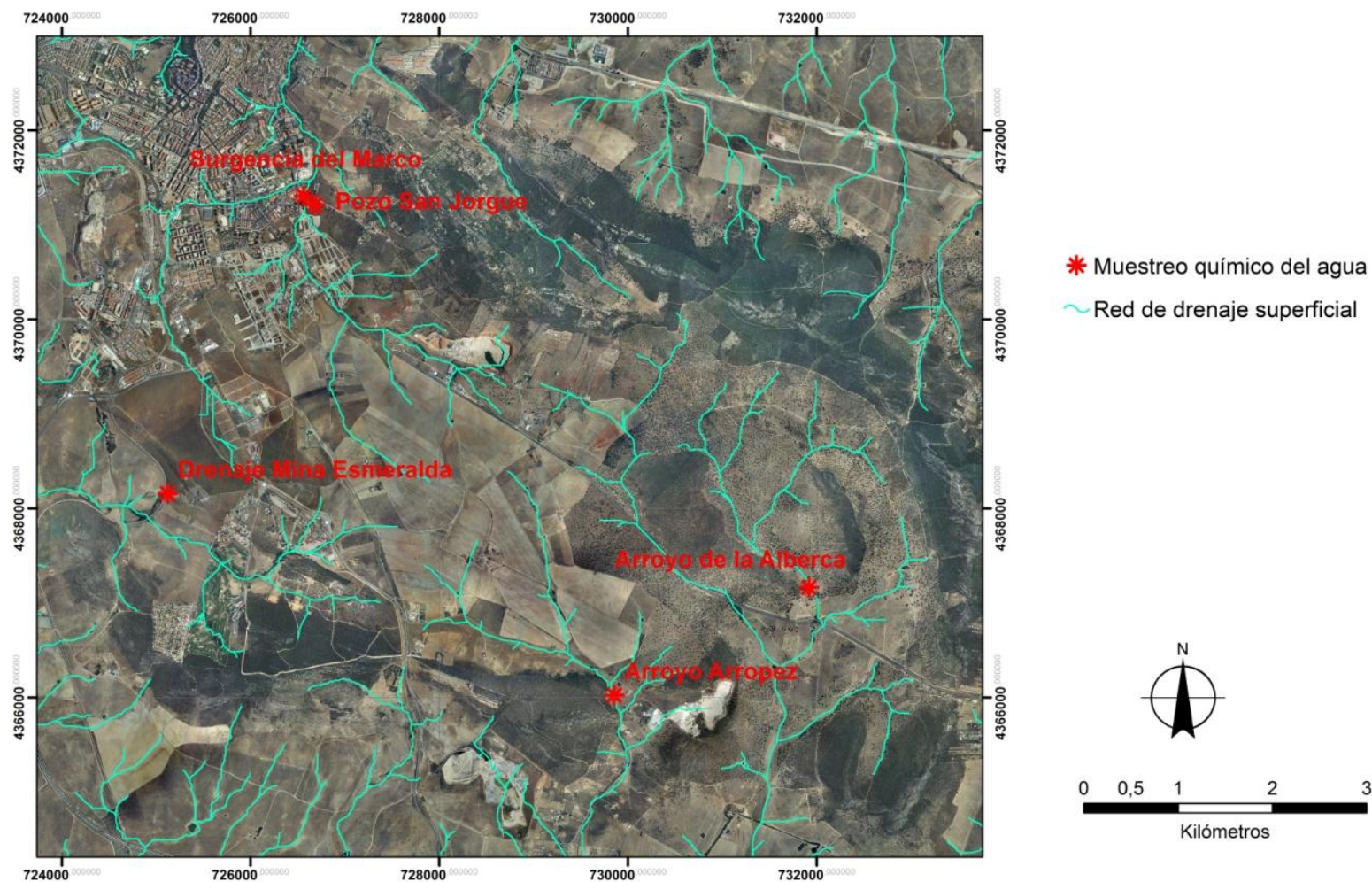


Figura 46. Puntos donde se han recogido muestras de agua.

1.- ARROYO ARROPEZ.

Coordenadas:

Fecha: 29/02/2012 a las 17h00

Se toma la muestra directamente del curso del arroyo.

2.- POZO SAN JORGE.

Coordenadas: 39°27'38"N - 6°21'54"W

Fecha: 05-03-12 a las 10h00

Actualmente dentro de las instalaciones de la Escuela Taller Ribera del Marco. Este pozo extrae agua del acuífero justo antes de la surgencia natural de la Charca del Marco. Este pozo ha sido utilizado para abastecimiento de la ciudad de Cáceres hasta la década de 1960s. Actualmente se dirige el agua bombeada hacia las urbanizaciones del Rodeo y Vistahermosa. La muestra tomada procede de un depósito al aire como sistema cerrado, tras 2 minutos de purga de la conducción.

3.- CHARCA DEL MARCO.

Coordenadas: 39°27'42"N - 6°21'59"W

Fecha: 05-03-12 a las 10h30

A unos 100 metros a noroeste del Pozo San Jorge se sitúa la Charca del Marco, que es una alberca en la que brota de manera natural el agua del acuífero, estando la fuente actualmente sumergida. La charca se encuentra represada de manera artificial, descargando agua a la Ribera del Marco o arroyo del Concejo. En el momento de la toma de muestra, en el chorro de desagüe de la charca, el caudal estimado estará en unos  $3 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  siendo éste el único aporte que recibe la ribera en el momento de la visita (el arroyo, aguas arriba de la charca, está seco).

4.- DESAGÜE MINA ESMERALDA.

Coordenadas: 39°26'01"N - 6°23'04"W

Fecha: 05-03-12 a las 12h00

En otro punto, hacia el oeste, se encuentra el desagüe de la Mina Esmeralda. Este desaguadero artificial fue construido para bombear agua fuera de la mina, la cual se encontraba bajo el nivel freático lo que provocaba su inundación. La



mena explotada desde la década de 1870s es de fosfato cálcico, como fosforita (62%). Anexa a la extracción se construyó una fábrica de ácido sulfúrico, que empleaba pirita traída de Huelva, con objeto de obtener fosfatos más ricos. De las piritas se extraía también cobre. La minería del fosfato cesó en 1960 y la fábrica de ácido en 1963. Las piritas suelen acompañarse de calcita  $\{CaCO_3\}$ , dolomita  $\{CaMg(CO_3)_2\}$ , marcasita  $\{FeS_2\}$ , calcopirita  $\{CuFeS_2\}$ , galena  $\{PbS\}$ , blenda  $\{ZnS\}$ , cuarzo  $\{SiO_2\}$ , fluorita  $\{CaF_2\}$  y oro  $\{Au\}$ .

La muestra se toma allí donde emerge el cauce, próximo al ferrocarril. Desde la edificación de la mina hasta el chorro de muestreo podrá haber un tramo de 100 m, aproximadamente, de conducción subterránea.

#### 5.- CHARCA Y POZO DE LA ALBERCA.

Coordenadas: 39°25'21"N - 6°18'18"W

Fecha: 05-03-12 a las 13h00

Otro punto de muestreo es el del afloramiento de La Alberca, donde el acuífero desagua en la vertiente opuesta a la Charca del Marco. Se encuentra al sudeste del pozo de San Jorge, en la sierra de Los Hornos. El afloramiento se produce a modo de charca natural, lo que aconseja muestrear de un pozo de sondeo instalado junto a ella. Esta surgencia está en el interior de una finca privada por lo que se requirió y obtuvo autorización de acceso y muestreo. La muestra proviene de un depósito al aire en sistema cerrado, tras 2 min de purga de la conducción.

#### 6.- ALIVIADERO DE LA RED DE PLUVIALES DE LA AVENIDA DE LA HISPANIDAD.

Fecha: 18-06-12.

Un último punto de muestreo ha sido el aliviadero de la red de pluviales de la Avenida de la Hispanidad, que vierte sus aguas al cauce de la Ribera del Marco directamente. Se localiza en la barriada San Francisco, a la altura del Hospital de San Pedro de Alcántara.

## B. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS.

Los análisis se realizaron en el Laboratorio Agroalimentario de Extremadura, incluyendo determinaciones físico-químicas y microbiológicas.

En lo relativo al análisis microbiológico, la tabla 12 muestra los detalles.

**Tabla 12. Determinaciones microbiológicas**

Los valores con \* no están incluidos en el alcance de la acreditación del Laboratorio

| Microbio                              | Método            |
|---------------------------------------|-------------------|
| * Clostridium perfringens             | RD 140/2003       |
| Rcto. Bacterias coliformes            | ISO 9308-1:2001   |
| Escherichia coli                      | ISO 9308-1:2001   |
| Rcto. Microorganismos cultivables 22° | EN ISO 6222:1999  |
| * Salmonella spp.                     | MI(ISO 6579:2002) |

Los parámetros físico-químicos medidos se muestran en la tabla 13.

**Tabla 13. Determinaciones físico-químicas**

Los valores con \* no están incluidos en el alcance de la acreditación del Laboratorio

| Parámetro                  | Método                     |
|----------------------------|----------------------------|
| pH                         | PE E-303                   |
| Conductividad eléctrica    | PE E-301                   |
| * Residuo seco             | BOE 09/06/87 oficial nº 5  |
| * Carbono orgánico total   | Combustión IR              |
| * DBO                      | Manométrico                |
| * DQO                      | Dicromato potásico         |
| * Dureza total             | BOE 09/06/87 oficial nº 11 |
| * RAS                      | MI                         |
| * Clasificación para riego | MI                         |

Por último, se analizaron las especies químicas que se señalan en la tabla 14.

**Tabla 14. Análisis químicos.**

Los valores con \* no están incluidos en el alcance de la acreditación del Laboratorio.

| <b>Analítico</b> |                                  | <b>Método</b>             |
|------------------|----------------------------------|---------------------------|
| *                | Al                               | MI (ICP-AES)              |
|                  | (NH <sub>4</sub> ) <sup>+</sup>  | PE E-306                  |
| *                | (HCO <sub>3</sub> ) <sup>-</sup> | Volumétrico               |
| *                | Cd                               | MI (ICP-AES)              |
| *                | Ca                               | MI (ICP-AES)              |
| *                | Cl <sup>-</sup>                  | BOE 09/06/87 oficial nº 7 |
| *                | Cu                               | MI (ICP-AES)              |
| *                | P                                | MI (ICP-AES)              |
| *                | Fe                               | MI (ICP-AES)              |
| *                | Mg                               | MI (ICP-AES)              |
| *                | Hg                               | Fluorescencia atómica     |
| *                | Ni                               | MI (ICP-AES)              |
|                  | (NO <sub>3</sub> ) <sup>-</sup>  | PE E-305                  |
|                  | (NO <sub>2</sub> ) <sup>-</sup>  | PE E-302                  |
| *                | Pb                               | MI (ICP-AES)              |
| *                | K                                | MI (ICP-AES)              |
| *                | Si                               | MI (ICP-AES)              |
| *                | Na                               | MI (ICP-AES)              |
| *                | (SO <sub>4</sub> ) <sup>-2</sup> | Nefelométrico             |
| *                | Zn                               | MI (ICP-AES)              |

## C. RESULTADOS DE ANÁLISIS.

### 1. Análisis microbiológico.

Utilizando como base el Anexo I sobre parámetros para el control de calidad del agua de consumo humano del RD140/2003, los valores máximos de los recuentos de la muestra no pueden exceder los límites que se muestran en la tabla 15.

**Tabla 15. Parámetros microbiológicos agua potable.**

| Microbio                       | Valor paramétrico <sup>*1</sup><br>(UFC/100 mℓ) |
|--------------------------------|-------------------------------------------------|
| <i>Clostridium perfringens</i> | 0                                               |
| <i>Enterococo</i>              | 0                                               |
| <i>Escherichia coli</i>        | 0                                               |

<sup>\*1</sup> Agua para consumo humano. RD 140/2003

Por su parte, el RD 1620/2007 establece el régimen jurídico para la reutilización de aguas depuradas, estableciendo en sus anexos los criterios de calidad requeridos según los usos. En lo que se refiere a los parámetros microbiológicos, específicamente de *E. coli*, se recogen los VMA (valores máximos admisibles) en la tabla 16.



**Tabla 16. Parámetros microbiológicos aguas depuradas reutilizadas.**

| <b><i>E. coli</i></b> | <b>Calidad</b> | <b>UFC/100<br/>ml</b> | <b>Especificidad*</b>                  |
|-----------------------|----------------|-----------------------|----------------------------------------|
| 1. Usos Urbanos       | 1.1            | 0                     | Residencial                            |
|                       | 1.2            | 100                   | Servicios                              |
| 2. Usos Agrícolas     | 2.1            | 100                   | Riego contacto con comestibles frescos |
|                       | 2.2            | 1.000                 | Otros riegos                           |
|                       | 2.3            | 10.000                | Riegos sin contacto                    |
| 3. Usos Industriales  | 3.1-a,b        | 10.000                | Usos no alimentarios                   |
|                       | 3.1-c          | 1.000                 | Agua de proceso ind. Alimentaria       |
|                       | 3.2            | 0                     | Torres refrigeración y evaporadores    |
| 4. Usos Recreativos   | 4.1            | 200                   | Riego campo de golf                    |
|                       | 4.2            | 10.000                | Estanques sin acceso                   |
| 5. Usos Ambientales   | 5.1            | 1.000                 | Recarga de acuífero por percolación    |
|                       | 5.2            | 0                     | Recarga de acuífero inyección directa  |
|                       | 5.3            | s/d                   | Silvicultura                           |
|                       | 5.4            | A definir             | Depende del uso                        |

\* Se muestra a modo orientativo, los detalles precisos se deben consultar en el RD 1620/2007

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 17, figura 47 y figura 48.

**Tabla 17. Determinación de los parámetros microbiológicos**

| <b>Punto de muestra</b> | <b>C. per-fringens</b> | <b>E. coli</b> | <b>Salmonella spp.</b> | <b>coliformes</b> | <b>rcto microorg.22</b> |
|-------------------------|------------------------|----------------|------------------------|-------------------|-------------------------|
| Pozo San Jorge          | 1                      | 1              | 0                      | 5                 | 5                       |
| Charca del Marco        | 7                      | 1000           | 0                      | 1000              | 780                     |
| Drenaje Mina Esmeralda  | 10                     | 200            | 0                      | 250               | 270                     |

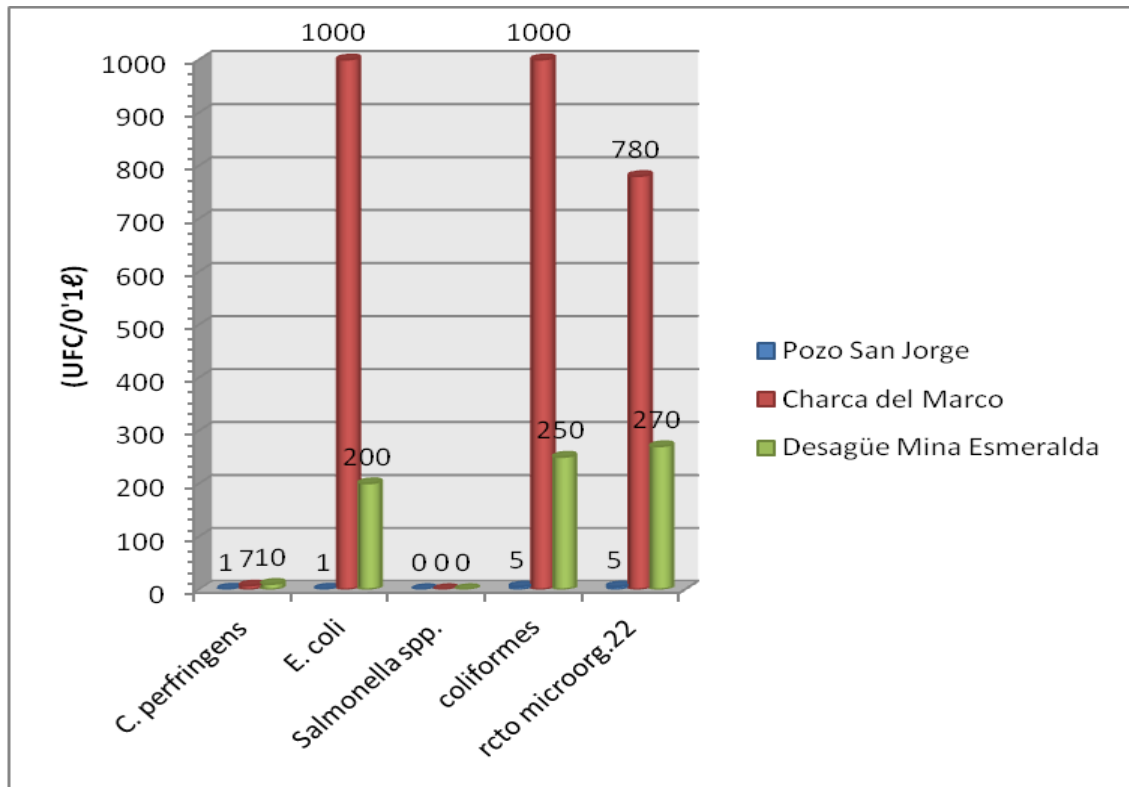


Figura 47. Parámetros microbiológicos obtenidos (por microbio)

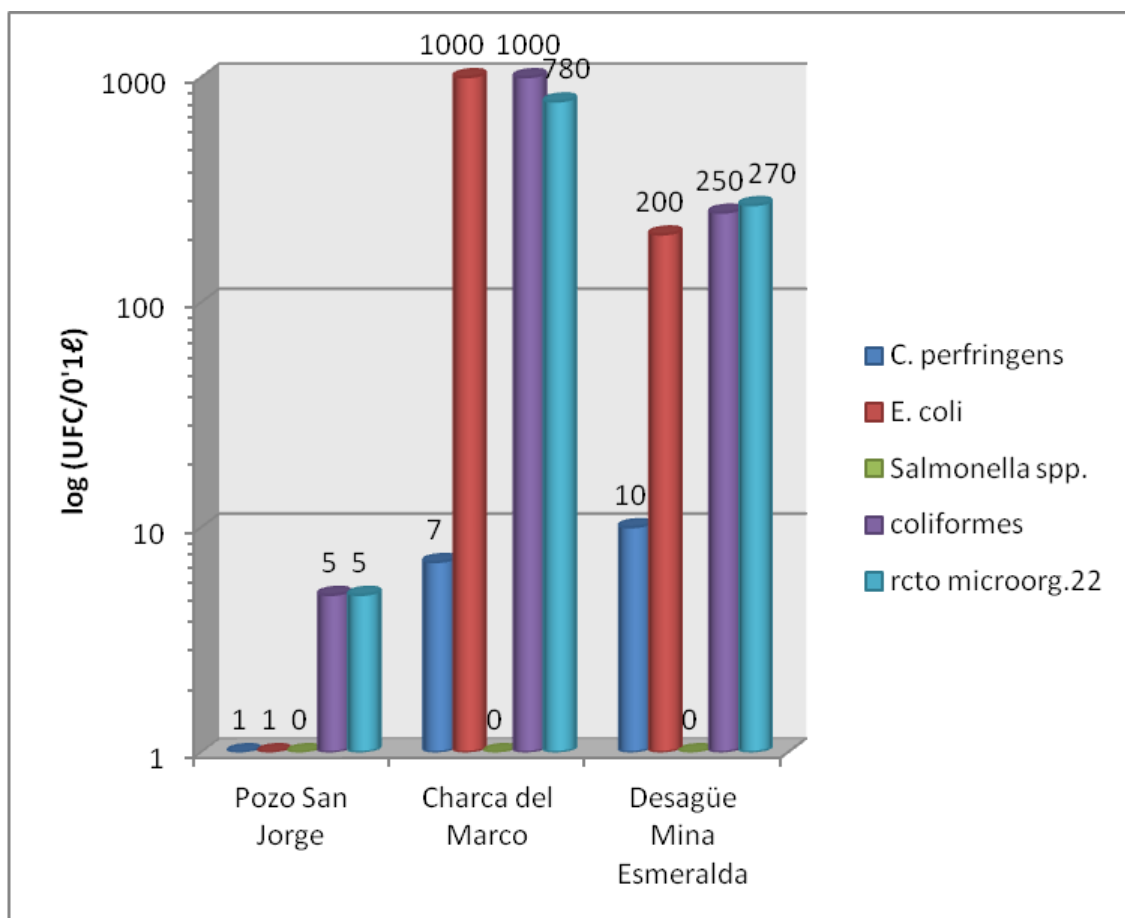


Figura 48. Parámetros microbiológicos obtenidos (por punto muestreo).

En la figura 47, en escala lineal, los resultados están agrupados por tipo de microbio analizado, siendo las unidades de unidades formadoras de colonias (UFC) por cada 100 ml. Es destacable la ausencia de *Salmonella* spp en todos los casos, así como la presencia de los demás contaminantes en todas las muestras, en un rango de distribución muy amplio.

En la figura 48 se muestran los resultados por punto de muestreo en escala logarítmica.

*Charca del Marco.* En ella se aprecia claramente el alto nivel de microorganismos medidos en la Charca del Marco. Por su parte el pozo de San Jorge presenta valores propios de una pequeña contaminación, con presencia vestigial de *C. perfringens* y *E. coli* y significativa de coliformes totales y microorganismos cultivados a 22°. Los niveles de contaminación de la Charca del Marco no son sorprendentes, pues se trata de un estanque con muy baja velocidad de renovación y poca capacidad de regeneración para la cantidad de desechos incontrolados que entran por la acción humana.

*Desagüe Mina Esmeralda.* Presenta niveles en un factor menor cercano a 10 respecto a los de la Charca en todas las determinaciones.

Esta contaminación existente no es esperada pero tampoco sorprendente. Al no tratarse de un sondeo directo del acuífero el origen es incierto y con los datos disponibles no se puede achacar indudablemente a una contaminación propia del acuífero, al tratarse de una zona de libre acceso.

*Pozo San Jorge.* Sorprendente es el resultado del Pozo San Jorge que debería estar libre de microorganismos al tratarse de un sondeo directo del acuífero; podría indicar que éste está contaminado o quizá los medios de extracción y depósito.

## 2. Análisis físico-químicos.

Se ha realizado el análisis de numerosos parámetros físico-químicos con objeto de caracterizar el estado del acuífero.

En la tabla 18 se muestran los parámetros físico-químicos determinados. Los valores que se muestran son típicos y se observa que se trata de aguas duras, de salinidad media o media-alta de bajo contenido en sodio.

**Tabla 18. Parámetros físico-químicos**

|              |                          | Arroyo Arropez | Pozo San Jorge | Charca del Marco | Desagüe Esmeralda | Mina Alberca | Pozo La Alberca |
|--------------|--------------------------|----------------|----------------|------------------|-------------------|--------------|-----------------|
| pH           |                          | 7,92           | 7,66           | 7,88             | 7,61              |              | 7,58            |
| c25°C        | µS/cm                    | 623            | 568            | 588              | 746               |              | 869             |
| Residuo S110 | mg/l                     | 446            | 377            | 367              | 542               |              | 624             |
| Dureza total | mg(CaCO <sub>3</sub> )/l | 378,5          | 316            | 261              | 425               |              | 359             |
| DBO          | mg(O <sub>2</sub> )/l    | 3              | 2              | 3                | 2                 |              | 2               |
| DQO          | mg(O <sub>2</sub> )/l    | 4,73           | 2,36           | 7,88             | 1,97              |              | 1,18            |
| COT          | mg/l                     | 5,98           | 7,89           | 11,31            | 6,38              |              | 10,04           |
| RAS          |                          | 0,3            | 0,4            | 0,2              | 0,2               |              | 0,4             |
| CPR          | Riverside                | C2-S1          | C2-S1          | C2-S1            | C2-S1             |              | C3-S1           |

La complejidad en la composición de un agua subterránea se evidencia en los análisis químicos que revelan la presencia de más de sesenta sustancias

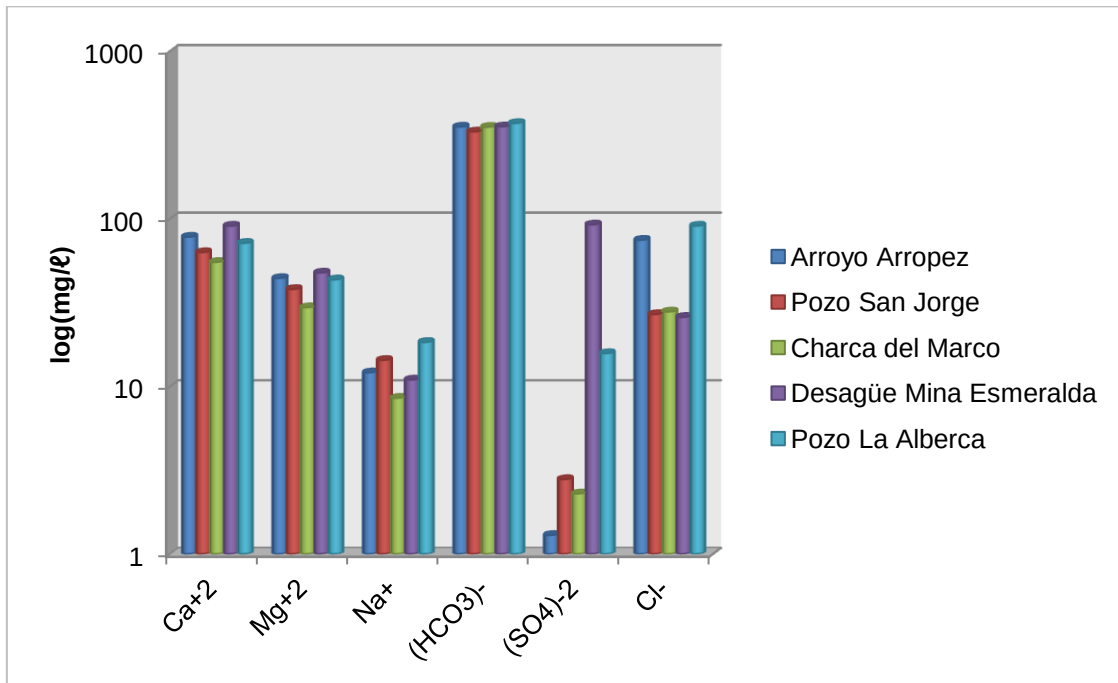


presentes. La presencia de diferentes constituyentes tiene diferentes orígenes; así se produce ya la incorporación de compuestos antes de la infiltración durante su paso por la atmósfera y el terreno. Un vez infiltradas, las aguas sufren un gran número de interacciones con el medio que modifican su composición en función de su naturaleza. Así el contacto entre el agua y el terreno produce alteraciones en la composición que dependen de la temperatura, el pH, la salinidad, la concentración de dióxido de carbono y el potencial redox del agua así como de la composición del suelo, la actividad superficial de las partículas y la presencia bacteriana.

La tabla 19 y la figura 49 recogen los componentes mayoritarios analizados, tanto aniónicos como catiónicos, así como una indicación de los rangos de valores típicos de éstos en aguas subterráneas. Se encuentra que los valores medidos se encuentran dentro de los rangos esperables., salvo la baja presencia de sulfato en algunas muestras.

**Tabla 19. Análisis de componentes mayoritarios catiónicos y aniónicos.**

|          | mg/l                                 | Arroyo Arropez | Pozo S. Jorge | Charca del Marco | Desagüe Mina Esm. | Pozo La Alberca | Rango de valores típicos |
|----------|--------------------------------------|----------------|---------------|------------------|-------------------|-----------------|--------------------------|
| Cationes | <b>Ca<sup>+2</sup></b>               | 78,2           | 63,3          | 55,3             | 91,0              | 71,9            | 10-250                   |
|          | <b>Mg<sup>+2</sup></b>               | 44,3           | 38,1          | 29,7             | 47,8              | 43,5            | 1-75                     |
|          | <b>Na<sup>+</sup></b>                | 12,1           | 14,4          | 8,6              | 11,0              | 18,4            | 5-150                    |
| Aniones  | <b>(HCO<sub>3</sub>)<sup>-</sup></b> | 355            | 332           | 354              | 356               | 373             | 50-350                   |
|          | <b>(SO<sub>4</sub>)<sup>-2</sup></b> | 1,3            | 2,8           | 2,3              | 92,6              | 15,8            | 10-300                   |
|          | <b>Cl<sup>-</sup></b>                | 75             | 27            | 28               | 26                | 91              | 10-250                   |



**Figura 49. Análisis de componentes mayoritarios catiónicos y aniónicos.**

En la tabla 20 se aparecen los datos de las demás especies catiónicas analizadas y en la tabla 21 se hace lo propio respecto a los aniones. La figura 50 muestra los datos de ambas tablas de aquellas especies cuyos valores son todos no nulos y en la figura 51 aquéllos que están presentes en alguna muestra.

Tabla 20. Metales pesados y cationes minoritarios.

| mg/l                         | Arroyo Arropez | Pozo San Jorge | Charca del Marco | Desagüe M. Esmeralda | Pozo La Alberca |
|------------------------------|----------------|----------------|------------------|----------------------|-----------------|
| Al                           | 0              | 0              | 0                | 0                    | 0               |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | 0              | 0              | 0                | 0                    | 0               |
| Cd                           | 0              | 0              | 0                | 0                    | 0               |
| Cu                           |                | 0              | 0                |                      | 0               |
| P                            | 0              | 0              | 0                | 0                    | 0               |
| Fe                           | 0              | 0              | 0,2569           | 0                    | 0               |
| Hg                           | 0              | 0,00027        | 0                | 0                    | 0               |
| Ni                           | 0              | 0              | 0                | 0                    | 0               |
| Pb                           | 0              | 0              | 0                | 0                    | 0               |
| K                            | 1,30           | 1,35           | 1,73             | 0,78                 | 0,50            |
| Si                           | 2,18           | 5,12           | 4,4              | 4,27                 | 3,72            |
| Zn                           | 0              | 0              | 0                | 0                    | 0               |

Tabla 21. Aniones minoritarios

|                                 | Arroyo Arropez | Pozo S. Jorge | Charca del Marco | Desagüe M. Esmeralda | Pozo La Alberca |
|---------------------------------|----------------|---------------|------------------|----------------------|-----------------|
| (NO <sub>3</sub> ) <sup>-</sup> | 28,46          | 18,07         | 6,65             | 40,65                | 65,39           |
| (NO <sub>2</sub> ) <sup>-</sup> | 0,09           | 0,02          | 0,21             | 0,02                 | 0,02            |

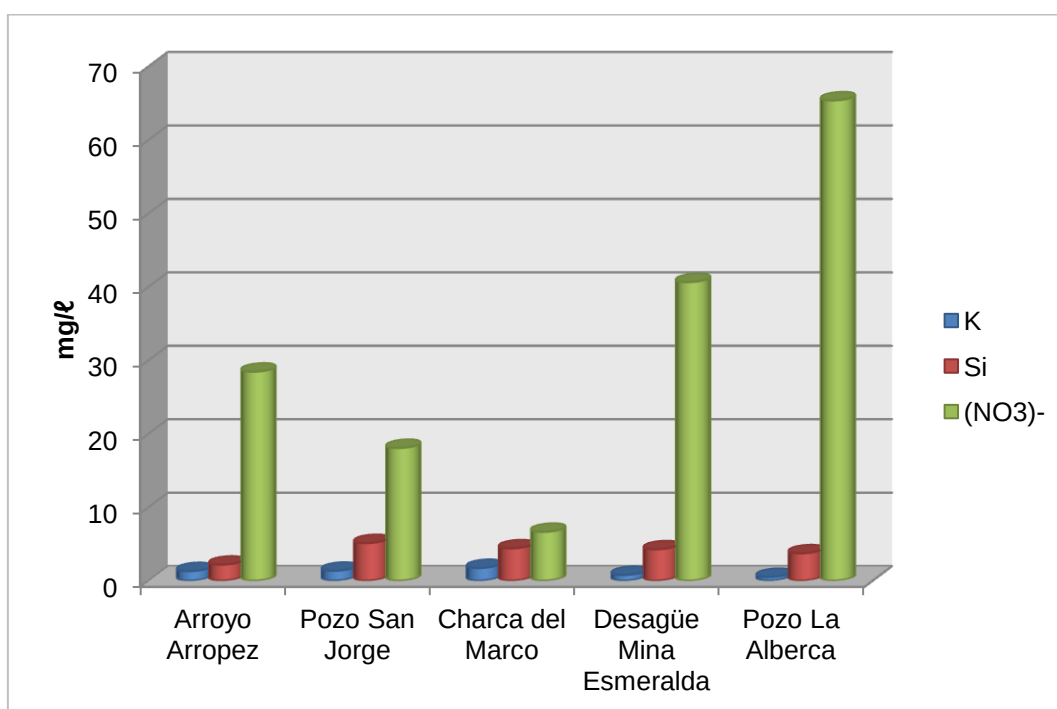


Figura 50. Otros componentes minoritarios no nulos.

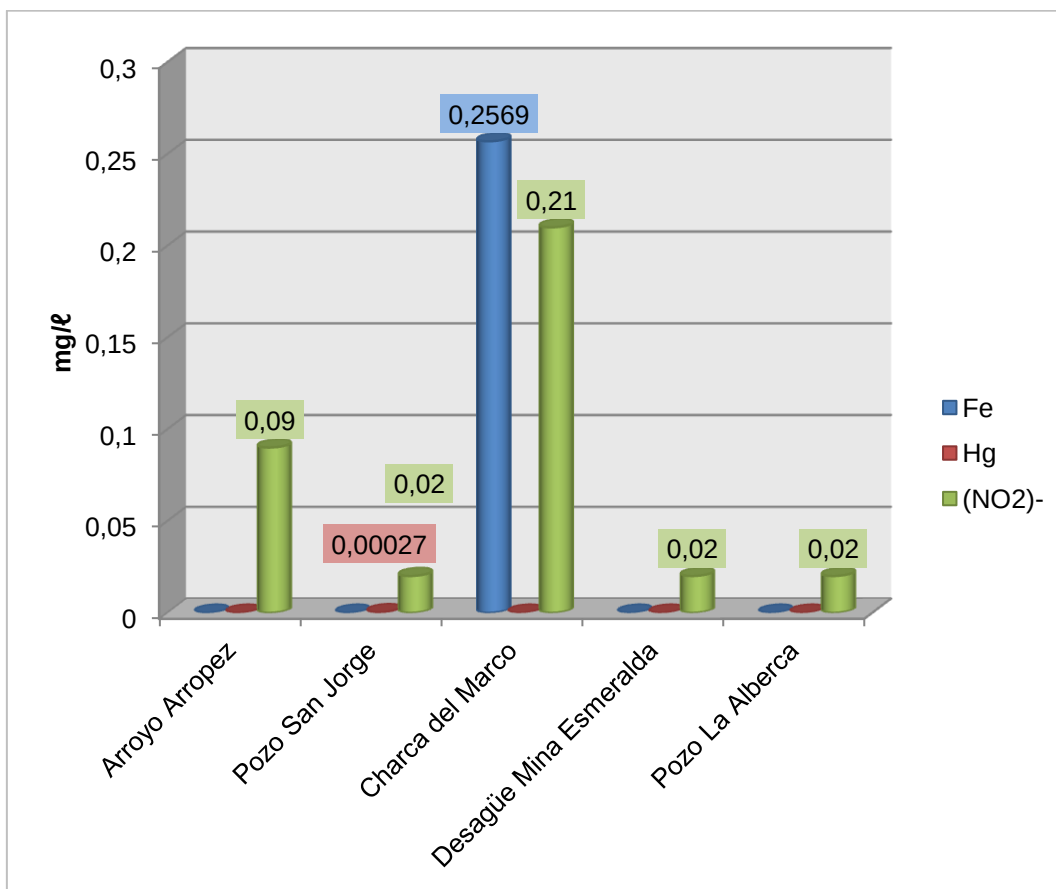


Figura 51. Componentes minoritarios presentes en alguna muestra.

Se descarta la presencia de metales pesados en todas las muestras, con excepción de la presencia de mercurio en el Pozo San Jorge, aunque en concentraciones por debajo del límite de admisibilidad para potabilidad. Asimismo es destacable la presencia de nitritos en todas las muestras, pues se trata de un indicador claro de contaminación fecal reciente.

### 3. Caracterización de aguas.

A partir de los datos analizados se pueden realizar una serie de diagramas que permiten la visualización rápida, simple y lo más completa posible de los tipos de aguas analizados.



## a) Diagrama de Piper-Hill-Langelier.

En este diagrama de componentes mayoritarios las aguas geoquímicamente similares quedan agrupadas en zonas definidas. En figura 52 se muestran los resultados de los puntos muestreados. Se aprecia claramente la consistencia del tipo de agua bicarbonatada cálcico-magnésica, como cabía esperar para un acuífero kárstico.

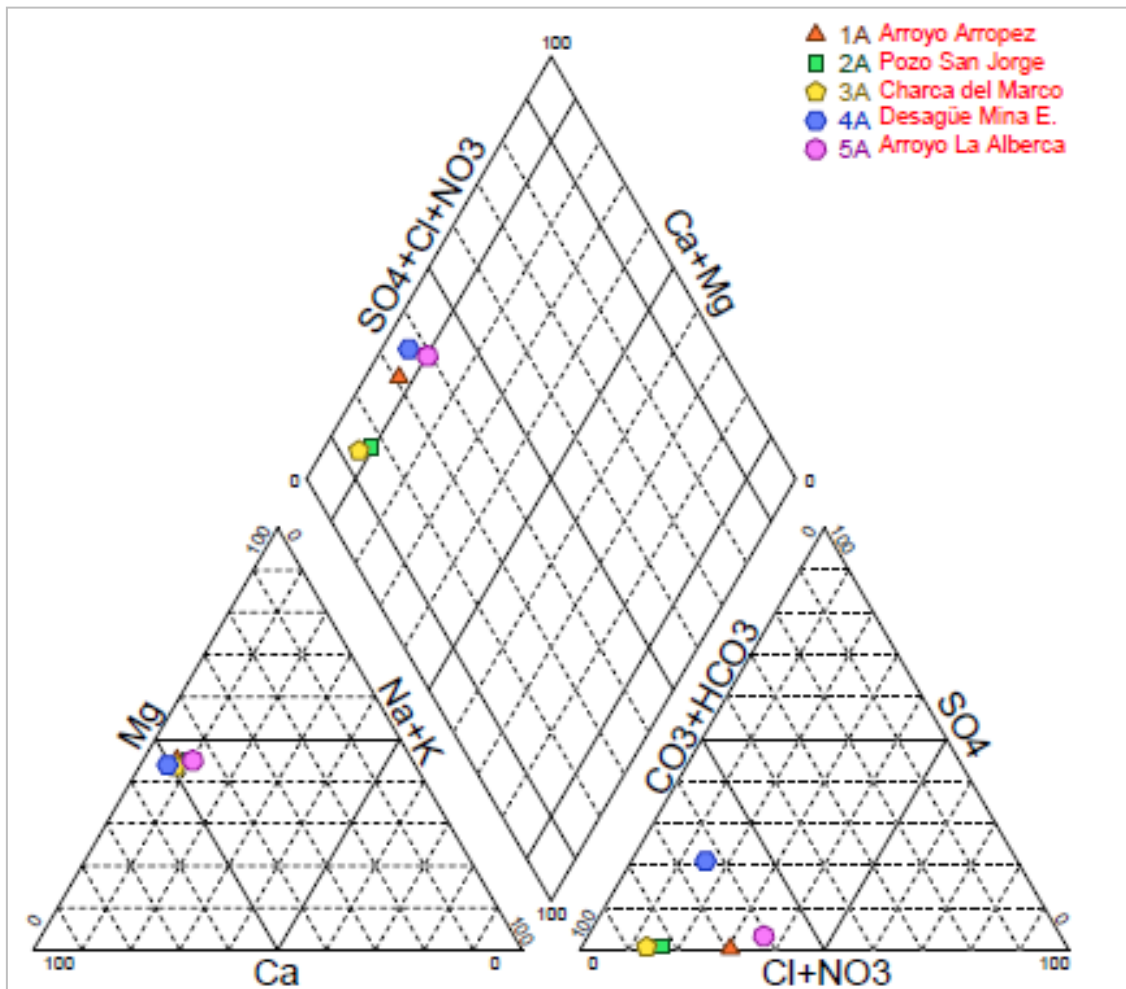


Figura 52. Diagrama de Piper.

## b) Diagrama de Stiff.

Este tipo de diagrama permite, además de visualizar rápidamente la facies del agua subterránea, ofrece una idea general del grado de mineralización, así como las relaciones iónicas. Se muestra en la figura 53, donde se aprecia el tipo de agua subterránea, como se ha descrito antes, pero con presencia de  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  y  $\text{Cl}^-$  especialmente el Arroyo Arropez y el Pozo La Alberca.

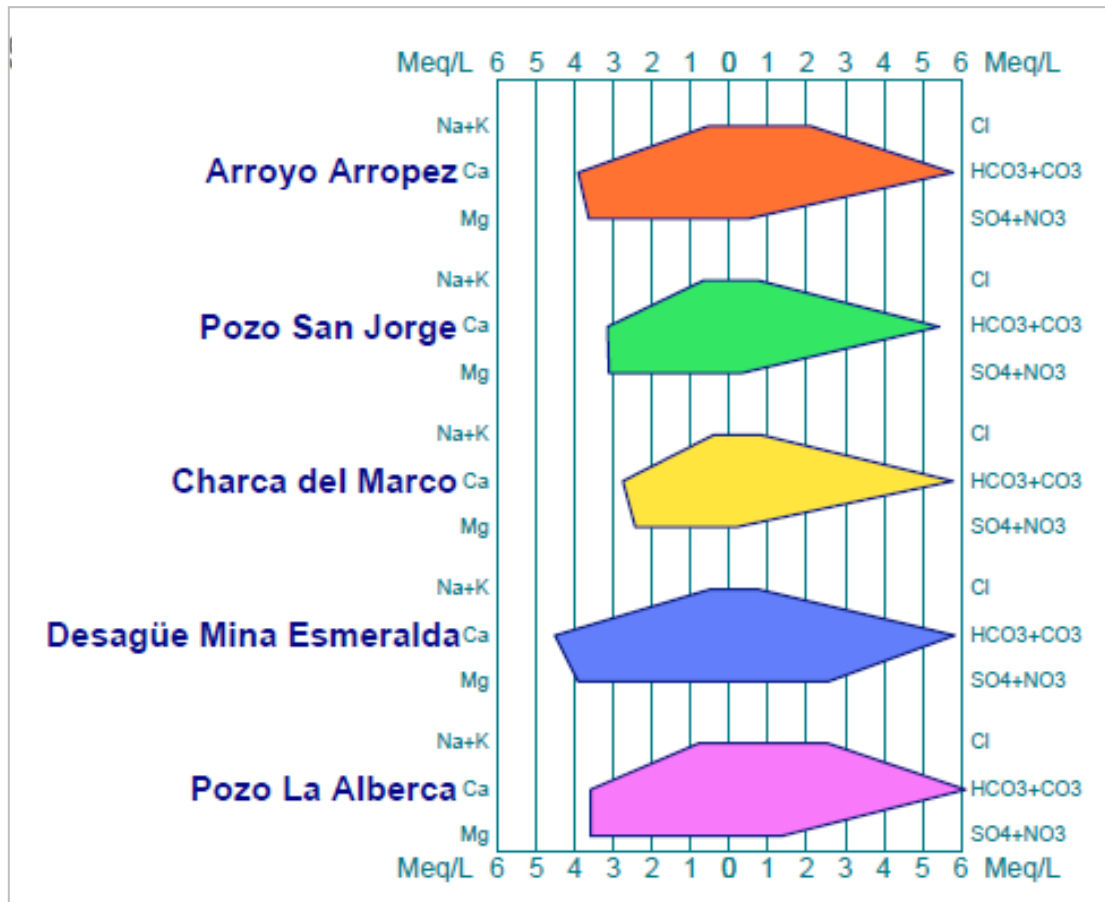


Figura 53. Diagrama de Stiff.

c) Diagrama de Schöller-Berkalov.

En este diagrama se representan la concentración en mg/l y se correlaciona con la de meq/l de manera visual rápida (figura 54 )

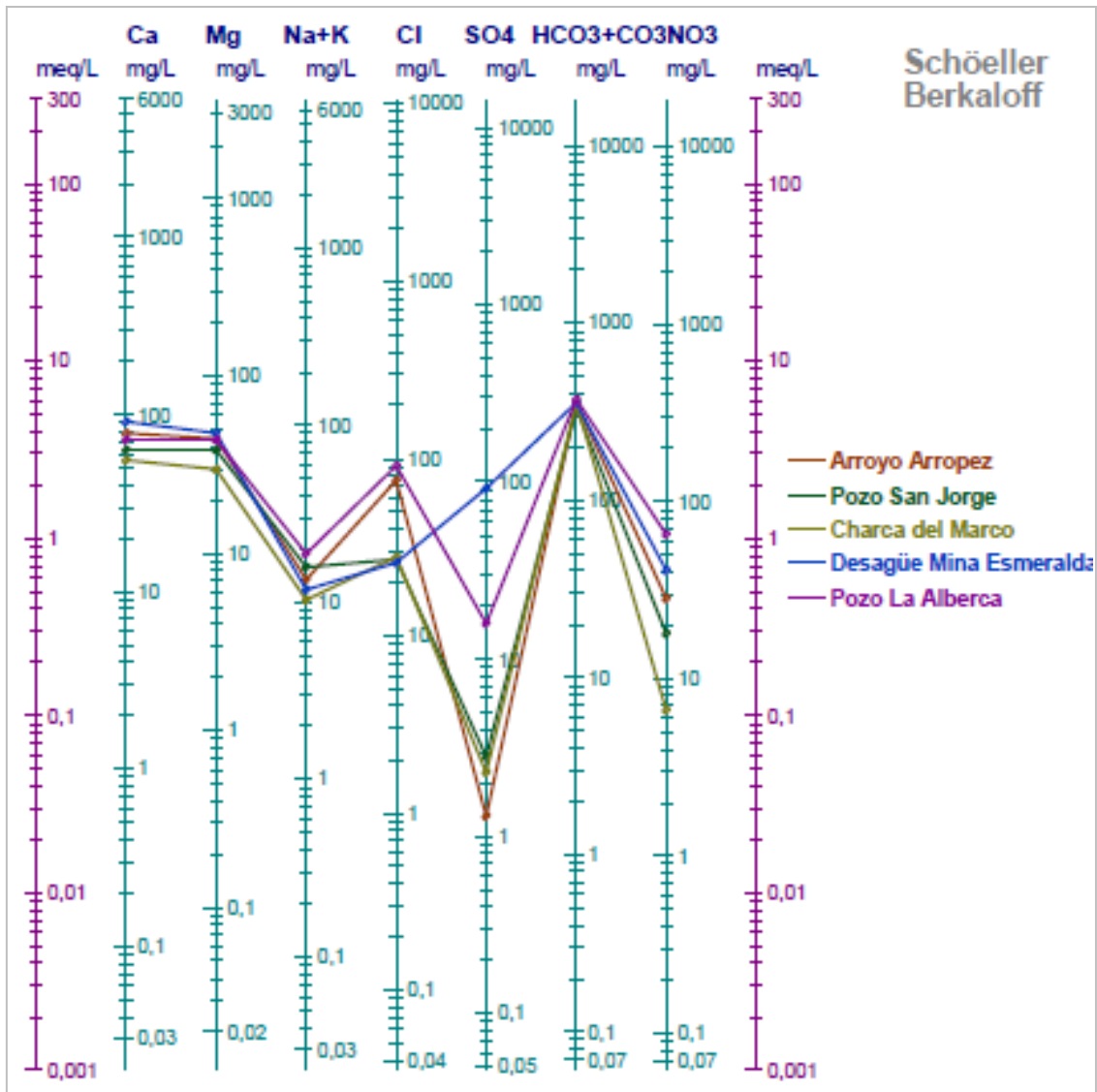


Figura 54. Diagrama de Schöller-Berkalov.

d) Diagrama de Stabler.

Se emplea para determinar rápidamente los diferentes títulos de un agua; éstos son la alcalinidad, el título hidrotimétrico y el título de iones de ácidos fuertes. En la figura 55 a se muestra los correspondientes a las muestras analizadas.

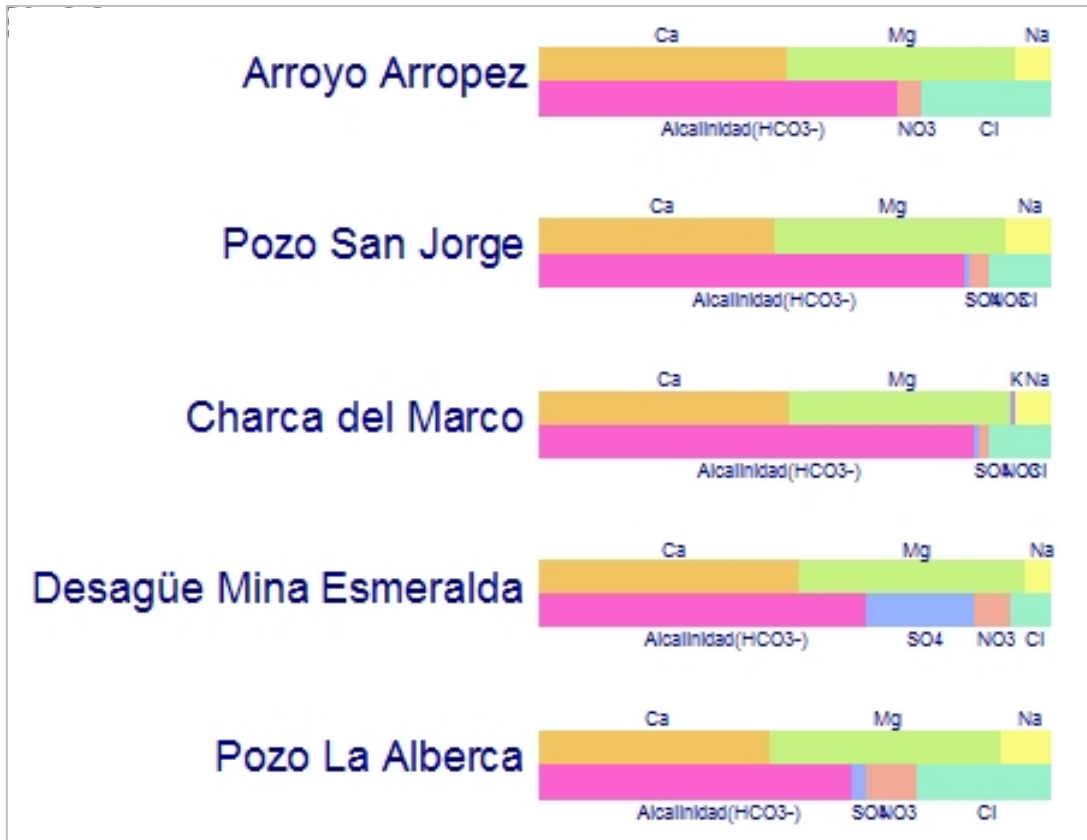


Figura 55. Diagrama de Stabler.



## e) Diagrama Wilcox.

Este diagrama se emplea para la interpretación del valor de un agua para riego sólo en función de la relación de absorción de sodio (RAS) y la conductividad.

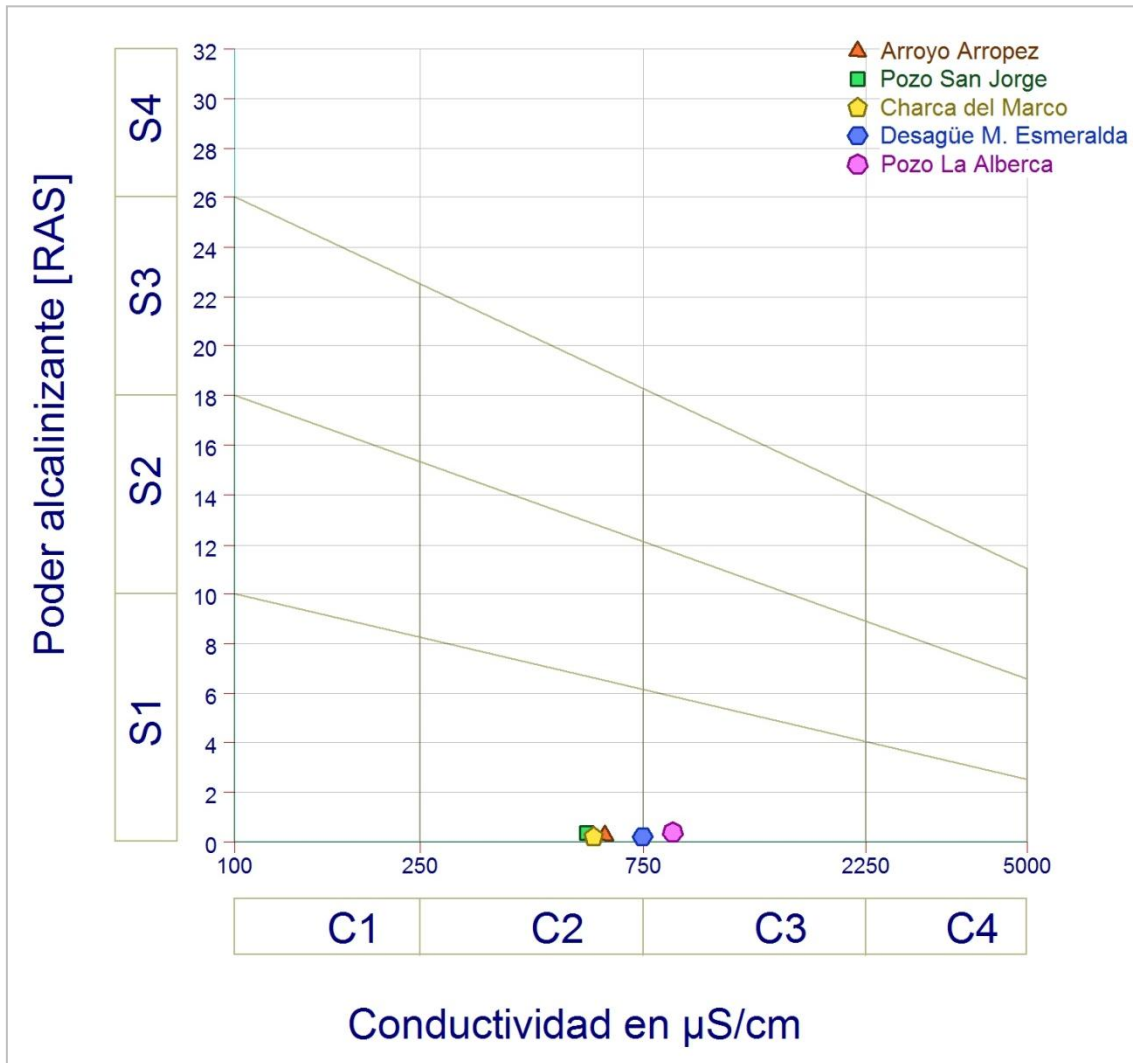


Figura 56. Diagrama de Wilcox.

#### 4. Conclusiones de los análisis microbiológicos.

En lo referente a la Charca y el Desagüe se observa que la contaminación por *C. perfringens* es mayor en el segundo (en ambos casos por encima de 0 UFC) y al contrario para coliformes totales y *E. coli*, esto sería indicativo de que la contaminación fecal en la Charca es reciente, mientras que en el desagüe sería de más antigüedad o intermitente. Ello es debido a que, aun siendo ambos indicadores específicos de contaminación fecal, la supervivencia excepcionalmente alta de esporas de *C. perfringens* puede exceder la de los agentes patógenos.

En lo referente al Pozo, que debería estar libre de contaminación, sin embargo no lo está, con valores bajos pero por encima de lo aceptable, lo que sugiere un problema que podría estar en el sistema de distribución o en el propio pozo. En cualquier caso, un solo ensayo no es concluyente y habría que muestrear repetidamente en 24h para alcanzar una conclusión.

#### 5. Conclusiones de los análisis físico-químicos.

De los parámetros reflejados en la tabla 22 se concluye que se trata de aguas duras, de salinidad media o media-alta de bajo contenido en sodio. Todos los valores de COT están por encima de 5, que podría tomarse como referencia, si bien en el RD 140/2003 sobre agua potable no se fija valor alguno. Destaca que los valores de COT más altos son de La Charca y La Alberca; la DBO es próxima, mientras que la DQO es mayor para La Charca. Estos datos son consistentes con que la contaminación por materia orgánica es principalmente antropogénica en La Charca y de origen natural en La Alberca.

[El COT se divide en tres categorías, carbono elemental, carbono inorgánico y carbono orgánico. El carbono elemental incluye carbón, hollín, grafito,... procedentes de combustión de materia orgánica o fuentes geológicas. El carbono inorgánico tiene un origen principalmente geológico y está en forma de carbonato típicamente. Por su parte, el carbono orgánico puede ser de origen natural (procedente de plantas y animales, reciente como hojas, o descompuesto como el humus); o antropogénico, resultado de un vertido (hidrocarburos, VOCs,...).]

La DBO es muy baja en todos los casos, sin embargo, en lo que respecta a aguas subterráneas, valores por encima de 1 ppm son indicativos de contaminación por infiltración freática.

En todos los casos las aguas poseen un potencial de sodificación bajo y de salinización medio, excepto en La Alberca en el que éste es alto.

En lo referente a la dureza, tomando como referencia la escala Merck se trata de aguas semi-duras (Pozo de San Jorge y Charca del Marco) y duras (Arroyo Arropez, Desagüe de Mina Esmeralda y Pozo de La Alberca).

**Tabla 22. Escala de Merck de dureza de agua.**

| <b>mg (CaCO<sub>3</sub>)/ℓ</b> | <b>Clasificación</b> |
|--------------------------------|----------------------|
| <b>0-79</b>                    | Muy blanda           |
| <b>80-149</b>                  | Blanda               |
| <b>150-329</b>                 | Semi-dura            |
| <b>330-549</b>                 | Dura                 |
| <b>&gt; 550</b>                | Muy dura             |

En el análisis de metales y cationes minoritarios se ve una pequeña presencia de hierro en la Charca del Marco ligeramente superior a la admitida en agua potable (0'2mg/ℓ), sin mayor importancia. La presencia de mercurio en el Pozo de San Jorge (0'27 ppb) está por debajo del valor límite para aguas potables (1 ppb) por tanto no es preocupante, pero requeriría un estudio más exhaustivo para confirmar su presencia y determinar su origen.

Respecto al nitrato, sólo el Pozo de La Alberca presenta valores superiores a los permitidos en aguas potables (50 mg/ℓ) pero no es significativo. Los nitritos son significativos en la Charca del Marco e indican contaminación fecal reciente.

En resumen, La Charca del Marco está muy contaminada por materia orgánica (antrópica principalmente) y fecal. El Desagüe de la Mina Esmeralda está contaminado por materia fecal en menor medida. Los resultados del Pozo de San Jorge, con pequeña contaminación, requieren un estudio más exhaustivo para confirmarlos y determinar el origen, si fuere el caso. El Arroyo Arropez y el Pozo de La Alberca presentan indicios de una pequeña contaminación.

#### 7.3.4. Determinación de los focos de contaminación de El Calerizo.

Para determinar las fuentes de contaminación se ha desarrollado una cartografía de los principales colectores de la red de saneamiento de Cáceres que discurren por El Calerizo y se ha contrastado la información con el *Estudio Previo y de Alternativa Hidráulica sobre “Integración de la Ribera del Marco en el Entorno de la Ciudad de Cáceres”*, desarrollado por “ARISTOS, Ingenieros Consultores” en Octubre del 2008.

La red de saneamiento de Cáceres se distribuye por todos los viales de la ciudad, habiéndose desarrollado en este apartado los principales colectores que dirigen las aguas residuales de los distintos barrios que se encuentran localizados sobre El Calerizo.

Dicha red de saneamiento es de tipo unitaria, ya que el colector principal de aguas residuales comparte su capacidad con las aguas pluviales por medio de aliviaderos que vierten directamente en la Ribera, descargando el exceso de caudal en los colectores de aguas residuales cuando se producen precipitaciones que saturan la capacidad de los mismos.

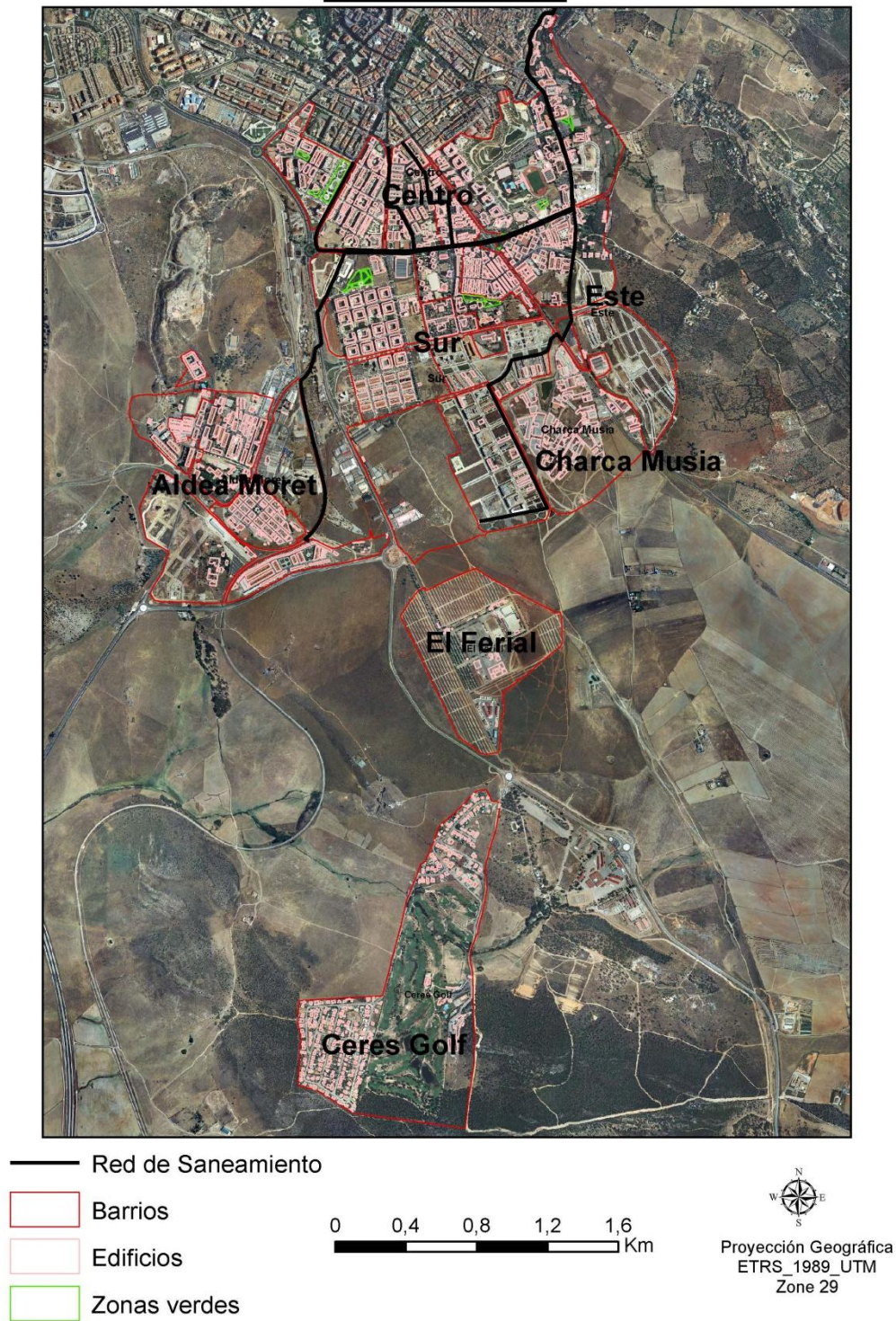
Los principales colectores de aguas residuales son los siguientes:

- **Avenida de la Hispanidad:** existen dos colectores paralelos de aguas residuales que discurren a lo largo de toda la Avenida de la Hispanidad, denominados en este estudio como “colector principal derecho de la Avenida de la Hispanidad” y “colector principal izquierdo de la Avenida de la Hispanidad”. Entre ambos discurre el colector principal de aguas pluviales (de 1800 mm de diámetro) que continúa su trayecto a lo largo de la Ronda de San Francisco.
- **Ronda de San Francisco:** existe un colector principal de aguas residuales (un ovoide de hormigón de 1800 mm de diámetro), que discurre a lo largo de la Ronda de San Francisco paralelamente al colector principal de aguas pluviales y de forma adyacente al cauce de la Ribera hasta llegar a la altura del Puente Nuevo. En este colector se acaban concentrando todas las aguas residuales de la Ciudad de Cáceres, ya que los colectores de la Avenida de la Hispanidad lo hacen a la altura de los Juzgados de Cáceres y el resto de colectores secundarios no nombrados en este estudio lo hacen a la altura del Puente de San Francisco. Dicho colector que finalizan su recorrido en la depuradora central del Marco, localizada en la carretera de Torrejón.



A continuación se describe la red de saneamientos por distritos y barrios que se localizan sobre El Calerizo (figura 57).

## **RED DE SANEAMIENTO DE CÁCERES** **EL CALERIZO**



*Figura 57. Red de Saneamiento de Cáceres de la zona de El Calerizo.*

### *Aldea Moret*

---

Aldea Moret presenta una red de saneamiento (figura 58) que lleva las aguas residuales por un colector que transcurre junto a las vías ferroviarias desde la Cañada hasta el puente que cruza las mismas a la altura de la Avenida de la Constitución, en el Industrial de Aldea Moret. A partir de aquí, el colector continúa por la Avenida de la Constitución hasta la Carretera de Mérida (N-630), por la cual continúa su tramo hasta la Calle de Túnez y se prolonga por la misma hasta conectar con el colector principal derecho de la Avenida de la Hispanidad.

Este colector recoge, por un lado las aguas que determinadas barriadas de Aldea Moret vierten sus aguas directamente a él, y por otro lado, las aguas procedentes de la estación de bombeo recientemente construida en la urbanización de Río Tinto.

Pero no todos los barrios de Aldea Moret tienen canalizadas sus aguas residuales, ya que según una noticia del día 25 de Abril de 2012 del Periódico Hoy la depuradora que se construyó en 2003 para esta barriada no ha llegado a funcionar, por lo que actualmente parte de los vecinos de este distrito vierten las aguas fecales a campo abierto. Para solucionarlo se está llevando a cabo la construcción de un nuevo colector que dirija las aguas residuales hacia la estación de bombeo de la nueva urbanización de Río Tinto, que tiene su conexión con la depuradora central del Marco, localizada en la carretera de Torrejón. Dichas obras consistirán en construir una tubería de 378 metros, que unirá la red de saneamiento desde la calle Juan de García hasta el colector ubicado en el paso inferior de Río Tinto, desde donde ya existe conexión con la estación de bombeo de dicha urbanización.

Las naves industriales localizadas a la derecha de este colector, ubicadas junto a la N-630 no cuentan con red de saneamiento, sino con fosas sépticas y no existe un plan a corto plazo para incluirlas dentro de la red de saneamiento, pero tampoco se encuentran sobre El Calerizo, sino sobre pizarras, por lo que en principio no deberían existir filtraciones en esta zona.



## RED DE SANEAMIENTO DISTRITO ALDEA MORET EL CALERIZO



Figura 58. Red de Saneamiento de Cáceres de la zona de El Calerizo I.

### ***Ceres Golf***

---

Ceres Golf es un barrio de la Ciudad de Cáceres surgido a partir de la construcción de una urbanización privada que cuenta con un campo de golf.

Esta urbanización tiene una red de saneamiento (figura 59) privada, por lo que el Ayuntamiento de Cáceres no tiene competencias para controlar y actuar sobre la misma. Pero presuntamente cuentan con una depuradora que no funciona correctamente por lo que sería posible que las aguas residuales de esta urbanización viertan directamente al Arroyo Santa Ana, cuya cabecera se encuentra sobre el Calerizo de Cáceres y podrían existir filtraciones sobre el mismo en ese primer tramo, ya que aguas más abajo las pizarras afloran en la superficie y su carácter impermeable podría evitar dichas filtraciones.

### ***Ferial de Cáceres***

---

El Ferial de Cáceres no cuenta con una red de saneamiento (figura 59) secundaria que conecte las aguas residuales con la red de colectores principales, sino que en su lugar existe una fosa séptica que recoge las aguas negras cuando se celebran eventos culturales y posteriormente es vaciada con camiones cisternas, por lo que se puede contar con una cierta seguridad de que estas fosas no rebasan su capacidad y por tanto no se producen filtraciones.



## **RED DE SANEAMIENTO** **EL FERAL - CERES GOLF** **EL CALERIZO**

II



*Figura 59. Red de Saneamiento de Cáceres de la zona de El Calerizo II.*

## Sur

---

Casa Plata es un barrio que cuenta con dos fases (figura 60).

La primera de las fases se ha construido recientemente y cuenta con una red de saneamiento secundaria que recorrería la Calle de la Calzada y la Avenida de los Millarios, y en el cruce de esta última con la Calle de la Cueva del Conejar existe un punto que está conectado con el colector principal que transcurre por la Ronda de San Francisco, a la altura de la Urbanización de Vistahermosa.

La segunda fase del barrio de Casa Plata aún no está construida, pero cuando esta zona comience a urbanizarse sus aguas residuales verterían hacia el oeste, a diferencia de la primera fase. Para este momento se prevé conectar esta fase con el colector principal que transcurre desde Aldea Moret hasta la Avenida de la Hispanidad, a la altura de la Estación de Autobuses de Cáceres, descrito anteriormente. Así, se pretende construir un colector desde la rotonda del Ferial hasta el colector de Aldea Moret a la altura de la Avenida de la Constitución. El colector a construir transcurriría en su totalidad por la Carretera de Mérida (N-630) y recogería las aguas residuales de las naves industriales localizadas sobre Casa Plata, las cuales actualmente cuentan con fosas sépticas.



## RED DE SANEAMIENTO CASA PLATA EL CALERIZO

III-A



Figura 60. Red de Saneamiento de Cáceres de la zona de El Calerizo III-A.



Por otro lado, las barriadas de San Antonio (figura 61), Dehesa de los Caballos Sur, El Carneril, Las Trescientas (figura 62) y Espíritu Santo (figura 63) presentan una red de saneamiento que dirige las aguas residuales al colector principal de la margen derecha de la Avenida de la Hispanidad.

### **RED DE SANEAMIENTO SAN ANTONIO** III-B **EL CALERIZO**



*Figura 61. Red de Saneamiento de Cáceres de la zona de El Calerizo III-B.*



**RED DE SANEAMIENTO DEHESA DE LOS CABALLOS SUR - EL CARNERIL - LAS TRESCIENTAS** III-C  
**EL CALERIZO**



Figura 62. Red de Saneamiento de Cáceres de la zona de El Calerizo III-C.



## RED DE SANEAMIENTO ESPÍRITU SANTO III-D EL CALERIZO



*Figura 63. Red de Saneamiento de Cáceres de la zona de El Calerizo III-D.*



Y para completar la zona sur, las barriadas de Maltravieso y Sepei (figura 64) tienen una red de saneamiento que redirige las aguas residuales al colector principal de Ronda de San Francisco.



Figura 64. Red de Saneamiento de Cáceres de la zona de El Calerizo III-E.



Centro



Figura 65. Red de Saneamiento de Cáceres de la zona de El Calerizo IV.

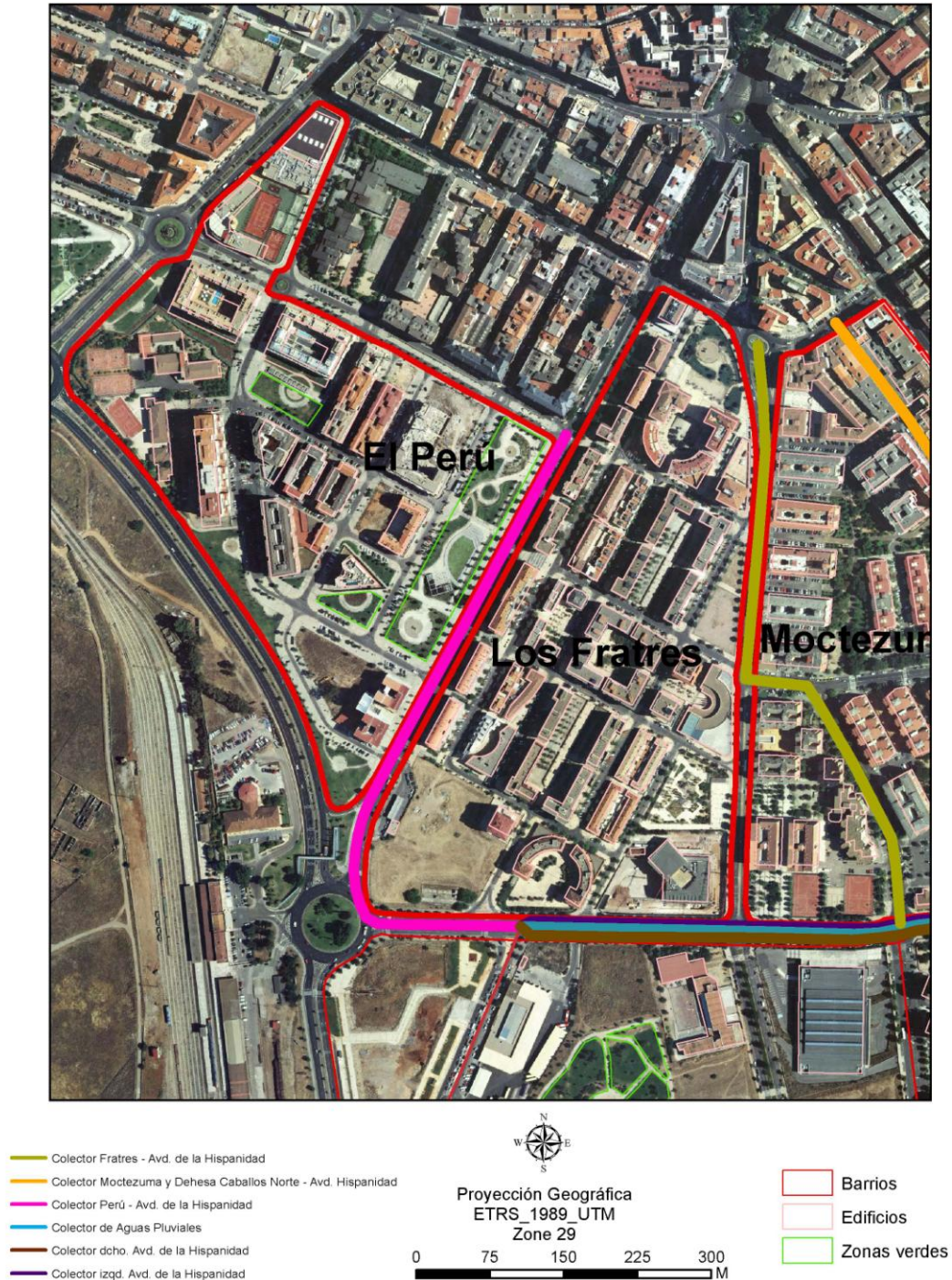


La barriada de El Perú (figura 66) tiene una red de saneamiento que dirige las aguas residuales a través de un colector que transcurre por la Avenida de Alemania, el cual conecta con el colector principal de la margen izquierda de la Avenida de la Hispanidad a la altura de la rotonda de la Estación de Ferrocarril.

Las aguas negras de los Fratres (figura 66) se redirigen por un colector que transcurre por la Avenida de Moctezuma, Calle de Atahualpa y Calle de Caupollicán hasta desembocar en el colector principal de la margen izquierda de la Avenida de la Hispanidad.

**RED DE SANEAMIENTO  
EL PERÚ - LOS FRATRES  
EL CALERIZO**

**IV-A**



*Figura 66. Red de Saneamiento de Cáceres de la zona de El Calerizo IV-A.*

En el punto de conexión entre el colector que controla las aguas residuales de Los Fratres y el colector izquierdo de la Avenida de la Hispanidad existe un aliviadero que en caso de saturación del colector de aguas residuales las aguas residuales se vierten en el colector de aguas pluviales que transcurre por la Avenida de la Hispanidad, mezclando las aguas residuales con las aguas pluviales. Aunque, en teoría, en estos casos la dilución de vertidos presenta valores inferiores a la concentración máxima permitida, teniendo que entrar en acción cuando la proporción mínima de aguas residuales y aguas pluviales sea de 1:5. Esto es debido a la existencia, en ese punto, de una cisterna que controla la dilución de las aguas residuales en las aguas pluviales.

La barriada de Moctezuma y Dehesa de los Caballos Norte (figura 67) presentan una red de saneamiento que transcurre por la Calle de Salamanca, continúa por la Calle del Teide, Calle Atahualpa, Avenida de la Bondad y desemboca en el colector izquierdo de la Avenida de la Hispanidad.



# RED DE SANEAMIENTO MOCTEZUMA- DEHESA DE LOS CABALLOS NORTE EL CALERIZO IV-B



Figura 67. Red de Saneamiento de Cáceres de la zona de El Calerizo IV-B.



Por último, en el Rodeo, la urbanización de El Rodeo (figura 68), las manzanas comprendidas entre la Avenida de Cervantes, Calle de Atahualpa y Avenida de María Auxiliadora, verterían sus aguas residuales en el colector izquierdo de la Avenida de la Hispanidad, y el resto dirigen sus aguas hacia el colector principal de la Ronda de San Francisco.

## **RED DE SANEAMIENTO EL RODEO**

### **EL CALERIZO**

## **IV-C**



**Figura 68. Red de Saneamiento de Cáceres de la zona de El Calerizo IV-C.**

Tras el estudio de la red de saneamiento de la zona centro y tras haber reconocido la zona a pie de campo se ha encontrado un salida de agua que vierte la misma directamente a la Ribera del Marco (foto 41). Esta salida se localiza a la altura de la Residencia San Pedro de Alcántara, en la Ronda de San Francisco.



*Foto 41: Aliviadero del colector de aguas pluviales de la Avenida de la Hispanidad (18/06/12)*

Una vez que se ha estudiado el caso se ha determinado que se trata de un aliviadero del colector de aguas pluviales de la Avenida de la Hispanidad. Como se ha descrito en un capítulo anterior, se debe tratar de varios drenajes en los barrios colindantes a la Avenida de la Hispanidad que desalojen agua procedente de El Calerizo hacia este colector, como el Colegio Público Donoso Cortés (figura 69).



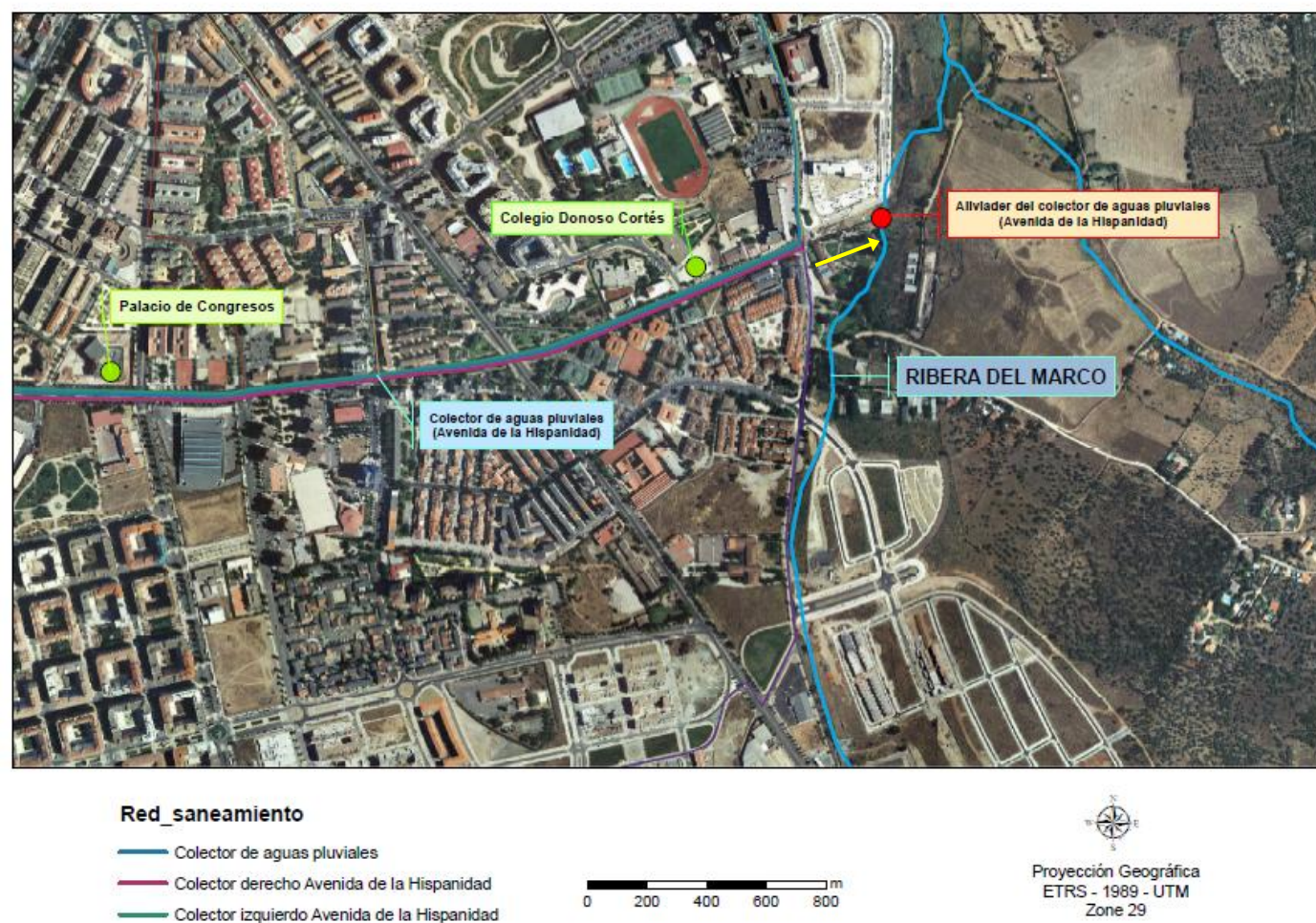


Figura 69: Mapa de la localización de los drenajes que vierten al colector de aguas pluviales de la Avenida de la Hispanidad y que desemboca en la Ribera del Marco.

Por otro lado, se ha descartado que pudiera ser un aliviadero del colector de aguas sucias ya que a simple vista el agua parece bastante limpia (foto 42). No obstante estamos pendientes de los resultados de los análisis microbiológicos y físicos que se tomaron el día 18 de Junio del 2012.



*Foto 42: Cauce de la Ribera del Marco en el punto del aliviadero del colector de aguas pluviales de la Avenida de la Hispanidad (18/06/12)*

### ***Este***

---

El distrito Este está formado por los barrios de Vistahermosa, San Marquino y San Francisco, y en el caso de que estos barrios no presentaran una buena canalización de aguas residuales y existieran vertidos, las aguas de El Calerizo se contaminarían si dichos vertidos se produjeran en Vistahermosa o la mitad sur de San Francisco (figura 70), ya que la mitad norte de éste último y San Marquino no se localizan sobre El Calerizo.



Las barriadas de Vistahermosa, San Marquino y San Francisco presentan una red de saneamiento que dirige las aguas residuales al colector principal de la Ronda de San Francisco.

## **RED DE SANEAMIENTO VISTAHERMOSA V-A** **EL CALERIZO**



*Figura 70. Red de Saneamiento de Cáceres de la zona de El Calerizo V-A.*

### **Charca Musia**

---

La barriada de la Charca Musia está conectada con el colector principal de la Ronda de San Francisco.

Una vez descrita la red de saneamiento de la parte de la Ciudad de Cáceres que discurre por El Calerizo, se presentan las incidencias detectadas en la red de saneamiento de la ciudad de Cáceres (desde aguas arribas hacia aguas abajo) según el *Estudio Previo y de Alternativa Hidráulica sobre “Integración de la Ribera del Marco en el Entorno de la Ciudad de Cáceres”*, desarrollado por “ARISTOS, Ingenieros Consultores” en Octubre del 2008.

1. Vertido de aguas residuales mediante aliviaderos al colector de aguas pluviales de la Avenida de la Hispanidad en caso de saturación de los colectores de aguas residuales que trascurren paralelamente al mismo. Aunque según el Ayuntamiento estos vertidos están controlados mediante una cisterna localizada en el cruce de la Calle Caupollicán con la Avenida de la Hispanidad (a la altura del Pabellón Multiusos).
2. El colector de las aguas residuales de la urbanización de “El Rodeo”, está conectado directamente con el colector de aguas pluviales de la Avenida de la Hispanidad a la altura del Tanatorio San Pedro de Alcántara, contaminando constantemente su caudal.
3. El resultado de los dos puntos anteriores es que por el aliviadero del colector de aguas pluviales de la Avenida de la Hispanidad se vierten directamente a la Ribera las aguas residuales del colector de la urbanización de El Rodeo y los caudales aliviados de los colectores paralelos de aguas residuales de la Avenida de la Hispanidad. Esto es debido a que, por razones desconocidas, en el punto donde conecta el colector de aguas pluviales de la Avenida de la Hispanidad con el de la Ronda de San Francisco existe un aliviadero cuya arqueta se encuentra tapiada, habiendo dos tubos de un diámetro de 110 mm en la base de la tapia por el que el agua que baja por el colector de aguas pluviales de la Avenida de la Hispanidad, que supuestamente lleva agua contaminada por los aliviaderos de los colectores de aguas residuales, vierte directamente al cauce de la Ribera.
4. La urbanización en torno a la Ronda de San Francisco (Vistahermosa) presenta un colector de hormigón de 400 mm de diámetro que discurre paralelo al Ovoide 1800 hasta que se incorpora en el mismo cuando alcanza la cota adecuada. Se ha detectado la incidencia en la rotura de



un pozo de registro a la altura de la Ronda de San Francisco que hace que el caudal del agua residual se incorpore directamente a la Ribera.

### **Focos de contaminación de El Calerizo**

En el trabajo de campo se han detectado numerosos puntos de contaminación sobre la superficie que afecta a El Calerizo, sobretodo puntos sucios donde se vierte basura de manera incontrolada.



*Foto 43. Vertido de basura incontrolado (27/02/12).*





**Foto 44. Vertido de basura incontrolado (27/02/12).**



**Foto 45. Vertido de basura incontrolado en un pozo situado junto al cauce de la Ribera del Marco, a la altura de la barriada San Francisco (12/03/12).**





*Foto 46. Vertido de basura incontrolado 23/02/12).*

Pero este no es el mayor problema, ya que en la escombrera localizada entre el Junquillo y el Perú, no solo se producen vertidos de escombros sino que se ha convertido en un basurero, donde hay una actividad constante de quema de plásticos, neumático y desperdicios por parte de colectivos humanos que se dedican a recolectar chatarra. Dicha actividad contamina el suelo y cuando el agua infiltra a través de este suelo contamina el agua de El Calerizo.



*Foto 47. Escombrera del Junquillo (27/02/12).*



*Foto 48. Actividades antrópicas en la escombrera (27/02/12).*





*Foto 49. Vertido de basura en la escombrera (27/02/12).*



*Foto 50. Residuos en la escombrera (27/02/12).*



*Foto 51. Quema de materiales en la escombrera (27/02/12).*



*Foto 52. Detalle de la quema de materiales en la escombrera (27/02/12).*



Otro punto de contaminación se produce en el barrio La Cañada donde existe una rotura en la red de saneamiento de aguas fecales y se están produciendo vertidos directamente sobre la superficie de El Calerizo.



*Foto 53. Vertido de aguas fecales en las traseras de La Cañada (05/03/12).*



*Foto 54. Vertido de aguas fecales en La Cañada con el desguace al fondo (05/03/12).*

También hay que desatacar la contaminación que se produce en el entorno de las minas de Aldea Moret por la quema de neumáticos, actividad que se vino desarrollando hasta aproximadamente 15 años y de la que se pueden todavía indicios en la actualidad.





**Foto 55.** Restos de la quema de neumáticos en el entorno de la minas de Aldea Moret y Mina Esmeralda (05/03/12).



**Foto 56.** Indicios de la quema de neumáticos en las inmediaciones de las minas de Aldea Moret (05/03/12).





*Foto 57. Detalle de la quema de neumáticos en las inmediaciones de las minas de Aldea Moret (05/03/12).*

Por último nombrar la actividad ilegal que se está llevando a cabo en la Cantera el Pradillo y la Cantera Olletas, donde se están extrayendo áridos (dolomías) sin los permisos correspondientes. Esta actividad supone un deterioro del medio ambiente y las actividades de lavado de los materiales y tratamiento de los mismos pueden estar contaminando El Calerizo.





*Foto 58. Cantera El Pradillo (29/02/12).*



*Figura 59. Cantera de los Hermanos Olleta (29/02/12).*

## **Referencias bibliográficas**

- Almarza Mata, C. (1984): Fichas hídricas normalizadas y otros parámetros hidrometeorológicos. Instituto Nacional de Meteorología, Madrid.
- Chow, W.T., 1964. Handbook of applied hydrology. Mc Graw Hill, New York.
- Dunne, T. & Leopold, L.B. (1978): Water in Environmental Planning. W.H. Freeman and Company, New York.
- Encinas Guzmán (1992). Estudio de las rocas carbonatadas de la provincia de Cáceres y su interés técnico. Tesis Doctoral de la Universidad de Extremadura.
- FAO (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje, 56. FAO, Roma.
- Felícísimo Pérez, A.M., Morán López, R., Sánchez Guzmán, J.M. y Pérez Mayo, D. Elaboración del Atlas Climático de Extremadura mediante un sistema de información geográfica.  
[http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/pdf/Atlas\\_Climatico.pdf](http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/pdf/Atlas_Climatico.pdf)
- Fernando Menaya Nieto-Aliseda (1990). Proyecto Norba Club de Golf. Informe técnico (*no disponible*).
- Gil Montes, J. (1989). Informe Hidrogeológico de la finca Cuarto Roble. Proyecto para la instalación del campo Norba Club de Golf (Cáceres).
- Gil Montes, J. y Lupiani, E. (1989). Efectos geotécnicos derivados de la sobreexplotación de 'El Calerizo' de Cáceres, La sobreexplotación de acuíferos, Almería, 1989, Serv. Publ. IGME, Madrid.
- Gómez Amelia, D. (1985): La penillanura cacereña. Estudio geomorfológico. Universidad de Extremadura, Cáceres.
- IGME (autores: Tena Dávila, M. y Corretge, L.G., 1980). Mapa Geológico de Cáceres, nº 704, Escala 1:50.000, Mapa Geológico de España, Serie MAGNA, Serv. Publ. IGME, Madrid.
- IGME (Instituto Geológico y Minero de España) (1985). Informe sobre la estabilidad del terreno en el área de "El Calerizo" (Cáceres). Ministerio

de Industria y Energía. Secretaria de la Energía y Recursos Minerales, Madrid.

INGEMISA (1989). Proyecto de Investigación Geológica-Geotécnica y de Riesgos en El Calerizo de Cáceres. Ayuntamiento de Cáceres y Junta de Extremadura. Informe técnico del SIGEO, Seguridad Minera y Geotecnia, Junta Extremadura.

Jorquera de Guindos, A. (1992-1994). Programa de vigilancia ambiental en el Club de Golf Norba (Cáceres). Fase I: Estudio Hidrológico del acuífero de El Calerizo; y Fase II, Control piezométrico y análisis de recargas y descargas durante un periodo de 16 meses. Comisión de Urbanismo de Extremadura, Agencia de Medio Ambiente de la Junta de Extremadura, Mérida (*trabajo no disponible*).

Jorquera de Guindos, A. y Gil Montes, J. (1994). Estudio hidrogeológico y estimación de la capacidad de extracción de agua del acuífero de “El Calerizo”, desde las labores mineras abandonadas de Aldea Moret (Cáceres). Informe técnico no publicado.

Martínez Alfaro, P.E., Martínez Santos, P. y Castaño Castaño, S. (2006). Fundamentos de Hidrogeología. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

Martin Borreguero, J. C. F. Jiménez Berrocal y A. P. Flores Alcántara (2008) La cacereña Ribera del Marco. Ed. Ayto. de Cáceres, Cáceres.

Ninyerola M, Pons X y Roure JM. 2005. Atlas Climático Digital de la Península Ibérica. Metodología y aplicaciones en bioclimatología y geobotánica. ISBN 932860-8-7. Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra.

Sánchez Toribio, M.J. (1992): Métodos para el estudio de la evaporación y evapotranspiración. Geoforma Ediciones, Logrono.

Schnabel, S. (1997): Soil Erosion and Runoff Production in a Small Watershed under Silvo-pastoral Landuse (Dehesas) in Extremadura, Spain. Geoforma Ediciones, Logroño.

Schnabel, S. (1998): La precipitación como factor en los procesos hidrológicos y erosivos - análisis de datos de Cáceres capital. *Norba Geografía*, vol. 10: 137-153.

Servicio Geológico de Obras Públicas (1979). Estudio hidrogeológico del Calerizo de Cáceres (*no disponible*).

Shaw, E.M. (1988): Hydrology in Practice. Van Nostrand Reinhold, London.

Thornthwaite, C.W. (1948): An approach towards a rational classification of climate. Geographical Review 38: 55-94.

## **ANEXOS**

### **I. Cartografía con alta resolución en ficheros adjuntos**



