

# ESTUDIO EDAFOLÓGICO E HIDROQUÍMICO DE LAS TIERRAS DE ARCHIDONA (HOJA 1024)



Ana María Cirre Gómez.

Granada 2003.

**UNIVERSIDAD  
DE  
GRANADA**



**DEPARTAMENTO DE EDAFOLOGÍA Y QUÍMICA AGRÍCOLA**

**TESIS DOCTORAL**

***“ESTUDIO EDAFOLÓGICO E HIDROQUÍMICO DE LAS TIERRAS  
DE ARCHIDONA. (HOJA 1024)”***

**PRESENTADA POR: ANA MARIA CIRRE GÓMEZ**

**DIRECTORES: DR. CAYETANO SIERRA RUIZ DE LA FUENTE  
DR. ANTONIO ROCA ROCA  
DR. FRANCISCO JAVIER MARTÍNEZ GARZÓN**

**GRANADA, 2003**



**UNIVERSIDAD DE GRANADA**

**FACULTAD DE FARMACIA**

***"ESTUDIO EDAFOLÓGICO E HIDROQUÍMICO DE LAS TIERRAS DE  
ARCHIDONA. (HOJA 1024)"***

Tesis Doctoral presentada por D<sup>a</sup>. Ana M<sup>a</sup> Cirre Gómez,  
Licenciada en Farmacia, en satisfacción de los requisitos necesarios  
para optar al grado de DOCTORA EN FARMACIA.

Fdo. D<sup>a</sup>. Ana M<sup>a</sup> Cirre Gómez

DIRECTORES DE LA TESIS:

Dr. D. Cayetano Sierra Ruiz de la Fuente  
Profesor Titular de Edafología y Química  
Agrícola de la Universidad de Granada

Dr. D. Antonio Roca Roca  
Profesor Titular de Edafología y Química  
Agrícola de la Universidad de Granada

Dr. D. Francisco Javier Martínez Garzón  
Profesor Titular de Edafología y Química  
Agrícola de la Universidad de Almería

Granada, 2003



CAYETANO SIERRA RUIZ DE LA FUENTE, ANTONIO ROCA ROCA, AMBOS PROFESORES TITULARES DEL DEPARTAMENTO DE EDAFOLOGÍA Y QUÍMICA AGRÍCOLA DE LA UNIVERSIDAD DE GRANADA Y FRANCISCO JAVIER MARTÍNEZ GARZÓN, PROFESOR TITULAR DEL DEPARTAMENTO DE EDAFOLOGÍA Y QUÍMICA AGRÍCOLA DE LA UNIVERSIDAD DE ALMERÍA,

AUTORIZAN a D<sup>a</sup> Ana M<sup>a</sup> Cirre Gómez, Licenciada en Farmacia, para la presentación del trabajo que con el título. “*Estudio Edafológico e Hidroquímico de las tierras de Archidona. (Hoja 1024)*”, ha realizado bajo nuestra dirección como Tesis para optar al grado de Doctora en Farmacia.

Para que conste y a los efectos oportunos, en cumplimiento de la legislación vigente, damos nuestra conformidad para la presentación de la mencionada Tesis en la Facultad de Farmacia de la Universidad de Granada, en Granada a dos mil tres.

Fdo. Dr. D. Cayetano Sierra Ruiz de la Fuente

Fdo. Dr. D. Antonio Roca Roca

Fdo. Dr. D. Francisco Javier Martínez Garzón

Granada, 2003



## *Agradecimientos*

Deseo expresar mi agradecimiento a D. Cayetano Sierra Ruiz de la Fuente, a D. Antonio Roca Roca y a D. Fco. Javier Martínez Garzón, por la colaboración, entusiasmo y dedicación en la elaboración de este trabajo. Extiendo mi agradecimiento a sus familias por su comprensión, ya que en aras de una mayor rapidez en la terminación de esta Tesis, les he privado en más ocasiones de las que me hubiera gustado de la compañía de sus seres queridos.

A D<sup>a</sup>. Inmaculada Saura Vílchez y D. Eduardo Ortega Bernaldo de Quirós, que dieron sus opiniones sobre los puntos que consideraron más importantes y cuya ayuda en laboratorio ha sido fundamental.

Hago extensivo este agradecimiento a D. Daniel Martín Ramos, profesor del Departamento de Mineralogía y Petrología de la Universidad de Granada, que tan amablemente y de forma desinteresada ha cedido sus conocimientos en la elaboración del capítulo de análisis de rayos-X.

A D. José Aguilar Ruiz y a D. Carlos Dorronsoro Fernández, con los que me siento deudora por su inestimable ayuda en la redacción del capítulo de micromorfología.

A D. José Luis Guzmán del Pino y a M<sup>a</sup> Dolores Llamas del Castillo por su colaboración en las labores previas de de investigación bibliográfica, y a todas aquellas personas que de un modo u otro han contribuido en la realización de este trabajo.

No quiero olvidar a mis amigos: Manolo, José Francisco, Esteban y Jesús, que tan pacientemente y con tan buen humor, se han brindado a resolver mis dudas y cuya ayuda siempre he obtenido cuando así se lo he solicitado.

Por último, me gustaría que este trabajo sirviera como representación del esfuerzo conjunto, de los que amamos la investigación y la docencia, y como testimonio de cariño hacia todas las personas integrantes de este Departamento.



*Dedico este trabajo a mi familia:  
A mis padres, que me han apoyado y animado siempre en el logro de este y de otros objetivos. A Jose, por su cariño, paciencia y estímulo permanentes. A mi hijo Álvaro, por ser mi mayor alegría.*



**ÍNDICE**

<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>I.1. OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
<b>I.2. ANTECEDENTES.....</b>	<b>4</b>
<b>I.3. ASPECTOS HISTÓRICOS.....</b>	<b>6</b>
<b>I.4. ASPECTOS GEOGRÁFICOS.....</b>	<b>8</b>
<b>I.4.1. Situación y accesos.....</b>	<b>8</b>
<b>I.4.2. Geografía humana.....</b>	<b>10</b>
<b>I.4.3. Economía.....</b>	<b>10</b>
<b>II. MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>11</b>
<b>II.1. ESTUDIO EDAFICO.....</b>	<b>13</b>
<b>II.1.1. Labor de gabinete.....</b>	<b>13</b>
<b>II.1.2. Labor de campo.....</b>	<b>15</b>
<b>II.1.3. Laboratorio.....</b>	<b>15</b>
<b>II.2. ESTUDIO HIDROGEOQUÍMICO.....</b>	<b>21</b>
<b>II.2.1. Labor de gabinete.....</b>	<b>21</b>
<b>II.2.2. Labor de campo.Toma de muestras.....</b>	<b>25</b>
<b>II.2.3. Laboratorio.....</b>	<b>26</b>
<b>III. FACTORES FORMADORES.....</b>	<b>29</b>
<b>III.1. ANALISIS CLIMÁTICO.....</b>	<b>31</b>
<b>III.1.1. Balance hídrico.....</b>	<b>34</b>
<b>III.1.1.1. Precipitaciones.....</b>	<b>34</b>
<b>III.1.1.2. Temperaturas.....</b>	<b>39</b>
<b>III.1.1.3. Ficha climática.....</b>	<b>43</b>
<b>III.2. GEOMORFOLOGÍA.....</b>	<b>49</b>
<b>III.2.1. Unidades morfológicas macroestructurales.....</b>	<b>50</b>
<b>III.2.1.a. Estratigrafía y litología.....</b>	<b>50</b>
<b>III.2.1.b. Tectónica.....</b>	<b>57</b>
<b>III.2.2. Unidades morfológicas estructurales.....</b>	<b>58</b>
<b>III.2.2.a. Morfogénesis relacionada con el Trías de Antequera.....</b>	<b>58</b>
<b>III.2.2.b. Morfogénesis relacionada con el complejo de Alta Cadena de Sierra Gorda de Loja.....</b>	<b>60</b>
<b>III.2.2.c. Individualizaciones de las depresiones y de las vegas.....</b>	<b>61</b>
<b>III.2.3. Relieve actual y paisaje.....</b>	<b>62</b>
<b>III.2.3.a. Formaciones kársticas.....</b>	<b>63</b>
<b>III.2.3.b. Depresiones.....</b>	<b>64</b>
<b>III.2.4. Redes de drenaje.....</b>	<b>67</b>
<b>III.2.5. Pendientes.....</b>	<b>70</b>

<b>III.3.VEGETACIÓN.</b> .....	<b>74</b>
<b>III.4. EDAFOLOGÍA.</b> .....	<b>78</b>
<b>IV.PARTE EXPERIMENTAL</b> .....	<b>81</b>
<b>IV.1. ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDROQUÍMICA.</b> .....	<b>83</b>
<b>IV.I.1.CONSIDERACIONES GENERALES.</b> .....	<b>83</b>
<b>IV.I.2. PROCEDIMIENTOS PARA EVALUAR             LA CALIDAD DEL AGUA.</b> .....	<b>93</b>
<b>IV.I.3. ANALISIS HIDROQUÍMICO Y CLASIFICACIÓN             DE LAS AGUAS.</b> .....	<b>106</b>
<b>IV.I.4. RESUMEN.</b> .....	<b>200</b>
<b>IV.2.EDAFOLOGÍA.</b> .....	<b>203</b>
<b>IV.2.1. PRINCIPIOS BÁSICOS DEL SISTEMA BRSM.</b> .....	<b>203</b>
<b>IV.2.2. UNIDADES MORFOLOGICAS: TAXONOMÍA             Y ANALÍTICA.</b> .....	<b>204</b>
<b>IV.2.3. ASPECTOS GENÉTICOS.</b> .....	<b>204</b>
<b>V.CONCLUSIONES.</b> .....	<b>237</b>
<b>VI.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.</b> .....	<b>241</b>
<b>ANEXO I. PERFILES.</b> .....	<b>265</b>
<b>ANEXO II. UNIDADES CARTOGRÁFICAS.</b> .....	<b>311</b>

## ***I. INTRODUCCIÓN***



## **I. INTRODUCCIÓN.**

### **I. 1.OBJETIVOS.**

La zona experimental queda enclavada dentro de los espacios naturales de Andalucía (AMA, 1991) y por tanto es merecedora de estudios que favorezcan su preservación, uso sostenido y adecuado.

El objetivo del trabajo es doble:

a) Detectar los cambios de facies hídricas al discurrir las aguas a través de los sedimentos del Trías y Calizas jurásicas, analizando la calidad de las mismas y su incidencia sobre los suelos en función de posibles usos. Para ello se estudian las aguas utilizadas en la actualidad para riego y uso humano: lagunas y sus desagües, fuentes, acuíferos y fluviales; en cada caso es preciso datar previamente las surgencias más significativas y señalar los puntos de muestreo en ríos y arroyos, dentro del área de la Hoja de Archidona, comparando el posible uso con las características físico-químicas de las mismas, en virtud a las necesidades hídricas de cada sector.

b) Los estudios Geológicos sobre materiales asociados al Trías y Subbético Medio (Central y Meridional) son muy numerosos, al contrario de lo que sucede con los edafológicos, de ahí que hagamos un reconocimiento de los suelos desarrollados sobre distintos materiales, que se condensará en el levantamiento del mapa temático correspondiente. Este mapa será la base para delimitar unidades cartográficas de paisaje y uso, facultando una lógica ordenación del territorio, estableciendo la capacidad agrícola e hidrológica y defensa de los ecosistemas.

En el estudio edáfico se describen y muestrean perfiles centrales y epipedones, que en cierta medida, se ven influenciados por las aguas utilizadas en forma de riego, haciendo especial hincapié en la incidencia sobre el complejo de cambio, degradación y salinidad,

valorando la dinámica de los suelos del área y los procesos de alteración que se reconocen.

## **I.2. ANTECEDENTES.**

Los materiales emergentes en la superficie de la Tierra han sido estudiados con diferente intensidad y con distintos fines, marcados por causas eminentemente científicas y frecuentemente por evidentes inclinaciones económicas de tipo industrial, ingenieril o agrícola.

El repaso de los principales antecedentes se inicia con Dokuchaev (1883), que propuso el término suelo como calificativo científico, basado en el reconocimiento de ser un “cuerpo independiente, natural y en evolución, bajo el influjo de los factores formadores”, destacando el papel fundamental de la vegetación.

Glinka (1927) considera también al suelo como un ente natural y lo relaciona en su evolución con la geología superficial, diciendo que está en proceso de alteración y por ello exhibe aspectos zonales, relacionados con el clima, del que dice es el verdadero motor de meteorización.

Más recientemente Jenny (1941) analiza la acción de los factores formadores, considerándolos como variables independientes dentro del proceso general, de tal manera que la acción específica de cada uno de ellos marca matices concretos dentro del proceso zonal, manifestándose en el perfil con cambios morfológicos o en la composición, de intensidad variable para ambos procesos.

Estos cambios deben ponerse de manifiesto en el análisis y descripción del perfil, como en su día reflejaron Marbut (1935), Cline (1961), Brever (1964), etc. Este último, acuñó el término edafografía para la descripción sistemática de suelos, cimentada en observaciones de campo y datos obtenidos sobre tamaño, forma, disposición y distribución de los componentes del suelo en el perfil.

La gran dispersión edáfica que supone el hecho de matizar la acción específica de cada factor, dentro del esquema general y acumulativo de los cinco factores formadores, llevó a Soil Survey Staff (1960) a definir el término PEDIÓN como nivel de abstracción superior, correspondiente al menor volumen que engloba la casuística general edáfica y, como señala Buol et al. (1990), cada punto puede considerarse como un suelo individual que por yuxtaposición configurarían polipediones como especies de interés cartográfico. Los estudios edafológicos actuales avanzan en el camino de la especialización (materia orgánica, física del suelo, micromorfología, etc.) o de forma más práctica y general, derivan por derroteros menos pragmáticos como son evaluación y capacidad de uso de la tierra, FAO (1990), Martínez (1991), Zinck (1996), Porta et al. (1999) o lucha contra la desertización y degradación de los suelos, Kirkby et al. (1984), Quirantes (1991), Del Moral (2000) o en un sentido más actual, como factor asociado al paisaje, Socorro et al. (1992), Aguilar et al. (1995), y Martínez et al. (1990).

Los estudios edafológicos en el ámbito del Trías Germano-Andaluz son escasos y fundamentalmente cartográficos, destacando la descripción detallada de perfiles hecha por Mesa (1975) o más recientemente la cartografía temática de Antequera (1990), Loja (1991) y Colmenar (1991).

En el ámbito geológico del entorno a Archidona (Málaga), destacan los estudios sobre materiales del Trías de Antequera de Peyre, (1974), que Cruz Sanjulián (1974) denomina Trías de Antequera-Osuna, constituyendo un karst de yesos, con cuevas y salpicado de dolinas o uvalas, distribuidas irregularmente por toda la geografía, llenas temporalmente de agua, durante los períodos de lluvia (Laguna de Caja y del Viso y otras de menos entidad), o permanentemente (Laguna Grande y Laguna Chica).

Finalmente hay que reseñar otros trabajos interesantes en el ámbito del Trías de Antequera: Vera (1966 y 1998), González Donoso y Vera (1972), Peyre (1974), Cruz Sanjulián (1974), Carrasco (1978), Durán et al. (1983 y 1985), Molina Muñoz (1982), Benavente et al. (1985), Almécija (1997), etc.

Los antecedentes geomorfológicos marcan un conjunto de áreas yuxtapuestas, con estructuras circulares y de origen diapírico (Sabater 1973, IGME 1980, Pineda 1991), relacionadas con procesos kársticos y la propia plasticidad de los materiales triásicos, responsables a su vez del entramado de dolinas que coronan la formación. Durán et al. (1986) describen un total aproximado de cinco dolinas por km<sup>2</sup> y comprueban un alineamiento próximo a N 60° E.

Según Pezzi (1977) hay tres tipos de dolinas, unas de hundimiento, las más numerosas y tienen forma de embudo, otras de absorción y fondo plano que recogen el agua aportada por arroyos y, finalmente, dolinas o uvalas en artesa.

Referente a la hidrología e hidroquímica son interesantes los trabajos relacionados con el régimen temporal y permanente de las lagunas, que ponen de manifiesto ciertos cambios de facies hidroquímicas al discurrir a través de los materiales triásicos y al rellenar los acuíferos de la vega de Archidona o las zonas aluviales de Villanueva del Trabuco (Durán, 1983; Almécija, 1997).

Benavente et al. (1984) describen la evolución hidroquímica del río Guadalhorce y en otro trabajo posterior (1992) hacen un reconocimiento hidroquímico más generalizado.

También cabe destacar la experiencia de Carrasco (1978) y muy especialmente la de Almécija (1997), que al hablar de Laguna Grande, de facies sulfatada cálcica, señala un incremento de la relación molar  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$  y  $Cl^-/SO_4^{2-}$  en los meses de verano. En referencia a Laguna Chica dice que las aguas son sulfato-sódico-magnésicas. En ambos casos detecta escasa salinidad respecto a otras lagunas próximas (Dulce, Camuñas, Ratos, Salada, Fuente Piedra, etc.).

### **I.3. ASPECTOS HISTÓRICOS.**

El único núcleo de población importante, dentro del área de estudio, corresponde a Archidona. Los orígenes de esta ciudad de Archidona, antigua Arcediano, podrían estar

en la Escua fenicia; otros autores coinciden en su raíz romana, no así en cuanto al nombre que podría ser Esteleduna, derivado del íbero y vendría a significar "molino de aceite", también Vesci o Faventia, sin profundos fundamentos, y finalmente Arx-Domina.

En tiempos árabes fue conocida como Medina-Arxiduna de donde deriva su nombre actual. Fue conquistada en 1431 para el Rey de Castilla por el Gran Maestre de Calatrava Don Pedro Girón, pretendiente de la princesa Isabel, por lo que los Reyes Católicos concedieron a la ciudad grandes privilegios.

La antigua ciudad de Archidona, o villa Alta de Archidona, se encuentra dentro de los límites de la fortaleza y defensa que aún se conservan en la cima de la Sierra Virgen de Gracia, en cuya cúspide se halla el castillo, antigua fortaleza mora. Consta en varios escritos que en la Villa Alta de Archidona, en el año 1521, el conde de Osuna concedió varias mercedes a los que allí moraban y según los libros del Ayuntamiento, en aquel tiempo, ya se elegían alcaides para la Villa Alta.

Al quedarse insuficiente el recinto, la población fue trasladándose hasta la Villa Baja, admitiéndose durante un tiempo la existencia de dos poblaciones con el mismo nombre de Archidona: una intramuros y otra que con el paso de los años sería la Archidona actual.

La ciudad fue declarada Conjunto Histórico Artístico y entre sus monumentos destacan el castillo púnico-árabe, convertido en santuario de la Santísima Virgen de Gracia, patrona de Archidona; la singular plaza Ochavada del s. XVIII, toma el nombre por sus ocho lados irregulares, de fachadas blancas, con balcones y puertas en arcos de ladrillo rojo; también son de interés los conventos de Santo Domingo y el de Jesús y María, ambos del s. XVI.

#### **I.4. ASPECTOS GEOGRÁFICOS.**

Para abordar el presente tema de investigación se hace necesario realizar una correcta ubicación de la zona objeto de estudio, tanto en el ámbito geográfico como en el humano, especificando asentamientos, vías de comunicación y economía.

##### **I.4.1. Situación y accesos.**

La zona objeto de estudio se localiza en la parte centro-meridional de Andalucía, abarcando mayoritariamente áreas de las provincias de Málaga y en menor medida la zona oeste de la provincia de Granada (fig. I.1). Queda comprendida en la Hoja (1024) de Archidona, del mapa topográfico de España a escala 1:50.000.

La principal vía de comunicación es la autovía A-92, que cruza la Hoja de NE a NO, coincidente en algunos tramos con el antiguo trazado de la nacional 334. Se conserva un único tramo de la N-334, no coincidente con la A-92, que permite el acceso a la localidad de Archidona por el sur.

Atraviesa también la zona la N-321, a partir de la cual se puede llegar a Villanueva del Trabuco, tomando el desvío que encontramos en el km-512; por la salida del km-502 se llega a Fuente Camacho. El acceso a Casillas Vacas se realiza desde Villanueva del Trabuco por una carretera comarcal en buen estado.

En general toda la zona está bien comunicada por una red de carreteras comarcales y caminos en buen estado de conservación. Solamente hay problemas para acceder a puntos interiores de la zona de los Hoyos, ya que se trata de caminos secundarios que atraviesan fincas privadas y han desaparecido muchas de ellas por las prácticas agrícolas o se impide el acceso con cadenas.

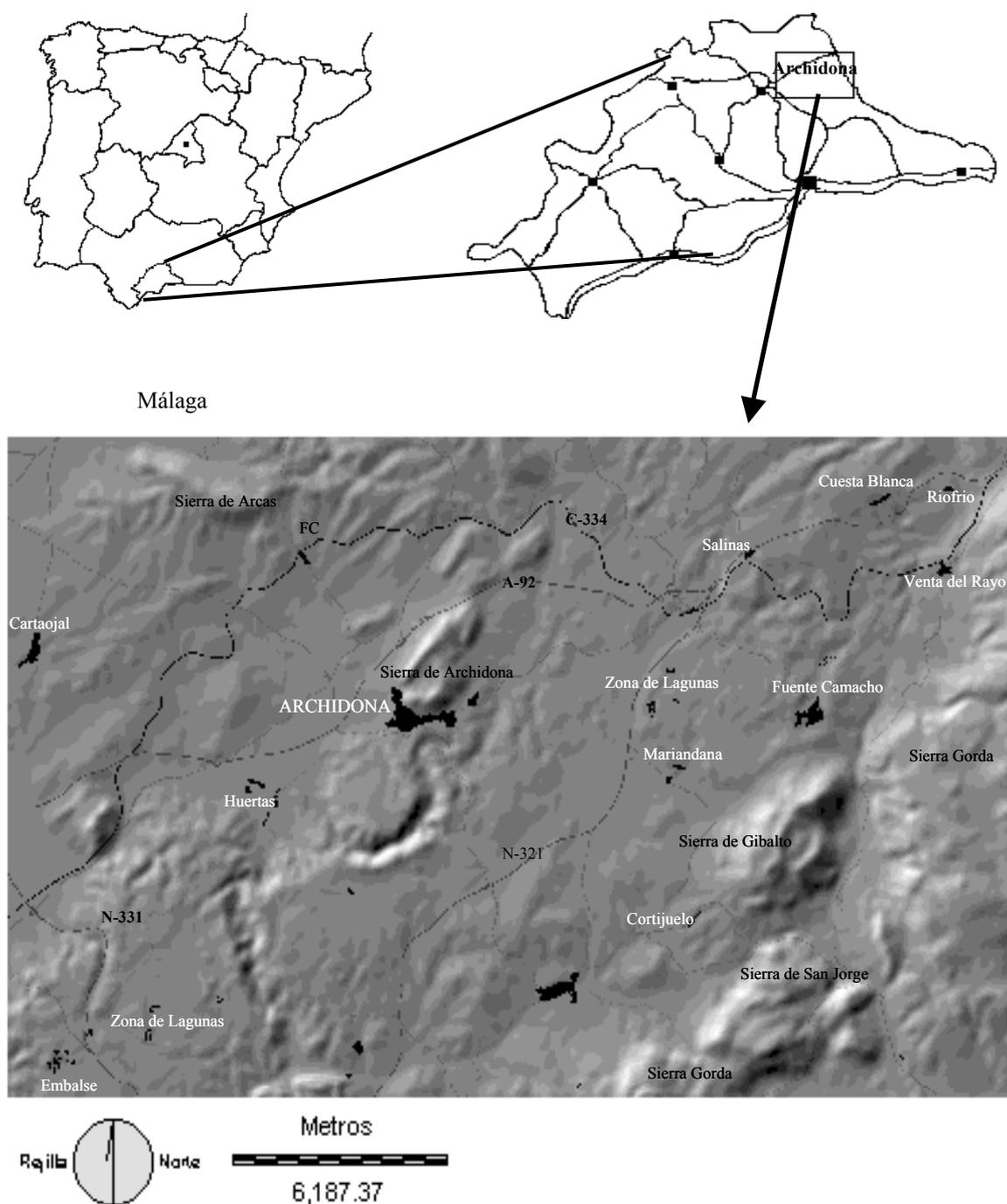


Fig nº I.1. Localización del área de estudio, núcleos de población y accesos.

#### **I.4.2. Geografía humana.**

Los principales núcleos de población son: Archidona, Villanueva del Trabuco, Cartaojal, Fuente Camacho, y alrededores de Villanueva del Rosario. A parte de los núcleos citados, la zona está jalonada por cortijos que en algunos puntos se encuentran agrupados conformando caseríos: Fuente Fresno, Mariandana, Casillas Vacas o Las Mozas.

#### **I.4.3. Economía.**

La mayor parte de la comarca de Archidona tiene una clara vocación agrícola, aspecto que alcanza su máximo exponente en las extensas áreas regables próximas al río Guadalhorce. El olivar y los cereales son los cultivos fundamentales y en menor escala hay vides y cultivos hortícolas. La estructura de la propiedad agraria es muy dispersa, predominando pequeñas explotaciones.

El agua para riego procede mayoritariamente de pozos y sondeos, siendo el nivel de mecanización grande. En las zonas altas el abastecimiento proviene de los acuíferos y es insuficiente, dada la elevada demanda de agua, el escaso potencial y la baja calidad de los acuíferos.

Por todo esto no es de extrañar que en la comarca de Archidona apenas existan ecosistemas en estado natural, reduciéndose estos sectores a los afloramientos carbonatados jurásicos que constituyen las sierras de Archidona y Loja o el sector de Los Hoyos.

La economía se apoya en las industrias yeseras y de áridos para la construcción. Se practica la pesca en el río Guadalhorce y existe caza menor.

## ***II. MATERIAL Y MÉTODOS***



## **II. MATERIAL Y MÉTODOS.**

El presente trabajo de investigación consta de dos partes claramente diferenciadas. Una centrada en el estudio edáfico de la zona (génesis y cartografía), y otra donde se analizan y definen características puntuales del agua utilizada en las diferentes zonas.

La parte experimental se fundamenta en métodos de campo, gabinete y laboratorio, que a continuación se exponen.

### **II.1. ESTUDIO EDÁFICO.**

#### **II.1.1. Labor de gabinete.**

Los datos topográficos se obtienen a partir del mapa del Servicio Geográfico del Ejército, Hoja 1024 de Archidona. El análisis geológico se basa en el mapa del ITGE (1990). El estudio botánico se apoyó inicialmente en el mapa de cultivos y aprovechamientos de Archidona (1978), modificado posteriormente con observaciones “in situ” y mediante comprobación estereoscópica sobre fotografía aérea escala 1:18.000, del CEFTA, mediante estereoscopio de espejos mld ST-4. Así mismo la cartografía edafológica y el mapa de redes de drenaje tomando como base a la fotografía aérea y posterior comprobación de campo.

La elaboración de los mapas monográficos, se ha realizado con el Sistema de Información Geográfica (SIG) IDRISI para Window, complementado con los software COREL 10 y Microsoft Power Point 2000.

El análisis de la información obtenida en el campo y su correlación con aspectos observados en la fotografía aérea, fueron la base sobre la que se desarrollaron las cartografías temáticas principales.

A partir del mapa topográfico 1:50.000 de Archidona, se obtuvieron las curvas de nivel que permitieron elaborar el modelo digital del terreno. Para ello fue necesario digitalizar las mencionadas curvas, estableciendo las alturas correspondientes. Después se creó la base de datos cota-color, que permitió asignar los valores de campo a la imagen.

El módulo INTERCON del SIG IDRISI realizó la interpolación espacial según las direcciones vertical, horizontal y diagonal, calculando la altitud y la pendiente en cada caso. El modelo así generado presenta un aspecto anguloso, por lo que procedió a su georreferenciación, contracción y filtrado. La georreferenciación se realiza con diez puntos, obteniendo un modelo con 4.702 columnas y 2.934 filas, que posteriormente se contraen a 928 x 587, facilitando su manejo informático; el filtrado se realiza con filtros de media, y plantilla de 5 x 5 píxeles. El resultado de todo este proceso es la obtención de un modelo base conformado, que ocupa un total de 544.736 celdillas.

Según Felicísimo (1994), al tratarse de un MDT raster no está afectado por errores posicionales (ejes X o Y); por ello, sólo calculamos el error cuadrático medio (RMS) que se comete en el eje Z o de altitud (errores atributivos), al comparar los obtenidos con los correspondientes a los puntos geodésicos del mapa (13 en total) y los tomados en campo (15) bien distribuidos sobre el MDT y fotoidentificables. Por tanto, el RMS es una medida de la variabilidad de las mediciones en relación a sus valores reales y es directamente comparable al concepto de desviación típica.

Calculamos el RMS del MDT elaborado por nosotros, obteniendo un valor de 20,47 m. Comprobamos a continuación la permisibilidad del RMS obtenido o precisión estándar, basada en la escala del mapa de origen.

De acuerdo con la revisión de 1947 sobre Precisión Estándar del Mapa Nacional de USA, los mapas no podrán tener más del 10% de los puntos de verificación con un error mayor a 1/30 pulgadas a escala igual o menor de 1:20.000. Así pues, el RMS permisible para estas escalas debe ser inferior a 25,8m (manual de IDRISI), circunstancia que se cumple en nuestro caso.

Partiendo de los puntos georreferenciados utilizados en el modelo digital del terreno se levantan los mapas temáticos que a continuación se citan: litológico, vegetación, redes de drenaje y pendientes, suelos y paisajes. El trazado de la red de drenaje se ha realizado de forma manual, apoyándonos en el mapa topográfico y la fotografía aérea, procediendo a continuación a la digitalización y tratamiento con el programa IDRISIS. El mapa de vegetación se ha construido tomando como elemento de referencia la fotografía aérea (1995), y comprobaciones de campo, para posteriormente aplicar el tratamiento informático ya comentado.

### **II.1.2.- Labor de campo.**

La toma de muestras se hizo siguiendo el método de Bridges y Davinson (1982), tipo estratificado al azar. Puntual y estratégicamente se abrieron calicatas, de forma que en ellas se inscriben las tipologías dominantes. Para la descripción morfológica de los perfiles se sigue el método de FAO (1997 y 1998) y para la definición del color utilizamos la Soil Charts Munsell (1958).

### **II.1.3. - Laboratorio.**

Las muestras de suelo fueron desecadas al aire, hasta humedad ambiental y sobre superficie no absorbente, con desmenuzamiento de los agregados mediante rodillo de madera y tamizado con malla de 2 mm; posterior molienda, para análisis específicos, de parte de la tierra fina (0.05 mg), con molino de ágata tipo Retsch. A continuación se llevaron a cabo los siguientes análisis:

#### **II.1.3.1. Análisis granulométrico.**

Después de destruir la materia orgánica con agua oxigenada y calentamiento intermitente, se realizó la dispersión en ultrasonidos Labsonic 1.510, añadiendo como agente dispersante hexametafosfato sódico.

Las fracciones arenosas se separaron por tamización en húmedo, mediante juego de tamices en cascada.

Las fracciones finas (arcilla y limo) se aislaron por sedimentación y determinaron con la técnica de la pipeta de Robinson (Soil Conservation Service, 1972).

#### **II.1.3.2. Retención de agua a 33 y 1500 Kpa.**

Esta medida se llevó a cabo sobre tierra fina empleando la membrana de Richards (1947).

#### **II.1.3.3. Densidad aparente.**

Para el cálculo de la densidad aparente utilizamos la ecuación de regresión múltiple, obtenida de Santos (1979):

$$D.A. = 1,5456 + 0,0015 (\% \text{ arena}) - 0,0022 (\% \text{ arcilla}) - 0,1219 (\% \text{ carbono orgánico})$$

#### **II.1.3.4. Cálculo de agua útil.**

Se calcula a partir de las retenciones a 33 y 1500 Kpa, densidad aparente y profundidad de los horizontes en cuestión, sumando los valores hasta donde llegan las raíces. Para ello se emplea la fórmula de Henin et al. (1972).

$$Au = (pF 33 \text{ atm.} - pF 1500 \text{ atm.}) \cdot D.A. \cdot \text{prof. (dm)}$$

#### **II.1.3.5. Determinación del pH.**

Se realizó en una suspensión de tierra fina con agua (1:1) y se midió en pHmetro Crison Digilab S-17 con electrodo de vidrio.

#### **II.1.3.6. Carbonatos.**

La determinación de carbonatos se llevó a cabo por volumetría de gases. (Barahona et al.,1984)

#### **II.1.3.7. Carbono Orgánico.**

Se oxidó la materia orgánica con dicromato potásico en medio ácido, valorándose el exceso con sulfato ferroso amónico, según método de Tyurin (1951).

#### **II.1.3.8. Nitrógeno total. (orgánico + nitrato)**

Mineralización del nitrógeno en caliente con ácido sulfúrico, usando como catalizador solución sulfúrica de selenio y sulfato potásico para aumentar la temperatura de ebullición. La valoración se realizó en un aparato de destilación Bouat Micro Kjeldahl, con sulfúrico diluido. Bouat, et al.(1965).

#### **II.1.3.9. Capacidad de cambio. Bases y aniones de cambio.**

Se determinaron sobre la misma muestra y de forma sucesiva, con los siguientes pasos:

- Lixiviación del suelo con acetato amónico (1N y pH=7) en columna y utilizando como obturador lana de vidrio.
  
- Lavado con alcohol y saturación del complejo de cambio con sodio por lixiviación con acetato sódico (1N y pH=8.2).
  
- Lavado con alcohol y desplazamiento del sodio del complejo de cambio con acetato amónico (1N y pH= 7). La capacidad de cambio se determinó con la valoración de sodio por fotometría de llama. Richard, (1954).

- En los lixiviados se determinaron las bases y los aniones de cambio. Sodio y potasio por fotometría de llama, en fotómetro Meteor-Nak II, mientras que calcio y magnesio se determinaron por absorción atómica, en espectrofotómetro Perkin-Elmer 305 B; Soil Conservation Service USDA, (1972). El sulfato se midió por turbimetría, los cloruros por argentometría y los bicarbonatos mediante valoración con ácido sulfúrico diluido según la metodología de aguas potables. (BOE 20 del 1 de 1982 y R.D. 1138/90, de 14 de septiembre)

#### **II.1.3.10. Total de óxidos de hierro, manganeso, aluminio y formas amorfas.**

El total de óxidos de hierro libre ( $Fe_{cd}$ ), manganeso y aluminios ( $Mn_{cd}$ ;  $Al_{cd}$ ) se extraen con citrato y ditionito sódicos (Holmgren, 1967) y las formas amorfas ( $Fe_{ox}$ ,  $Mn_{ox}$  y  $Al_{ox}$ ) con oxalato amónico y oxálico (Schwertmann y Taylor, 1989). A continuación, en los extractos se miden por espectrofotometría de absorción atómica en un equipo PERKIN-ELMER 305-B. Los resultados se expresan en tanto por ciento.

#### **II.1.3.11 Potasio asimilable.**

Se extrae con solución de acetato amónico (1 N pH=7) y se valora por fotometría de llama. (Métodos Oficiales de Análisis del Ministerio de Agricultura, 1971)

#### **II.1.3.12. Análisis elemental de los porcentajes totales de sílice, hierro, manganeso y aluminio.**

Se mide mediante fluorescencia de rayos-X sobre muestra perlada con tetraborato de litio y yoduro de litio en proporción 1:10 fundida en una perladora PHILIPS PERL'X<sub>2</sub> en crisol de platino. El equipo utilizado consta de un Espectómetro Fluorescencia de Rayos-X PHILIPS PW-1404.

#### **II.1.3.13. Fósforo asimilable.**

Se halla teniendo en cuenta la naturaleza calcárea de las muestras, tras extracción con una solución de bicarbonato sódico, Olsen et al. (1965). Se procedió a la valoración del complejo fosfomolibdico formado, con espectrofotómetro Sequoia-Turner 390 y longitud de onda de 820 nm.

#### **II.1.3.14. Conductividad del extracto de saturación.**

La pasta de suelo saturado se preparó siguiendo las indicaciones de Allison (1973). La conductividad de los extractos se midió con el conductímetro “Solubridge” Beckman, provisto de célula de conductividad G-05\* 2.

#### **II.1.3.15. Análisis realizado en la fase líquida del extracto de saturación.**

Se analizan los siguientes cationes y aniones del extracto de saturación: sodio, potasio, calcio, magnesio, sulfato, bicarbonatos y cloruros. Calcio y magnesio se determinaron por espectrometría de absorción atómica; sodio y potasio se cuantificaron por fometría de llama, los cloruros con nitrato de plata, los sulfatos por turbidimetría y el bicarbonato mediante valoración con ácido sulfúrico diluido según los métodos oficiales para análisis de aguas potables. (BOE 20 del 1 de 1982 y R.D. 1138/90, de 14 de septiembre)

#### **II.1.3.16. Índice de enrojecimiento.**

Utilizamos la expresión de Hurst (1977):  $R_r = (\text{Hue} \times \text{Chroma} / \text{Value})$ , donde el matiz toma los siguientes valores 5YR=5 ; 2.5YR=7.5; 10R.

#### **II.1.3.17. Mineralogía de la fracción arcilla.**

El estudio de la fracción de arcilla se ha llevado a cabo mediante difracción de rayos X. La preparación de las muestras implicó la separación de la fracción arcilla tal como se

describe en el apartado de determinación de textura; una vez floculadas y lavado el exceso de magnesio, se depositó sobre portaobjetos de vidrio dispuestos sobre una superficie plana, con objeto de que las láminas de arcilla se situaran adecuadamente sobre su superficie mayor, en agregados orientados, solvatados con etilenglicol (Brunton, 1955), con dimetilsulfóxido (González et al., 1968) y tratamiento térmico a 550 °C (Martin Vivaldi, et al. 1961). El aparato utilizado es un Philips PW -1710 con rendija de ventana automática. Los poderes reflectantes empleados para el cálculo semicuantitativo son los de Schultz, (1969) y Barahona, (1974).

Los resultados fueron interpretados mediante el programa informático realizado por Martín Ramos (1990; 2002), del Departamento de Mineralogía y Petrología de la Universidad de Granada.

En los gráficos adjuntos a cada uno de los perfiles estudiados, se dan los resultados de la estimación semicuantitativa. A continuación se presentan los poderes reflectantes, utilizados para la cuantificación de las distintas fases minerales.

Mineral	Illita	Caolinita	Clorita	Esmectita
Poder reflectante	0.39	0.98	0.53	0.93
Reflexión	5.00 Å	7.10 Å	4.74 Å	17.00 Å

**Tabla II.1. Poderes reflectantes utilizados en la cuantificación de las fases minerales.**

Se incluye el análisis en polvo para detectar la presencia de yeso y de sales más solubles.

#### **II.1.3.15. Estudio Micromorfológico.**

Las muestras se incluyeron en resina. Fueron cortadas y pulidas, para su estudio. Las láminas se observaron con microscopio petrográfico y describieron según Bullock et al.

(1985), y en el caso de suelos con yesos se sigue las orientaciones dadas por Herrero, (1991).

## **II.2. ESTUDIO HIDROQUÍMICO.**

### **II.2.1. Labor de gabinete.**

El estudio hidrogeoquímico de la Hoja de Archidona se realiza y presenta por bloques, estableciéndose un total de diez sectores.

El procesamiento de imágenes de cada sector se efectúa mediante el módulo Window de Idrisi, que permite extraer una zona de interés (sub-imagen) del MDT, como una nueva imagen raster. Del mismo modo, delimitamos los sectores en el mapa de redes de drenaje, creando una cobertura con igual número de filas y columnas y coordenadas XY que la realizada anteriormente.

Al modelado del sector base de la cobertura de redes, se le añade una nueva de carácter vectorial, que representa los puntos exactos de muestreo de aguas. Esta cobertura vectorial se transforma creando una paleta de puntos, con distintas formas y colores, siguiendo los siguientes criterios.

<u>Forma</u>	<u>Procedencia del agua muestreada</u>
Círculo transparente	Laguna temporal o permanente
Círculo sólido	Río o arroyo
Cuadrado transparente	Fuente, manantial o surgencia
Cuadrado sólido	Pozos

El color se aplica según la clasificación de aguas establecida según Shchukarev (1952), siguiendo la normalización de colores establecida por UNESCO (1963).

Para el tratamiento estadístico, la elaboración y diagramas se utilizó el programa: Statgraphic 4.1., Systat 5.0 y Cricket Graph 1.3.

A la vista de los resultados analíticos se procedió a la clasificación de las aguas, para lo que se han seguido los criterios de Schoeller (1964) y Shchukarev (1952).

La clasificación de Schoeller se basa en los valores absolutos de las concentraciones ( $\text{meqL}^{-1}$ ) de los aniones fundamentales, en el orden: cloruros, sulfatos y bicarbonatos, aportando cada uno con un signo (Tablas II.1, II.2, y II.3) Por otro lado, la denominación expresa el tipo (relación entre aniones de un grupo; se anotan con un dígito, tabla II.4.) y la clase (relación entre cationes de un grupo; se anota con una letra, tabla II.5.).

Grupo de cloruros	Denominación	Valor de r Cl
1	Hiperclorurado	>700
2	Clorotalásico	420-700
3	Clorurado fuerte	140-420
4	Clorurado medio	40-140
5	Oligoclorurado	10-40
6	Clorurado normal	<10

**Tabla. II.1. Grupo de cloruros por su concentración (Schoeller, 1964).**

	Denominación	Valor de r $\text{SO}_4^{=}$
<b>Grupo de sulfatos</b>		
1	Hipersulfatado	>58
2	Sulfatado	24-58
3	Oligosulfatado	6-24
4	Sulfatado normal	<6

**Tabla. II.2. Grupo de sulfatos por su concentración (Schoeller, 1964).**

Grupo de bicarbonatos	Denominación	Valor de r $\text{HCO}_3^-$
1	Hiperbicarbonatado	>7
2	Bicarbonatado normal	2-7
3	Hipobicarbonatado	<2

**Tabla. II.3. Grupo de bicarbonatos según la concentración. (Schoeller, 1964).**

1	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{CO}_3\text{H}^-$
2	$r \text{Cl}^- > r \text{CO}_3\text{H}^- > r \text{SO}_4^{2-}$
3	$r \text{SO}_4^{2-} > r \text{Cl}^- > r \text{CO}_3\text{H}^-$
4	$r \text{SO}_4^{2-} > r \text{CO}_3\text{H}^- > r \text{Cl}^-$
5	$r \text{CO}_3\text{H}^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-}$
6	$r \text{CO}_3\text{H}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{Cl}^-$

**Tabla II.4. Tipos de aguas según la concentración relativa de aniones. (Schoeller, 1964).**

a	$r \text{Na}^+ > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+}$
b	$r \text{Na}^+ > r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+}$
c	$r \text{Mg}^{2+} > r \text{Na}^+ > r \text{Ca}^{2+}$
d	$r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+} > r \text{Na}^+$
e	$r \text{Ca}^{2+} > r \text{Na}^+ > r \text{Mg}^{2+}$
f	$r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Na}^+$

**Tabla II.5. Clases de agua según la concentración relativa de cationes. (Schoeller, 1964).**

La clasificación según Shchukarev emplea como índice los iones que se encuentran en un porcentaje superior al 25% denominando así las aguas:

Respecto a los aniones:

1. Aguas bicarbonatadas.
2. Aguas sulfatadas.
3. Aguas cloruradas.
4. Aguas bicarbonatadas sulfatadas.
5. Aguas bicarbonatadas cloruradas.
6. Aguas sulfatocloruradas.
7. Sulfatocloruradas bicarbonatadas.

En relación a los cationes:

1. Aguas cálcicas.
2. Aguas magnésicas.
3. Aguas sódicas.
4. Aguas cálcico magnésicas.

5. Aguas cálcico sódicas.
6. Aguas magnesio sódicas.
7. Aguas calcio magnesio sódicas

Los criterios seguidos para interpretar la calidad de un agua cuyo uso está destinado a riego, se basan en el índice de Scott o Coeficiente de Alcalí (K1) y el riesgo de sodificación y salinización. (Ayers y Wescott, 1985):

- Índice de Scott o Coeficiente de Alcalí (K1). Este índice se define como “la altura de agua, expresada en pulgadas que, al evaporarse dejaría en el suelo en un espesor de cuatro pies, una cantidad de sales suficiente para convertirlo en un medio perjudicial”. Se calcula a partir del valor que alcanza la relación  $Na^+ - 0.65 Cl^-$ , expresando sus componentes en  $mgL^{-1}$ .

- Si  $Na^+ - 0.65 Cl^- \leq 0$ ,  $K_1 = 2049 / Cl^-$
- Si  $0 < Na^+ - 0.65 Cl^- < 0.48 SO_4^{=}$   $K_1 = 6620 / (Na^+ + 2.6 Cl^-)$
- Si  $0 < Na^+ - 0.65 Cl^- > 0.48 SO_4^{=}$   $K_1 = 662 / (Na^+ - 0.32 Cl^- - 0.48 SO_4^{=})$

A continuación Stabler, caracteriza los siguientes tipos de aguas:

- $K_1 \geq 18$ : Agua buena: No es necesario tomar precauciones.
- $6 \leq K_1 < 18$ : Agua tolerable: Emplearla con precauciones.
- $1.2 \leq K_1 < 6$ : Agua mediocre o peligrosa: Utilizarla en suelos con muy buenas condiciones de drenaje.
- $K_1 < 1.2$ : Agua mala o no utilizable.

- Los criterios de referencia para evaluar las restricciones de uso de un agua (Ayers y Wescott, 1985) son los siguientes:

Restricción de uso			
	Ninguna	Ligero-Moderada	Importante
Riesgo de salinización CE (dS/m)	< 0.7	0.7 – 3	> 3
Riesgo de sodificación	CE (dS/m)		
0 - 3	> 0.7	0.7-0.2	<0.2
3 – 6	> 1.2	1.2 –0.3	<0.3
6 – 12	> 1.9	1.9-0.5	<0.5
12 – 20	> 2.9	2.9-1.3	<1.3
20 - 40	> 5.0	1.3-2.9	<2.9

### II.2.2. Métodos de campo; toma de muestras.

Se hizo un reconocimiento previo del terreno y se confirmaron los puntos de muestreo, teniendo en cuenta acumulaciones lagunares, desagües en la base de las unidades diapíricas, pozos abiertos para la captación de aguas para riego y cursos fluviales (Río Guadalhorce y arroyo Marín).

Para la toma de muestras y su transporte se ha seguido la técnica del BOE 20 de enero de 1982, y R.D. 1138/90, de 14 de septiembre). Las tomas son muestras simples, recogidas en los meses de mayo y junio (1998).

Los recipientes utilizados son de material plástico, que cumplen los requisitos mínimos de no desprendimiento de materia orgánica o elementos alcalinos, con adsorción mínima en las paredes y sin reacción con los componentes, para evitar alteraciones de pH, CO<sub>2</sub>, gases, alcalinidad o dureza, entre otras, con capacidad de 1.5 litros y cierre hermético.

Algunas de estas determinaciones se realizaron a pie de manantial: pH, concentración de cloruros y alcalinidad. El resto de ensayos se hicieron en laboratorio de forma inmediata.

Se confeccionó un registro de análisis, donde figura la fecha y hora, número de la muestra, puntos de muestreo y resultados analíticos a pie de manantial.

**II.2.3.- Métodos de laboratorio.** (BOE 20 del 1 de 1982 y R.D. 1138/90, de 14 de septiembre)

Se han realizado una serie de determinaciones físicas, químicas y organolépticas, que responden a dos condicionantes: sales en solución y otros parámetros como son: conductividad eléctrica, dureza, SAR, pH, etc.

**II-2.3.1.Determinación de parámetros físicos.**

**1.Concentración de ión hidrogeno, pH.** Se realizó en el campo por colorimetría, con tiras reactivas Merk

**2.Conductividad.** Electrometría expresada en  $\text{dSm}^{-1}$  a  $20^{\circ}\text{C}$ .

**II-2.3.2.Determinación de parámetros químicos.**

**1.Cloruros.** Método de Mohr, procediendo a su valoración con disolución de nitrato de plata 0.02N y usando como indicador cromato potásico al 5%.

**2. Sulfatos.** Espectrofotometría tras precipitación del sulfato de bario en medio ácido.

**3.Carbonatos y Bicarbonatos.** Acidimetría con anaranjado de metilo para bicarbonatos y fenoftaleína para carbonatos.

**4.Calcio.** Determinación directa con espectrofotómetro de absorción atómica y lámpara correspondiente.

**5. Magnesio.** Determinación directa con espectrofotómetro de absorción atómica y lámpara correspondiente.

**6. Sodio.** Fotometría de llama. Lectura en espectrofotómetro marca Eppendorff a 586 nm.

**7. Potasio.** Fotometría de llama. Aspiración directa a la llama y lectura en espectrofotómetro a 765 nm. empleando un fotómetro marca Eppendorff.

**8. Nitratos.** Espectrofotometría de absorción tras coloración con brucina en medio ácido.

**9. Determinación de materia orgánica (Oxidabilidad).** Reducción del permanganato potásico, añadido en medio ácido y en ebullición, hasta coloración rosa, debido al exceso de permanganato

**10. Fosfatos-Ortofosfatos.** Colorimetría del ácido vanadomolibdofosfórico y lectura a 400 nm.

**11. Oligoelementos.** Todos los oligoelementos estudiados ( Mn, Ba, B, Co, Cu, Zn, F, Ag, Fe, Be, V, Cr, Ni, As, Se, Cd, Sb, Hg y Pb) se han cuantificado con IPC- Base.

### **II-2.3.3. Otras determinaciones.**

**1. Residuo seco.** Se determinó por evaporación de 100 ml de muestra, desecada en estufa a 180 °C y posterior gravimetría.

**2. Dureza.** Complexometría. Se calcula a partir de la concentración de calcio y de magnesio. El resultado se expresa en grados hidrotimétricos franceses.

$$\text{Dureza} = \frac{\text{Ca}^{2+} (\text{mgL}^{-1}) \times 2.5 + \text{Mg}^{2+} (\text{mgL}^{-1})}{10} \times 4.12$$

La dureza en  $\text{mgL}^{-1}$  de carbonato cálcico = grados higrotimétricos franceses x 10

### 3. SAR°.

Se calcula directamente a partir de la siguiente ecuación, donde los cationes refieren los contenidos en el agua expresados en  $\text{meqL}^{-1}$ .

$$\text{SAR}^\circ = \text{Na}^+ / [\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}/2]^{1/2}$$

El  $\text{Ca}^\circ$  se determina según la conductividad eléctrica y el contenido relativo de  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{Ca}^{2+}$  en el ábaco de Ayers y Westscot (1987).

### ***III. FACTORES FORMADORES***



### **III. FACTORES FORMADORES.**

Dependiendo de la naturaleza de la roca y de los agentes externos que intervienen, se desarrollan ecosistemas diferentes marcados por procesos de diversa naturaleza, causando formas con estructuras características, base del paisaje que es así, producto final de la acción de una serie de factores que actúan agrupados: clima, litología, relieve y organismos, en concreto la presencia y naturaleza de la formación vegetal.

A continuación se realiza un breve análisis de los distintos factores formadores aplicados a la zona de estudio.

#### **III.I. ANÁLISIS CLIMÁTICO.**

Reitan et al (1967), inciden sobre el parámetro clima, señalando que condiciona en todo lugar la geomorfología y ordena la distribución de suelos, vegetación y fauna, de ahí el especial énfasis que hacemos en el presente capítulo.

El estudio conlleva un doble proceso, de una parte clasificar el clima de la zona y para ello seguiremos los métodos de Thornthwaite (1948), Faniran (1978) y Papadakis (1980), tal como lo recoge Urbano (1992) en su tratado de fitotecnia; de otra, a nivel edafológico, establecer los regímenes de humedad y temperatura (Soil Taxonomy, 1999).

Los primeros intentos de definición geográficos-climáticos se iniciaron con la elaboración de una serie de índices, como el pluviométrico de Lang (1915), aridez de Martonne (1925), cociente pluviométrico de Emberger (1942), ombrotérmico de Gaussen (1954 y 1955), etc., que se pueden relacionar con formaciones vegetales (Montero de Burgos et al, 1974; Rivas Martínez, 1987; López-Cadenas et al. 1976; Allue, 1990, etc.). Otras clasificaciones climáticas son mas específicas, como la Bioclimática de la Unesco-FAO (1963), Agroecológica de Papadakis (1980), etc.

Soil Taxonomy (1975) introduce los regímenes de humedad y temperatura del suelo, teniendo en cuenta la sección control de humedad. Gasco et al.(1986) utilizan como soporte un hipotético perfil de humedad capaz de retener 200 mm de agua útil, divididos en ocho fases gravitacionales de 25 mm cada una de ellas. Este autor, ha estudiado el comportamiento de suelos de la sierra de Madrid y los resultados que obtuvo revelaron la reducción de la tasa de agua infiltrada a medida que el perfil tenía mayor reserva útil, siendo de esperar una progresiva desaceleración de los procesos de génesis edafológica, asociados a la lixiviación y ciertos problemas relacionados con la escorrentía superficial.

Con fines de clasificación de suelos, Soil Taxonomy (1975) determina la sección control de humedad mediante el humedecimiento del pedón, con 25 y 75 mm de agua añadidos al suelo seco, esperando transcurran 24 y 48 horas respectivamente, para marcar el límite superior e inferior de dicha sección. Como guía de carácter general, establece que la sección control se encuentra aproximadamente entre 10 y 30 cm, si la clase de tamaño de las partículas es franco fina, limoso gruesa, limoso fina o arcillosa; se extiende entre 20 y 60 cm si es franco gruesa y entre 30 y 90 cm, si es arenosa. La presencia de fragmentos rocosos aumenta estos límites debido a que ellos retienen poca humedad y favorecen la percolación.

Las críticas que se le hacen, están basadas en la complejidad de los cálculos (Duchaufour, 1984) y en la existencia de vacíos entre los distintos regímenes propuestos, quedando así zonas indefinidas que inducen a errores en su aplicación para valorar ciertas tierras y clasificar los suelos (Ortega et al, 1990; Tejados et al 1999). Algunos investigadores como Tabernier y Van Wambeke (1976) convirtieron el régimen ústico en un cajón de sastre para encasillar los intergrados entre arídico y xérico o entre xérico y údico. Otro tanto han hecho autores como Gascó et al (1979) y Roquero et al. (1983), que manifiestan la indefinición de los límites entre los regímenes arídicos y xérico. Van Wambeke (1981) y Gascó et el (1985) aplican criterios de subdivisión en los regímenes xérico y arídico, mientras que Sierra et al.

(1999) establecen una serie de intergrados en relación con los índices de Lang y de Thornthwaite.

La advertencia más severa que se puede hacer a los regímenes de humedad, como indica Duchanfour (1984), radica en considerar este parámetro como una unidad ligada al perfil del suelo, mientras que la unidad cartográfica define pedones.

En nuestro caso, marcamos la sección control de humedad del suelo hasta donde desarrollan raíces, porque su misma presencia marca la parte activa del mismo. Como el clima es el resultado de los fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio atmosférico en cada punto geográfico, exige, para su evaluación, la cuantificación de ciertos elementos y factores de los que ahora hay poca casuística. Por esta causa simplificamos la evaluación, a nivel medioambiental y edafológico, utilizando los elementos climáticos fundamentales: precipitación y temperatura; con ellos se hacen los balances hídricos correspondientes extrapolando, de otras estaciones pluviométricas, datos que permiten rellenar los vacíos temporales existentes en las estaciones de referencia.

### **Interés práctico.**

Se han realizado numerosos trabajos desde un punto de vista aplicado, y teniendo en cuenta que el agua juega un papel importante en la aptitud de la tierra. Turc (1961), expone la necesidad de establecer dos índices de productividad potencial: uno para secano y otro para regadío; Hanks (1974) dio un modelo para evaluación en función de la ETP y del agua del suelo y señala que el crecimiento de un cultivo en su ambiente ecológico es proporcional a la cantidad de agua que transpira. Riquier et al. (1970) incluyen el régimen de humedad de los suelos como uno de los parámetros fundamentales para la evaluación de la productividad potencial agrícola, en función del suelo y clima.

Delgado y Aguilar (1983) aplican un sistema de clasificación de las condiciones de fertilidad del suelo en función de la cartografía edáfica, destacando entre los modificadores, la sequedad, y establecen dos niveles: régimen de humedad xérico o ústico con reserva mayor de 100 mm para limitaciones muy severas y régimen de humedad xérico o ústico con reserva mayor de 100 mm para limitaciones severas.

La mayoría de los autores incluyen el parámetro edafoclimático en función del balance hídrico y definen el sistema de regímenes de humedad y temperatura para fundamentar los procesos edafogénicos: Porta et al. (1980 y 1986); Sánchez et al (1984), Aguilar (1987 y 1988), Mudarra (1987), FAO (1990), etc.

### III.1.1. BALANCE HIDRICO

#### III.1.1.1. Precipitaciones.

La tabla III.1. recoge la ubicación de las estaciones meteorológicas consultadas y la tabla III.2. agrupa los valores pluviométricos, tomados del banco de datos del Instituto Nacional de Meteorología de Andalucía y Melilla, junto a otros suministrados por el MOPU (Comisaría de Aguas del Guadalquivir. Sección de Hidrología)

Estación	Coordenadas	Altitud	Tipo	Años de registro
Antequera	37°04'45''	502	P	1960-99
Archidona	37°05'40''	700	P+T	1965-99
P. Enamorados	37°05'25''	470	P	1968-99
V. Rosario	36°59'50''	697	P	1968-99
V. Trabuco	37°01'45''	760	P	1968-99
Yedra	36°59'00''	780	P	1968-99
Riofrío	37°09'02''	480	P+T	1968-99

**Tabla. III.1. Estaciones meteorológicas consultadas.**

Las precipitaciones a finales del solsticio de otoño y en el de invierno favorecen el almacenaje de agua en el suelo y la recarga de los acuíferos. La ausencia de precipitaciones en el período estival y la elevada evapotranspiración potencial, consecuencia de las elevadas temperaturas provocan, un profundo déficit de agua útil que condiciona el uso del suelo.

Estaciones	O	N	D	E	F	M	A	My	Jn	J	A	S	Total
Antequera	54.4	59.8	78.8	70.3	51.0	45.0	45.1	29.3	14.4	2.7	6.9	26.1	483.8
Archidona	60.9	84.1	86.8	83.2	71.8	54.9	59.4	41.8	19.9	3.8	5.5	28.2	540.9
Enamorados	57.5	67.0	73.3	69.3	65.5	43.4	42.1	29.3	11.6	11.2	8.3	23.1	501.6
Vva. Rosario	57.6	90.0	106.6	105.5	79.0	62.7	57.9	38.6	16.1	1.2	12.8	22.2	650.2
Vva. Trabuco	56.3	79.74	84.4	86.6	67.0	54.0	42.1	37.8	18.2	3.0	10.3	19.4	558.8
Yedra	57	110.7	99.2	107.1	73.4	68.5	61.8	48.8	19.7	0.7	8.0	51.6	706.5
Riofrío	46.3	71.2	73.3	53.1	53.7	60.6	50.9	33.5	18.9	2.9	7.4	16.8	488.6

**Tabla III.2. Datos pluviométricos mensuales y anuales medios (mm).**

Faniran et al. (1978), utilizan la relación P/ETP para mostrar el estado hídrico de los suelos, como función del balance entre ganancias de agua y pérdidas por evapotranspiración. (Tabla III.3)

P/ETP	Tipos de suelo
Menor de 0.20	(A) Extremadamente árido
0.21-0.40	(B) Árido
0.41-0.75	(C) Moderadamente árido
0.76-1.20	(D) Moderadamente húmedo
1.21-1.95	(E) Húmedo
1.96-2.90	(F) Muy húmedo
Mayor de 2.90	(G) Extremadamente húmedo

**Tabla III.3. Estado hídrico de los suelos según (Faniran, 1978)**

Aplicando el criterio de Faniran a los suelos de la Hoja, se observa una serie de tipos climáticos, que van de moderadamente áridos, salvo enclaves situados por encima de los 1200 m, donde pasan a húmedos, o moderadamente húmedos entre dicha cota y la de 900 m.

Papadakis (1980), distingue diez grupos fundamentales de climas que van desde tropicales a polares. Cada grupo se caracteriza y se subdivide en una serie de tipos climáticos más precisos y detallados, relacionados con las potencialidades agropecuarias: posibles cultivos y tipo de paisajes.

Según Papadakis, en la zona se pueden reconocer los siguientes tipos climáticos: Mediterráneo templado y Mediterráneo continental.

Thornthwaite (1948), utilizando como base la evapotranspiración potencial (ETP) y la precipitación (P), define una serie de índices: 1) índice hídrico anual (Im), índice de aridez (Ia), e índice de humedad (Ih).

$$Im = Ih - 0.6 \cdot Ia$$

$$Ia = (ETP - P) / ETP$$

$$Ih = (P - ETP) / ETP \cdot 100$$

<b>Im</b>	<b>Tipo de clima</b>	<b>Símbolo</b>
>100	Perhúmedo	A
100-80	Húmedo IV	B <sub>4</sub>
80-60	Húmedo III	B <sub>3</sub>
60-40	Húmedo II	B <sub>2</sub>
40-20	Húmedo I	B <sub>1</sub>
20-0	Subhúmedo	C <sub>2</sub>
0-(-20)	Seco, subhúmedo	C <sub>1</sub>
(-20)-(-40)	Semiárido	D
(-40)-(-60)	Arido	E

**Tabla III.4. Tipo de clima en función del índice hídrico anual (Thornthwaite 1948).**

En función de estos índices se establecen los términos que definen los tipos climáticos, añadiéndole un último valor que corresponde a la concentración de la eficacia térmica durante los meses estivales.

2) En función de la eficacia térmica considerada como ETP en centímetros, Thornthwaite (1948) da los siguientes símbolos:

<b>ETP (cm)</b>	<b>Tipo de clima</b>	<b>Símbolo</b>
>114	Megatérmico	A'
114-99.7	Mesotermico	B' <sub>4</sub>
99.7-85.5	Mesotérmico	B' <sub>3</sub>
85.5-71.2	Mesotérmico	B' <sub>2</sub>
71.2-57.0	Mesotérmico	B' <sub>1</sub>
57.0-42.7	Microtérmico	C' <sub>2</sub>
42.7-28.5	Microtérmico	C' <sub>1</sub>
28.5-14.2	Tundra	D'
<14.2	Glacial	E'

**Tabla III.5. Tipo de clima en función de la eficacia térmica (Thornthwaite (1948))**

3). Para la variación estacional de la humedad, Thornthwaite (1948) tiene en cuenta las condiciones del medio y utiliza el índice de aridez (Ia), o bien el índice de humedad (Ih), según corresponda. (Tablas III.5.)

Para climas húmedos (A, B, C2)

<b>Ia</b>	<b>Falta de agua</b>	<b>Símbolo</b>
0-16.7	Pequeña o ninguna	r
16.7-33.3	Moderada en verano	s
16.7-33.3	Moderada en invierno	w
>33.3	Grande en verano	s <sub>2</sub>
>33.3	Grande en invierno	w <sub>2</sub>

Para climas secos (C1,D, E):

Ih	Falta de agua	Símbolo
0-10	Pequeña o ninguna	d
10-20	Moderada en invierno	s
10-20	Moderada en verano	w
>20	Grande en invierno	S <sub>2</sub>
>20	Grande en verano	W <sub>2</sub>

**Tabla III.6. Identificación de los índices de humedad y aridez de Thornthwaite (1948)**

4). En función de la concentración estival de la eficacia térmica, Thornthwaite (1948) da los siguientes tipos climáticos.

C	Símbolo	Tipo climático
<48	a'	Baja concentración
48.0-51.9	b' <sub>4</sub>	Moderada concentración (4)
51.9-56.3	b' <sub>3</sub>	Moderada concentración (3)
56.3-61.6	b' <sub>2</sub>	Moderada concentración (2)
61.6-68.0	b' <sub>1</sub>	Moderada concentración (1)
68.0-76.3	c' <sub>2</sub>	Alta concentración (2)
76.3-88.0	c' <sub>1</sub>	Alta concentración (1)
>88	d'	Muy alta concentración

**Tabla III.7. Identificación de los tipos climáticos según la eficacia térmica en verano, Thornthwaite (1948)**

Finalmente, define el clima general compatibilizando los cuatro índices mediante una fórmula con dos letras mayúsculas y otras dos minúsculas.

Según lo expuesto el clima de la zona de Archidona quedaría marcado por la siguiente fórmula climática: Clima seco subhúmedo, segundo mesotérmico, con nulo exceso de humedad durante el invierno, y moderada concentración de la eficacia térmica durante el verano. C<sub>1</sub> B'<sub>2</sub> d b'<sub>1</sub>

	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>
<b>1960/69</b>	123,5	95,86	67,32	51	33,95	26,56	0,6
<b>1970/79</b>	104,98	85,34	85,2	68,59	44,1	36,44	9,25
<b>1980/89</b>	65,51	77,58	45,23	56,98	37,93	5,36	4,68
<b>1990/99</b>	75,08	49,45	35,78	45,99	39,83	20,9	2,31
	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Total anual</b>	
<b>1960/69</b>	1,43	40,42	53,32	122,6	101,6	718.16	
<b>1970/79</b>	1,44	24,9	69,74	46,83	89,69	666.5	
<b>1980/89</b>	7,4	20,27	47,9	106,1	86,49	561.43	
<b>1990/99</b>	7,7	37,38	64,09	63,85	84,66	527.02	

**Tabla III.8 Precipitaciones registradas en la estación de Archidona durante el periodo 1960/2000.**

En referencia a la evolución que siguen las precipitaciones a lo largo de las cuatro últimas décadas, referidas a la estación de Archidona, elaboramos la tabla III.8 y la figura III.1.

En la figura III.1, se observa nítidamente como evolucionan las precipitaciones en las cuatro últimas décadas, con la advertencia de la fuerte sequía que afectó al sur de España al final de la década de los 80 y primera parte de la década de los 90, hecho que se hace patente con el descenso significativo de las precipitaciones en el área de Archidona, aproximadamente algo superior al 25% en todo el ciclo.

### **III.I.1.2. Temperatura.**

La influencia de la temperatura incidiendo en la dinámica edafológica y más concretamente sobre la materia orgánica del suelo es clara, marcado por la humificación al regular la actividad microbiana o su mineralización cuando la temperatura media es elevada; las bajas temperaturas ralentizan esta dinámica, acumulándose la materia orgánica, poco transformada, dando características especiales a los suelos. Además, cuando aumentan las

temperaturas, se incrementa la solubilidad de las sales y en general la alteración mineral, si la humedad es significativa.

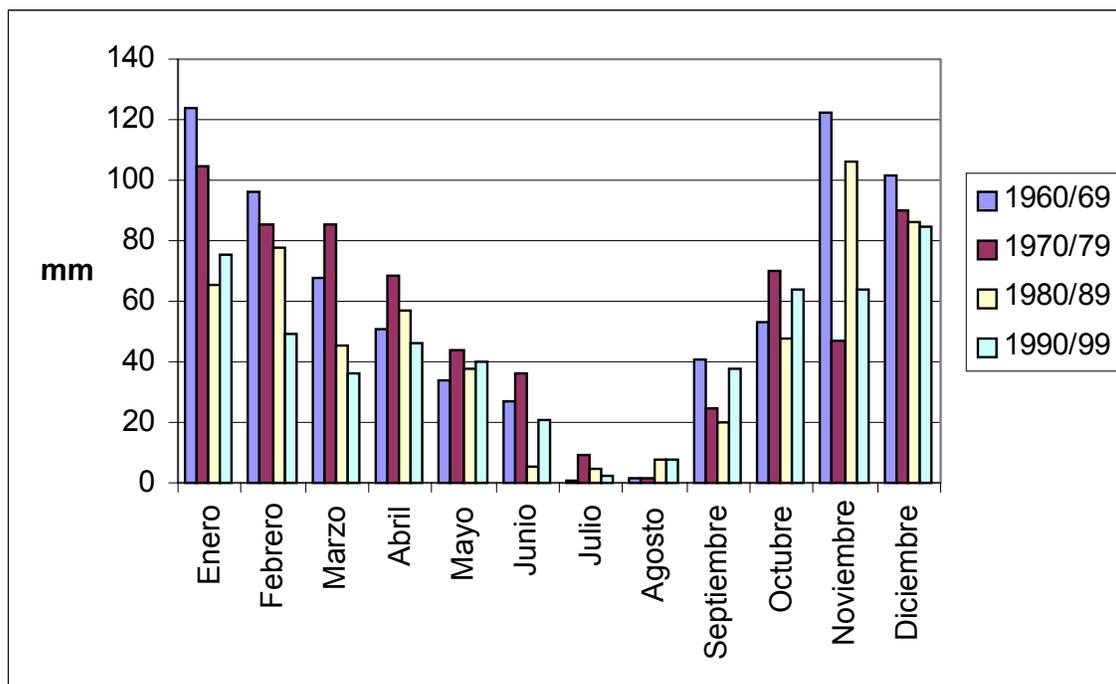


Figura III.1.-Evolución mensual de las precipitaciones en Archidona (1960-1999).

2.a. Temperaturas Medias y Extremas.

Los registros térmicos en el área de la Hoja de Archidona son escasos, reduciéndose a la estación termopluviométrica de Archidona, situada en el sector central del territorio, en el período 1970/1999.

Estación	O	N	D	E	F	M	A	My	Jn	J	A	S	Media anual
Archidona	15.17	11.3	7.5	7.4	9.12	10.9	12.7	17.5	21.8	25.4	25.3	24.3	15.7

	1970/79	1980/89	1990/99
<b>Enero</b>	7.8	7.86	8.15
<b>Febrero</b>	7.7	9.8	10.75
<b>Marzo</b>	9.4	12.8	13.64
<b>Abril</b>	11.6	14.38	15.05
<b>Mayo</b>	16.3	17.41	18.65
<b>Junio</b>	20.5	23.3	23.25
<b>Julio</b>	26.0	26.01	26.95
<b>Agosto</b>	25.7	26.27	25.9
<b>Septiembre</b>	20.8	23.6	20.37
<b>Octubre</b>	15.3	19.6	18.4
<b>Noviembre</b>	11	13.41	12.4
<b>Diciembre</b>	7.4	9.09	9.2
<b>Media anual</b>	14.95	16.96	16.89

**Tabla III.9.- Temperaturas medias anuales de Archidona en las décadas 70/79, 80/89 y 90/99.**

En la tabla III.9 y figura III.2. se puede observar un incremento de hasta 1°C entre las dos primeras décadas, manteniéndose el valor medio de 16.9°C en las dos últimas, pero con desigual equilibrio térmico mensual en la última década, si bien con ligeras desviaciones mensuales .

#### 1.1.2.b. Riesgo de heladas.

El riesgo de heladas se ha establecido según Papadakis (1980), de acuerdo con las temperaturas mínimas absolutas mensuales, se observa la inexistencia de periodos de heladas en la mayoría de los años (Tabla III.10.), ya que la mínima anual aparece en los meses de enero y la temperatura media está próxima a los 4°C.

Periodo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
	1960/2000	2,9	4,1	6	7,6	11,1
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
	18,9	19	15,8	11	6,8	4,4

**Tabla III.10.- Temperaturas medias mínimas de Archidona.**

La evolución de este ciclo de temperaturas mínimas se recoge en la figura III.3.

La sección A se corresponde a meses en que la temperatura mínima absoluta es superior a los 7°C y se considera libre de heladas. En la gráfica reseñada coincide con los meses de octubre, abril, y los de verano: junio, julio y agosto.

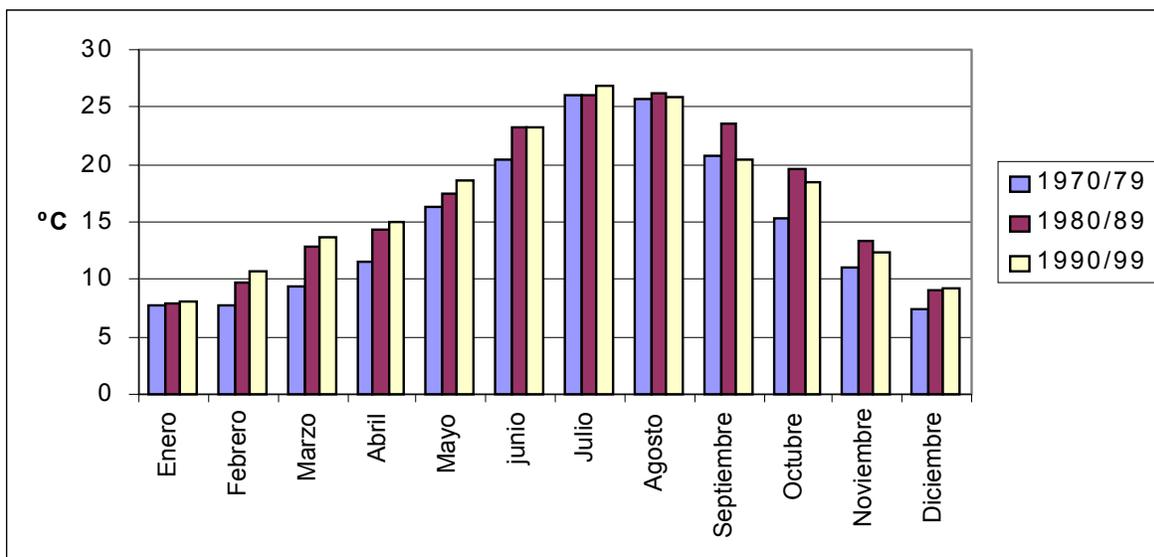


Figura III.2.- Evolución de la temperatura media de las tres últimas décadas.

Si las temperaturas mínimas absolutas mensuales se sitúan entre 2°C y 7°C (sección B), podemos decir que en esos meses están razonablemente libres de heladas. Van desde noviembre, hasta la mitad de abril.

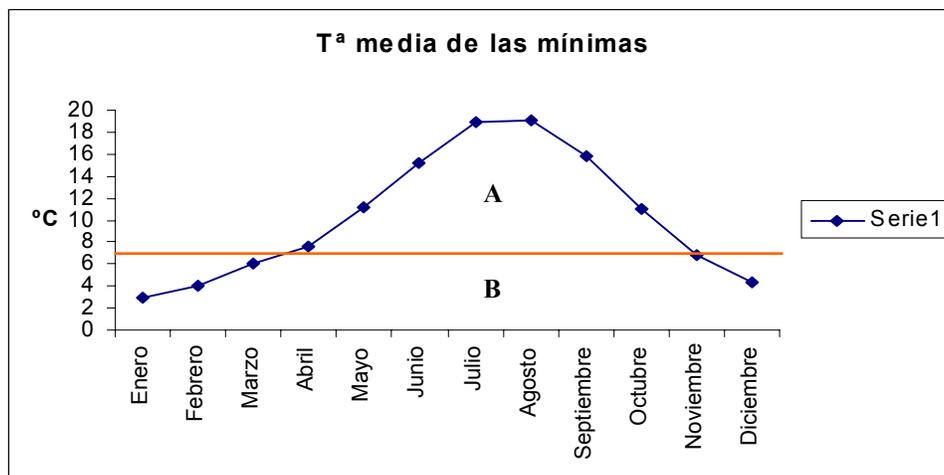


Figura III.3.- Riesgos de heladas en la zona de Archidona.

### **1.1.2.c. Temperatura en el suelo.**

Para el cálculo del régimen de temperaturas seguimos la referencia de Soil Taxonomy (1975), que adiciona de 1° C a la temperatura media del aire para estimar la del suelo; además en los suelos con buen drenaje, cultivados y cubiertos de vegetación, puede estimarse la media de verano restando 0.6°C a la media estival del aire; finalmente se estima que la temperatura del suelo a 50 cm de profundidad, es un grado superior a la del aire durante los meses de otoño, invierno y primavera.

En cuanto a las temperaturas críticas, se consideran distintos periodos que vienen marcados por los siguientes límites: temperaturas superiores a 0°C, para que exista actividad de los microorganismos; mayores a 5°C (cero biológico), como punto a partir del cual la actividad respiratoria de los organismos y de las raíces se incrementa; temperaturas superiores a 8°C, para marcar el inicio del desarrollo y crecimiento de la planta, con óptimos próximos a los 15°C y nuevo letargo desde los 22°C.

### **III.1.1.3. Ficha climática.**

#### **1.1.3.a. Reserva de agua útil en el suelo.**

Para el cálculo de reservas de agua útil, se parte del potencial de retención de agua útil para las plantas por el suelo. La curva que relaciona humedad y potencial de retención, queda limitada por el punto de marchitamiento permanente, estrechamente relacionado con la humedad retenida a 15 bar y separa las condiciones entre suelo seco y húmedo, siempre desde el punto de vista de utilidad del agua para la planta.

El cálculo del agua útil se materializa mediante la determinación de la humedad entre los dos puntos críticos marcados por la capacidad de retención (con el límite a 1/3 de bar), y el punto de marchitamiento (con límite en los 15 bar). Para potenciales matriciales inferiores al primer límite, se consideran aguas afectadas por las fuerzas gravitacionales y por encima de los 15 bares, el agua solo puede ser utilizada por algunas plantas. Para el cómputo final se tiene en cuenta, además, la densidad aparente y profundidad de cada uno de los

horizontes, hasta donde llegan las raíces, empleando la fórmula de Henin et al (1972) y Santos (1979):

### **1.1.3.b. Evapotranspiración real y potencial.**

El método de Thornthwaite (1948), a pesar de su antigüedad, es uno de los más utilizados en estudios hidrogeológicos, edafológicos y agrícolas. Calcula la necesidad de agua mediante el uso de la evapo-transpiración (ETP): cantidad de agua que perderá una superficie completamente cubierta por vegetación en crecimiento activo, si en todo momento existe en el suelo humedad suficiente para su uso máximo por las plantas. La evapo-transpiración real, quedaría como la pérdida de un suelo cubierto de vegetación en el que el registro de agua es insuficiente para cubrir sus necesidades; en este último caso  $ETR = P+R$  y cuando el suelo queda sin reserva  $ETP=ETR=P$ .

La mecánica aritmética para el cálculo empírico, los datos meteorológicos y la vegetación la recogemos de los trabajos de Sierra (1971), Guía para la elaboración de estudios del medio físico: Contenido y Metodología (1984), Tratado de Fitotecnia de Urbano (1992). La ETP, calculada de esta forma, es independiente del tipo de vegetación que puebla el suelo y solo depende de factores climáticos.

Para conjugar la tasa de vegetación algunos autores como Blaney-Criddle (1950) Doorenbos y Pruitt (1986) etc, recurren al concepto de evapo-transpiración de referencia (gramíneas) (ETPo), de manera que la ETP para otro caso, a igualdad de condiciones se obtiene multiplicando  $ETP \times K_c$ , donde  $K_c$  es la constante de consumo, según el estado vegetativo y tipo de planta.

Se trata pues,de un coeficiente empírico variable para cada tipo de cultivo y estado de crecimiento. Para cultivos perennes el coeficiente toma valores distintos cada mes; para cultivos anuales la variación corresponde a distintos porcentajes según el periodo vegetativo.

Con los datos climáticos de Archidona y la reserva media de los perfiles modales confeccionamos la ficha climática. (Tabla III.11)

En el balance hídrico final consideramos cuatro etapas: recarga (R), saturación (S), utilización de la reserva y déficit, lo que se traduce en un estado de la sección control saturado en agua (S), parcialmente mojado (R y U) y totalmente seco (D).

Tanto la humedad como la temperatura deberían ser medidas en el campo, pero su dificultad y los propios fines del trabajo permiten efectuar aproximaciones, a partir de los datos meteorológicos, válidos para la clasificación, génesis y cartografía de los suelos, bien entendido que en este caso el edafoclima corresponderá a suelos modales.

**UTM: 30SUG      37°05'40''      Altitud: 700m**

	T (°C)	P	ETP	ETR	Reserva	Var. Reserva	Déficit	Exceso
Enero	7.4	83.2	14.2	14.2	205.9	69.0		
Febrero	9.1	71.8	19.6	19.6	240.9	34.9		17.3
Marzo	10.9	54.9	32.2	32.2	240.9	0.0		22.7
Abril	12.7	59.4	44.2	44.2	240.9	0.0		15.2
Mayo	17.5	41.8	83.0	83.0	199.6	-41.2		
Junio	21.8	19.9	120.2	120.2	99.4	-100.3		
Julio	25.4	3.8	157.0	103.2	0.0	-99.4	53.8	
Agosto	25.3	5.5	146.0	5.5	0.0	0.0	140.5	
Septiembre	24.3	28.2	120.3	28.2	0.0	0.0	92.1	
Octubre	15.2	60.9	52.2	52.2	8.7	8.7		
Noviembre	11.3	84.1	28.2	28.2	64.6	55.9		
Diciembre	7.5	86.3	14.0	14.0	136.9	72.3		
<b>TOTALES</b>		599.8	831.0	544.6	0.0	0.0	286.4	55.2

Los datos de Precipitación (P), Evapotranspiración potencial (ETP), ET real (ETR), Reserva, Variación de la reserva, déficit y exceso, están expresados en milímetros.

Capacidad de campo: 45.56

Tª media del suelo a 50 cm: 16.5

Régimen de humedad: Xérico

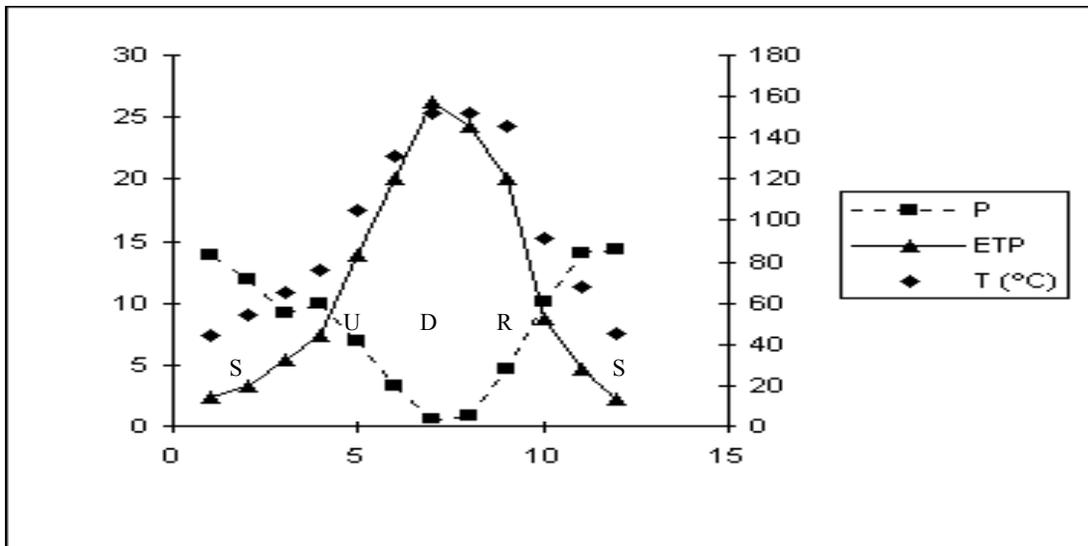
Tª media de invierno del suelo a 50 cm: 9

Régimen de temperaturas: Térmico

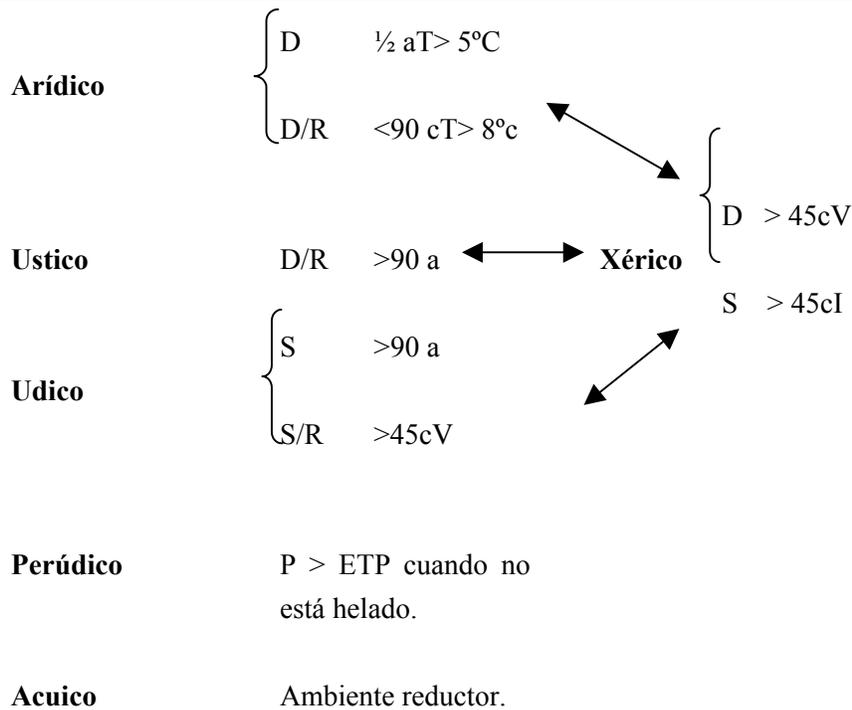
Tª media de verano del suelo a 50 cm: 23.6

**Tabla III.11 Ficha Climática de Archidona.**

La recarga (R), se calcula repartiendo entre los treinta días del mes el valor resultante de  $P - ETP$ , de manera que se puede determinar el día teórico en que el suelo se satura de agua (S). Para el computo del día en que teóricamente el suelo está seco (D), se le quita a la reserva el valor de  $ETP - P/30$ , equivalente a la pérdida por día, de manera que podemos dar el momento en que  $R=0$ , es decir que el suelo está totalmente carente de agua útil para las plantas, dato básico para definir los regímenes de humedad y temperatura.



**Figura III.4. Representación grafica del estado hídrico del suelo.**



Leyenda: Sección control seca:D; húmeda:R; totalmente húmeda S. Dias acumulativos: a; consecutivos: c. Verano V, invierno I.

**Tabla III.12. Relación de Regímenes de Humedad e Intergrados.**

Los intergrados entre los distintos regímenes de humedad son definidos por Ortega y Sierra (1990) según la aproximación propuesta por Van Webeke (1981) recogidos en la Tabla III.13.

R. de Humedad		
<b>Ia</b> <23	<b>Ia'</b> Arídico	<b>Ih</b> <58
23-90	Xérico	58-10
>90	Udico	

**Tabla III.13.- Relación entre los índices de aridez y regímenes de humedad (Sierra et al., 1999).**

Soil Taxonomy	Van Wambeke (1981)	Ortega y Sierra (1990)
Árido	Extremado: 360D Típico: S R <45 cT>8°C Húmedo: otras condiciones.	Xérico Típico (Soil Taxonomy) Ustico
Xérico	Seco: D<90cV Típico: otras condiciones	Árido Típico (Soil Taxonomy)
Ustico	Xérico: D>45cV y S>45cV Húmedo: D<45cV y S>45cV Típico: S<45cV	
Udico	Seco: RD<30 a Típico: RD<30 <sup>a</sup>	Xérico Típico (Soil Taxonomy)

**Tabla III.14. Regímenes de Humedad de la Soil Taxonomy; subdivisiones de Van Wambeke (1981) e intergrados de Ortega y Sierra (1990).**

Régimen de Temperaturas	T <sub>s</sub> a 50 cm
Pergelico	T <sub>s</sub> <0°C
Criico	T <sub>s</sub> <0°C
Frígido	0°<T <sub>s</sub> <8°C
Mésico	8°C<T <sub>s</sub> <15°C
Térmico	15°C<T <sub>s</sub> <22°C
Hipertermico	T <sub>s</sub> >22°C
Iso	ΔS<5°C

TS= Temperatura empírica del suelo a 50 cm. ΔS = Variación de temperatura.

**Tabla III.15. Clasificación de los Regímenes de Temperaturas del suelo según Soil Taxonomy.**

Los registros empleados corresponden a estaciones meteorológicas distantes de Sierra Gorda y situados a cotas sensiblemente inferiores del lugar donde se encuentran la meseta kárstica. Como referencia y a modo de ejemplo tomamos los datos que aporta López Chicano (1992), a los que no hemos tenido acceso, que se refieren a la estación de Alfarnate (925 m), donde se dan medias de 1050 mm entre los años 1956-1986, con un valor próximo de 1611 mm en los años 1968-1969.

	E	F	M	A	My	Jn	Jl	A	S	O	N	D
Precipitación	137	137	119	102	74	28	5	5	26	87	155	175
Temperatura	6.4	7.4	8.8	10.8	14.3	17.9	22.3	22.5	19.4	14.0	9.4	6.6

La distribución media mensual de lluvias referidas a este mismo periodo de tiempo, es la siguiente: La temperatura media anual es de 13.3 °C; el gráfico desarrollado por López Chicano (1992) incluye las temperaturas medias, medias de las máximas y medias de las mínimas, mensuales. Figura III.5.

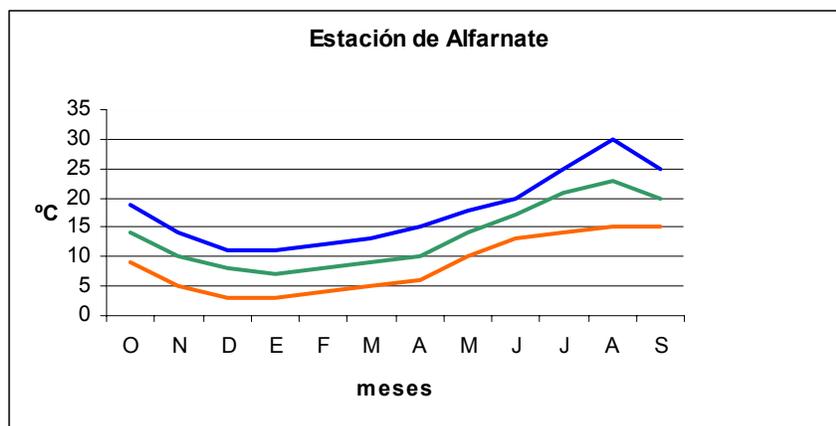


Fig. III.5. Temperaturas medias, medias de máximas y medias mínimas, mensuales.

## III.2. GEOMORFOLOGÍA.

El análisis y descripción de la forma del terreno exige una primera aproximación al conocimiento geológico de la zona, dado que los procesos tectónicos y la litología son los responsables del primer estadio de la evolución geomorfológica: **Unidades morfológicas macroestructurales.**

A esta etapa le sigue la de morfogénesis, que instrumentaliza las fuerzas exógenas, confeccionando un proceso complejo, estructurado según la acción de los factores morfogenéticos, estableciendo lo que Pedraza (1996), con criterios de capacidad y

modalidad erosivo denudadora, define como sistema de erosión o modelado: **Unidades morfológicas estructurales.**

La definición final del relieve lleva al conocimiento de las formas actuales, explicando la interacción entre las acciones endógenas y exógenas, es decir la complejidad morfogenética. El modelado así considerado, es una mera abstracción que permite catalogar y diferenciar procesos constructivos (endógenos) frente a otros moldeadores (exógenos), que se prolongan en el tiempo: **Formas de relieve actual y paisaje.**

A continuación analizamos estos tres procesos en el área de experimentación.

### **III.2.1. UNIDADES MORFOLOGICAS MACROESTRUCTURALES.**

#### **III.2.1.a. ESTRATIGRAFIA Y LITOLOGÍA.**

En este apartado analizamos el marco geológico en el que se encuadra la Hoja de Archidona (1024), tomando como base las siguientes monografías: IGME (1980,1986, 1988), IGTE (1990), junto a otros trabajos específicos que se detallarán en el momento oportuno, recogiendo aspectos litológicos, stratigráficos y tectónicos.

Se encuadra en las cordilleras Béticas y representa el extremo más occidental del conjunto de cadenas alpinas europeas. En el territorio que nos ocupa están representadas, tanto formaciones de la zona subbética (preorogénicas), como rellenos postorogénicos.

En la zona Subbética, se separan dos grandes conjuntos preorogénicos, netamente diferenciados: Trías de Antequera y cobertera mesozoico-terciaria (Subbético medio).

Los materiales postorogénicos configuran grandes superficies casi planas o ligeramente onduladas a onduladas, que alcanzan un gran desarrollo en el ángulo nororiental de la Hoja y en las zonas este y sur del mapa.

Todas ellas se describen a continuación englobándolas en formaciones preorogénicas y postorogénicas:

## **A. FORMACIONES PREOROGÉNICAS.**

**A.1. Trías de Antequera.** Los materiales triásicos que afloran en el territorio objeto de estudio, se subdividen en dos formaciones, teniendo en cuenta criterios tectónicos diferenciables, según Peyre (1974), por la presencia de elementos exóticos en lo que Staub (1926), da a conocer como Trías de Antequera, dominante en el área experimental, si bien ambas formaciones tienen composición semejante y límites inciertos (IGME, 1986). Además, se prefiere hablar de Trías Subbético indiferenciado en ambas situaciones, dada su similar composición y la disposición caótica de los integrantes, que imposibilita el estudio estratigráfico generalizado. El desorden heredado se modela parcialmente merced a la transformación de anhidrita en yeso que provoca pseudoestratificaciones (Peyre, 1974).

Sin datos concretos y por el tipo de facies, sólo es posible asimilarlo con el Keuper, según indica IGME (1980), que lo atribuye al Trías Superior y lo componen masas caóticas, detrítico- yesíferas, donde el material detrítico lo forman arcillas abigarradas, de colores rojizo-violáceos, con inclusiones de areniscas, alternando con carnioles, dolomías, calizas y ofitas; en el caso del Trías de Antequera, como se ha señalado, se acompañan de bloques exóticos y en ningún caso los niveles sulfatados y clorurados se entrecruzan.

**A.2. Zona Subbética.** En ella hay diversos dominios paleogeográficos y sólo aparece en el área de Archidona el Subbético en s. str. (Vera, 1966) o Dominio Subbético medio según García Dueñas (1967).

De otra parte, Peyre (1974), la circunscribe a lo que llama complejo de Alta Cadena y Baena et al. (1982), le añaden un tramo Subbético Medio Meridional, englobando la alineación de altas sierras calcáreas y las depresiones del entorno. IGME (1988), remarca

que, se trata de un gran banco carbonatado, fuertemente subsidente, donde se acumularon más de 1000 m de carbonatos someros.

La serie estratigráfica se inicia en el Trías Superior (arcillas rojas y carniolas) y le sigue, concordante, la formación calizo dolomítica del Lías Superior y Medio (80-180 m), donde pueden aparecer intercalaciones volcánicas muy alteradas. Concordante con la serie liásico-dolomítica hay una formación de calizas blancas, micritas y oolitas, con una potencia del orden de los 200 m.

Lías Superior y Dogger Inferior están integrados por un conjunto de calizas rojizo-nodulosas, margocalizas, calizas grises y margas con calizas rojo-nodulosas, mientras que el Dogger Medio-superior y Malm presentan: calizas, arcillas rojas y calcarenitas con sílex, seguidos de radiolaritas con margas, calcarenitas y calizas nodulosas alternando con margas rojas.

Describe Peyre (1974), que estos materiales se continúan con otros de color blanco, cretácicos, compuestos de margas y margocalizas, pasando después a otros de tonos rosados, hecho que interpreta Pineda (ITGE, 1990) como discordancia en el sentido de frenado en la sedimentación.

En el Paleoceno, el material básico esta constituido por calcarenitas grises y el Eoceno se inicia con arcillas rojas y verdes, para continuar con un flisch calcarenítico-arcilloso de tonos rojizos y margas. Los términos superiores corresponden a un flisch areniscoso micáceo y sobre ellos hay areniscas cuarzosas con arcillas miocenas.

Concluyendo, los sistemas montañosos presentan litología dolomítica que en los niveles superiores se traduce en afloramientos calizos, olíticos y micríticos, donde se materializan los procesos cársticos y una pedogénesis llamativa con formación de suelos rojos, que poseen un horizonte diagnóstico argílico o kándico bien diferenciado.

## **B. FORMACIONES POSTOROGÉNICAS.**

Incluyen formaciones posteriores a la orogenia que afectó a los materiales del Mioceno Inferior y Medio, donde los conglomerados y margas Tortoniense han desaparecido prácticamente y sólo de forma puntual se identifican materiales pliocuaternarios relacionados con los relieves vecinos, compuestos por conglomerados, arcillas, calizas y margas.

Las formaciones netamente cuaternarias, significativas por su extensión, relieve, uso agrícola y paisaje, se encuentran en zonas geográficas bien definidas aunque geológicamente difíciles de concretar. Son los llanos de Archidona al norte de los terrenos triásicos y la depresión próxima a Villanueva del Trabuco, ubicada en el flanco meridional de la formación secundaria; otras formaciones interesantes son: conos aluviales, canchales, valles y depresiones varias, dispersas por toda el área.

Concretando, los llanos de Archidona están conformados por materiales aluviales ligados al cauce del río Guadalhorce, en el tramo más occidental. En estas terrazas subyace un conglomerado de potencia variable, heterométrico, con distinto grado de redondez y naturaleza variada (ofitas, carniolas, calizas, etc.), cuya edad puede llegar hasta el Pleistoceno; tapizándolo hay depósitos más recientes, propios de llanuras de inundación, de potencia variable, compuestos por materiales arcillosos, de tonos oscuros, que dan al suelo fuerte consistencia tanto en seco como en húmedo.

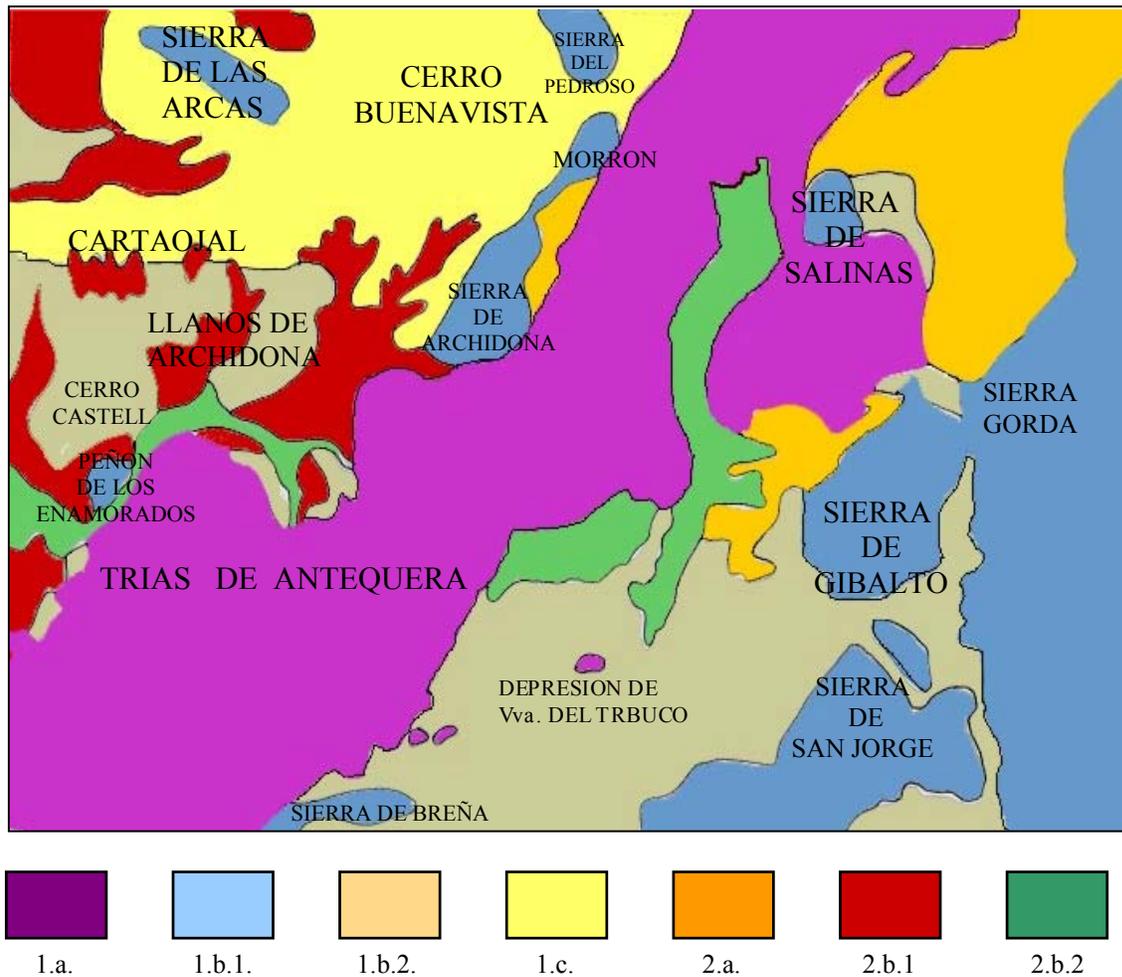
En el área más oriental, el afloramiento cuaternario está regido por aluviamientos relacionados con el ambiente y los materiales calizo-kársticos circundantes, por cuya causa hay arcillas y arenas rojas rellenando las posiciones más deprimidas y distantes del río Guadalhorce. También, hay zonas donde los materiales arcillosos rojizos proceden directamente del Trías y en este caso las arcillas son más ilíticas, haciendo que los suelos no presenten propiedades vérticas. Se supone formados durante el Pleistoceno y Holoceno inferior (ITGE, 1990).

Los conos aluviales alcanzan especial relevancia al oeste de Archidona, pudiendo estar o no encostrados (horizonte mk) y destaca la fuerte rubefacción existente. Cronológicamente, los más antiguos los sitúa Martín-Serrano (1982) en el Pleistoceno medio, en razón de los encostramientos que presentan.

En la zona de Villanueva del Trabuco y aledaños hay otras acumulaciones de origen aluvial, incentivadas por la existencia de redes fluviales cerradas que impiden la evacuación hídrica de los sedimentos finos en suspensión, marcando así el relleno de vaguadas y otras depresiones cerradas más antiguas. La litología de los materiales alóctonos depositados hay que relacionarla con la existente en los terrenos circundantes, proliferando las arcillas hinchables (de colores que oscilan entre pardos y grises, más o menos oscuros), confiriéndole al suelo ciertas propiedades vérticas.

Como podemos observar en la figura III.6. existen cinco grandes sectores en el conjunto geológico, que son los siguientes:

1. Sector del Triás: compuesto por materiales detríticos ricos en arcilla, con intercalaciones calizo dolomíticas y de yesos, en cantidades variables relacionadas con la posición dentro de la banda triásica que divide el mapa en dos secciones, según la diagonal que se extiende de SO a NE.
2. Sector Jurásico Inferior y Medio: conforma la gran barrera montañosa dispuesta en la zona oriental del mapa, en el límite con la Hoja de Loja (1025), configurando al sur, el arco del Complejo de Alta Cadena. La litología es calizo dolomítica.



## LEYENDA DE LA FIGURA III.6.

## A. Formaciones preorogénicas

1.a. Trías indiferenciado: margas y margocalizas con intercalaciones de yesos

1.b. Subbético s.s.r.:

1.b.1. Sector donde afloran calizas y dolomías del Jurásico inferior medio.

1.b.2. Sector con afloramientos calizos y margocalizos con distinta tonalidad, pertenecientes al Jurásico superior, Cretácico y Paleógeno.

1.c. Subbético medio meridional: lo componen margas, margocalizas y arcillas Cretácico-miocenas, cubiertos a veces por flyschs calcaareníticos-arcilloso rojos o areniscoso-micáceo.

## B. Formaciones postorogénicas

2.a. Materiales pleistocenos compuestos de arcilla roja con intercalaciones de lechos conglomeráticos, que alternan con margas y calizas por cambios de facies o por superponerse a las arcillas.

2.b. Cuaternario.

2.b.1. Conos aluviales, terrazas y coluviones.

2.b.2. Sedimentos aluviales

**FIGURA III.6. Esquema litológico superficial de los conjuntos geológicos.**

3. Sector Jurásico Superior, Cretácico y Paleógeno: la litología es compleja: margas, arcillas, margocalizas, arenas, etc., posicionado en el cuadrante noroccidental del mapa.
4. Sector Paleógeno-Mioceno. Se encuentra discordante sobre el sustrato mesozoico y litológicamente los materiales aflorantes están compuestos por margas y margocalizas de tonos claros, junto a arcillas de colores verdosos y rojizos, que pueden ocultarse de forma discontinua por flyschs de tipo calcarenítico-arcilloso rojo, que es concordante con otro de tipo arenoso micáceo al oeste de Villanueva del Trabuco.

Ocupa gran parte de las depresiones existentes entre los grandes sistemas montañosos Jurásicos y el Trías de Antequera, con el que conecta por su flanco sureste, mientras que por el oeste su extensión es menor y se imbrica con los abanicos aluviales del sector 2-b

5. Sector Pliocuaternario: el material litológico lo componen: conglomerados (mayoritarios), margas y arcillas, dispuestos en una franja que tiende a rodear al diapiro de los Hoyos por el norte, este y sur, y se proyecta de forma discontinua por el borde oriental, asociado a los materiales del sector 1 b-2; hacia el noreste, (alrededores de Riofrío) estos materiales se extienden de forma bastante homogénea.
6. Cuaternario: circunscrito al sistema fluvial o fondos de valle en general y conos aluviales, más o menos encostrados, según su edad, que ocupan gran parte del cuadrante noroccidental, describiendo ITGE (1991) tres generaciones de ellos; están compuestos por arcillas rojas y canto heterométricos redondeados.

### **III.2.1.b. TECTÓNICA**

El zócalo pretriásico no aflora en el área del mapa, comportándose como algo rígido no plegado, mientras que la cobertera mesozoica terciaria esta fuertemente afectada por la orogenia alpina, dando lugar a estructuras de corrimiento, según se describe en ITGE (1991). También señala como nivel de despegue el Trías superior, mientras que el inferior queda solidario con el zócalo. La estructura general se presenta como un cabalgamiento del Trías sobre los materiales más septentrionales y el conjunto se ve afectado por la orogenia acaecida en el Mioceno inferior y posiblemente por otra anterior, de edad cretácica superior a Eocenoica y pliegues-falla de dirección NE-SO.

De las zonas paleogeográfico-tectónicas descritas por ITGE (1990), sólo aparece el Subbético Medio y con él las estructuras tectónicas que hacen referencia al Trías de Antequera y el complejo de Alta Cadena.

El primero de ellos se concibe como uno de los niveles de despegue clásicos de la zona Externa a favor del cual se producen los cabalgamientos. Respecto del complejo de Alta Cadena, en la memoria del Mapa Geológico de Archidona, Pineda (1991) justifica el diseño de un arco (Alta Cadena en s. str.) cuya convexidad esta dirigida al S-SE.

Después de la etapa de plegamiento, se diferencian unas regiones de fuerte subsidencia que se rellenan, posteriormente, con depósitos alóctonos de edad pliocuaternaria.

Durante el Plioceno Cuaternario, se regula el relieve mediante procesos neotectónicos, que según ITGE (1991), continúan vigentes y son responsables del aspecto actual. Lhenaff (1981), da gran importancia al Villafranquiense y responsabiliza a dicha etapa de los niveles aluviales: terrazas y conos encostrados cuyo desarrollo describe Martín Serrano (1982), y al replano que trunca al Trías de Antequera.

En resumen y desde el punto de vista de las formas generadas por las fuerzas endógenas, en el área de estudio se establecen cuatro unidades perfectamente diferenciadas:

- 1) Trías de Antequera.
- 2) Zonas de Altas Sierras en el E y SE (Alta Cadena y Sierra Gorda de Loja).
- 3) Zonas subsidentes ubicadas al N y S de la banda del Trías, junto a otras depresiones como la de Villanueva del Trabuco, Alazores, etc.
- 4) Zonas cuaternarias de origen aluvial.

### **III.2.2.UNIDADES MORFOLÓGICAS ESTRUCTURALES.**

Los hechos que marcan el relieve actual del área de Archidona y aledaños, son resultado de la acción en el tiempo de una serie de eventos relacionados con procesos de cabalgamiento, retrocabalgamiento, movimientos orogénicos, fenómenos kársticos, peniplanaciones, subsidencias, basculamientos y rellenos de las zonas más deprimidas.

En este breve análisis los detallaremos de forma conjunta, enmarcándolos en las cuatro unidades macromorfo-estructurales descritas.

#### **III.2.2.a. MORFOGÉNESIS RELACIONADA CON EL TRÍAS DE ANTEQUERA.**

El Trías de Antequera es definido, por numerosos autores, como una formación tectónica y no de tipo sedimentario, como señalan otros de forma puntual. Dichos materiales cabalgaron en dirección SO-NE y desarrollaron una banda de anchura próxima a los 7 km en el extremo más occidental y no llega a los 5 km en el tramo final.

Estamos ante una unidad de geología muy compleja y mal conocida, definida por distintos autores como de carácter tectónico y alóctona (Sabatell, 1973; Cruz Sanjulián, 1974; etc.) mientras que otros la dan como para autóctona (Jerez, 1981; Saenz de Galdeano, 1983; etc.),

Muchos estudios remarcan su aspecto kárstico o como dice Duran (1984) muy distante de ser ordenada.

Lo aceptado es que todo el conjunto se afectó por la orogenia alpina y además sufrió y parece seguir sufriendo retoques estructurales, ocasionados por fenómeno diapíricos y/o halocinéticos, incentivados por las grandes masas salinas existentes en las profundidades, donde cabe destacar su neta diferenciación estructural dependiendo del contenido y tipo de sales solubles, siendo más profundos los niveles ricos en halita, de manera que en el área sólo emergen sales sódicas en Fuente Camacho y sus alrededores, a través de fracturas de falla.

El modelado kárstico, del que hablaremos seguidamente, viene marcado previamente por la peniplanación acaecida durante el Villafranquiense (Lhenaff, 1967; Peyre, 1974; IGME, 1980; etc.), que originó una importante rasa de erosión, netamente definida e inclinada al oeste: cotas medias próximas a 830m, 800m y 750m, en los dominios de Los Hoyos, Lomas del Yesar-Peñas Prietas y Monte de Monjas, respectivamente, que se cortan limpiamente desarrollando diferentes unidades estructurales dentro de la banda del Trías de Antequera, que denominaremos con el nombre propio de los dominios antes mencionados.

En ellas se ordenan las principales depresiones, con drenaje endorreico, de NE a SO, constituyendo por sí un verdadero campo de dolinas y lagunas, de extensión restringida, catalogadas en algunos casos por su valor ecológico como Espacios Naturales Protegidos de Andalucía.

Con las únicas excepciones claras de Laguna Grande y Chica, el resto tiene un régimen hídrico temporal, relacionado con los ciclos hidrológicos. Las aguas de las lagunas estudiadas presentan una amplia gama de salinidad, siendo en general de baja calidad, no válidas para el consumo humano y con ciertos riesgos para el uso agrícola. (Almécija, 1997)

### **III.2.2.b. MORFOGÉNESIS RELACIONADA CON EL COMPLEJO DE ALTA CADENA Y SIERRA GORDA DE LOJA.**

La orogenia Alpina es la causante de los rasgos estructurales más agresivos dentro de la Hoja. Se trata de las sierras que circundan por el E y SE el perímetro del área experimental, destacando sierra Gorda de Loja, que aparece por el E como un gran domo que culmina en los 1700m (IGME, 1990), mientras que los sistemas de la Alta Cadena muestran alineamiento de cumbres próximo a los 1400m, sobresaliendo el conjunto entre 300 y 500m sobre las depresiones alomadas, talladas a partir de materiales subbéticos blandos.

La mayoría de las sierras son altiplanos con ligera inclinación, generalizada en la Alta Cadena según la dirección NE a SO, siguiendo la misma orientación que la banda triásica.

Su disposición es la siguiente: paralela con Sierra Gorda y separada por un terreno deprimido, ondulado a casi llano, está el complejo de Alta Cadena, representado por la sierra de Gibalto (2486m), Tres Mogotes (1387m) y San Jorge (1332m), terminando por el SE con sierra Gorda de Villanueva del Trabuco (1412m), que penetra en la vecina Hoja de Colmenar (1039), diseñando por allí el arco de la Alta Cadena cuyo fin es el alto de la Breña, que ITGE (1990) explica merced a una etapa previa de cabalgamiento, dirigida hacia el N, con el añadido posterior de un retrocabalgamiento.

Concretando, se trata de un sistema de sierras desarrollado tras la orogenia alpina, entre el Aquitaniense y el Burdigaliense, con desplazamiento de las unidades hacia el N y NO, acompañado de cabalgamientos y retrocabalgamientos.

Los movimientos orogénicos son responsables del macromodelado montañoso, mientras que la peniplanación de crestas favorece el relieve kárstico que presentan.

### **III.2.2.c. INDIVIDUALIZACION DE LAS DEPRESIONES Y DE LAS VEGAS.**

Relacionadas con las etapas del plegamiento alpino hay situaciones fuertemente subsidentes y de depósito, que alternan con otras donde los procesos erosivos se ven incentivados. Cada una de las depresiones, como indica IGME (1980), tiene una historia sedimentaria diferente e íntimamente relacionadas con los relieves circundantes.

Lhenaff (1981) resalta, que si bien la neotectónica no ha conferido un carácter diferencial a la estructura morfológica general, si ha intervenido y continua interviniendo a escala local, provocando nuevos contrastes que matizan, junto al lento levantamiento actual de cordillera, la morfología de los sectores deprimidos y dispersos geográficamente: llanos de Archidona y Vivarena-Fresno; depresiones de Villanueva del Trabuco y de los Alazores; conos aluviales, canchales etc.

Así pues, a lo largo del área de estudio se observa zonas deprimidas, cuya morfología actual se debe relacionar con la naturaleza de los materiales presentes y con la historia geológica.

La actividad orogénica es responsable del levantamiento de las superficies del Trías de Antequera y de los sistemas montañosos jurásicos, mientras que la etapa morfogenética marcada por el basculamiento del conjunto hacia el SO, inicia junto a la orogenia el desnivel existente entre el territorio triásico y los llanos de Antequera, marcando la fuerte superposición del río Guadalhorce y del arroyo Marín, eventos que por la misma causa se ven minimizados en el extremo opuesto menos afectado por el basculamiento tectónico, de ahí el escaso desarrollo de la red hidrográfica en el extremo oriental de la Hoja: arroyo de Fuente del Fresno, Lana, Negra, etc.

El desnivel entre la zona triásica y los llanos de Archidona supera fácilmente los 200m y desciende aproximadamente a los 60 m en los alrededores de las lagunas de la zona de los

Hoyos y Albaradas, respecto de los arroyos de Fuente Fresno, la Lana o de la Negra, respectivamente.

Las depresiones relacionadas con los sistemas montañosos del complejo de Alta Cadena y Sierra Gorda de Loja, modelan un relieve ondulado a suavemente ondulado, sobre formaciones blandas, de edades jurásica, cretácica y paleógena.

La naturaleza de los materiales, alóctonos o autóctonos, confiere a los suelos rasgos morfológicos característicos: suelos con propiedades vérticas cuando evolucionan sobre arcillas plásticas, de colores grises a pardos, o suelos con señales de iluviación, de edad pliocuaternaria, generados a partir de gravas y cantos que intercalan arcillas rojas, cuya movilización facultó el desarrollo del horizonte textural que define al suelo rojo modal de estos ambientes.

### **III.2.3. RELIEVE ACTUAL Y PAISAJE.**

El relieve actual está representado por un sistema de cordilleras, distribuidas por el extremo oriental, donde se conjugan Sierra Gorda, Gibalto y San Jorge, conformando un magnífico karst calizo. En la zona central y noroeste se sitúan las sierras de Archidona, Umbral y Arcas. Entre estos sistemas montañosos se ubican una serie de depresiones como la de Villanueva del Trabuco y las vegas de Archidona.

Destaca en el conjunto la banda de Trías que discurre de noreste a suroeste (karst de yesos). El resto son terrenos pliocuaternarios, ondulados, con diferentes pendientes, litologías y colores. El uso que se les da a estos terrenos es muy variado, si bien últimamente hay una clara disposición a colonizarlos con olivos.(Figura III.7).

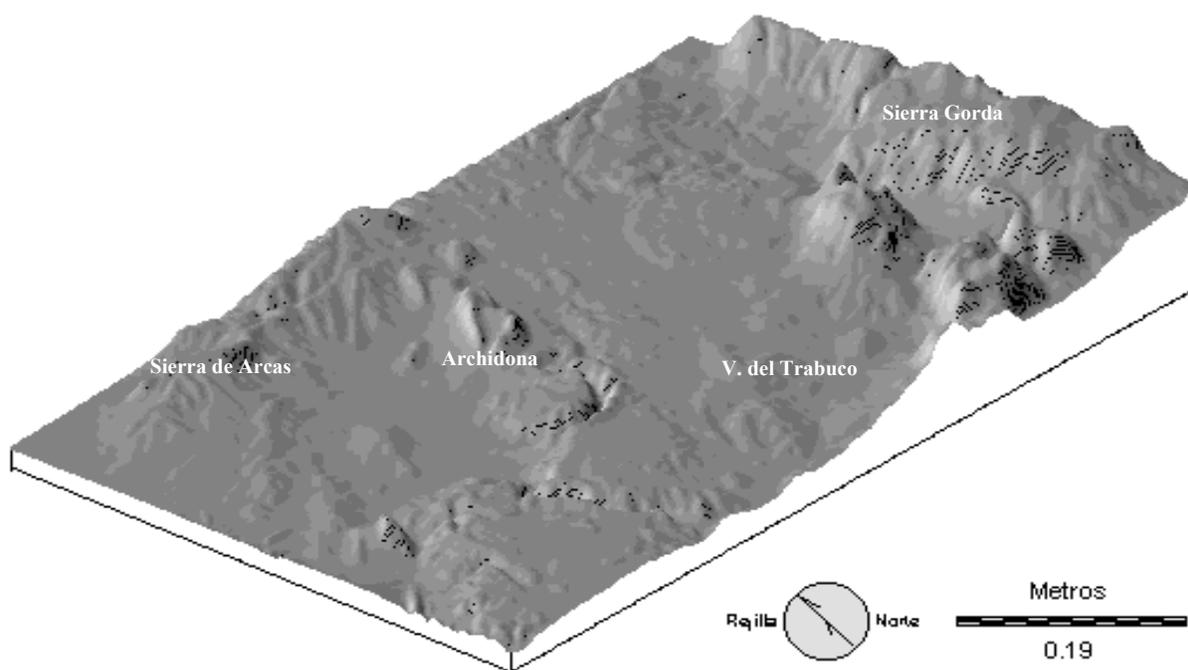


Fig. III.7. Modelo tridimensional del terreno de la Hoja de Archidona

### III.2.3.a. FORMACIONES KÁRSTICAS.

El término karst se utilizó inicialmente para definir ciertos relieves edificados sobre materiales carbonatados, ampliándose después a otras formas de modelado, tallado sobre litologías diferentes con mayor o menor presencia de sales solubles. En ambos casos, el desencadenante es de tipo químico, seguido de procesos físicos como transferencia de masas, dispersiones, hundimientos, etc.

En ambientes salinos, como el que nos ocupa (materiales arcillosos yesíferos), el fenómeno es muy simple y depende de la concentración en yesos, composición del disolvente en cada momento y temperatura en que se lleva a cabo el proceso.

Donde el material original es netamente calcárico el fenómeno es más complejo y en general más espectacular, debido a que la movilidad del carbonato cálcico exige un paso

intermedio como bicarbonato, hecho que necesita del CO<sub>2</sub> atmosférico y/o edafológico. El resultado de ambos sucesos es el desarrollo de formas diferentes y a veces muy sugerentes, de tipo endokárstico y exokárstico.

En el área de estudio se aprecian ambos fenómenos kársticos, si bien de manera más extensa los ligados con materiales yesífero- triásicos.

### **III.2.3.b. DEPRESIONES.**

#### **A. DEPRESIONES RELACIONADAS CON EL COMPLEJO DE ALTA CADENA.**

Después de la etapa del plegamiento alpino, se diferenciaron ciertas regiones de fuerte subsidencia y de depósito, junto a otras manifiestamente erosionadas. Cada conjunto depresivo tiene una historia diferente, marcada por los propios eventos tectónicos pasados y vigentes, así como por los desprendimientos de los relieves circundantes: depresiones de Villanueva del Trabuco, Alfarnate y los Alazores.

El conjunto se puede definir como un entramado endorreico, con relieves jóvenes, fuertemente ondulados a colinados, cuya red hidrográfica está poco desarrollada y las laderas exponen evidentes signos erosivos, producto de la acción agresiva de las aguas de lluvia, como son surcos: cárcavas, deslizamientos, etc., favorecidos además por la propia fragilidad del roquedo.

La zona donde emerge el flysch paleógeno, presentan una litología básica de calcarenitas arcillosas con colores rojos y edad Eocena o menos plástico, micácea, de color pardo, más o menos oscuro, del Oligoceno. Ambas formaciones se asemejan con los relieves residuales desarrollados a partir de margas Cretácicas blancas (Cerro Gordo, Loma de Los Atachos, Cerro Condestable, Cerro Castellón, etc.), si bien los suelos son más vertisólicos.

El paisaje queda marcado por sistemas ondulados con contrastes de color que va de rojo a pardo o blanquecino, según la litología imperante, y un mecanismo de erosión que se incentiva por la presencia de suelos arcilloso-plásticos, en parte estabilizados por el monocultivo del olivo y el tipo de labranza.

## **B. TERRENOS PLIOCUATERNARIOS.**

Aparecen dispersos por el área de trabajo y destaca por su extensión los terrenos ubicados alrededor de Riofrío, que penetra en la localidad vecina.

Unidad compleja en su litología pero monótona en composición pedónica, cuyos rasgos morfológicos más significativos son heredados del material original.

Presenta un relieve alomado con ligero cabeceo y vaguadas alineadas en zig-zag; las laderas son inclinadas a moderadamente escarpadas, están bastante bien conservadas y los suelos presentan colores variados, rojos a pardo amarillentos.

Los materiales pliocenos consisten, según ITGE (1990), en gravas y arenas de facies fluvial con intercalaciones de arcillas rojas, que cambian lateralmente de facies alternando con margas blancas o amarillentas, bastante plásticas, que se responsabilizan del contraste cromático de las unidades edafológicas.

## **C. LLANOS DE ARCHIDONA**

Aparecen hundidos respecto de las unidades triásicas del Monte de las Monjas y Lomas del Yesar-Peñas Prietas, con desniveles que pueden llegar a 250m. Se trata de formaciones cuaternarias yuxtapuestas.

El dominio morfológico de los llanos de Archidona se conecta por el norte gradualmente con los paisajes subbéticos, mientras que por el sur se articula con el Trías de Antequera mediante un importante escalón, formado por una serie de conos aluviales. Estos son responsables de los cambios pedónicos existentes en el seno de la unidad, consistentes en Calcisoles y Luvisoles, en las zonas con mayor desarrollo edafológico y menos alterados, y Leptosoles en las posiciones más erosionadas, al que suceden formaciones más recientes de origen fluvial

El tramo del llano relacionado con el curso del río Guadalhorce se conoce como Vega de Archidona; lo componen una sucesión vertical, bastante potente, de cantos heterométricos, redondeados o angulosos, cuya naturaleza se debe relacionar con el lugar de procedencia (ofitas, carniolas, calizas, dolomias, etc). El material edafizado que los cubre supera difícilmente los 50cm y está compuesto por arcillas, muy plásticas y adherentes, con desarrollo estructural en grandes bloques poliédricos, muy duros en seco, destacando en el conjunto del llano por el color oscuro que contrasta con el pardo a rojo del resto de los suelos de la planicie, asimilables a la colección de conos aluviales pleistocenos, más recientes, mientras que la rubefacción, lavado de carbonatos e iluviación de arcillas, es menos acusada en las formaciones aluviales del holoceno-pleistoceno.

Los conos aluviales se definen mediante tres secuencias con desigual superficie y límites poco definidos, ubicadas en el extremo noroccidental de la hoja. Se trata de superficies planas o suavemente inclinadas, compuestas por cantos heterométricos asociados con una matriz arcillosa, más o menos rubefactadas, definiendo ITGE (1991), en las mencionadas formaciones tres niveles .

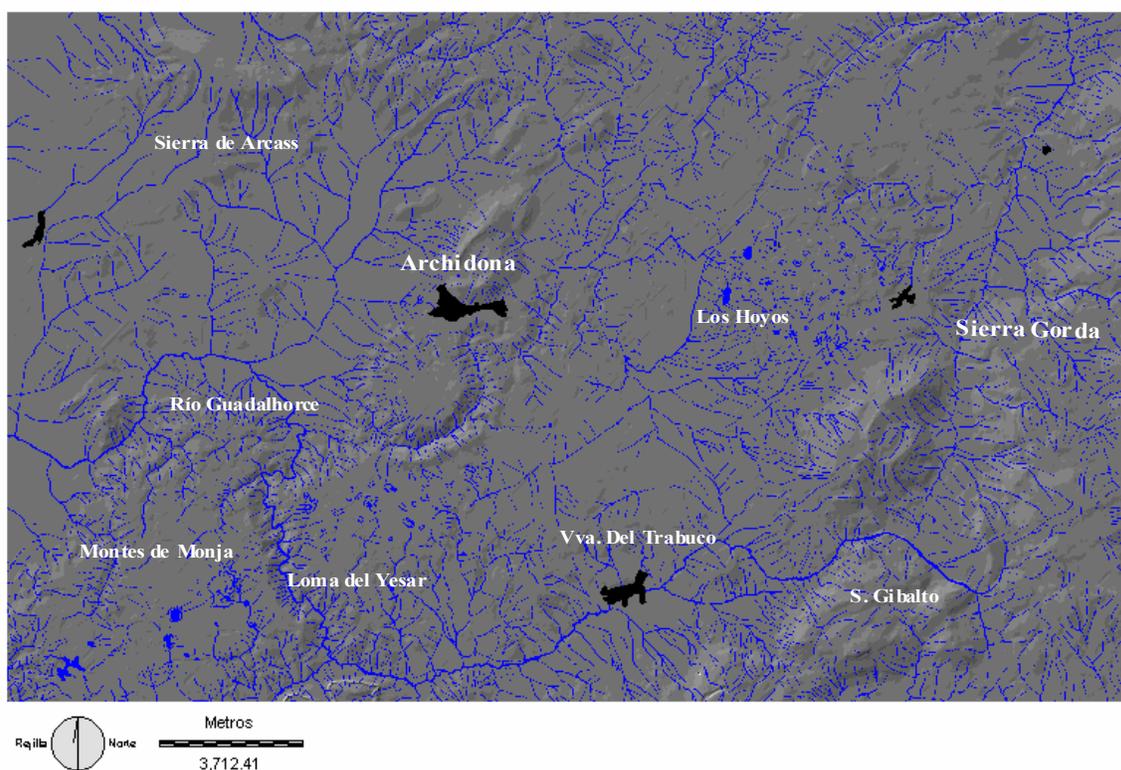
El primero de ellos lo forman conos encostrados, son los más antiguos y están escasamente conservados, asociándose a los relieves montañosos donde quedan residuales los luvisoles rodipetrocálcicos; los conos aluviales intermedios comienzan a manifestar la superimpresión de la red fluvial y el suelo que le da entidad es el Luvisol rodicalcárico;

finalmente los conos más recientes, pleistocenos, muestran suelos crómicos que morfológicamente se asemejan a los fluvisoles ligados a los ríos de mayor cauce. Todos ellos se dedican exclusivamente a olivar.

Por último cabe mencionar formaciones de piedemonte formada por canchales de extensión variable, siendo los más importantes los que rodean al Peñón de los Enamorados.

### III.2.4. REDES DE DRENAJE.

Aceptando la definición de red hidrográfica como “la zona de terreno en la que el agua, los sedimentos y los materiales disueltos drenan hacia un punto común”, la zona objeto de estudio pertenece a dos cuencas hidrográficas diferentes. El sector nororiental a la Cuenca Hidrográfica del Guadalquivir (Arroyo de Las Mozas y Barranco de río Frío) y el resto que pertenece a la Cuenca Hidrográfica del Sur.



**Fig III.8.- Mapa de redes de drenaje de Archidona.**

La forma de una cuenca aporta datos fundamentales en el estudio del medio (Aguiló et al., 1996), pues las pendientes y densidad de drenaje limitan o posibilitan determinadas actuaciones.

En nuestro caso se pueden diferenciar cinco grandes zonas relacionadas con la litología, las pendientes y la tectónica:

a. Zona noroccidental en la que predominan los conos aluviales y entre los que aflora el macizo calizo margoso de la sierra de Arcas. Este macizo determina que la dirección de los cursos fluviales se diversifiquen en el espacio, perteneciendo, los del sector norte a la Cuenca del Guadalquivir y los del meridional a la Cuenca Hidrográfica del Sur.

Los materiales detríticos (arcillas, arenas y cantos) contribuyen, junto con las pendientes, a la formación de subcuencas de textura media (en función de la distancia de las corrientes de primer orden que a escala 1:50.000 es de 0.3 a 2.5 cm) predominan las cuencas en las que las redes adoptan una forma pinnada, evidenciando un alto contenido de limo en el suelo.

En el sector calizo el drenaje es de tipo angulado, variante del drenajedendrítico, dando uniones muy agudas, típicas del paisaje calizo.

b. Sector central, que se extiende en dirección NE-SW, en el que predominan materiales pertenecientes al Trías de Antequera.

En el caso de La Palomera, al sur de Archidona, se da un tipo de drenaje característico de las zonas diapíricas, que se aproxima a la cuenca de drenaje radial.

En estas zonas margosas triásicas, la textura de las cuencas es fina ya que el espaciamiento es menos de 0.3cm a escala 1:50.000. Es indicativa de elevada escorrentía superficial, con niveles de baja permeabilidad.

Otro aspecto importante es el derivado de la formación de campos de dolinas en yesos, ubicadas principalmente en la Loma del Yesar (5 km al sur de Archidona) y en los Hoyos (9 km al este de Archidona).

En ambas zonas, debido a la actuación de las dolinas como sumideros, apenas sí existe escorrentía superficial, por lo que se expresa en forma de cuenca arreica. Sin embargo, sí que existe una importante circulación endokárstica a favor de los yesos.

c. Zona de terraza: Ubicada en el extremo nororiental. Debido a la litología desarrolla una red de tipo dendrítico, de textura media. Constituye la cuenca de mayor superficie que desagua en la Cuenca del Guadalquivir, junto con otras más pequeñas que evolucionan en la banda septentrional.

En algunos puntos (sector del camino de la Toba) se aprecia un drenaje rectangular, variante de la red dendrítica, en la que los tributarios se unen a las corrientes principales en ángulos casi rectos. Esta forma viene regida por la presencia de superficies de falla y materiales areniscosos.

d. Sector de Villanueva del Trabuco: Se observan dos subsectores:

d.1. El primero se sitúa al norte de la población con materiales aluviales, separados del Trías por una falla con dirección NW-SE, a favor de la cual discurre el cauce del arroyo de Vivarena. Los materiales aluviales determinan una fuerte infiltración que se traduce en subcuencas de baja densidad.

d.2. Zona que circunda la población de Vva. del Trabuco. Subcuencas de mayor densidad de drenaje, debido a la litología margosa. Las redes de las subcuencas son de tipo dendrítico-rectangular, regidas en este caso por fallas NE-SW. Estas alineaciones de fracturas propician la dirección del cauce del Guadalhorce al sur de Vva. del Trabuco.

e. Sector este: Ocupa todo el afloramiento calizo que da origen a Sierra Gorda. En la ladera este del macizo evolucionan redes de drenaje de tipo angulado. Se trata de una variante del dendrítico, en las que las fracturas han modificado su forma original. Son frecuentes, aguas arriba, las curvas pronunciadas, formando ángulos grandes ya que los tributarios están muy controlados por las rocas, que en el caso de las calizas, originan uniones muy agudas. Existe una importante proliferación de dolinas en material calizo, desde el cortijo de Megías hacia el sur de la formación caliza.

Este hecho motiva una fuerte infiltración, de modo que la circulación superficial de las aguas es muy escasa, siendo prácticamente nula donde la concentración de dolinas es mayor. Como consecuencia de este proceso, la circulación endokárstica está muy desarrollada en todo este macizo calcáreo.

### **III.3.5. PENDIENTES**

En sentido estricto, la pendiente se define como la inclinación de un terreno respecto al plano horizontal.

En la definición de este factor se deben establecer baremos de medida cuantitativos o cualitativos. Los cuantitativos son más usuales y se expresan en grados ( $0^\circ$  a  $90^\circ$ ) o en tanto por ciento, donde el 100% representa un ángulo de  $45^\circ$  (Tabla III.16). Se suele utilizar el término cualitativo en un sentido más general, para definir unidades geomorfológicas complejas, en la estimación de las unidades cartográficas de suelos y en la definición del paisaje.

En el primer caso, el cálculo de la pendiente se hizo mediante el análisis de las curvas de nivel, estableciendo en cada ladera número y distancia, entre las curvas de máxima y mínima altitud, siguiendo el mapa topográfico a escala 1:50.000. Con este método se delimitan zonas homogéneas y con ellas las clases de pendiente, de forma que no sean

numerosas pero sí suficiente a la escala del trabajo y para su interpretación. Por las razones expuestas es recomendable establecer entre 3 y 8 clases, tal como se recoge en M.M.A. (2000).

GRADOS	TANGENTE	PORCENTAJE (%)
1°43'	0.02997	3
4°34'	0.07987	8
5°00'	0.08749	9
9°05'	0.15988	16
16°42'	0.30001	30
24°14'	0.45012	45
28°49'	0.55013	55
33°00'	0.64941	65
36°52'	0.74991	75
38°40'	0.80020	80
40°22'	0.85006	85
42°00'	0.90040	90
43°32'	0.95007	95
45°00'	1	100
56°35'	1.5156	151
60°00'	1.7321	173
65°00'	2.1445	214
70°00'	2.7475	275
75°00'	3.7321	373
80°00'	5.6713	567
85°00'	11.430	1143
90°	0.0	∞

**Tabla III.16.- Equivalencia entre grado de inclinación y tanto por ciento de pendiente**

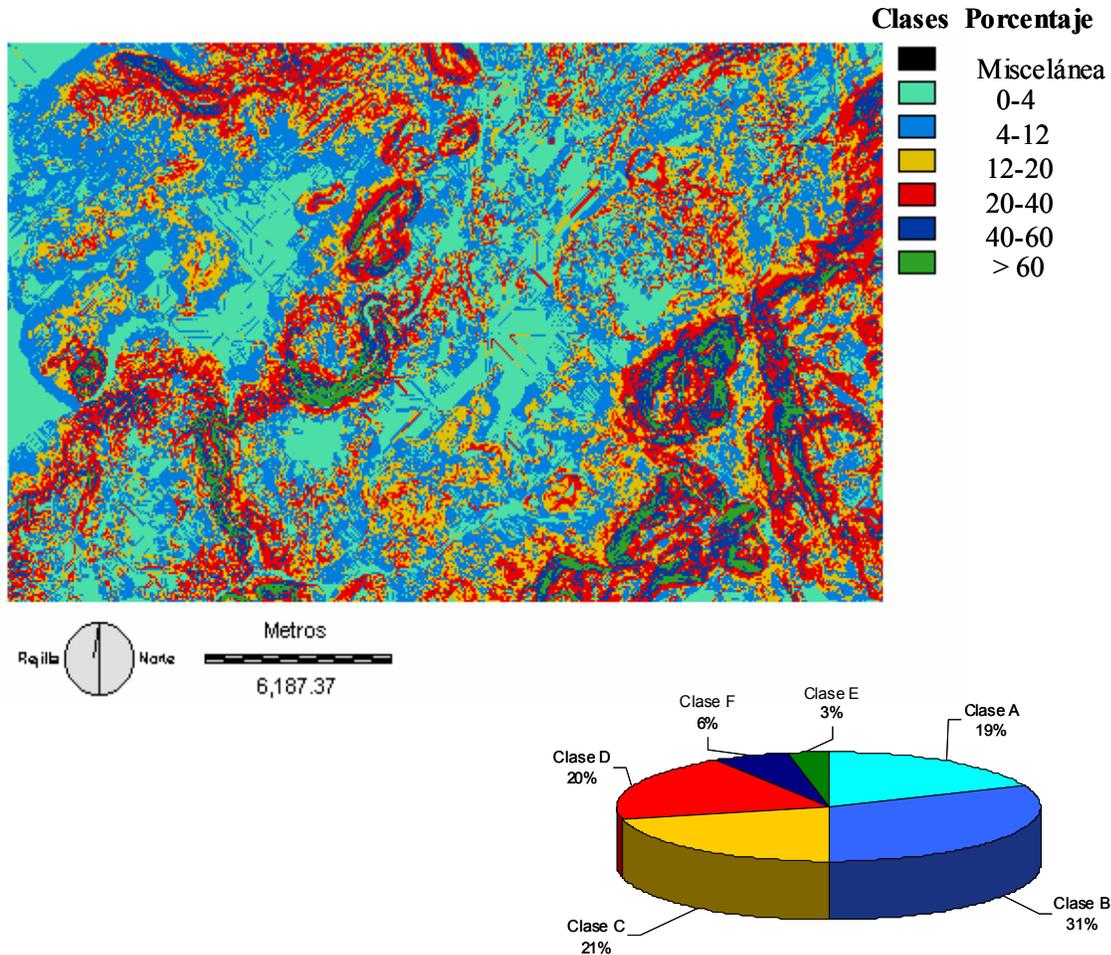
Para la realización del mapa de pendientes existen diferentes métodos: del círculo y la malla; del círculo móvil de los intervalos móviles; de la cuadrícula; descomposición en sectores y mediciones en el campo, todos ellos recogido en la obra de M.M.A. (2000). En el presente trabajo hemos seguido un cálculo de pendientes basado en el programa informático IDRISI, mediante el cual se pueden establecer distintos grados de pendiente según la clasificación elegida y levantar el correspondiente mapa.

Clase	Límites (%)				Denominaciones
	Roca	S.S.C	S.S.S.	FAO	
A	0 - 4	0 - 3	0 - 3	0 - 2	Pendientes simples: casi llanas. Pendientes complejas y mesetas.
B	4 - 12	3 - 10	3 - 8	2 - 6	Pendientes simples: suavemente inclinadas.
C	12 - 20	10 - 20	8 - 16	6 - 13	Pendientes simples: inclinadas o moderadamente inclinadas. Pendientes complejas: suavemente quebradas.
D	20 - 40	20 - 30	16 - 30	13 - 25	Pendientes simples y moderadamente escarpadas o complejas y onduladas.
E	40 - 60	30 - 50	30 - 65	25 - 55	Pendientes simples o complejas, escarpadas.
F	> 60	> 50	> 65	> 55	Pendientes muy escarpadas con variaciones en las elevaciones mayores: montañosa.

**Tabla III. 17.- Clasificación de pendientes según S.S.S., FAO, S.S.C. y Roca**

Para la elección de estos márgenes hemos procedido, previamente, al análisis de algunas clasificaciones existentes: Soil Survey Staff (1951); Servicio de Conservación de Suelos (1966); Clasificación del Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques de Montpellier (M.M.A., 2000); Roca (1990), baremo de pendientes en relación con forma, proceso y actividades según Scholz (tomado de Pedraza, 1996) y FAO (1977).(Tabla 16)

Cada clasificación está hecha en función del tipo de uso que se le da al territorio, teniendo en cuenta que las clasificaciones no pueden tener el mismo intervalo de clase para una misma actividad, variando si el terreno es llano, ondulado o escarpado.



**Fig III.9.- Mapa de pendientes y representación porcentual..**

Las clases adoptadas por nosotros son las establecidas por Roca (1990) que las limita del modo recogido en la Tabla III. 17 a la que adjuntamos el porcentaje de la representación de cada una de ellas en la Hoja de Archidona.

Las pendientes más suaves (clases A y B), ocupan un 50.4% del total de la hoja, y en términos generales, coinciden con litologías margo-arcillo-arenosas, de textura fina lo que influye en la evolución de las redes fluviales y en la evolución de las pendientes.

CLASES	LIMITES %	EXTENSIÓN%
A	0-4	19.4
B	4-12	31.0
C	12-20	20.7
D	20-40	20.0
E	40-60	6.5
F	>60	2.4

**Tabla III.17. Clases de pendientes y representación en la zona**

Las clases C y D ocupan en conjunto una extensión del 40.7% y se ubican en las zonas altas y medias de las laderas, mientras que las clases E y F se concentran en los farallones de los afloramientos calizos de Sierra Gorda y Sierra de las Arcas así como en la zona de Peñas Prietas, afectada por los procesos diapíricos presentes en los materiales del Trías.

### III.3. VEGETACION.

De acuerdo con el estudio biogeográfico de Andalucía (Rivas Martínez et al., 1987), y el mapa de Evaluación de Recursos Agrarios editado por el ministerio de Agricultura, la Hoja de Archidona se ubica en la provincia biogeográfica Bética, sector Hispalense.

La vegetación potencial corresponde a un encinar perteneciente a la asociación *Paeonium-Quercetum rotundifoliae*, estando representado el *Quercus faginea* (quejigo) con bastante profusión en las partes más umbrías. Debido a la acción antropozoógena, hoy en día se ve sustituida por subetapas seriales o sustitutivas, que en orden decreciente son las siguientes:

El coscojar (*Craetaego-Quercetum cocciferae*), que por lo general se encuentra en zonas con suelos esqueléticos (crestas rocosas y laderas abruptas), esta integrado por *Crataegus monogina*, *Rhamnus oleoides*, *Quercus coccifera*. En la actualidad, debido a procesos erosivos, se está mermando la presencia del encinar en beneficio del coscojar.

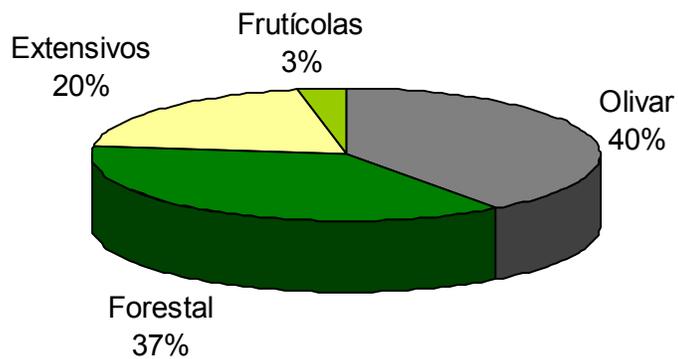
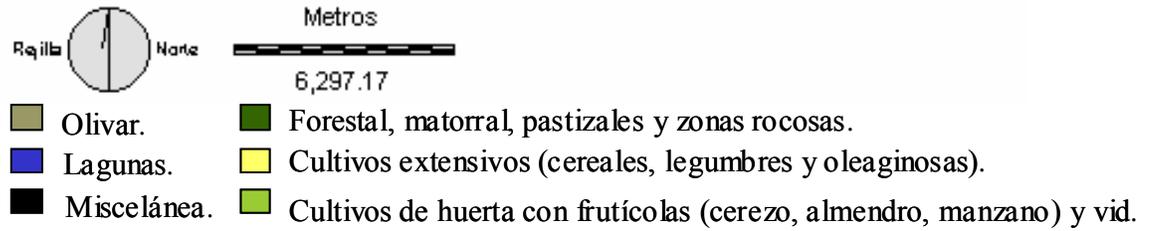
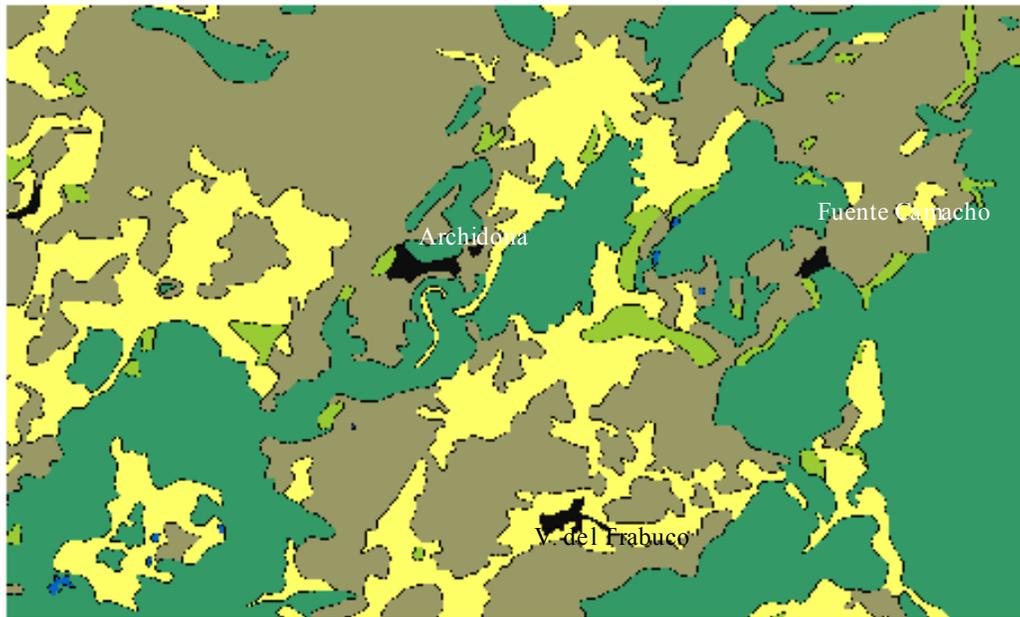


Fig. III.10.- Mapa de vegetación y cultivo; representación porcentual.

El atochar (*Helictotricho-Stipetum tenacissimae*) está caracterizado fundamentalmente por el esparto (*Stipa tenacissima*), encontrándose localizado sobre materiales carbonatados (calizas, materiales detríticos y margas).

La última etapa subserial corresponde a los matorrales, que sobre suelos calizos es un romeral y si está más degradado llega al tomillar. Estas últimas formaciones pertenecen a la alianza Lavandulo-Echinospartion boissieri. En ella destacan las siguientes especies: Romero (*Rosmarinus officinalis*), aulaga (*Ulex parviflorus*), jaguarzo (*Cistus clusi*) y *Ptilostemon hispanicus*.

En suelos que han evolucionado sobre materiales triásicos el atochar es sustituido por albadinares (*Dactylo- Lygetum sparti*).

Los bosques de encinas que en otros tiempos ocupaba gran parte de la superficie de la Hoja, se han sustituido paulatinamente por cultivos agrícolas o bien por comunidades seriales como coscares, atochares y matorrales, siendo frecuente la presencia de pino carrasco.

A grandes rasgos podemos diferenciar tres zonas:

a.- La franja central con dirección NE-SW, dominada por afloramientos triásicos y con un relieve suave. La vegetación climácica queda reducida a pequeñas manchas de encinas y quejigos. Gran parte de la superficie está dedicada al olivar de almazara y a labores intensivas. Estas últimas coinciden con las zonas más llanas, donde afloran materiales cuaternarios que dan lugar a los fluvisoles. Son suelos muy fértiles debido a su profundidad, buena permeabilidad y aireación.

Los cultivos de hortalizas quedan limitados a huertos familiares, que por lo general, se enfocan como cultivos de subsistencia, están dedicados a hortalizas destacando la presencia

de algunos frutales como el manzano, el membrillo y el almendro, siendo la variedad marcona la mas utilizada.

b.- Dos franjas aledañas a la anterior constituidas por materiales terciarios y cuaternarios. En estas dos zonas que flanquean la franja central destaca la presencia de olivares de almazara con sectores mas o menos extensos dedicados a cultivos intensivos (barbecho semillado). Intercalados con estos, subsisten zonas de vegetación natural: pastizal matorral con algunas encinas y en el extremo SW de la hoja y al sur de Archidona (Peñas Prietas) dos manchas de pino carrasco.

Las áreas dedicadas al barbecho semillado son las denominadas en esta región “tierras calmas”, de las que un 50% se destinan al cultivo de trigo y un 20% al de cebada. Las labores intensivas representan pequeños mosaicos dispersos por la hoja.

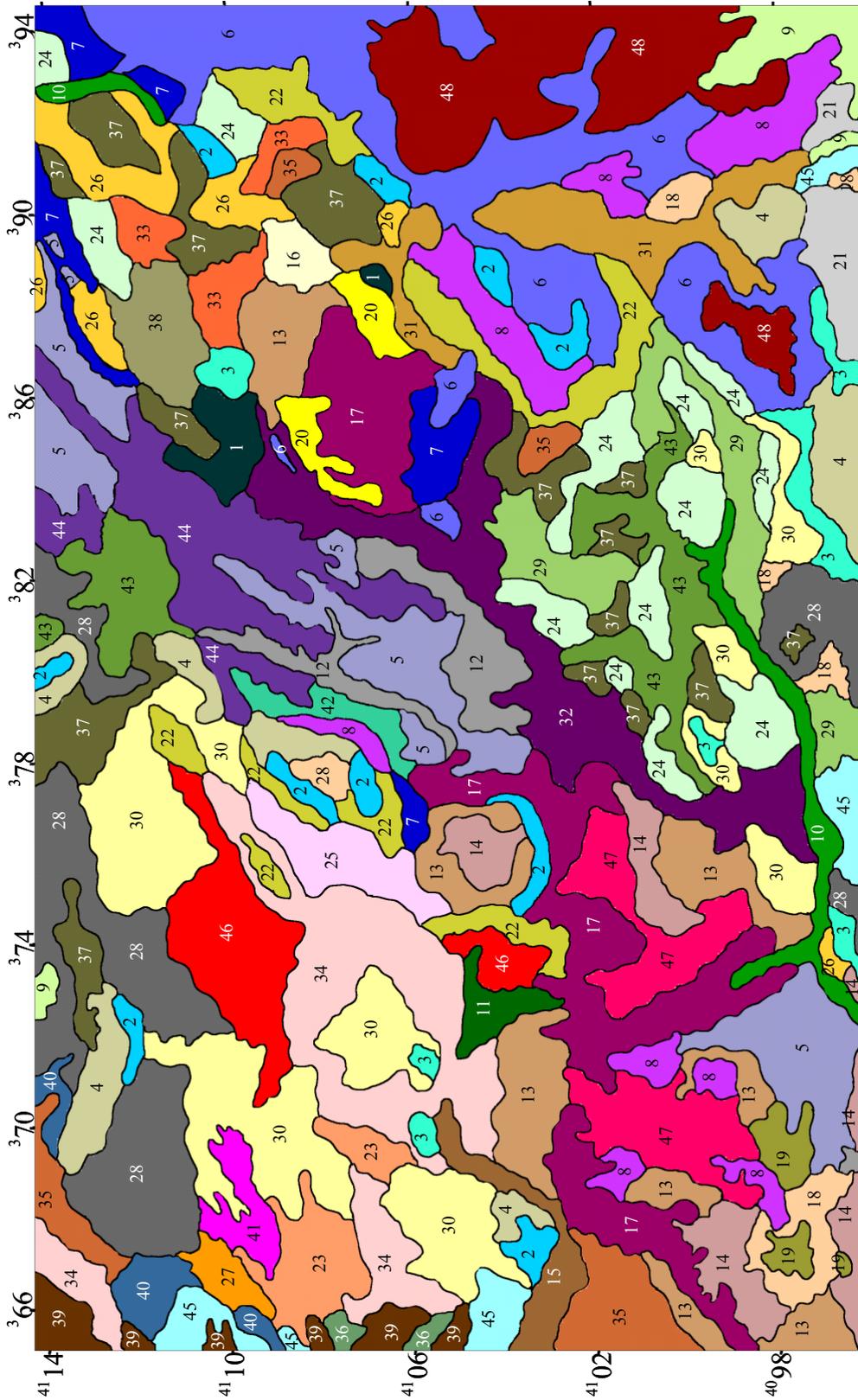
c.- Los afloramientos calizos de la franja sureste de la hoja que conforman los relieves de sierra Gorda y sus estribaciones. Dado lo abrupto del relieve, se ve favorecida la existencia de zonas improductivas, desde el punto de vista agrícola, conservándose en su superficie la vegetación natural (pastizal-matorral). No obstante, en las vaguadas de estas serranías y ocupando pequeñas extensiones, se mantienen la tónica del resto de la hoja en cuanto a cultivos.

En la actualidad se observa, entre los agricultores, la tendencia a realizar nuevas plantaciones olivareras, hecho íntimamente ligado a la situación del mercado.

### **3.4. EDAFOLOGIA.**

En este capítulo incluimos el mapa cartográfico de suelos levantado con la normativa de LUCDEME (1995). Dicho mapa (Fig III.11), ha sido el instrumento base para conocer la tipología de los suelos mas frecuentes en la zona de Archidona y marca la pauta a seguir en el estudio edafológico que representamos en cada uno de los subsectores y de forma muy especial en el de Los Hoyos-Fuente Camacho y Sierra Gorda-Gibalto-San Jorge. Consta de 48 unidades cartográficas y se analizaron un total de 32 perfil modal (Anexo I y II)

**Leyenda**



**Fig III.11. Mapa de suelos de la Hoja de Archidona. Escala 1:50.000**



***IV. PARTE EXPERIMENTAL***



#### **IV. PARTE EXPERIMENTAL.**

En este apartado se incluyen los estudios hidroquímicos y edafológicos realizados en el área de Archidona (Hoja 1024).

#### **IV.I. ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDROQUÍMICOS.**

##### **IV.I.1. CONSIDERACIONES GENERALES.**

Meinzer (1939) define la Hidrología como la ciencia interesada en la existencia del agua en la tierra. Años después el Federal Council of Science and Technology for Scientific Hydrology (1962) dice: “Hidrología es la ciencia que trata sobre las aguas de la tierra, su existencia, circulación y distribución, sus propiedades físicas y químicas y su relación con el ambiente, incluyendo su relación con las cosas vivientes”. Para Morette (1964) es una “ciencia aplicada, que estudia las condiciones naturales de las aguas en razón a su origen (Hidrogeología) y de otra parte determina los procesos que permiten conocer la composición, de ahí su valor para usos domésticos, industriales y medicinales” denominada esta última Hidrología Farmacéutica.

Para Karzmann (1969), ninguna de estas definiciones es satisfactoria por abarcar demasiado y en su Tratado de Hidrología establece dos grandes apartados: Hidrología superficial y subterránea, términos que actualmente se mantienen a pesar de que esta dicotomía preconiza problemas, haciendo hincapié en las líneas que relacionan el agua con el subsuelo y las encauzadas a la explotación de acuíferos.

Como consecuencia del ciclo hidrológico, el agua discurre por la superficie terrestre y a través del suelo, adquiriendo una composición química variable, regulada por la naturaleza del material geológico, tipo de agua y uso, ya que el percolado al pasar por el suelo y la roca modifica su composición constantemente, en proporciones que dependen de parámetros tales como: clima, naturaleza del agua, perfil hídrico, longitud del recorrido, etc.

El riego es un factor a tener en cuenta en la contaminación del suelo y de los acuíferos, dado que todas las aguas usadas para regar, llevan sales fruto del camino recorrido hasta llegar a su último fin. Pizarro (1990), indica conductividades entre 0.4 y 1 dSm<sup>-1</sup> como media normal en este tipo de agua y añade, en el caso de las aguas subterráneas, que estos valores medios son mayores.

Este autor data como agua de buena calidad para riego aquella cuya conductividad eléctrica es de unos 0.75 dSm<sup>-1</sup>, pero en cualquier caso el problema a considerar para el destino final de las aguas, tanto si se lixivian y son eliminadas del solum, como si se acumulan por el mal drenaje subsuperficial, es la cantidad y tipos de sales a nivel de tolerancia, hecho a tener en cuenta en los Llanos de Archidona, donde el manto freático puede estar dentro de los 2 m superficiales (Perfil 1024-1) y ascender en época con déficit hídrico hasta las zonas radiculares, de forma que el desenvolvimiento radicular y con él la nutrición, junto al estado vegetativo, más allá de los factores genéticos y climáticos, dependen de la bioestructura del suelo, del equilibrio agua-aire, de la disponibilidad hídrica a nivel radicular y de la ausencia de sustancias tóxicas específicas para cada especie.

Clase	Solubilidad gL <sup>-1</sup>	Toxicidad para las plantas
<i>Cloruros</i>		
Sódico	264	+++
Magnésico	353	++++
Cálcico	400-500	++
Potásico	elevada	+
<i>Sulfatos</i>		
Sódico	f(t)	++
Magnésico	262	++++
Potásico	elevada	+
<i>Carbonato sódico</i>	178	+++++
<i>Bicarbonato sódico</i>	262	++++

Tabla IV.1. Concentración iónica y toxicidad para las plantas, Porta (1999).

Otros datos a tener en cuenta son los posibles desequilibrios nutricionales que pueden inducir carencias importantes, en razón al efecto del ión común o pares iónicos; también son significativos los problemas de tipo mecánico, por afectar al sistema de riego, o sanitarios, si las aguas se destinan al consumo humano.

Los análisis realizados en diferentes aguas de riego globalizan como sales más abundantes las formadas por los aniones: cloruro, sulfato, bicarbonato y carbonato, mientras que los cationes más representativos son: calcio, magnesio y sodio. Harris (1915) estableció la siguiente escala de toxicidad relativa:



Menos frecuentes pero a tener en cuenta, ya que responden a una determinada procedencia debido al paso por determinados sedimentos u horizontes de suelos agrícolas, contaminados o no por restos industriales, urbanos o derivados de la propia actividad agrícola, son las concentraciones de nitratos, boro, flúor, cobre, cinc, hierro, manganeso, etc., o derivados orgánicos, para los que se dio la Directiva de la Comisión Europea para el agua potable (80/778/ C.E.), estableciendo como máximo  $0.1 \mu\text{gL}^{-1}$  cuando se trata de un fitosanitario específico y un total de  $0.5 \mu\text{gL}^{-1}$  para la media total, cuya incidencia más inmediata, tal como señala Porta (1999), fue una mayor atención a su actuación en el suelo y su posible acumulación en fuentes naturales y acuíferos.

Materias incorporadas al suelo	Contaminantes potenciales en el suelo
Fertilizantes enriquecidos	B, Cu, Zn, Mo, Co, Mn.
Estiércoles	Zn, Cu, B y compuestos orgánicos
Purín de cerdo	Cu, Zn, Mn y compuestos orgánicos
Compost de basuras urbanas	Cd, Pb, Zn, Cu
Vías urbanas de comunicación	Pb (procedente de carburantes)
Productos fitosanitarios criptogámicos	Cu, Hg, As
Aguas depuradas	Na

Tabla IV.2. Contaminantes potenciales de suelos, Burrelier et al. (1998).

Porta (1999) desarrolla en este sentido la guía orientativa recogida en la tabla IV.1. Para completar la información de referencia incluimos la tabla (IV.2.) de Burrelier et al. (1998), que incluye los contaminantes principales en relación con los productos añadidos al suelo.

Polynov y Kovda (tomado de Pizarro, 1990), clasifican los elementos en cinco categorías, según su capacidad de emigración. (Tabla IV.3.)

<b>Categoría.</b>	<b>Elemento</b>
Prácticamente no lavables	Cuarzo
Poco lavables	Fe; Al; Si
Lavables	P; Mn
Bastante lavables	Ca; Na; K; Mg; Cu; Co; Zn
Muy lavables	Cl; B; S

**Tabla IV.3. Categoría de emigración de los elementos (Polynov y Kovda).**

Los elementos bastantes lavables y muy lavables son los principales responsables de la salinización edáfica: NaCl, NaSO<sub>4</sub> y NaCO<sub>3</sub>; MgCl, MgSO<sub>4</sub> y MgCO<sub>3</sub>, y de la contaminación de suelos, al pH en el que nos movemos.

Los ciclos hidrológico y geoquímico, tienden en cualquier caso a equilibrarse en el tiempo, definiendo la composición del agua de los acuíferos, por el lixiviado hídrico a través de rocas y del solum, donde la fase líquida se va enriqueciendo en diferentes aniones, cationes y sustancias húmicas solubles, tomando además de la atmósfera edáfica el CO<sub>2</sub> producido en el ciclo biológico, en cantidades que dependen de las características físico-químicas del medio edáfico, que actúa como filtro activo.

Las concentraciones de cloruros pueden variar entre 10 y 250 mgL<sup>-1</sup>, teniendo en cuenta que a partir de los 250 mgL<sup>-1</sup> el agua produce efectos tóxicos en el consumo humano. El nivel guía para el agua dulce es de 25 mgL<sup>-1</sup> según R.D. 1138/90 de 14 de septiembre, y

por encima de  $150.000 \text{ mgL}^{-1}$  se considera salmuera, teniendo en cuenta que más de  $300 \text{ mgL}^{-1}$  comunican sabor salado al agua (Custodio et al. 1983). A nivel de riego FAO (1987), dice que su utilidad depende de la tolerancia de las distintas especies a este elemento, aunque este hecho no está bien documentado, marcando su toxicidad entre  $4 \text{ mgL}^{-1}$  y  $15 \text{ mgL}^{-1}$  como valores estándar, señalando un valor mínimo  $3.3 \text{ mgL}^{-1}$  para el riego de ciertas variedades de aguacates o fresas, con niveles permisibles en la zona radicular que llegan hasta  $5 \text{ mgL}^{-1}$ ; en casos excepcionales se pueden superar los  $27 \text{ mgL}^{-1}$  como sucede para ciertas variedades de vides, cuya limitación en la zona radicular llega a  $40 \text{ mgL}^{-1}$ ; además matiza el grado de restricción respecto de la calidad del agua para riego referida al anión en cuestión, en función del manejo de la tierra y establece tres niveles, cuyo margen central oscila entre  $4\text{-}10 \text{ mgL}^{-1}$ , y define restricciones de uso ligero a moderado si se riega directamente o el caso del sistema de riego por aspersión da valores recomendados inferiores a  $3 \text{ mgL}^{-1}$ , para soslayar otros problemas.

La mayoría de los cloruros son sódicos y su solubilidad es de  $318 \text{ gL}^{-1}$  no variando prácticamente con la temperatura, mientras que la conductividad máxima que se le puede atribuir es de  $450 \text{ dSm}^{-1}$ . (Pizarro, 1990). Su toxicidad es muy alta, de manera que valores de 2 a 5% en suelos, los pueden hacer improductivos y cantidades próximas al 0.3% afectan a las plantas más sensibles, que muestran daños en forma de quemaduras o necrosis.

La presencia de cloruro magnésico, sal con alta solubilidad ( $353 \text{ gL}^{-1}$ ), se debe relacionar en los suelos con el cloruro sódico y el estado del complejo de cambio, cuando la relación  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$  es menor que 1, (Pizarro, 1990).

En referencia a los sulfatos, Davis et al. (1971), dan en las aguas subterráneas cantidades inferiores a los  $100 \text{ mgL}^{-1}$ , que en el caso de existir bacterias sulfato-reductoras no llegan a  $1 \text{ mgL}^{-1}$ . Domina el sulfato cálcico, seguido del sódico en ambientes salinos, saturándose el agua pura con yeso a concentraciones medias de  $2 \text{ g L}^{-1}$ , que aumentan si hay halita y con la temperatura, sobre todo en el caso del sulfato sódico, con oscilaciones entre  $90$  y  $430 \text{ gL}^{-1}$  a  $10^\circ\text{C}$  y  $40^\circ\text{C}$  respectivamente, por

precipitar dando mirabilita (sulfato decahidratado) o tenardita (sulfato deshidratado), en una dinámica semejante al sistema yeso-anhidrita que esponjarían el epipedon (Porta et al., 1994); en el caso de las aguas salinas Custodio et al. (1983), dan un valor de referencia superior a  $7 \text{ gL}^{-1}$ . La conductividad máxima aportada por la sal sódica se aproxima a los  $500 \text{ dSm}^{-1}$ .

Herrero (1991) comprueba la fuerte incidencia del tiempo de contacto yeso-agua en la disolución del mineral y Chow et al. (1962) como el movimiento del sulfato es fomentado por los fosfatos.

El sulfato cálcico precipita fácilmente desarrollando horizontes Y, que dada su poca solubilidad no afecta a las plantas, aunque si lo puede hacer con los materiales empleados en los sistemas de riego. La conductividad eléctrica del extracto de saturación en los suelos yesíferos es ligeramente superior a  $2 \text{ dSm}^{-1}$ , por eso cuando se supera este valor hay que justificarlo atendiendo a la existencia de otras sales más solubles.

El sulfato magnésico no se acumula en los suelos, dada su alta solubilidad media ( $260 \text{ gL}^{-1}$ ), pudiendo hacerlo sin embargo en las aguas subterráneas, problema sanitario serio, teniendo en cuenta su acción farmacológica (sal de Epson). En los suelos, si se confirma, es asociado a otros sulfatos, dependiendo de la concentración del contenido en magnesio del complejo de cambio.

El ión nitrato es la forma más frecuente de nitrógeno en el agua de riego y subterránea. Dada la alta solubilidad de los nitratos simples ( $686 \text{ gL}^{-1}$  el nitrato sódico y  $279 \text{ gL}^{-1}$  el nitrato potásico, a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ), las concentraciones más frecuentes se sitúan entre  $0.1$  y  $0.3 \text{ mgL}^{-1}$  en aguas de lluvia, hasta valores altos que oscilan entre  $10$  y  $50 \text{ mgL}^{-1}$  en aguas con cierta polución, debido al empleo de abonos nitrogenados, estiércol o desechos orgánicos animales, puesto que no son adsorbidos por los coloides del medio. (Wild, 1992). Las aguas subterráneas normales contienen cantidades de  $0.1$  a  $10 \text{ mgL}^{-1}$  (Davis et al. 1971). La Comisión Europea, en la directiva 809/778/CE, fija como valor máximo

50 mgL<sup>-1</sup> y el nivel guía 25 mgL<sup>-1</sup> en el agua para consumo humano, mientras que para riego FAO (1987), da restricciones de uso con valores de 5-30 mgL<sup>-1</sup>, hecho que cataloga como severo cuando se superan los 30 mgL<sup>-1</sup> y aunque suele ser poco dañino para los cultivos, sí afecta al desarrollo global, además de estimular el desarrollo de algas y plantas acuáticas en aguas almacenadas para regadío.

Fasbender et al.(1987), considera que del total del nitrógeno edáfico, sólo un máximo del 2%, procede de las fracciones inorgánicas del suelo siendo el resto orgánico, de manera que se libera lentamente tras un proceso continuado en el tiempo de mineralización de la materia orgánica, de ahí que concluyan, que el riesgo de contaminación nítrica se debe exclusivamente a la práctica agrícola, motivo por el que FAO (1987), condiciona al análisis previo del agua de riego para concretar la cantidad y naturaleza del fertilizante nitrogenado que hay que añadir, hecho que hemos comprobado en zonas sobreexplotadas agrícolamente, como la vega de Granada (Saura et al., 1999) y en las tierras de Zafarraya (Sierra et al., 1999).

Los nitritos son poco frecuentes dada la facilidad con que pasan a nitratos, pero en cualquier caso solo se admiten valores inferiores a 0.1 mgL<sup>-1</sup>. Estas formas, si están presentes, hay que achacarlas a aguas residuales o a fertilizantes amónicos, cuando superan la cantidad de 1 mgL<sup>-1</sup>.

Carbonatos y bicarbonatos sufren un incremento respecto del agua de lluvia en las zonas fuertemente calcáreas. Un aumento del contenido de CO<sub>2</sub> del suelo favorece la disolución de carbonatos y enriquece el agua del suelo en bicarbonatos, que precipitan por aumento de la concentración, cambios en la presión parcial o por efecto del ión común, desarrollando horizontes cálcicos.

Tanto en el suelo como en el agua de riego o subterránea, los carbonatos cálcico y magnésico se analizan conjuntamente, dando Pizarro (1990) una solubilidad media para ambas sales de 10 meqL<sup>-1</sup> y la conductividad eléctrica está próxima a 0.8 dSm<sup>-1</sup>.

El caso del carbonato sódico es muy particular y su acción debe relacionarse con la presencia de iones alcalinotérreos, ya que de ellos deriva el posible proceso de alcalinización y la estabilidad estructural del suelo. Respecto de su solubilidad, el carbonato sódico provoca conductividades eléctricas que llegan hasta los 700 dSm<sup>-1</sup>, (Pizarro, 1990).

En referencia a los cationes dominantes, cabe destacar la concentración media del calcio, que en el agua dulce se encuentra entre 10-250 mgL<sup>-1</sup> y puede llegar a los 600 mgL<sup>-1</sup> en las aguas selenitosas, mientras que en el agua del mar oscila alrededor de los 400 mgL<sup>-1</sup> (Custodio et al., 1983).

En las tierras de Archidona y colindantes, el calcio es heredado directamente de los carbonatos geológicos, incorporándose al lixiviado y al complejo de cambio. También procede del yeso en la zona de Trías y no podemos descartar que en pequeña proporción proceda de la alteración de feldespatos, plagioclasas y otros silicatos, así como por contaminación eólica e hídrica.

Otros cationes importantes son magnesio (de 1 a 100 mgL<sup>-1</sup> en agua dulce), sodio (de 1 a 150 mgL<sup>-1</sup> en agua dulce) en cantidades de hasta varios miles de mgL<sup>-1</sup> dependiendo del contenido dolomítico o la presencia de evaporitas, respectivamente. El magnesio procede de las dolomías y de la transformación de ciertos silicatos.

López Ritas et al. (1990), dan la siguiente guía expresada en mg /100g.

0-0.04 /100g	Se debe fertilizar de forma general con Mg <sup>2+</sup> .
0.6-0.8/100g	Sólo según cultivos concretos (patatas, remolacha, frutales, etc.)
1.0-1.6/100g	En el caso de cultivos intensivos.
1.8-2.4/100g	Invernaderos.
>2.4 /100g	Casi ningún cultivo responde a la adición y si respondiera será debido a desequilibrios con el K <sup>+</sup> o con el Ca <sup>2+</sup> , dando las siguientes relaciones:

- $\text{KOH} / \text{Mg}^{2+} = 0.75$  en el caso de cultivo de secano,  $< 0.5$  para el cultivo de hortalizas e inferior a 0.3 en el caso de frutales y cosechas de invernaderos.
- En el caso de la relación  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$  el óptimo es 5, si es menor de 1, falta  $\text{Ca}^{2+}$  y si supera 10 pueden existir problemas con el  $\text{Mg}^{2+}$ .

FAO (1987, dice que los efectos del sodio son mayores tanto en aguas de riego como en el suelo cuando la proporción  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$  es menor que la unidad y Simpson et al. (1979), aconsejan que cuando la relación  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$  sea  $< 1$  ó bien  $\text{Ca}^{2+}/\text{Cationes totales} < 0.15$ , hacer un análisis más detallado dado el efecto que el sodio puede provocar en las plantas y en la estructura del suelo.

Las aguas que contienen alta proporción de sales poco solubles, calcio y magnesio en forma de carbonato, bicarbonato y sulfatos, pueden provocar serios problemas de incrustaciones en las hojas por precipitación, tras superarse los límites de solubilidad, que reducen la calidad de los frutales por falta de desarrollo, sin ser en caso alguno tóxicos. También pueden afectar al propio sistema de riego al obturar las conducciones utilizadas para estos menesteres.

La tolerancia de los cultivos se establece en relación con el porcentaje de sodio cambiante, con los siguientes tramos propuestos por Pearson (1960), y recogidos por FAO (1987):  $< 15$  para cultivos sensibles, 15 a 40 para cultivos semitolerantes y  $> 40$  para cultivos tolerantes.

La complejidad de las soluciones hídricas estudiadas, modificará el comportamiento particular de cada uno de los componentes, modificando las concentraciones en el caso de que coexistan iones comunes o si los iones son diferentes a favor de los menos solubles; dato muy a tener en cuenta en el ambiente en que nos movemos, dado el contenido en sal común y yeso de los sedimentos triásicos o en general del agua que percola a través de ellos, de manera que la solubilidad del yeso puede aumentar casi 3.5 veces si la solución esta bien saturada de halita.

Los valores de potasio los determina el R.D. 1138/90, con un nivel guía de  $10 \text{ mgL}^{-1}$  aunque la concentración máxima admisible para agua potable se sitúa en  $12 \text{ mgL}^{-1}$ . FAO (1987) da valores normales para aguas de regadío de  $0-2 \text{ mgL}^{-1}$

El boro es otro elemento fundamental para el crecimiento de las plantas y es nocivo. Hay que tener en cuenta la diferente sensibilidad de las plantas frente a este oligoelemento, cuya concentración normal en aguas subterráneas varía entre  $0.01$  y  $1 \text{ mgL}^{-1}$  (Pulido, 1978), sin que haya problemas en las tierras estudiadas dado que solo se han encontrado cantidades próximas este valor señalado.

Respecto al anhídrido carbónico, que procede de la disolución del gas en el terreno, de la descomposición y oxidación de la materia orgánica o del agua de lluvia, juega un papel importante en la química del agua subterránea. Urbano (1992), marca como adecuadas cantidades entre 5 y 8 veces la de la atmósfera en condiciones normales.

El oxígeno disuelto puede proceder del aire, del agua de lluvia o de la solución del suelo, matizando los procesos de oxidación-reducción, sobre todo en ambientes marcados por procesos hidromórficos.

Otro parámetro a tener en cuenta es el residuo seco: peso de los materiales resultantes al evaporar un litro de agua. El residuo seco varía algo con la temperatura de secado y conviene fijarla a  $105$  ó  $180^{\circ}\text{C}$ . A  $105^{\circ}\text{C}$  pueden existir algunos bicarbonatos, algo de agua de hidratación y algunas materias orgánicas, mientras que a  $180^{\circ}\text{C}$  no quedan bicarbonatos porque pasan a carbonatos, se quema o se volatiliza la mayoría de la materia orgánica y se desprende toda el agua de hidratación mineral.

El total de sólidos disueltos en las aguas naturales oscila entre una gama de valores que va, aproximadamente, desde  $10 \text{ mgL}^{-1}$ , en el caso de agua de lluvia hasta superar los  $300 \text{ gL}^{-1}$  en aguas salobres. Las aguas de uso doméstico o industrial no deben superar  $1 \text{ gL}^{-1}$ , mientras que si son para uso agrícola, según Davis et al. (1971), el residuo seco debe ser inferior a los  $3 \text{ gL}^{-1}$ .

En resumen, el uso concreto de un agua debe estar basado en la concentración particular de los distintos iones, que por su idiosincrasia pueden alentar el crecimiento de determinadas especies o ser tóxicos, siendo relativo el contenido total de iones. La salinidad de un agua se estimará midiendo la conductividad eléctrica y el porcentaje de sodio en función del complejo de cambio.

#### **IV.1.2. PROCEDIMIENTOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA.**

Las características químicas y biológicas del agua disponible son determinantes a la hora de establecer el uso que se le puede dar. La finalidad del estudio hidrológico que aquí se presenta es detectar los constituyentes sólidos en disolución y en función del binomio cantidad-naturaleza, promocionar el uso más correcto, sobre todo en estos momentos que la demanda de agua es tan importante y la necesidad empieza a superar las disponibilidades reales. También se relacionará el uso que se les da actualmente con las transformaciones que puede provocar en el seno edáfico.

En este trabajo se hace mención especial al uso agrícola e industrial del agua, limitándonos a marcar su posible uso doméstico sin entrar en detalles bacteriológicos que caen fuera de nuestro campo de investigación.

En cualquier estudio, como señala Pulido (1978), es la naturaleza mineral quien tiene la primera palabra (utilidad y toxicidad), mientras que el hombre, con su intuición y capacidad ingenieril, puede corregir defectos con obras y plantas de tratamiento, que mejore la calidad del agua y amplíen así la gama de posibles usos.

El uso del agua para riego depende, fundamentalmente, de la composición en relación con el tipo de cultivo, suelo y clima. No es posible establecer un límite global de capacidad de sales a causa de la diferente tolerancia de las plantas y del propio drenaje del suelo, que puede facultar cambios en las concentraciones de iones y llegar al límite crítico de toxicidad de alguno de ellos. También hay que tener en cuenta el perfil

hídrico, ya que a medida que disminuye la humedad, aumentan las concentraciones en sales y lo mismo debe suceder con la conductividad eléctrica, dada la relación lineal que existe entre ambos parámetros, definida mediante la ecuación:

$$CE_{CR} \cdot CR = CE_{PM} \cdot PM$$

donde, CE : conductividad eléctrica; CR: capacidad de retención y PM: punto de marchitamiento.

Para FAO (1987), la calidad del agua es función de cuatro criterios: salinidad, sodicidad, toxicidad y exceso de nutrientes. El riesgo de salinidad evalúa el problema de las altas concentraciones, el efecto osmótico y la disminución de rendimientos; el criterio de sodicidad analiza el deterioro estructural; la toxicidad marca el efecto nocivo de determinados iones; y finalmente, con la reseña de problemas varios, considera el interés del receso de producción a causa del exceso de nutrientes.

Para definir la calidad del agua en la agricultura Ayers y Westcot (1987), dan unas primeras directrices que se recogen en la tabla IV.4. basadas en los cuatro principios fundamentales antes mencionados. También señalan los análisis químicos a realizar recomendados con una exactitud de  $\pm 5\%$ .

Los problemas de salinización se interpretan a partir de la conductividad del extracto de saturación ( $CE_{CM}$ ), aceptándose la siguiente regla práctica:

$$\text{Sales disueltas (mgL}^{-1}\text{)} = CE_{CM} (\text{dSm}^{-1}) \cdot 0,64$$

Respecto del agua para riego se utiliza el valor  $CE_r$ , que FAO (1976) acepta como referencia el siguiente orden de valores:

- $CE < 0.7 \text{ dS m}^{-1}$ : sin problema.
- $CE$  entre  $0.7\text{-}3 \text{ dS m}^{-1}$ : problema creciente.
- $CE > 3 \text{ dS m}^{-1}$ : problema grave.

Pizarro (1990), declara que no hay que confundir los valores estándar con el efecto específico sobre la planta y se debe acudir a la respuesta de cada especie frente a la salinidad del suelo tras ser regado, tomando como punto de partida el CE/90 (conductividad del extracto de saturación, en el que la producción decae un 10%).

Maas et al. (1977), encontraron una relación lineal entre el porcentaje de producción (P) y la salinidad del suelo ( $CE_{CM}$ ) definiéndola mediante la ecuación:

$$CE_{CM} = \frac{100 - P}{b} + a$$

donde a y b son dos constantes para el cultivo que expresan respectivamente, el umbral de salinidad (punto a partir del cual decrece la producción) y la inclinación de la recta (como decrece la producción de la planta con los cambios de salinidad). Pizarro (1990), recoge los valores de ambos parámetros para diferentes cultivos, calculados a partir de los datos obtenidos por Ayers y Westcott en sus numerosos trabajos.

También se puede relacionar la conductividad eléctrica en su capacidad máxima de retención a partir de la presión osmótica expresada en atmósferas y esta a su vez permite calcular los sólidos disueltos ( $gL^{-1}$ ):  $PO = 0.36 CE_{CM}$ ;  $SD = PO/0.56$

La presión osmótica aumenta en valor absoluto con el contenido en sales, de forma que dificulta la absorción de agua por las plantas, inhibiendo el crecimiento o provocando plasmolisis (Porta et al., 1999); estos autores añaden los posibles efectos del ión-específico, provocando la presencia de otros iones que pueden ser tóxicos y crear desequilibrios metabólicos o afectar a la germinación.

La dilución de la fase líquida del suelo, y el correspondiente descenso de la presión osmótica debido al riego, o al aumento de la concentración iónica relacionado con la evapotranspiración, provocan divergencias en la dinámica iónica, que se acentúan en la rizosfera, de forma que sería recomendable hacer cálculos de salinidad en situaciones extremas: CE, a capacidad de campo ( $CE_{cc}$ ) y CE a punto de marchitamiento ( $CE_{PM}$ ),

Tipo de problema		No hay problema	Problema creciente	Problema grave
<b>Salinidad</b>				
CE (Conductividad eléctrica), dSm <sup>-1</sup>		<0.7	0.7-3.0	>3.0
Concentración sales, mgL <sup>-1</sup>		<450	450-2000	>2000
<b>Permeabilidad (reduce la infiltración)</b>		<b>Restricción de uso</b>		
		Ninguna	Ligera Moderada	Importante
		CE , (dSm <sup>-1</sup> a 25° C)		
SAR°	0-3	>0.7	0.7-0.2	<0.2
	3-6	>1.2	1.2-0.3	<0.3
	6-12	1.9	1.9-0.5	<0.5
	12-20	>2.9	2.9-1.3	<1.3
	20-40	>5	5.29	<2.9
<b>Toxicidad iónica específica (sólo para cultivos sensibles)</b>				
Sodio (SAR/cm <sup>+</sup> L <sup>-1</sup> )				
• riego superficial		<3	3-9	>9
• riego por aspersión		<3	>3	-
Cloruro				
• riego superficial (cm <sup>+</sup> L <sup>-1</sup> )		<142	142-355	>355
• riego por aspersión (cm <sup>+</sup> L <sup>-1</sup> )		<106	>106	-
Boro (mgL <sup>-1</sup> )		<0.7	0.7-2.0	>2.0
<b>Efectos diversos (solo para cultivos susceptibles)</b>				
Nitrógeno (cm <sup>+</sup> L <sup>-1</sup> )		<5	5-30	>30
Bicarbonato (cm <sup>+</sup> L <sup>-1</sup> ) riegos por aspersión		<1.5	1.5-8.5	>8.5
pH margen normal 6.5-8.4				

Tabla IV.4. Clasificación de la calidad de Aguas para riego (Ayers y Westcot, 1987)

hecho que permite interpretar los efectos bióticos y edafológicos relacionados con los iones presentes, en razón a su actividad y concentración, dado que siempre se favorece la adsorción por el complejo de cambio de los cationes con mayor densidad de carga en relación con el radio del iónico, hecho que hay que tener en cuenta al interpretar los valores del SAR, como veremos seguidamente.

Pizarro (1990), relaciona los estados generales de humedad edáfica y su conductividad con la siguiente aproximación  $CE_{PM} = 2CE_{CC} = 4CE_{CM}$

FAO (1987) insiste en que hay que tener muy en cuenta el efecto rizosfera e intentar frenar el aumento de salinidad en la zonas de enraizamiento, ya que el proceso de acumulación de sales es continuo en el tiempo cuando la ETP anual es mayor que la precipitación, por lo que recomienda a efectos prácticos calcular el FL (fracción de lavado), considerando que el agua aportada al suelo por el riego es en parte consumida por la planta, mientras que el resto pasa a completar la reserva edáfica y el excedente drena libremente, existiendo equilibrio en el estado salino de ambas situaciones, de forma que conociendo la conductividad del suelo, sabemos la del agua de drenaje ( $CE_{CM} = CE_d$ ), pudiendo calcularse el exceso lixiviado ( $FL = CE_r / CED \cdot 100$ ).

En el balance hídrico (respecto del agua de lluvia), el excedente de agua se calcula teniendo en cuenta la pluviometría, la ETP y la reserva del suelo. De esta forma definimos el estado hídrico del suelo en cada momento del año y por tanto el mínimo de agua a añadir para mantener el óptimo vegetativo de la planta, a lo largo del año y frenar la salinización en la zona radicular.

Las clasificaciones propuestas para definir la calidad y el estado de las aguas a utilizar para riegos son muy numerosas. Así, Thorne y Peterson (1954) define 20 tipos de aguas en relación con el peligro de alcalinización del suelo y el grado de salinización, clasificación en desuso porque en su diagrama no mantiene el principio básico del sentido inverso de ambos factores, de ahí que señale Pizarro (1990) que el gráfico propuesto no es correcto.

Un índice muy aceptado en la valoración de soluciones salinas es el SAR (relación de adsorción de sodio), propuesta en Richard (1954), que permite concretar los riesgos de sodización en relación con el calcio y magnesio del suelo y como consecuencia definir la posible pérdida de permeabilidad del suelo. Su cálculo se realiza a partir de la siguiente fórmula:  $SAR = Na^+ / (Ca^{2+} + Mg^{2+})^{1/2}$  que guarda estrecha relación con el porcentaje de saturación de sodio del suelo (PSI), en el estado de equilibrio con la fase líquida, según la ecuación que transcribimos:

$$PSI = 1.475 SAR - 1.26 / 0.01475 SAR - 0.9874$$

El SAR no tiene en cuenta la evolución del calcio después del riego (precipitaciones y la mayor actividad respecto del  $Mg^{2+}$  y del  $Na^+$ ), por ello Bower (1969), propone un SAR ajustado ( $SAR_{aj}$ ), cuyo uso no es recomendado por Suárez (1981), porque sobreestima el  $Na^+$ , al presuponer que  $Mg^{2+}$  y  $Ca^{2+}$  tienen la misma selectividad de cambio, lo que no es cierto, puesto que el  $Na^+$  se adsorbe más intensamente a medida que decrece la relación  $Ca^{2+} / Mg^{2+}$ , por la menor actividad del  $Mg^{2+}$ ; no tiene en cuenta por tanto los pares iónicos, por lo que FAO (1987), recomienda que si empleamos este método, debe aplicarse como corrector el factor 0.5, para adecuar mejor el resultado.

FAO (1987) señala que para un SAR dado del agua de riego, se obtienen valores del PSI del suelo mayores de lo normal, cuando la relación  $Mg^{2+} / Ca^{2+}$  es mayor de uno.

El  $SAR_{aj}$ , se calcula multiplicando el SAR por una constante que depende del pH teórico, calculado en el agua de riego (pHc), de forma que el término  $8.4 - pHc$  indica la tendencia del carbonato cálcico.

$$SAR_{aj} = Na^+ / (Mg^{2+} + Ca^{2+} / 2)^{1/2} (1 + (8.4 - pHc))$$

FAO (1987) para el cálculo del pHc utiliza un ábaco (Tabla IV.5.) y la fórmula:

$$PHc = (pK'_2 - pK'_c) + p(Ca^{2+} Mg^{2+}) + p(Alk)$$

donde :

$(pK'_2 - pK'_c)$  se obtiene de la suma de  $Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+$  en  $mmol^{(+)} L^{-1}$ .

$p(Ca^{2+} Mg^{2+})$  se obtiene de la suma de  $Ca^{2+} + Mg^{2+}$  en  $mmol^{(+)} L^{-1}$ .

$p(Alk)$  se obtiene de la suma de  $CO_3^{2-} + CO_3H^-$  en  $mmol^{(+)} L^{-1}$ .

FAO (1987), sigue considerando válido el SAR clásico, pero añade que deben tenerse en cuenta ciertos cambios y así en su revisión del año 1976, recomienda matizar la sobrestima peligrosa de la elevación del  $Na^+$  y el descenso del  $Ca^{2+}$ , y propone una relación de absorción de  $Na^+$  corregida ( $SAR^o$ ), siguiendo el método de Suárez (1981), que tiene en cuenta los cambios del contenido en calcio del agua del suelo, debidos a las posibles precipitaciones a lo largo del ciclo hidrológico, que marcan el comportamiento del sodio y el magnesio.

El cálculo directo se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$SAR^o = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}}$$

Donde los cationes  $Na^+$  y  $Mg^{2+}$  refieren los contenidos en el agua de riego de dichos cationes expresados en  $mgL^{-1}$  y el calcio corregido ( $Ca^o$ ), que se expresa como resultado de aplicar al suelo un agua de determinada salinidad ( $CEr$ ) y del contenido relativo en bicarbonatos en relación al calcio, no teniendo en cuenta el papel de los sulfatos. (Tabla IV.6)

FAO (1987), observa que hay equivalencia entre el valor del SAR y el  $SAR^o$ , que es equivalente a  $\pm 10\%$  del SAR, recomendando su uso para aclarar mejor el papel del agua de riego sobre la infiltración, añadiendo que la dispersión de los agregados se produce cuando el contenido en  $Na^+$  es tres veces mayor que el del  $Ca^{2+}$ . Por su parte Urbano (1998), indica que más de la mitad de los iones del complejo de cambio deben

Suma de concentración (mmol <sup>(+)</sup> L <sup>-1</sup> )	(pK <sub>2</sub> -pK <sub>c</sub> )	p(Ca <sup>2+</sup> Mg <sup>2+</sup> )	p(Alk)
0.05	2.0	4.6	4.3
0.10	2.0	4.3	4.0
0.15	2.0	4.1	3.8
0.20	2.0	4.0	3.7
0.25	2.0	3.9	3.6
0.30	2.0	3.8	3.5
0.40	2.0	3.7	3.4
0.50	2.1	3.6	3.3
0.75	2.1	3.4	3.1
1.00	2.1	3.3	3.0
0.25	2.1	3.2	2.9
1.5	2.1	3.1	2.8
2.0	2.2	3.0	2.7
2.5	2.2	2.9	2.6
3.0	2.2	2.8	2.5
4.0	2.2	2.7	2.4
5.0	2.2	2.6	2.3
6.0	2.2	2.5	2.2
8.0	2.3	2.4	2.1
10.0	2.3	2.3	2.0
12.5	2.3	2.2	1.9
15.0	2.3	2.1	1.8
20.0	2.4	2.0	1.7
30.0	2.4	1.8	1.5
50.0	2.5	1.6	1.3
80.0	2.5	1.4	1.1

Tabla IV.5. Cálculo del pHc, FAO (1987)

corresponder al sodio para que comiencen a manifestarse los problemas de permeabilidad en el suelo.

En términos generales no es posible establecer las causas de las diferencias entre el SAR y SAR°, salvo el hecho evidente de la presencia del HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, de forma que se marcan valores medios de SAR < SAR°.

Exposito et al. (1977), dieron con anterioridad la siguiente ecuación de correlación  $SAR^o = 0.08 + 1.115 SARr$  para  $r^2 = 0.99$  y Oster et al. (1986) dan intervalos de 0 a 40 para que PSI se ajuste al  $SAR^o$ .

		Salinidad del agua aplicada ( $dSm^{-1}$ )											
		0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	6.0	8.0
Valor de $HCO_3^-/Ca^{2+}$	0.05	13.20	13.61	13.92	14.40	14.79	15.26	15.91	16.43	17.28	17.97	19.07	19.94
	0.10	8.31	8.57	8.77	9.07	9.31	9.62	10.02	10.35	10.89	11.32	12.01	12.56
	0.15	6.34	6.54	6.69	6.92	7.11	7.34	7.65	7.90	8.31	8.64	9.17	9.58
	0.20	5.24	5.40	5.52	5.71	5.87	6.06	6.31	6.52	6.86	7.13	7.57	7.91
	0.25	4.51	4.65	4.76	4.92	5.06	5.22	5.44	5.62	5.91	6.15	6.52	6.82
	0.30	4.00	4.12	4.21	4.36	4.48	4.62	4.82	4.98	5.24	5.44	5.77	6.04
	0.35	3.61	3.72	3.80	3.94	4.04	4.17	4.35	4.49	4.72	4.91	5.21	5.45
	0.40	3.30	3.40	3.48	3.60	3.70	3.82	3.98	4.11	4.32	4.49	4.77	4.98
	0.45	3.05	3.14	3.22	3.33	3.42	3.53	3.68	3.80	4.00	4.15	4.41	4.61
	0.50	2.84	2.93	3.00	3.10	3.19	3.29	3.43	3.54	3.72	3.87	4.11	4.30
	0.75	2.17	2.24	2.29	2.37	2.43	2.51	2.62	2.70	2.84	2.95	3.14	3.28
	1.00	1.79	1.85	1.89	1.96	2.01	2.09	2.16	2.23	2.35	2.44	2.59	2.71
	1.25	1.54	1.59	1.63	1.68	1.73	1.78	1.86	1.92	2.02	2.10	2.23	2.33
	1.50	1.37	1.41	1.44	1.49	1.53	1.58	1.65	1.70	1.79	1.86	1.97	2.07
	1.75	1.23	1.27	1.30	1.35	1.38	1.43	1.49	1.54	1.62	1.68	1.78	1.86
	2.00	1.13	1.16	1.19	1.23	1.26	1.31	1.36	1.40	1.48	1.54	1.63	1.70
	2.25	1.04	1.08	1.10	1.14	1.17	1.21	1.26	1.30	1.37	1.42	1.51	1.58
	2.50	0.97	1.00	1.02	1.06	1.09	1.12	1.17	1.21	1.27	1.32	1.40	1.47
	3.00	0.85	0.89	0.91	0.94	0.96	1.00	1.04	1.07	1.13	1.17	1.24	1.30
	3.50	0.78	0.80	0.82	0.85	0.87	0.90	0.94	0.97	1.02	1.06	1.12	1.17
	4.00	0.71	0.73	0.75	0.78	0.80	0.82	0.86	0.88	0.93	0.97	1.03	1.07
	4.50	0.66	0.68	0.69	0.72	0.74	0.76	0.79	0.82	0.86	0.90	0.95	0.99
	5.00	0.61	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.76	0.80	0.83	0.88	0.93
	7.00	0.49	0.50	0.52	0.53	0.55	0.57	0.59	0.61	0.64	0.67	0.71	0.74
	10.00	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.45	0.47	0.48	0.51	0.53	0.56	0.58
	20.00	0.24	0.25	0.26	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.32	0.33	0.35	0.37
	30.00	0.18	0.19	0.20	0.20	0.21	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25	0.27	0.28

Tabla IV.6. Determinación del calcio corregido ( $Ca^o$ )

También se debe tener en cuenta a la hora de establecer los riesgos de sodización la cantidad de arcillas (Churchman et al. 1993) y su naturaleza (Cook et al. 1997).

Para establecer la bondad de las aguas que se utilizan para el riego en el área experimental, interpretamos a calidad de las mismas según Rhoades (1977), que tiene en cuenta las interacciones entre las fases sólidas y líquidas del suelo, tomando como base los parámetros que configuran la base de diagnóstico hídrico de la mayoría de las evaluaciones, que Herrero (1986), FAO (1987), Porta et al. (1999), etc., tipifican en salinidad, sodicidad y toxicidad, relacionándolo fundamentalmente con el medio edáfico: textura y estructura, dado que los problemas de infiltración están ligados al contenido en sodio y su relación con el calcio y el magnesio, como ya se ha descrito.

A continuación analizaremos cada uno de los parámetros que señala FAO (1987) y que quedan recogidos en la tabla IV.7.

#### a.) Salinidad.

En todo estudio hidrológico conocer el origen de las sales es básico, hecho que en algunos casos es fácil de establecer pero en otros no resulta tan sencillo.

Para aclarar la presencia de ciertos iones es decisivo el estudio edafo-geomorfológico, ya que salvo circunstancias concretas las sales tienden a lavarse lentamente en las laderas, con independencia del grado de inclinación, que debe influir acelerando este proceso y la erosión (Mamani, 2002). En el caso de terrenos llanos o casi llanos el lavado preferencial es vertical y el efecto sobre los acuíferos puede ser importante en función de la naturaleza del material por el que percola el agua y en razón al uso que se le da al suelo. Para su determinación se evalúa la  $CE_{CR}$  y el total de sales en solución (TSS).

Problema Potencial	Unidades	Grado de restricción de uso		
		Ninguno	Ligero-Moderado	Severo
<b>Salinidad</b> (afecta disponibilidad de agua para el cultivo)				
CEr	dSm <sup>-1</sup>	<0.7	0.7-3	>3.0
TSS	mg L <sup>-1</sup>	< 450	450-2000	>2000
<b>Infiltración</b>				
SAR° = 0-3                      CEr		> 0.7	0.7-0.2	< 0.2
3-6		> 1.2	1.2-0.3	<0.3
6-12		> 1.9	1.9-0.5	<0.5
12-20		> 2.9	2.9-1.3	<1.3
20-40		>5.0	5.0-2.9	< 2.9
<b>Toxicidad de Iones específicos</b>				
<b>Sodio</b>				
Riego por superficie	SAR°	< 3	3-9	>9
Riego por aspersión	meL <sup>-1</sup>	< 3	>3	
<b>Boro</b>	mgL <sup>-1</sup>	< 0.7	0.7-3.0	>3.0
<b>Varios</b> (afecta a cultivos sensibles)				
<b>Nitrogeno</b>	mgL <sup>-1</sup>	< 5	5.0 - 30	> 30
<b>Bicarbonato</b>	meL <sup>-1</sup>	< 1.5	1.5 – 8.5	> 8.5
<b>pH</b>		Amplitud normal : 6.5 – 8. 4		

Tabla IV.7. Directrices para interpretar la calidad de las aguas para riego (FAO, 1987).

b) Sodización.

La sodización marca problemas en la permeabilidad hidráulica y desde este punto de vista, la analizamos considerando el sodio del complejo de cambio en la solución del suelo y en las aguas de riego, evaluándolo de la forma siguiente:

1. Evaluación de sales totales en el agua (residuo seco), porque un bajo contenido (menos de 126 mgL<sup>-1</sup>) conlleva déficits en elementos que favorecen la pérdida de estructura.

2. Por medio del SAR° y en relación con la conductividad eléctrica, de forma que para un determinado SAR° la velocidad de infiltración aumenta a medida que lo hace la salinidad.
3. En las regiones áridas y semiáridas, dicha circunstancia se relaciona con uno o más iones específicos del agua, que son clara manifestación del entorno geológico, edáfico y del uso de la tierra.

c) Toxicidad y efectos varios.

Los problemas de toxicidad derivan de los materiales, de iones específicos, de forma que su cantidad y riesgo de acumulación en los tejidos provocan daños en las plantaciones y reducen los rendimientos. FAO (1987), menciona los elementos: cloro, sodio y boro; también haremos hincapié en ciertos oligoelementos de acuerdo con los análisis de suelos y conocidos los materiales geológicos por donde circulan las aguas.

<b>Físicos (Sólidos en suspensión)</b>	<b>Químicos (Precipitación)</b>	<b>Biológicos (bacterias y algas)</b>
1. Arena	1. Carbonatos de Ca <sup>2+</sup> o Mg <sup>2+</sup>	1. Filamentos
2. Limo	2. Sulfato de Ca <sup>2+</sup>	2. Mucílagos
3. Arcilla	3. Fosfatos de Ca <sup>2+</sup>	3. Depósitos microbianos: fosfatos, azufre, manganeso
4. Materia orgánica	4. Metales pesados: óxidos, hidróxidos, carbonatos, silicatos y sulfuros.	4. Bacterias.
	5. Fertilizantes: hierro, amonio líquido, cobre, cinc y manganeso	5. Organismos acuáticos: huevos de caracoles, larvas.

**Tabla IV.8. Elementos físicos, químicos y biológicos que provocan obstrucciones en los sistemas de riego localizados.**

Problemas	Unidades	Grado de restricción de uso		
		Ninguno	Ligero-Moderado	Severo
<b>Físicos</b>				
Sólidos en suspensión	mgL <sup>-1</sup>	< 50	50-100	>100
<b>Químicos</b>				
pH		< 7	7.0-8.0	>8.0
Sólidos solubles	mgL <sup>-1</sup>	< 500	500-2000	>2000
Manganeso	mgL <sup>-1</sup>	< 0.1	0.1-1.5	>1.5
Hierro	mgL <sup>-1</sup>	< 0.1	0.1-1.5	>1.5
Acido sulfídrico	mgL <sup>-1</sup>	< 0.5	0.5-2.0	>2.0
Carbonato cálcico				
<b>Biológicos</b>				
Poblaciones bacterianas	Máx.: nº mL <sup>-1</sup>	> 10.000	10.000-50.000	< 50.000

**Tabla IV.9. Influencia de la calidad del agua en crear problemas de obstrucción en los sistemas de riego localizado.**

Otros problemas que destaca FAO (1987), se fundamentan en las concentraciones de nitratos, bicarbonatos, yeso y pH.

Además hay que tener en cuenta riesgos asociados a la presencia de sedimentos minerales, orgánicos y sales poco solubles (Tabla IV.9.), debido a la incidencia económica que sus efectos pueden provocar: corrosiones e incrustaciones que obturan o deterioran canales, tuberías y en general los sistemas de riego.

Lo mismo se puede decir sobre ciertas actividades biológicas derivadas del desarrollo de algas y microorganismos, tal como podemos ver en la tabla de FAO (1987), que por su especificidad no se incluyen en la presente memoria, recomendando para el tratamiento de los problemas generados, el trabajo de Bermieren et al. (1980).

### **IV.1.3. ANALISIS HIDROQUÍMICO Y CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS.**

A la luz de lo expuesto se discute, con fines agrícolas, la calidad del agua muestreada en ríos, manantiales y acuíferos. También se tiene en cuenta la composición del agua para justificar el consumo por animales y en casos extremos por el hombre. Descartamos el análisis bacteriológico por ser materia que cae fuera de nuestra línea experimental.

En cualquier estudio hidrológico, como señala Pulido (1978), es la naturaleza mineral quien tiene la primera palabra sobre utilidad y toxicidad, mientras que el hombre con su intuición y capacidad puede corregir defectos mediante obras, plantas de tratamiento, etc., mejorando la calidad del agua y ampliando la gama de posibles usos sin afectar al medio ambiente. En resumen la finalidad principal del análisis de agua es conocer sus características y según la calidad darle el empleo más apropiado: doméstico, agrícola o industrial.

En la zona objeto de estudio, Calaforra et al. (1989) identifican cuatro formas diapiroides con estructura casi circular: Fuente Camacho, Peñas Prietas, Loma del Yesar y Las Lomas. En el presente estudio vamos a diferenciar cinco sectores y en función de la localización geográfica, litología, morfología y edafología establecemos distintos subsectores:

- IV.1. Karst de yesos.
- IV.2. Karst de carbonatos.
- IV.3. Sierra de Arcas.
- IV.4. Cuesta Blanca-La Palma.
- IV.5. Villanueva del Trabuco.

### **IV.1. KARST DE YESOS.**

Engloba la banda del Trías de Antequera, localizada en la diagonal noreste-sureste del mapa de Archidona. Descansa sobre una plataforma con diferente profundidad y

salinidad. Cabe señalar la distinta morfología del replano Villafranquiense constituido por arcillas, carniolas y lutitas rojas, ofitas, dolomías, etc., al que subyace una formación arcillo-yesífera responsable de la dinámica kárstica. Este nivel triásico es de gran potencia y plasticidad y puede aflorar en superficie o en la base de las dolinas. Se muestra en estratos lenticulares de algunas decenas de metros (Cruz Sanjulián, 1974), en masas lenticulares (Pezzi, 1977) o conglomeráticas (Durán et al., 1976), asociados con dolomías, ofitas, lutitas, etc.. Además de los materiales reseñados, Almécija (2001), describe la presencia de halita como un componente más de la formación y remarca su inexistencia en las capas superficiales. En conjunto, dice ITGE (1986,) es el mejor ejemplo del endorreísmo kárstico de toda la Cordillera Bética.

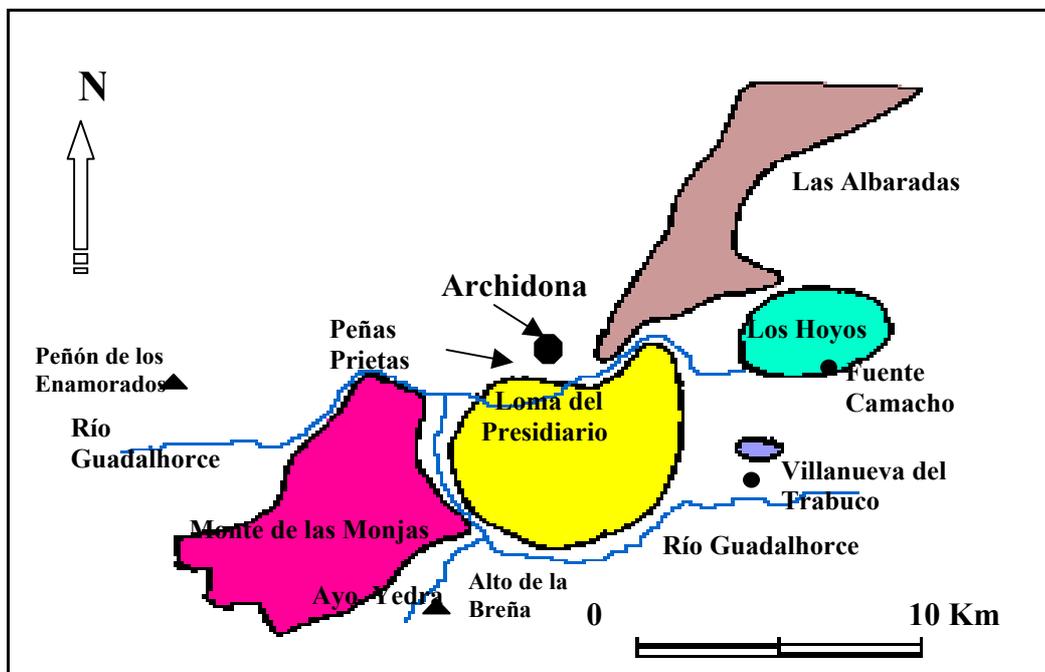


Fig.IV.1.-Situación de los subsectores del karst de yesos. (Trías de Antequera)

Tenemos en cuenta a la hora de subdividir este sector el estado de las estructuras circulares y establecemos cinco subsectores:

- IV.1.a. Los Hoyos-Fuente Fresno.
- IV.1.b. Albaradas-Bobadilla.
- IV.1.c. Arroyo Marín.

IV.1.d. Las Lomas.

IV.1.e. Peñón de los Enamorados-La Yedra.

#### **IV.1.a. Los Hoyos-Fuente Fresno.**

##### **IV.1.a.1. Introducción.**

La unidad está ubicada al este de la localidad de Archidona y ocupa la zona conocida por Los Hoyos-Fuente Camacho, más la depresión del arroyo de la Fuente del Fresno. Ambas formaciones están separadas entre sí por un escalón próximo a los 60 m. El límite sur se corresponde con la línea imaginaria que uniría el Caserío de la Fuente del Fresno con el de Mariandona (llano de los Saladillos).

El arroyo circula sobre materiales postorogénicos de origen aluvial y está canalizado parcialmente, de forma que las acequias se encargan de distribuir el agua de riego y simultáneamente dificultan el encharcamiento temporal de los suelos. El altiplano de Los Hoyos-Fuente Camacho está catalogado parcialmente como Reserva Natural, y con el Decreto 246/1999 se aprobó el Plan de Ordenación de Recursos Naturales de la Reserva Natural de las Lagunas de Archidona (B.O.E. 22/02/00), actualizando el perímetro de dicha Reserva y los límites de la Zona Periférica de Protección. El conjunto es definido por ITGE (1991) como una estructura diapírica de morfología circular, enrasada en superficie, desarrollando un sistema complejo de dolinas que dan lugar a lagunas permanentes o temporales, con alimentación pluvial-fluvial, y conexión subterránea de origen kárstico, debida a los materiales yesíferos del Trías de Antequera. La red de drenaje superficial esta poco desarrollada (Fig. IV.1)

Geológicamente se encuentra en la parte centro occidental de las Cordilleras Béticas, próximo al límite entre las Zonas Internas y Externas. La litología dominante la componen materiales del Trías de Antequera y se añaden los afloramientos meridionales calizo-dolomíticos, pertenecientes al Complejo de Alta Cadena, a los que le atribuye Cruz San Julián, (1972 y 1974) edad del Lías inferior. De forma aislada emergen margas

y margocalizas Neocomienses, como las que separan Laguna Grande de la carretera nacional 321. Mención especial merecen las formaciones postorogénicas, con pequeños conos de deyección que marcan el contacto entre el Trías y el valle por donde circula el arroyo de la Fuente del Fresno; están compuestos por cantos heterométricos, subredondeados, asociados a una matriz roja, arcillosa y carbonatada. El valle aluvial muestra fragmentos rocosos heterométricos y redondeados procedentes de los materiales triásicos vecinos, cubierto de un material policromo y arcilloso que da origen a suelos estructurados y plásticos con desigual potencia.

La columna estratigráfica del subsector es la siguiente: el techo Villafranquiense lo componen arcillas policromas con bloques de carniolas triásicas e intercalaciones calizas y dolomíticas de facies *Muschelkalk*, lutitas y rocas básicas (ofitas), que son pitones intrusivos que actualmente se explotan industrialmente como áridos. Estos últimos materiales están sujetos a un proceso de metamorfismo, descrito por ITGE (1991), del que deriva la existencia de piroxenos y anfíboles sódicos o sodi-cálcicos, entre otros inosilicatos, cuya potencia aproximada es de 20 m. Le siguen arcillas yesíferas y hacia los 200 m hay una mezcla profunda de yeso con halita, provocando un nivel impermeable eficaz para la formación del acuífero halítico. Esta acción se ve incrementada por otro paquete de arcillas impermeables subyacentes.

Los rasgos geomorfológicos más importantes están definidos por un proceso de karstificación relacionado con los materiales yesíferos del Trías de Antequera, hecho a tener en cuenta para comprender los cambios de facies hidroquímicas en el subsector.

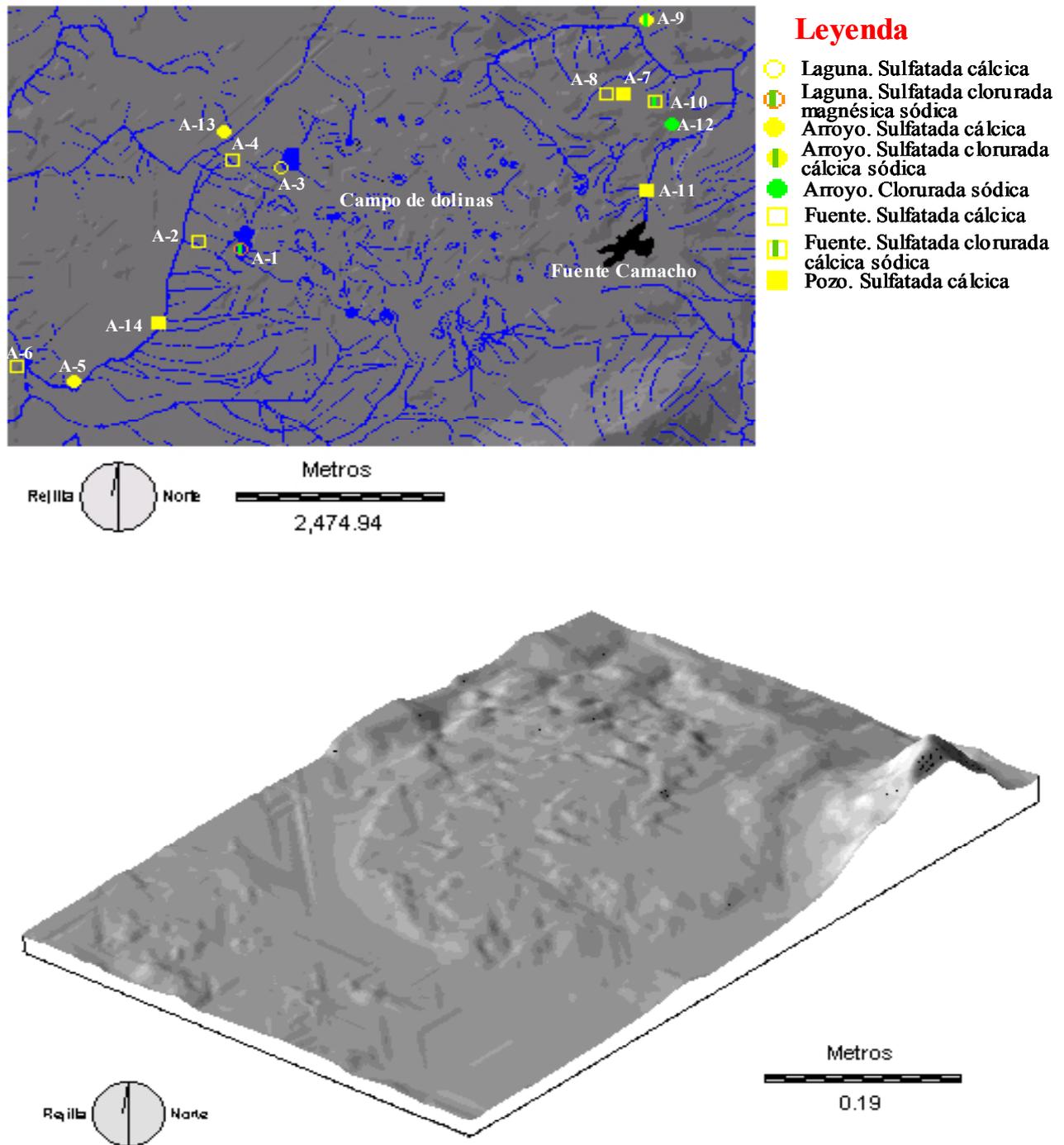
Las manifestaciones exokársticas son bien patentes, componiendo lo que Calaforra et al. (1989) definen como paleokarst, explicitado por un gran número de dolinas cuya forma, tamaño y distribución es irregular. El sistema endokárstico está poco estudiado, desconociéndose la intensidad de la red de drenaje, forma de los colectores y la existencia de cavidades.

Se puede hablar por tanto de un complejo kárstico mixto que se muestra en parte cubierto por la rasa de erosión Villafranquiense y emerge en la zona central del altiplano al desaparecer la cobertera cuaternaria. El sector central (desnudo), tiene un relieve más suave y ondulado que el periférico (cubierto), donde pasa a ser fuertemente ondulado y proliferan mogotes dolomíticos y ofitas (Fig. IV.1.)

En el análisis morfológico realizado sobre foto aérea, previo a la cartografía edafológica, se observó un número de dolinas superior al dado por Pezzi (1977), con zonas donde se contabilizaron entre seis y siete dolinas por km<sup>2</sup>. En el área occidental del paleokarst son de menor tamaño y se consideran torcas en cubeta, también llamadas de disolución, hundimiento o sofusión. Son generadas por lixiviación de los sulfatos subyacentes tras el paso del agua y el desplome superficial, de forma que las depresiones kársticas están rellenas con materiales detríticos de granulometría arcillosa.

En la zona oriental las dolinas son en embudo o torcas de hundimiento, relacionadas con la densidad de los colectores internos. Suelen aparecer rellenas de materiales autóctonos procedentes de los bordes de la dolina y simultáneamente el colmatado de las oquedades hace decrecer la inclinación de las paredes laterales componiendo dolinas y uvalas en artesa. No hemos observado simas aunque la bibliografía sí describe este tipo de dolinas en ventanas o colapso.

En el karst cubierto, y sobre todo en el contacto con la zona central el número de depresiones kársticas es menor y suelen ser de mayor tamaño. Son significativas las ubicadas en el área meridional, próxima a Mariandona, que por su dimensiones pueden ser catalogadas como poljés. Están ocupadas por arcillas rojas y se dedican al cultivo del olivo. En el sector oriental hay lagunas de absorción ligadas a cauces hídricos juveniles. En el área occidental, declarada Reserva Natural, las zonas lagunares ocupan una extensión de 6.56 ha y son de origen kárstico, mientras que la Zona Periférica de Protección tiene 197,24 ha.



**Fig.IV.2.- Bloque diagrama, red hidrográfica y muestras de aguas del subsector Los Hoyos-Fuente Fresno**

El sistema de recarga hídrica es a favor de las dolinas y lagunas permanentes, provocando un percolado de facies variables. Hacia la zona de Fuente Camacho el acuífero, confinado en carga, asciende a través de una falla normal, cuya estructura debe ser semejante a la de Los Meliones (Guzmán, 1995) y nutre de agua a las salinas merced a la diferencia entre las cotas de infiltración y de flujo inferior, que supera los 200 m.

Las lagunas de las zonas, central y meridional son temporales, regulando anualmente su volumen según los regímenes de humedad y temperatura. Merecen especial mención las ubicadas en el sur, alineadas con el eje formado por La Torre-El Vizcaíno-Los Hoyos, que delimitan el contacto entre el Trías de Antequera y un afloramiento discontinuo, de naturaleza calizo-dolomítica, que vierte agua al arroyo de Fuente de La Lana.

En la Reserva están las dos únicas lagunas permanentes, cuyo origen kárstico las diferencia de otros ecosistemas andaluces (Anexo del Decreto 246/199). La Laguna Grande es la de mayor entidad y permanente, mientras que Laguna Chica, según señala Almécija (1991), evidencia una progresiva disminución de volumen hídrico en los meses estivales y otoñales previos a las primeras lluvias.

Este hecho ha sido comprobado por nosotros de forma que en los últimos años nunca llegaron a secarse completamente, a pesar de la fuerte sequía del primer quinquenio de la década de los noventa. Ambas lagunas se ubican en el término de Archidona alrededor de la cota 800. Laguna Grande está rodeada por una serie de promontorios que le otorgan un aspecto semicerrado. Tiene forma de riñón con una profundidad próxima a los 10 m. Laguna Chica se sitúa al sur de la anterior, tiene forma de ocho y una profundidad máxima de 3m. La regulación hidrológica es mixta (agua de lluvia y aporte subterráneo), marcando el carácter permanente de Laguna Grande o semipermanente en Laguna Chica, así como los cambios de facies hidroquímicas. (Fig. IV.2.)

En el anexo del Decreto 246/199 se marca la importancia que tiene alimentación subterránea para el volumen hídrico y el poder regulador de la evapo-transpiración. Añade que vierten aguas al arroyo de la Lana sin indicar la forma de desagüe.

La red de drenaje superficial es poco desarrollada y escasa la conexión entre dolinas salvo en las áreas oriental y suroriental. La componen arroyuelos de corto cauce, organizados en la periferia de la formación circular, aprovechando el escalón que separa Los Hoyos de la depresión del arroyo de Fuente del Fresno.(Fig. IV.2.)

La red interna drena las aguas almacenadas en la superficie peniplanizada y actúa así como tributaria oculta de los arroyos de la Fuente del Fresno, Salado y Fuentealcaide. Sobre el funcionamiento del sistema endocárstico dicen Duran et al. (1985), que tiene un trazado de canales que actúan como colectores de las aguas superficiales, por donde circulan rápidamente, conjugando el doble sistema exokárstico-endokárstico.

Los manantiales se orientan en la base del conjunto circular y su caudal es variable, siendo mayor en el tramo occidental, discutiéndose su relación con las lagunas permanentes de las cotas altas (A-2 y A-4). Le siguen, con menor aporte hídrico Fuente Camacho (A-11 y A-12) y cortijo de Calvillo (A-8). Hay otros manantiales temporales en los cortijos Caridad, Morillo y Salinas, secos en el momento de la toma de muestras.

En la estructura de Fuente Camacho los yesos afloran en la parte occidental y las arcillas con carniolas y ofitas se sitúan en los bordes de la formación. El nivel salino es alcanzado por las aguas de percolación a través de una red endokárstica y desaparecen por grandes sumideros hasta llegar a los 120 m aproximadamente y a partir de ahí, Guzmán (2003) describe un descenso progresivo por grietas y fallas hasta los 200 m, donde alcanzan la concentración de salmuera y añade, que es reconducida por una falla y rellena cavidades o surge en forma de manantial

La red hidrográfica en la depresión del arroyo de la Fuente del Fresno está marcada por un cauce irregular y diferentes acequias que riegan estas fértiles tierras y drenan los excedentes hídricos al arroyo de la Lana, tributario del arroyo Marín que vierte aguas al río Guadalhorce, perteneciente a la Cuenca Hidrográfica del Sur.

#### **IV.1.a. 2. Aspectos hidroquímicos.**

##### **1.-Toma de muestras.**

Esta zona presenta interés por su estructura y valor ecológico. Las aguas del subsector están muy influenciadas por los materiales triásicos que determinan la composición química de los manantiales y por tanto el posible uso. Se han tomado catorce muestras dispersas por todo el área.

En la zona noroeste de Los Hoyos se localizan las lagunas Chica y Grande y a ellas corresponden las muestras A-1 y A-3. En la base del diapiro, colindante con la N-321, hay dos surgencias de descarga: la primera está próxima de la fábrica de yeso (A-2) y la segunda (A-4) es considerada como desagüe natural de la laguna Grande.

Cruzando la carretera N-321 llegamos al Caserío de la Fuente del Fresno, donde se tomaron dos muestras. Una en el propio arroyo (A-5), antes de la confluencia con el arroyo de Fuente Lana y la otra en la fuente del caserío (A-6), que es utilizada para consumo humano y animal. En plena depresión se muestrean las aguas del cauce (A-15) y en uno de los numerosos pozos existentes en Haza Galera (A-14), ambos de uso agrícola exclusivamente

El tramo ligado a la cuenca del río Guadalquivir coincide con la vertiente suroriental de Los Hoyos; el muestreo se hizo siguiendo la ruta que une Fuente Camacho y Loja. En Fuente Camacho pasadas las salinas se tomó la muestra A-10, en un material ubicado en la zona del triás por encima de la cota donde surge la salmuera y se aprovecha, para regar pequeñas huerta próximas a las salinas. Más al norte sacamos agua de un pozo anterior a las salinas (A-11). Finalmente se analizaron las aguas de la cabecera del

arroyo Salado (A-12) y en el Cortijo Calvillo (A-7 y A-8), y en otro punto próximo cortijo Caridad (A-9) en la desembocadura del arroyo Fuentealcaide

Muestra nº	Procedencia	Origen	Localización	Altitud (m)
A-1	Laguna Chica	Laguna	30SUG383841067	790
A-2	Próximo a la cantera de yesos	Manantial	30SUG383341068	700
A-3	Laguna Grande.	Laguna	30SUG384341078	783
A-4	Desagüe Laguna Grande	Manantial	30SUG383741079	705
A-5	Fuente Fresno (1)	Arroyo	30SUG381841049	689
A-6	Fuente Fresno (2)	Fuente	30SUG381141051	730
A-7	Cortijo Calvillo	Pozo-30 m.	30SUG388441088	660
A-8	Cortijo Calvillo	Arroyo	30SUG388241088	680
A-9	Cortijo Caridad (Fuentealcaide)	Arroyo	30SUG388741098	720
A-10	Fuente Camacho (1)	Manantial	30SUG388841087	680
A-11	Fuente Camacho (2 )	Pozo-10 m.	30SUG388741075	820
A-12	Fuente Camacho (3 ) (Ary. Salado)	Arroyo	30SUG389041084	732
A-13	Fuente Fresno 3	Arroyo	30SUG383641083	762
A-14	Haza Galera	Pozo-10 m.	30SUG382841056	740

**Tabla IV.10.-Localización y origen de las aguas del subsector Hoyos-Fuente Fresno.**

## 2.-Resultados analíticos

Se componen tres tablas con los resultados analíticos de las aguas del subsector. La tabla IV.11. incluye lo que Cánovas (1990) define como índices primarios (pH, R.S., C.E. y los iones fundamentales) y de segundo grado (SAR° y dureza). Las tablas IV.12. y IV.13. recogen las analíticas de los elementos no deseables y tóxicos respectivamente, con referencia al consumo humano.

*Parte experimental*

DATOS ANALITICOS														
Determinación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
pH	6.5	6.7	6.6	6.6	6.9	6.7	6.6	7	6.5	6.4	7	5.8	6.8	6.9
C.E. a 20°C (dS/m)	13.6	4.0	3.0	3.1	2	1.9	2.9	2.5	3.5	3.9	1.9	360	2.8	2.9
Dureza (°F)	243	191	252	223	82	86	110	69	82	82	82	3760	110	120
Residuo Seco a 180°C (mg/L)	8650	3890	4010	3790	1350	1390	2100	1850	1977	1840	1315	240610	1820	1975
SAR °	8.2	1.5	1.3	3.6	0.9	1.3	3.2	0.9	4.4	5	1.1	--	1.7	1.3
ANIONES (mg/L)														
Cloruros	1848	225	240	250	114	87	252	155	305	409	80	122790	141	123
Bicarbonatos	248	293	98	268	206	320	495	295	414	263	299	280	221	207
Sulfatos	3840	1560	2815	1856	624	587	640	836	608	582	508	29494	838	966
Cloruros/Sulfatos	0.48	0.14	0.01	0.13	0.18	0.15	0.39	0.19	0.50	0.70	0.16	4.16	0.17	0.13
Bicarb/Sulfatos	0.006	0.19	0.04	0.14	0.33	0.55	0.77	0.35	0.68	0.45	0.59	0.01	0.31	0.21
CATIONES (mg/L)														
Calcio	480	696	800	791	216	301	301	291	291	251	256	10670	316	380
Magnesio	670	43	149	63	68	30	86	88	59	47	43	244	62	69
Sodio	920	159	155	166	77	56	174	108	209	266	53	83320	96	82
Potasio	16.7	14.2	15.8	3.4	10.5	10.2	14.4	11.9	14.3	15.6	11.4	174	16	17.2
Magnesio/ Calcio	1.39	0.06	0.19	0.08	0.31	0.09	0.29	0.30	0.20	0.19	0.17	0.02	0.20	0.18

**Tabla IV.11.-Caracteres físico-químicos del subsector Los Hoyos-Fuente Fresno.**

		NO <sub>3</sub> - (mg/L)	M.O. (mg/L)	Mn	Ba	Co	Cu	Zn	F	Ag	Fe	B
<b>Nivel guía (µg/L)</b>		25	2	20	100	--	100	100	--	--	50	1000
<b>CMA* (µg/L)</b>		50	5	50	--	--	3000	5000	1500	10	200	--
<b>Muestras</b>	<b>A-4</b>	4	0.6	0.45	13.9	0.09	0	0.5	715	0.02	0.6	145
	<b>A-5</b>	37	1.6	0.33	21.1	2.4	0	1.3	725	0	0.6	269
	<b>A-12</b>	49	3.2	777	58.7	8.6	568	33.1	1110	1.2	1.1	287
	<b>A-14</b>	49	2.2	0	19.1	0.064	0	0.6	425	0.1	0.09	374

\*CMA: Concentración máxima admisible según RD 1438/1990

**Tabla IV.12.-Elementos no deseables en aguas potables de Los Hoyos-Fuente Fresno.**

		Be	V	Cr	Ni	As	Se	Cd	Sb	Hg	Pb
<b>CMA* (µg/L)</b>		-	-	50	50	50	10	5	10	1	50
<b>Muestras</b>	<b>A-4</b>	0.06	0.45	0.75	12.13	0.6	0	2.4	0	0.15	0.003
	<b>A-5</b>	0.05	1.7	7.6	32.1	1.03	0	0	0.003	0.36	0
	<b>A-12</b>	0.05	1140	372.2	281	1382	0	0.6	0.9	0.7	33.4
	<b>A-14</b>	0.05	0.9	1.3	7.5	0.1	0	0	0	3.3	0

\*CMA: Concentración máxima admisible según RD 1438/1990

**Tabla IV.13.-Elementos tóxicos en aguas potables de Los Hoyos-Fuente Fresno.**

### 3.- Discusión de los resultados.

El comentario general se hace en base a dos zonas. Una representa la secuencia hídrica iniciada en las lagunas y termina en Fuente Fresno (zona occidental); la otra está definida por el siguiente transecto: Fuente Camacho-Cortijo Calvillo- Cortijo Caridad (zona

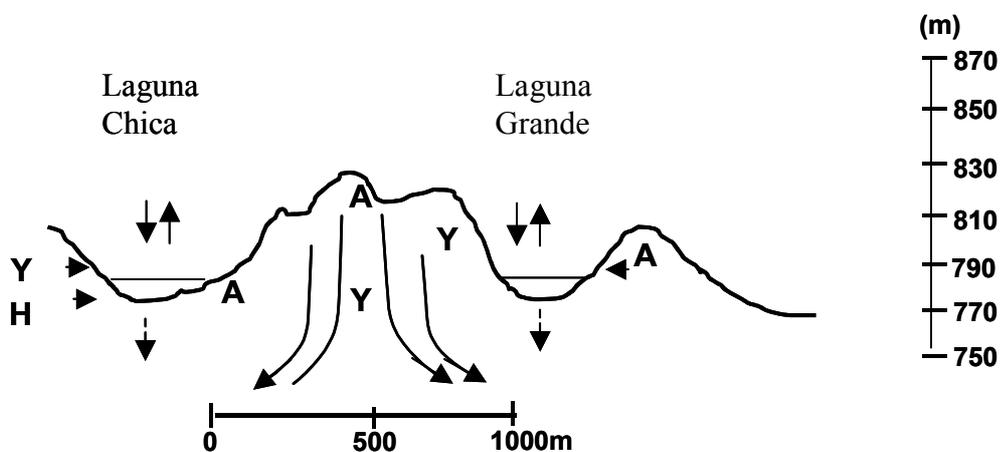
En la figura IV.3. presentamos el esquema hidrogeológico de la zona occidental. La naturaleza y morfología del terreno marcan el enclave de las lagunas permanentes y el encuadre litológico, que está enmarcado por la presencia de yesos (Y) y halita (H), mientras que el manto subsuperficial es netamente yesífero. La evolución química de las aguas se inicia en el techo arcillosos (A) de la formación que hay en torno a las cuencas

de absorción de las lagunas Grande (A-3) y Chica (A-1) y termina en la depresión de Fuente Fresno, con un desnivel de unos 80m .

	Cloruros	Bicarb	Sulfatos	Calcio	Magnesio	Sodio	Residuo
Cloruros	1						
Bicarbonatos	-0.053	1					
Sulfatos	0.808	-0.398	1				
Calcio	0.137	-0.394	0.649*	1			
Magnesio	0.969**	-0.161	0.854**	0.167	1		
Sodio	1.00**	-0.043	0.805**	0.133	0.968**	1	
Residuo Seco	0.896**	-0.217	0.971**	0.548	0.900**	0.895**	1

Grados de libertad (n-2) =11  
 Grado de significancia :  
 5% = 0.553 (\*) ; 1%= 0.684 (\*\*)

**Tabla IV.14.-Matriz de correlación de Pearson de los resultados hidroquímicos del subsector Los Hoyos-Fuente Fresno**



**Fig IV.3.- Esquema sobre la circulación del agua en la zona de Los Hoyos.**

Si comparamos la composición de las aguas lagunares (A-1 y A-3) con las surgencias (A-2 y A-4), se podría considerar desde el punto de vista químico y teniendo en cuenta el viraje sulfatado-clorurado magnésico sódico- sulfatado calcico de las aguas de las

lagunas Chica y Grande respecto de los desagües que son sulfatado cálcicos, los siguientes pasos:

1. Parte de los  $\text{SO}_4^{=}$  son cambiados por  $\text{CO}_3^{=}$ . Los iones  $\text{SO}_4^{=}$  se retienen como  $\text{CaSO}_4$  y hay liberación de  $\text{HCO}_3^-$ :



2. La presencia de  $\text{HCO}_3^-$  en disolución tiende a aumentar el pH de la misma. Hecho que favorece la hidrólisis del  $\text{Mg}^{2+}$ :



Esta síntesis puede justificar el descenso de  $\text{Mg}^{2+}$  con el cambio de cota. El ácido formado atacaría los carbonatos del medio:



Este  $\text{CO}_2$  puede intervenir en la reacción (1) y el  $\text{CaCl}_2$  (soluble) sale en el agua (con irregular comportamiento), sin que varíen apenas la concentración de cloruros respecto del manantial A-4, y por efecto del ión común reducir la solubilidad del yeso.

Estos sucesos nos hacen descartar que el agua vertida por los teóricos desagües proceda de Laguna Chica (A-1), porque en el supuesto contrario habría que considerar una retención importante de los cloruros en el suelo o en el material geológico, hecho observado de forma leve en el terreno. Además, no parece haber otros cationes, en cantidad suficiente, que justifiquen la formación de cloruros insolubles o poco solubles. (Tabla IV.14).

Del análisis morfológico e hidroquímico hecho por Almécija (1991), que reseña el origen de las depresiones lagunares aprovechando el contacto entre las formaciones litológicas triásicas presentes: arcillas con carniolas y yesíferas, diciendo además que las vertientes son más escarpadas cuando desarrollan sobre la primeras, de ahí la asimetría y la composición hidroquímica. Ahora bien, de acuerdo con el desarrollo morfogenético y el dualismo exo-endokárstico (Fig IV.3.), pensamos que se podrían justificar los mencionados cambios de facies considerando en el conjunto del sistema un doble flujo hídrico. El más importante se relaciona entorno a las lagunas permanentes, donde hay numerosas dolinas que actúan como puntos de absorción; el otro se debe al drenaje lento de las propias lagunas y a la intensidad de la salinización, debida a los aportes directos hídricos por lluvias, y subsuperficiales, de forma que se modifica la concentración de las aguas surgentes según la estación del año y el lugar por donde percolan .

Las aguas de las surgencia (A-2 y A-4) tributan directamente al arroyo de la Fuente del Fresno, y se observa un progresivo descenso de la salinidad, salvo para el ión bicarbonato, que se puede justificar por disolución del CO<sub>2</sub> atmosférico en el agua en movimiento. El descenso general de la salinidad (cationes y aniones) puede deberse a:

- Aportes laterales de aguas menos salinas.
- Adsorción por las partículas coloidales en suspensión o en el propio lecho del arroyo.

Los sólidos en suspensión sedimentan a medida que progresa el flujo de agua y disminuye su velocidad, de ahí los cambios del residuo seco entre los puntos de muestreo A-13 y A-5.

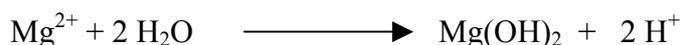
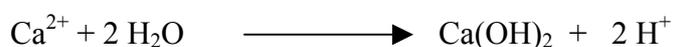
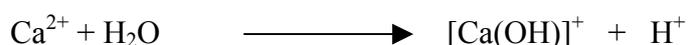
El agua del pozo (A-14), tiene composición química similar a la A-13, salvo para el calcio e indirectamente en la dureza, hecho que se puede justificar por el contenido en caliza activa de los suelos y del material sedimentado.

Fuente Fresno es una importante surgencia y da nombre al caserío donde se ubica. Las aguas son químicamente semejantes a las del arroyo (A-5), con menos magnesio y ligero incremento del calcio, hecho que se podría justificar por cambios iónicos entre la disolución acuosa y el complejo de cambio de los materiales sólidos por donde percola el agua.

La segunda zona tiene su punto más llamativo en las salinas de Fuente Camacho, cabecera del arroyo Salado, de gran calado en el subsector y para el conjunto fluvial arroyo de Las Mozas-río Frío, que describiremos en el subsector de Sierra Gorda.

Las aguas del primer punto (A-12) pueden catalogarse como salmuera y su origen es similar al descrito por Guzmán et al. (1995) en los Meliones (Málaga), causante del incremento en sales del pantano del Guadalhorce, hecho que exigió importantes obras de ingeniería, de muy elevado coste, para verter las aguas salobres directamente al mar (Diario Sur de Málaga. 10 de febrero de 1981), aislando así el pantano del manantial salino de Los Meliones.

La elevada concentración de sales favorece la precipitación de los compuestos menos solubles (sulfato cálcico y cloruro cálcico o magnésico), y en parte la hidrólisis de los cationes  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , causando el descenso del pH según las reacciones que transcribimos de los trabajos de Valenzuela et al. (1980 y 1981):



En el cortijo de Calvillo, junto a la explotación de ofitas, se tomó agua de pozo bombeada con motor (A-7); otra muestra se hizo en el arroyo que pasa junto a la

fábrica de áridos (A-8). Hay que señalar la existencia de pequeñas surgencias salobres y su temporalidad, de forma que en la época de muestreo estaban secas y rodeadas de sal común, sin afectar por tanto al flujo de agua del arroyo ni la salinidad.

El pH es similar en ambas muestras pero la calidad es menor en el caso del agua de pozo, posiblemente debido a contaminaciones endokársticas relacionadas con los eventos neotectónicos que activan la salmuera basal.

En el extremo más septentrional, próximo al cortijo Caridad (A-9), se muestro el arroyo de Fuentealcaide, más salobre que el anterior por aportes salinos relacionados con el conjunto kárstico. Este hecho motiva confusión sobre la procedencia de las aguas que desembocan en el río Frío, que se atribuyen de forma general al arroyo Salado.

Para analizar la calidad y posibles usos de las aguas del subsector, comentaremos las tablas IV.11, IV.12, y IV.13, clasificándolas finalmente según diferentes autores (Tabla IV.15).

Se tratan de aguas muy mineralizadas, neutras o débilmente ácidas, con grado de dureza disperso, que oscila entre aguas muy duras (A-1, A-3, A-4 y A-12), moderadamente duras (A-2, A-7 y A-14), y ligeramente duras, el resto; hecho significativo para establecer su uso, que según este parámetro se califican como malas para consumo doméstico en los dos primeros casos, ya que las aguas presentan serios problemas para el lavado casero y cocimiento de los alimentos. A nivel agrícola e industrial presentan problemas por su alto poder incrustante. Las aguas ligeramanete duras, con pequeñas reservas, sí pueden ser utilizadas domiciliariamente, salvo limitaciones derivadas del contenido en otras sales y oligoelementos.

La conductividad, salvo en el caso de las muestras A-1 y A-12, donde es muy elevada, se considera débil o moderada ( $1.9-4 \text{ dSm}^{-1}$ ), señala salinidad débil debida a la presencia

de yeso y aumenta ligeramente hasta un máximo de cuatro, dependiendo del contenido en halita. En la Tabla IV.1.a.5. se relaciona el contenido en cloruros, sulfatos y el residuo seco con la conductividad. La mayoría presentan buena correlación, que es muy alta en el caso de los cloruros y sulfatos con el residuo seco, y es irregular para los bicarbonatos. Este hecho se debe posiblemente a la desviación que provoca la muestra A-1 y también a los cambios en la relación  $Cl^-/SO_4^{=}$ .

En la tabla IV.11. se incluyen también las relaciones aniónicas entre  $Cl^-/SO_4^{=}$ ,  $HCO_3^-/SO_4^{=}$  y las catiónicas  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$ . Las oscilaciones entre estos últimos son claras, encontrándose los valores menores en las surgencias A-2, A-4 y A-6, descartando la muestra de salmuera por su complejidad.

El descenso de la relación  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$  que se produce en las surgencias situadas al pie de la formación diapírica, bajo las lagunas permanentes y en Fuente Fresno, se debe al aumento del ión calcio ligado a los bicarbonatos, hecho que induce a la precipitación de los sulfatos (reacción 1) traduciéndose a nivel edafológico en la formación de horizontes Y. El incremento de los bicarbonatos debe relacionarse con el  $CO_2$  atmosférico, generado en las reacciones 2 y 3.

La relación  $Cl^-/SO_4^{=}$  es siempre inferior a la unidad, salvo en la salmuera, con diferencias justificables por la concentración yesífera del sustrato triásico, a través del que percolan las aguas adsorbidas, y el bajo contenido en NaCl de los niveles superiores del sistema geológico.

En la correlación de Pearson (Tabla IV.14.) se observa que las sales cloruradas son prácticamente sódicas y las pequeñas desviaciones traducen la presencia de  $MgCl_2$  (A-3, A-4 y A-14).

La correlación entre  $SO_4^{=}/Mg^{2+}$  es muy significativa, dato que puede ser importante a nivel de uso doméstico cuando el contenido en  $Mg^{2+}$  es alto, ya que esta sal (sal amarga

o de Epson) tiene poder laxante y además, como señala Discher (1996) hay peligro, si la absorción es importante de desequilibrios cerebrales, poco probable en nuestro caso dado que las concentraciones no son muy elevadas.

Respecto de los elementos no deseables (Tabla IV.12.) o tóxicos (Tabla IV.13.), se puede señalar que todas las muestras están muy lejos de los valores medios exigidos para la potabilidad de las aguas, menos en la salmuera donde el contenido en Mn, V, Cr, Ni y As son elevados. Materia orgánica y nitratos sí deben tenerse en cuenta y analizar previamente para ponderar el uso, porque frecuentemente las concentraciones son moderadas o altas.

Las aguas del subsector (Tabla IV.15), son mayoritariamente de facies sulfatadas cálcicas (A-2, A-3, A-4, A-5, A-6, A-7, A-8, A-11, A-13 y A-14). Hay tres muestras que son sulfatado-cloruradas, pero con distintos componentes catiónicos: magnésico sódica (A-1) y calcico sódicas las otras dos (A-9 y A-10). Alteración que debe relacionarse con el tramo edafo-litológico que atraviesan las aguas adsorbidas en superficie.

Respecto de la calidad para consumo humano (Tabla IV.11.), hay que comentar la presencia de cloruros en cantidades que superan el nivel guía como sucede en las muestras clasificadas como cloruradas. Lo mismo puede comentarse de la presencia de bicarbonatos y sulfatos.

A nivel catiónico el calcio de todas las muestras excede claramente el valor guía, mientras que las desviaciones magnésicas varían de muy altas en A-4, A-5, A-7, A-8, A-9, A-13 y A-14 y las que oscilan entre la capacidad máxima y el nivel guía. La concentración de sodio es alta, superando de forma llamativa la concentración máxima admisible, las muestras A-1, A-2, A-3, A-4, A-7, A-9, A-10 y A-12. Por lo tanto, según los parámetros físico-químicos las aguas no son aptas para consumo humano.

MUESTRA	COMPOSICION QUIMICA		APTITUD PARA EL RIEGO	
	SCHOLLER (1955)	SHCHUKAREV (1934)	I. SCOTT	RESTRICCIONES DE USO FAO (1987)
A-1	Clorurada media Hipersulfatada. Bicarbonatada normal 412-3c	Sulfatada clorurada magnésica sódica	K=1 MALA	Riesgo de salinización: Importante Riesgo de sodificación: Ninguno
A-2	Clorurada normal. Sulfatada . Bicarbonatada normal 622-3e	Sulfatada cálcica	K=9 TOLERABLE	Riesgo de salinización: Importante Riesgo de sodificación: Ninguno
A-3	Clorurada normal. Sulfatada Hipobicarbonatada 623-3f	Sulfatada cálcica	K=8 TOLERABLE	Riesgo de salinización: Importante Riesgo de sodificación: Ninguno
A-4	Clorurada normal. Sulfatada . Bicarbonatada normal 622-3e	Sulfatada cálcica	K=7 TOLERABLE	Riesgo de salinización: Importante Riesgo de sodificación: Ninguno
A-5	Clorurada normal.Oligosulfatada. Bicarbonatada normal. 632-4f	Sulfatada cálcica	K=27 BUENA	Riesgo de salinización: Moderado Riesgo de sodificación: Ninguno
A-6	Clorurada normal.Oligosulfatada. Bicarbonatada normal. 632-4f	Sulfatada cálcica	K=23 BUENA	Riesgo de salinización: Moderado Riesgo de sodificación: Ninguno
A-7	Clorurada normal.Oligosulfatada. Hiperbicarbonatada 631-4e	Sulfatada cálcica	K=8 TOLERABLE	Riesgo de salinización Moderado Riesgo de sodificación: Ninguno
A-8	Clorurada normal.Oligosulfatada Bicarbonatada normal 631-4f	Sulfatada cálcica	K=13 TOLERABLE	Riesgo de salinización: Moderado Riesgo de sodificación: Ninguno
A-9	Clorurada normal Oligosulfatada. Bicarbonatada normal. 531-3e	Sulfatada clorurada cálcica sódica	K=6.7 TOLERABLE	Riesgo de salinización Importante Riesgo de sodificación: Ninguno
A-10	Clorurada normal Oligosulfatada. Bicarbonatada normal. 531-3e	Sulfatada clorurada cálcica sódica	K=5 TOLERABLE	Riesgo de salinización: Importante Riesgo de sodificación: Ninguno
A-11	Clorurada normal. Oligosulfatada. Bicarbonatada normal. 631-5f	Sulfatada cálcica	K=25 BUENA	Riesgo de salinización: Moderada Riesgo de sodificación: Ninguno
A-12	Hiperclorurada Hipersulfatada. Bicarbonatada normal 112-1b	Clorurada sódica	K=0.01 MALA	Riesgo de salinización: Importante Riesgo de sodificación: Ninguno
A-13	Clorurada normal.Oligosulfatada. Bicarbonatada normal. 632-1-4f	Sulfatada cálcica	K=14 TOLERABLE	Riesgo de salinización: Moderada Riesgo de sodificación: Ninguna
A-14	Clorurada normal. Oligosulfatada. Bicarbonatada normal. 622-4f	Sulfatada cálcica	K=16 TOLERABLE	Riesgo de salinización: Moderada Riesgo de sodificación: Ninguna

**Tabla IV.15.-Clasificación de las aguas para consumo humano y aptitud para riego en el subsector Hoyos-Fuente Fresno.**

La aptitud para riego respecto del contenido total de cationes, es superior del recomendado por Urbano (1992), que los sitúa entre  $400 \text{ mgL}^{-1}$  para el calcio y  $60 \text{ mgL}^{-1}$  para el magnesio. Se observa además que las aguas tomadas a cotas inferiores disminuyen la concentración de cationes divalentes, sobre todo el magnesio, lo que favorece su utilización agrícola. En general son poco aptas para el riego, salvo la A-11 que es buena y las A-1, A-12 que son malas, dato que debe ser matizado con los valores de conductividad, oscilantes entre  $1.8$  y  $7.6 \text{ dSm}^{-1}$ , ya que lo normal para riego (FAO, 1987) son valores entre  $0$  y  $10 \text{ dSm}^{-1}$ .

#### **IV.1.b. Albaradas-Bobadilla.**

##### **IV.1.b.1.Introducción.**

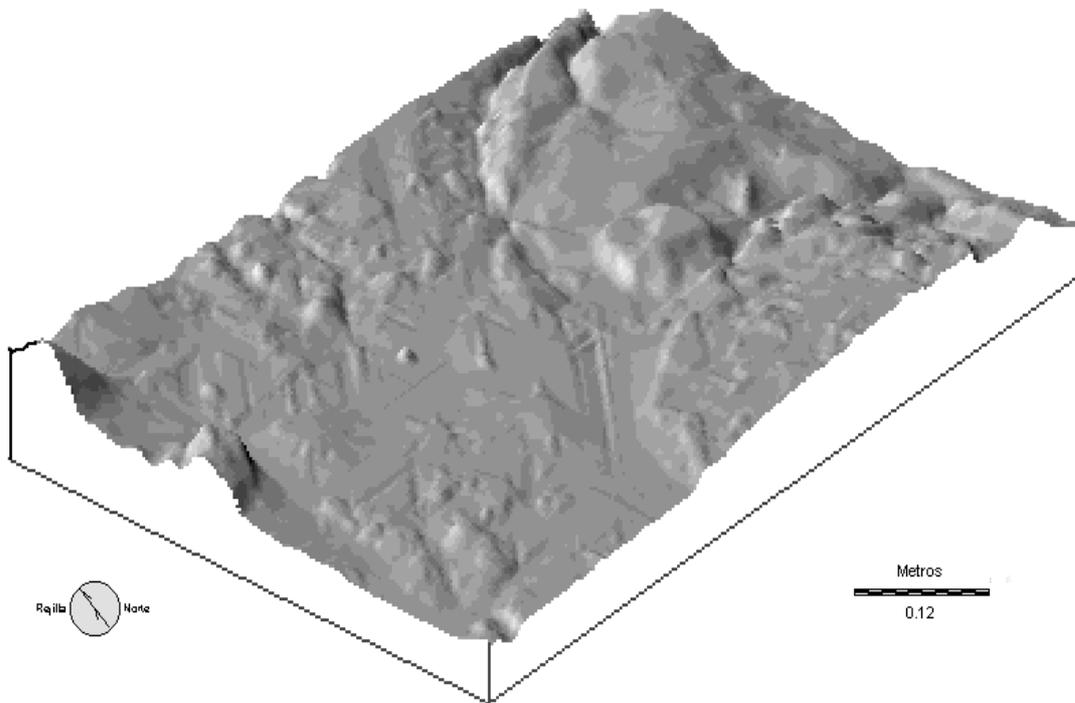
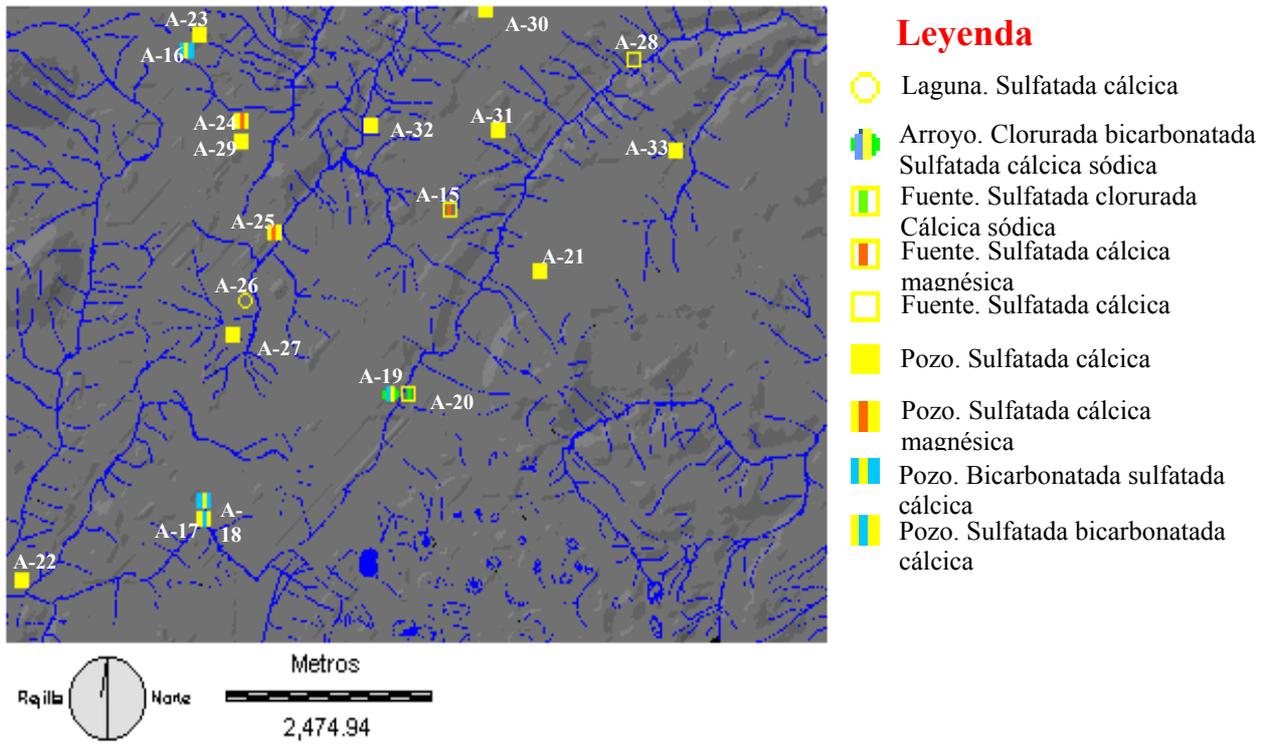
Ocupa el subsector norte de la banda del Trías de Antequera. Limita al oeste con el eje montañoso que componen las sierras de Archidona-Umbral-Pedroso; por el oeste conecta con el área pliocuaternaria de la unidad de Cuesta Blanca-La Palma y por el sur con la depresión del arroyo Fuente del Fresno y el tramo oriental del arroyo Marín.

Es una llanura de erosión con pequeños y frecuentes montículos (Fig. IV.4). La altitud media es aproximadamente de 750 m y crece en la parte oriental. Son frecuentes las manifestaciones kársticas (dolinas) sin que afloren yesos; hay numerosos manantiales, intermitentes, relacionados con corrientes hipogeas kársticas, activas durante los períodos estacionales húmedos. También recargan los acuíferos profundos y tributan a los arroyos que componen la red hidrográfica: Negra, Nieblina, Viñuela, Fuente Fresno, etc.

Hay que destacar la cubierta triásica con arcillas rojizas y el visible alineamiento, discontinuo, de calizas y dolomías de facies Muchelkalk. Sobreyacen materiales yesíferos, en bancos tubulares y alternando con margas, alcanzando el conjunto los 140 m (ITGE, 1991),

La red hidrográfica está definida por dos canales principales: arroyos de la Viñuela-Fuente Fresno y Negra-Marín. Ambos cauces conectan al sur a través del arroyo de la Fuente de la Lana. Hay otra conexión artificial, más al norte, alrededor del cerro Genovés, que es la acequia de Los Caballeros (Fig. IV.4.)

Algunos tributarios, como el arroyo Sequillo, atraviesan pequeñas lagunas que regulan el deficiente y estacional caudal hídrico que circula por la red de drenaje superficial.



**Fig IV.4.- Bloque diagrama, red hidrográfica y muestras de agua del subsector Albaradas-Bobadilla.**

## **IV.1.b. 2.Aspectos hidroquímicos**

### **1.-Toma de muestras.**

Se tomaron quince muestras (Tabla IV.16). La mayoría pertenecen a pozos de fincas particulares. El nivel piezométrico explotado está situado alrededor de los 30 m de profundidad. Hay otros más superficiales, próximos a los 8 m que están abandonados y quedando como reliquias que autentifican su existencia. La cota media es de 735 m y la inferior (660 m) corresponde al manantial de La Viñuela.

Los manantiales son esporádicos y nosotros sólo hemos encontrado tres: A-15, que se utiliza para beber, y A-20 y A-28, cuyo consumo es exclusivamente agrícola. En los Borbollones Bajos se muestreó la única laguna existente, de forma permanente, es todo el subsector

### **2.-Resultados analíticos.**

Los resultados del análisis se reúnen en las tres tablas siguientes IV.17, IV.18. y IV.19.

### **3.- Discusión de los resultados.**

En la tabla IV.17. reunimos los análisis de las distintas aguas, señalando los componentes iónicos y sus relaciones. También incorpora otros parámetros fundamentales para identificar la calidad de las aguas: pH, CE, dureza, etc.

La cotas en las que se hallan los pozos (con profundidad 30m) oscila entre 700 y 772 m, mientras que los manantiales se sitúan por debajo de los 700m y la única laguna a 758 m. El pH es ligeramente básico en todas las muestras (7.4-7.7) y la conductividad es baja en la mayoría de ellas, salvo en las muestras A-19, A-20 y A-28, donde superan los  $3.9 \text{ dSm}^{-1}$  y que hace aumentar el riesgo de salinización cuando se utilizan para riego. En el caso de las aguas A-21, A-22, A-24, A-25 y A-33 la posibilidad de salinidad es moderada, manteniendo como referente la conductividad, que oscila entre valores de 2 y  $3 \text{ dSm}^{-1}$  tratándose de aguas selenitosas.

Muestra n°	Procedencia	Origen	Localización	Altitud (m)
A-15	Cortijo Fuente La Losa	Fuente	30SUG385441119	720
A-16	Cortijo de La Venta	Pozo – 10 m.	30SUG382241137	720
A-17	Venta Aguas Malas (1)	Pozo – 10 m.	30SUG382441084	764
A-18	Venta Aguas Malas (2)	Pozo – 30 m.	30SUG382441085	764
A-19	Salinas n° 1 (ArroyoViñuela)	Arroyo	30SUG384741098	740
A-20	Salinas n° 2	Manantial	30SUG384941098	681
A-21	La Palma	Pozo – 30 m	30SUG386541112	721
A-22	La Viña	Pozo – 30 m	30SUG380241077	698
A-23	Cortijo Higuera	Pozo – 10 m.	30SUG382341133	739
A-24	Cortijo Sureco	Pozo – 30 m.	30SUG382841129	772
A-25	Cortijo Galván	Pozo – 30 m.	30SUG383241116	750
A-26	Cortijo Borbollones (Bajos)	Laguna	30SUG382941108	758
A-27	Cortijo Borbollones (Altos)	Pozo – 30 m.	30SUG382741104	740
A-28	Cortijo Viñuela	Manantial	30SUG387641136	660
A-29	Venta del Pino	Pozo – 30 m.	30SUG382841126	764
A-30	Casa de Santana	Pozo – 30 m.	30SUG385841142	705
A-31	Cortijo Navas	Pozo – 30 m.	30SUG385941128	700
A-32	Cortijo Parralejo	Pozo – 10 m.	30SUG384441128	742
A-33	Cortijo Briceño	Pozo – 30 m.	30SUG388141124	730

Tabla IV.16.- Localización y origen de las aguas del subsector Albaradas - Bobadilla.

DATOS ANALITICOS																			
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
pH	7.5	7.5	7.4	7.5	7.6	7.7	7.6	7.7	7.4	7.6	7.6	7.4	7.4	7.4	7.6	7.7	7.7	7.6	7.4
C.E.	1.4	1.2	1.2	1.2	4.2	6.1	3.5	2	1.3	2.9	2.9	1.5	1.4	3.1	0.5	1.3	1.3	1.6	2.2
Dureza	90	53	57	46	130	190	85	102	57	124	83	60	46	117	22	58	58	64	126
R Seco	1380	1063	1061	912	2900	4300	1889	1671	904	1892	1532	968	890	2216	365	932	973	1116	2036
SAR °	1.2	1.2	1.3	0.9	5.2	9.4	6.0	1.1	0.4	1	2.3	0.3	0.2	0.4	2.5	0.3	0.3	0.5	1.1
ANIONES (mg/L)																			
Cloruros	93	71	75	53	581	969	398	69	34	114	219	27	20	301	24	30	27	55	99
Bicarbon.	427	356	345	303	834	470	348	377	75	84	111	71	62	80	53	89	71	71	376
Sulfatos	562	241	282	222	612	1413	510	701	472	1187	702	549	534	1965	151	457	522	604	913
Cl/Sulf	0.17	0.29	0.26	0.23	0.69	0.68	0.78	0.09	0.07	0.07	0.3	0.04	0.03	0.16	0.15	0.06	0.05	0.09	0.1
Bic/Sulf	0.75	1.4	1.2	1.3	1.3	0.3	0.6	0.5	0.1	0.09	0.1	0.1	0.1	0.04	0.3	0.2	0.1	0.1	0.4
CATIONES (mg/L)																			
Calcio	192	149	172	136	388	582	260	287	139	310	182	159	156	356	50	149	151	191	339
Magnesio	107	38	34	34	88	114	44	79	45	122	92	52	47	68	22	50	49	46	104
Sodio	28	45	48	35	385	631	266	45	22	78	139	17	14	192	16	19	18	35	68
Potasio	16.9	16.4	16.6	15.3	16.5	28	15	12.1	14.1	18	16.8	16.1	17	15.9	14.2	13.1	12.1	14.4	12.1
Mg/Ca	0.5	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.3	0.3	0.2	0.4	0.3	0.3	0.2	0.3

**Tabla IV.17. Caracteres físico-químicos del subsector Albaradas-Bobadilla.**

El residuo seco es alto en todas las aguas e incide en la dureza de las mismas, dato a tener en cuenta en el caso de uso doméstico. Es medianamente dura la muestra A-29, duras las muestras A-28 y A-27 y las restantes muy duras.

		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	M.O. (mg/L)	Mn	Ba	Co	Cu	Zn	F	Ag	Fe	B
	<b>Nivel guía (µg/L)</b>	25	2	20	100	--	100	100	--	--	50	1000
	<b>CMA* (µg/L)</b>	50	5	50	--	--	3000	5000	1500	10	200	--
N°	A-22	15	4.9	0.4	0.7	0.1	0	0.2	15	0.05	0	621
	A-24	28	4.4	0.5	14	1	0	0.5	8	0.18	0.01	315
	A-25	27	5	0.2	0.9	0.07	0	9.7	27	0.03	0	447
	A-26	23	1.2	0.4	1.9	0.2	0	0.17	23	0.17	0	452
	A-27	0	2.2	0.12	0.8	0.06	0	0	0	0.16	0	654

CMA: Concentración máxima admisible según RD 1138/90

**Tabla IV.18.-Elementos no deseables en aguas potables de Albaradas-Bobadilla.**

		Be	V	Cr	Ni	As	Se	Cd	Sb	Hg	Pb
	<b>CMA* (µg/L)</b>	-	-	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>50</b>
Muestras	A-22	0.03	0.8	2	16	0.4	0	0	0	0.4	0
	A-24	0.6	5.1	8	121	6	0	2.4	0	0.2	0
	A-25	0.02	0.1	0.6	31	0.1	0	3.6	0.6	0.3	0
	A-26	0.01	2.6	7	24	1.3	1.3	0	0	0.6	0
	A-27	0.1	0.7	0.6	81	3	0	0	0.2	0.2	0

\*CMA: Concentración máxima admisible según RD 1138/90

**Tabla IV.19.- Elementos tóxicos en aguas potables del subsector Albaradas-Bobadilla.**

De acuerdo con los contenidos iónicos y las clasificaciones de la tabla IV.20. se pueden establecer cuatro grupos de aguas:

- Aguas magnésicas, cuando la relación  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$  es  $>$  de 0.4 y contenido de  $Mg^{2+} > 90 \text{ mgL}^{-1}$ : A-15, A-24 y A-25.
- Aguas oligocloruradas. Se caracterizan por un contenido medio en  $Cl^- >$  de  $350 \text{ mgL}^{-1}$  y  $CE > 5 \text{ dSm}^{-1}$ : A-19, A-20 y A-21.
- Aguas oligosulfatadas-sulfatadas. Los contenidos en  $SO_4^{=}$  superan los  $290 \text{ mgL}^{-1}$  y  $1150 \text{ mgL}^{-1}$  respectivamente, A-22, A-23, A-26, A-27, A-28, A-29, A-30, A-31, A-32, A-33.

- Aguas equilibradas normales. Aquellas aguas que muestran cierto equilibrio iónico y no se incluyen en los grupos anteriores A-16, A-17 y A-18.

MUESTRA	COMPOSICIÓN QUÍMICA		APTITUD PARA EL RIEGO	
	SCHOLLER (1955)	SHCHUKAREV(1934)	I. SCOTT	RESTRICCIONES DE USO FAO (1987)
A-15	Clorurada normal. Oligosulfatada. Bicarbonatada normal 632-4f	Sulfatada cálcica magnésica	K=47 BUENA	Riesgo de salinización: Ligero Riesgo de sodificación: Ninguno
A-16	Clorurada normal. Sulfatada normal. Bicarbonatada normal 643-6f	Bicarbonatada sulfatada cálcica	K=28 BUENA	Riesgo de salinización: Ligero Riesgo de sodificación: Ninguno
A-17	Clorurada normal. Sulfatada normal. Bicarbonatada normal 643-4f	Sulfatada bicarbonatada cálcica	K=27 BUENA	Riesgo de salinización: Ligero Riesgo de sodificación: Ninguno
A-18	Clorurada normal. Sulfatada normal. Bicarbonatada normal 643-6f	Bicarbonatada sulfatada cálcica	K=38 BUENA	Riesgo de salinización: Importante Riesgo de sodificación: Ninguno
A-19	Oligoclorurada. Oligosulfatada. Hipercarbonatada 521-2e	Clor-Bicarb-Sulf cálcica sódica	K=3 MEDIOCRE	Riesgo de salinización: Importante Riesgo de sodificación: Ninguno
A-20	Oligoclorurada .Sulfatada.Bicarbonatada normal	Sulfatada-Clorurada cálcica sódica	K=2 MEDIOCRE	Riesgo de salinización: Importante Riesgo de sodificación: Ninguno
A-21	Oligoclorurada. Oligosulfatada. normal 633-4f	Sulfatada cálcica	K=5 MEDIOCRE	Riesgo de salinización: Moderado Riesgo de sodificación: Ninguno
A-22	Clorurada normal. Oligosulfatada. Bicarbonatada normal 633-4f	Sulfatada cálcica	K=29 BUENA	Riesgo de salinización: Moderado Riesgo de sodificación: Ninguno
A-23	Clorurada normal. Oligosulfatada. Hipobicarbonatada 633-3f	Sulfatada cálcica	K=60 BUENA	Riesgo de salinización: Ligero Riesgo de sodificación: Ninguno
A-24	Clorurada normal. Sulfatada. Hipobicarbonatada 633-3f	Sulfatada cálcica magnésica	K=9 TOLERABLE	Riesgo de salinización: Moderado Riesgo de sodificación: Ninguno
A-25	Clorurada normal. Oligosulfatada. Hipobicarbonatada 633-4f	Sulfatada cálcica magnésica	K=63 BUENA	Riesgo de salinización: Moderado Riesgo de sodificación: Ninguno
A-26	Clorurada normal. Oligosulfatada. Hipobicarbonatada 633-4f	Sulfatada cálcica	K=75 BUENA	Riesgo de salinización: Ligero Riesgo de sodificación: Ninguno
A-27	Clorurada normal. Oligosulfatada. Hipobicarbonatada 633-3f	Sulfatada cálcica	K=102 BUENA	Riesgo de salinización: Ligero Riesgo de sodificación: Ninguno
A-28	Clorurada normal. Sulfatada. Hipobicarbonatada 633-4e	Sulfatada cálcica	K=6 TOLERABLE	Riesgo de salinización: Importante Riesgo de sodificación: Ninguno
A-29	Clorurada normal. Sulfatada normal. Hipobicarbonatada 643-4f	Sulfatada cálcica	K=85 BUENA	Riesgo de salinización: Moderado Riesgo de sodificación: Ninguno
A-30	Clorurada normal. Oligosulfatada. Hipobicarbonatada 633-4f	Sulfatada cálcica	K=68 BUENA	Riesgo de salinización: Ligero Riesgo de sodificación: Ninguno
A-31	Clorurada normal. Oligosulfatada. Hipobicarbonatada 633-3f	Sulfatada cálcica	K=37 BUENA	Riesgo de salinización: Ligero Riesgo de sodificación: Ninguno
A-32	Clorurada normal. Oligosulfatada. Hipobicarbonatada 633-3f	Sulfatada cálcica	K=102 BUENA	Riesgo de salinización: Ligero Riesgo de sodificación: Ninguno
A-33	Clorurada normal. Oligosulfatada. Bicarbonatada normal 633-4f	Sulfatada cálcica	K=63 BUENA	Riesgo de salinización: Moderado Riesgo de sodificación: Ninguno

Tabla IV.20.-Clasificación de las aguas para consumo humano y aptitud para riego.

En el primer grupo los problemas que podrían determinar el uso de las aguas esta condicionado por la cantidad de  $Mg^{2+}$ , y acentuado en el caso de la muestra A-29

porque aparte del equilibrio entre el  $\text{Ca}^{2+}$  y el  $\text{Mg}^{2+}$ , el contenido total es bajo y esta circunstancia puede afectar al equilibrio iónico entre la fase sólida y líquida del suelo.

Las aguas cloruradas coinciden en el área del núcleo de población de las Salinas, hecho que debe relacionarse con la naturaleza del sustrato geológico. Además, como su procedencia es distinta (arroyo y surgencia), explicará los cambios de facies a bicarbonatada-sulfatada la primera y exclusivamente sulfatada la segunda. La muestra A-21 es químicamente semejante a la A-20. Todas ellas se consideran mediocres para ser usadas en regadíos y para el consumo ganadero ya que el SAR° supera el valor de 5 y el riesgo de alcalinización es importante, sobre todo en el caso de la muestra A-20, donde se supera el índice 8 marcado como limitante por Cánovas (1990).

El tercer grupo es el más representado en las aguas del territorio y en él se recopilan aguas oligosulfatadas con otras netamente selenitosas (A-20, A-24 y A-28). En ellas la relación  $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$  es muy baja (0.04-0.01) e igual sucede con la relación  $\text{HCO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$  (0.1-0.5). Las muestras son netamente cálcicas y de ahí que la relación  $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$  varíe entre 0.2 y 0.4. Respecto de la calidad de las aguas se pueden considerar como buenas, según el índice de Scott, y sólo es tolerable la A-28. Tomando como referencia la normativa FAO (1987), y que el SAR° suele ser menor de 1.2 no debe haber riesgo de salinización salvo para las muestras A-21, A-22, A-24, A-25, A-29, A-33, donde es moderado, pasando a importante en las muestras A-18, A-19, A-20, A-28. Para consumo humano, debido a la concentración de cloruros, bicarbonatos y sulfatos, que exceden la concentración máxima admisible, según R.D. 1138/1990, las calificamos como no potables. Igualmente ocurre con los cationes ya que la mayoría de las muestras superan la concentración máxima admisible. Según las tablas IV.18 y IV.19, no debe haber problemas en lo referente a la presencia de elementos tóxicos. Referente a la existencia de elementos no deseables, tampoco su incidencia parece significativa, menos para los nitratos que están a veces por encima del nivel guía, pero por debajo de la cantidad máxima admisible, y la materia orgánica donde los riesgos son igualmente potenciales, excepto la muestra de la laguna A-26 donde el contenido supera la concentración máxima admisible.

#### **IV.1.c. Arroyo Marín.**

##### **IV.1.c.1.Introducción.**

El subsector se ubica en la parte central del territorio estudiado y ocupa una extensión aproximada de 9 km<sup>2</sup>. Es una estructura circular, de origen diapírico, relacionada con los materiales triásicos que la sustentan.

El arroyo Marín es el nexo entre este subsector y el de Las Lomas. El tramo de arroyo que incluimos discurre por una profunda garganta, con doble hoz, que va desde la confluencia del arroyo Fuente de la Lana con el de la Viña, hasta la desembocadura en el río Guadalhorce.

La vertiente norte es un farallón cuya cornisa conecta con la meseta triásica mediante una estrecha franja, erosivo-estructural (Fig IV.5). El área estudiada engloba el valle del arroyo y la meseta de la margen derecha. Morfológicamente se pueden establecer en la meseta tres desniveles: Uno apical, compuesto por una franja irregular donde afloran cerros y peñas, que son moderadamente escarpados a inclinados y mantienen una vegetación boscosa. A partir de la cota 800 m el relieve es más suave (Lagunilla), y a diferencia de Las Lomas buza hacia el norte (Sierra de Archidona), componiendo la meseta en donde afloran, discontinuos, mogotes ofíticos que conservan la vegetación natural, a diferencia del resto de la superficie que tiene uso agrícola (olivivos, almendros y cereales)

El contacto con la superficie aluvial (Llanos de Archidona), es mediante un escalón escarpado, de unos 60 m de longitud, diferente al que describiremos en el subsector Peñón de los Enamorados - La Yedra.

El modelado kárstico lo achaca Lhenaff (1967) a un proceso isostático y lo relaciona con el inicio del encajamiento del arroyo Marín. En este sentido Durán (1983), estableció un mecanismo de competencia entre el encajamiento del arroyo y el diapirismo. Pensamos que las diferencias morfológicas con la Loma del Pinar vienen

dadas por la proximidad de la sierra de Archidona, que interfirió el proceso general modificando la dirección del basculamiento acaecido tras la peniplanización. Este hecho se vio incentivado por la propia sobreimposición del arroyo Marín.

El exokarst está parcialmente cubierto y consta de formas de absorción redondeadas y elongadas, irregulares, que se conservan parcialmente en la parte norte de las Lagunillas. No se conoce la entidad y funcionamiento del sistema endokárstico y no hallamos ninguna surgencia hídrica en la periferia de la formación, que son muy frecuentes en la orilla izquierda del arroyo Marín.

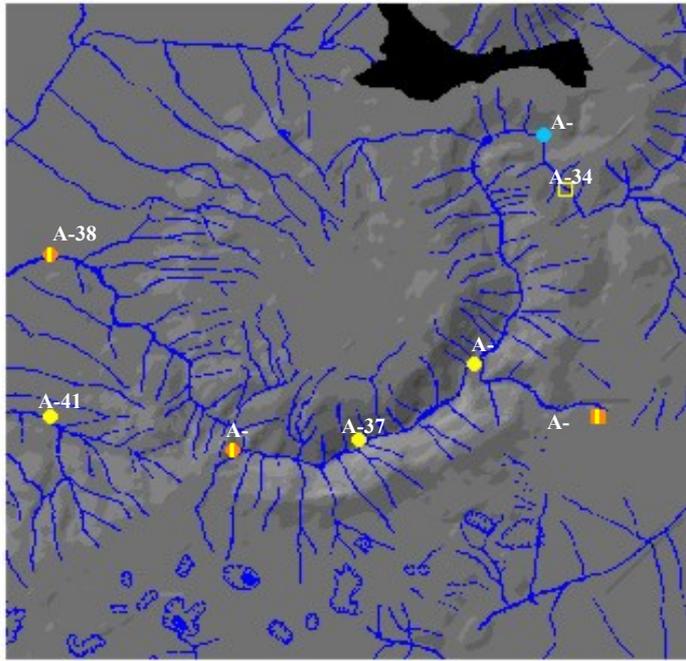
El material geológico se compone de arcillas y carniolas pleistocenas que se conservan en la superficie de todo el territorio. Le sigue una potente formación de yesos con fragmentos decimétricos, equidimensionales, más o menos redondeados y de naturaleza caliza o dolomítica, dispuestos en bancos tabulares discontinuos. Estas sucesiones calcodolomíticas, de facies Muschelkalk, son de desigual potencia y presentan distintos grados de dolomitización (ITGE, 1990), dato a tener en cuenta a la hora de establecer la dinámica de cambios catiónicos en la fase hídrica.

#### **IV.1.c. 2. Aspectos hidroquímicos**

##### **1.-Toma de muestras.**

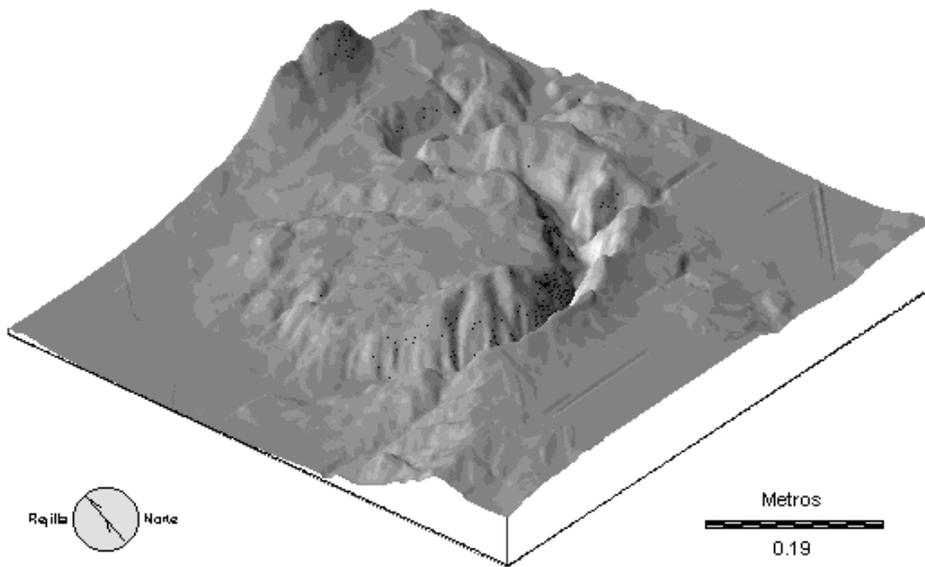
Han sido tomadas un total de ocho muestras, cinco en el Arroyo Marín, una que pertenece a un manantial (A-34) y otra de pozo (A-40) (Tabla IV.21. y Fig. IV.5.).

La muestra (A-34), pertenece a la Fuente de la Teja, localizada al SE de la localidad de Archidona, en las proximidades del Santuario del Cristo de las Aguas, cerca de una cantera ofítica. El pozo donde se obtuvo la muestra A-40, se ubica en el Cortijo de la Saucedilla, y utilizándose para consumo animal y para regar una pequeña huerta próxima a la vivienda.



**Leyenda**

- Fuente. Sulfatada cálcica
- Pozo. Sulfatada magnésica cálcica
- Arroyo. Bicarbonatada cálcica
- Arroyo. Sulfatada cálcica
- Arroyo. Sulfatada magnésica cálcica



**Fig IV.5 .- Bloque diagrama, red hidrográfica y muestras de aguas del subsector Arroyo Marín.**

Muestra n°	Procedencia	Origen	Localización	Altitud (m)
A-34	Fuente de La Teja	Manantial	30SUG377941053	680
A-35	Arroyo Marín 1	Arroyo	30SUG377241058	650
A-36	Arroyo Marín 2	Arroyo	30SUG377141037	635
A-37	Arroyo Marín 3	Arroyo	30SUG376141030	629
A-38	Arroyo Marín 4	Arroyo	30SUG375041029	615
A-39	Arroyo Marín 5	Arroyo	30SUG373441047	535
A-40	Cortijo La Saucedilla	Pozo-10 m.	30SUG378241032	752
A-41	Arroyo Marín 6	Arroyo	30SUG373441032	520

**Tabla IV.21.- Localización y origen de las aguas del subsector del Arroyo Marín.**

Las cotas extremas, siguiendo el cauce del arroyo, son: 680 m (A-34) y 520 m (A-41). La máxima, fuera del curso fluvial, corresponde al cortijo de La Saucedilla (752 m).

Las facies químicas del agua del arroyo Marín, afluente más importante del Guadalhorce, se justifican por el importante aporte de sales sulfatadas que le suponen al río, los numerosos manantiales existentes en la margen derecha. Las tomas realizadas se han escalonado, manteniendo una distancia entre puntos de muestreo de aproximadamente 100 m; el objetivo ha sido el estudio de las posibles variaciones de los iones mayoritarios en el arroyo Marín y considerar la facies últimas que drenan al río Guadalhorce.

La primera muestra (A-35) se ha tomado en la cabecera del arroyo, previa a su entrada en la hoz, mientras que la última (A-39) se recogió una vez que el Arroyo Marín dejó atrás la garganta que transcurre entre las Lomas del Pinar y Peñas Prietas, unos 200 m antes de confluir con el río Guadalhorce, en la zona conocida como Huertas del Río. Las muestras restantes se disponen a lo largo del arroyo en su recorrido por el interior de la Hoz.

**2.Resultados analíticos.**

Los resultados analíticos que dan recogidos en las tablas IV.22 , IV.23 , IV.24 y IV.26.

<b>DATOS ANALITICOS</b>								
<b>Determinación</b>	<b>34</b>	<b>35</b>	<b>36</b>	<b>37</b>	<b>38</b>	<b>39</b>	<b>40</b>	<b>41</b>
pH	7.9	8.1	8.0	8.2	8.2	8.1	7.9	7.8
C.E. a 20°C (dS/m )	1.4	2.1	2.9	3.1	2.5	2.8	2.6	1.3
Dureza (°F)	77	83	109	100	217	125	87	60
Residuo Seco 180°C mg/L)	1304	1556	1748	2436	2967	1851	1482	1096
SAR °	0.1	1.6	1.1	1.2	0.4	1.1	1	0.8
<b>ANIONES (mg/L)</b>								
Cloruros	87	88	128	160	60	121	83	56
Bicarbonatos	690	220	226	207	390	290	215	317
Sulfatos	201	716	860	1390	1778	939	679	331
Cloruros/Sulfatos	0.4	0.1	0.1	0.1	0.03	0.1	0.1	0.1
Bicarbonatos/Sulfatos	3.4	0.3	0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.9
<b>CATIONES (mg/L)</b>								
Calcio	176	285	128	306	341	240	256	188
Magnesio	81	55	187	231	340	159	58	32
Sodio	57	55	82	106	39	79	54	35
Potasio	11.9	12.3	11.9	11.1	13.9	11.7	11.5	11.5
Magnesio/Calcio	0.4	0.2	1.4	0.7	1	0.6	0.2	0.1

**Tabla IV.22.- Caracteres físico-químicos del subsector Arroyo Marín.**

### 3. Discusión de los resultados.

Se observa en un descenso de cota a lo largo del curso del arroyo, de unos 160 m, un desnivel de unos 45 m, provocando alteraciones en los cationes divalentes, de forma que en algunos puntos las aguas pasan a ser de cálcicas a magnésicas.

Son aguas alcalinas (pH entre 7.8-8.2). La conductividad es moderada y marca el carácter selenitoso del caudal hídrico que fluye por el arroyo Marín. (Tabla IV.22). Son además bicarbonatadas normales salvo en la cabecera donde la intensidad de los sulfatos es menor (Fuente de la Teja) y las aguas son hiperbicarbonatadas. En el desagüe al río Guadalhorce el agua modifica su salinidad, aunque químicamente queda clasificada como sulfatada cálcica. (Tabla IV.26.)

	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	M.O. (mg/L)	Mn	Ba	Co	Cu	Zn	F	Ag	Fe	B	
<b>Nivel guía (µg/L)</b>	25	2	20	100	--	100	100	--	--	50	1000	
<b>CMA* (µg/L)</b>	50	5	50	--	--	3000	5000	1500	10	200	--	
Muest.	A-34	4	1.1	0.1	16	1.3	0	2.5	51	0	26	542
	A-35	0	2.8	0.1	22	1.1	0	2.3	12	0	29	641
	A-36	18	1.6	0	25	1.2	0	2.5	90	0	29	523
	A-37	0	1.8	0.1	25	1.2	0	2.9	11	0	31	357
	A-38	51	0.7	0.1	26	1.4	0	3.1	10	0	36	519
	A-39	6	1.2	0.1	26	1.2	0	2.9	24	0	39	411

\* CMA: Concentración máxima admisible según R.D. 1138/90

**Tabla IV.23.- Elementos no deseables en aguas potables del subsector Arroyo Marín.**

Por el contenido en sales todas las aguas circulantes debe considerarse como muy dura (>54° hidrotimétricos franceses). Por el SAR° no debe presentar riesgo de alcalinización (<1.2), pudiéndose utilizar para riego pero presenta problemas de incrustaciones.

		Be	V	Cr	Ni	As	Se	Cd	Sb	Hg	Pb
<b>CMA* (µg/L)</b>		-	-	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>50</b>
<b>Muestras</b>	<b>A-34</b>	0.03	1.1	2.2	10.7	0.1	0	0	0.002	0.1	0
	<b>A-35</b>	0.01	1.1	2.1	22.6	0.6	0	0	0.01	0.3	0
	<b>A-36</b>	0.02	1.2	2.2	21	0.6	0	0	0.01	0.02	0
	<b>A-37</b>	0.02	1.7	2.7	23	0.7	0	0	0.1	0.03	0
	<b>A-38</b>	0.02	2.2	2.9	23	0.8	0	0	0.01	0.2	0
	<b>A-39</b>	0.02	1.7	2.6	23	0.9	0	0	0.04	0.4	0

\* CMA: Concentración máxima admisible según RD 1138/90

**Tabla IV.24.- Elementos tóxicos en aguas potables del subsector Arroyo Marín**

	Cloruros	Bicarbonatos	Sulfatos	Calcio	Magnesio	Sodio
Cloruro	1					
Bicarbonato	-0.358	1				
Sulfato	0.257	-0.349	1			
Calcio	-0.051	-0.239	0.718*	1		
Magnesio	0.311	-0.061	0.912**	0.453	1	
Sodio	0.999**	-0.337	0.270	-0.031	0.328	1

Grados de libertad (n-2)

5% = 0.707\*

1% = 0.834\*\*

**Tabla IV.25.- Matriz de correlación de Pearson del subsector Arroyo Marín.**

Respecto al  $Mg^{2+}$  hay que señalar que dentro del curso del arroyo existen puntos negros donde la relación  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$  es igual a uno o más como sucede en la muestra (A-36); en las muestras A-37 y A-39, esta relación posee un valor de 0.5. Estos datos deben ser tenidos en cuenta por los excursionistas que pueden consumir el agua y desconocer el efecto laxante de la misma., ya que el ión magnesio es el único catión que posee dicha acción. Discher (1961) considera las sales sulfatadas magnésicas (Tabla IV.26), como laxante hidrofílicos salinos de volumen que interviene interfiriendo el balance normal de los fluidos del tracto intestinal, provocando un estado hipertónico de los fluidos del colon, que estimulan mecánicamente el peritaltismo, de ahí la denominación de laxantes

de volumen. No hay problema de uso derivados del contenido en elementos no deseables (Tabla IV.23.) o tóxicos (Tabla IV.24.)

MUESTRA	COMPOSICION QUIMICA		APTITUD PARA EL RIEGO	
	SCHOLLER (1955)	SHCHUKAREV (1934)	I. SCOTT	RESTRICCIONES DE USO FAO (1987)
<b>A-34</b>	Clorurada normal. Sulfatada normal. Hipericarbonatada. 632-4f	Sulfatada cálcica	K=23 BUENA	Riesgo de salinización: Ninguno Riesgo de sodificación: Ninguno
<b>A-35</b>	Clorurada normal. Oligosulfatada. Bicarbonatada normal 631-6f	Bicarbonatada cálcica magnésica	K=23 BUENA	Riesgo de salinización: Ligero Riesgo de sodificación: Ninguno
<b>A-36</b>	Clorurada normal Oligosulfatada Bicarbonatada normal 632-4f	Sulfatada cálcica	K=16 TOLERABLE	Riesgo de salinización: Ligero Riesgo de sodificación: Ninguno
<b>A-37</b>	Clorurada normal. Sulfatada. Bicarbonatada normal 632-4d	Sulfatada cálcica	K=12 TOLERABLE	Riesgo de salinización: Ligero Riesgo de sodificación: Ninguno
<b>A-38</b>	Clorurada normal. Sulfatada. Bicarbonatada normal 622-3d	Sulfatada magnésica cálcica	K=34 BUENA	Riesgo de salinización: Ligero Riesgo de sodificación: Ninguno
<b>A-39</b>	Clorurada normal. Oligosulfatada. Bicarbonatada normal 622-4d	Sulfatada magnésica cálcica	K=17 TOLERABLE	Riesgo de salinización: Ligero Riesgo de sodificación: Ninguno
<b>A-40</b>	Clorurada normal Oligosulfatada Bicarbonatada normal 632-4d	Sulfatada magnésica cálcica	K=24 BUENA	Riesgo de salinización: Ligero Riesgo de sodificación: Ninguno
<b>A-41</b>	Clorurada normal Oligosulfatada Bicarbonatada normal 632-4d	Sulfatada cálcica	K=34 BUENA	Riesgo de salinización: Ligero Riesgo de sodificación: Ninguno

**Tabla IV.26.- Clasificación de las aguas para consumo humano y aptitud para riego Arroyo Marín.**

#### **IV.1.d. Las Lomas.**

##### **IV.1.d.Introducción.**

El subsector de Las Lomas tiene una superficie aproximada de 18 km<sup>2</sup>. Morfológicamente puede considerarse como una rasa de erosión pliocena, con ligero basculamiento al SW y cota media aproximada de 800 m. Durán (1984) la define como una meseta de bordes levantados con la sección central muy karstificada. (Fig. IV.6)

El límite septentrional es oblicuo y lo componen los siguientes accidentes naturales: arroyo Saucedilla, Loma del Pinar y Loma del Yesar, mientras que la frontera oeste coincide con el cañón del río Guadalhorce, que tiene una longitud aproximada de 5 km, y discurre paralelo a la Loma del Presidiario. El tramo meridional es corto y sigue el tramo del río Guadalhorce comprendido entre el Alto de la Breña y el cerro de la Tosquilla. El flanco oriental del subsector tiene como frontera el sector de Villanueva del Trabuco, mediante un terreno muy fracturado y fallado.

Los bordes levantados componen lomas con distinta morfología y una altitud próxima a los 880 m, conectando con la superficie central karstificada, de latitud media próxima a los 800 m, mediante una franja erosivo-estructural inclinada, que mantiene la vegetación natural. Respecto al desfiladero del río Guadalhorce, Durán (1984) señala que es el resultado de la interacción de procesos erosivos (superficiales y subsuperficiales) y la elevación halocinética del Trías de Antequera, prolonándose desde el Trías hasta el Plioceno y está íntimamente ligada al drenaje subterráneo.

La cavidad más importante se conoce como Cueva del Agua, que tiene una longitud explorada superior a los 800 m. Según Durán et al. (1989) es la más importante de España desarrollada sobre yesos.

El trazado del río Guadalhorce es dividido por Benavente et al. (1984) en subcuencas relacionadas con la litología general, hecho que comentaremos al analizar los distintos sectores por donde transita el río dentro del territorio de Archidona:

- 1) Tramo de la depresión de Villanueva del Trabuco. Discurre entre materiales calcáreos de edades Paleogena, Jurásica y Cretácica.
- 2) Trías de Antequera. Se inicia tras el giro brusco que hace el río a la altura del Alto de la Breña y termina en Las Huertas de la vega de Archidona.
- 3) Vega de Archidona. Transita por materiales aluviales cuaternarios.

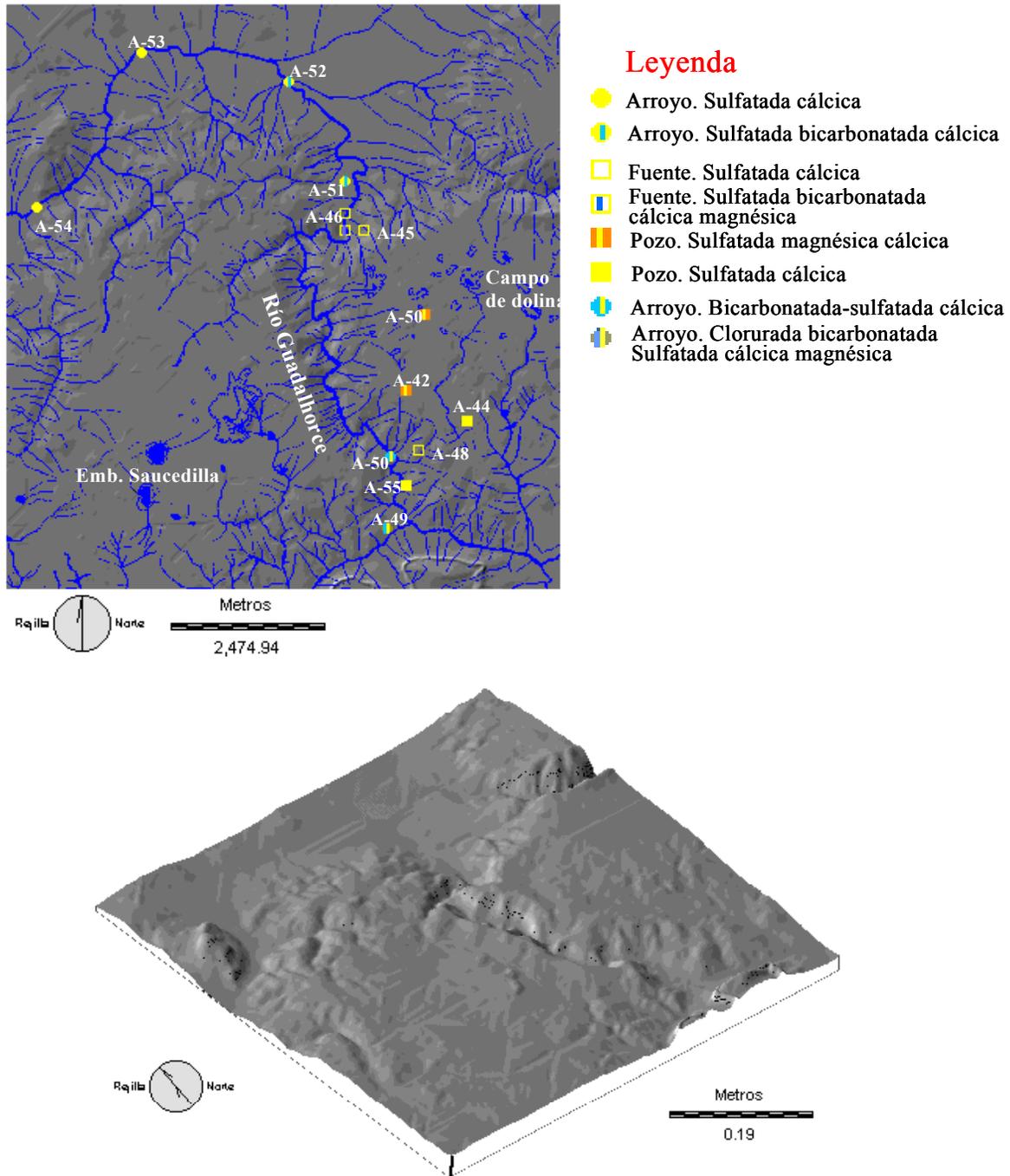
La red de drenaje superficial es muy simple (Fig. IV.6) y está poco encajada en el centro del subsector, mientras que en la parte occidental desarrolla un entramado fluvial más denso, con cauces cortos, paralelos o dendríticos, componiendo pequeñas cuencas de recepción que vierten rápidamente sus aguas al río Guadalhorce. Durán (1984), añade que no son desdeñables los aportes hídricos directos al cauce del río a través de los numerosos manantiales existentes con descarga permanente. Al este, los arroyos y barrancos tributarios del río Guadalhorce son menos numerosos pero de mayor recorrido, componiendo una red juvenil de orden 2 y 3. En el noreste, el conjunto fluvial puede estar conectado a dolinas de adsorción.

El sistema endokárstico se manifiesta con importantes surgencias como la Cueva del Agua y los existentes en los alrededores del Cortijo Rincón.

#### **IV.1.d. 2. Aspectos hidroquímicos**

##### **1.-Toma de muestras.**

Siguiendo la metodología propuesta hemos muestreado tres manantiales y un tres pozos. Dada la importancia que el Guadalhorce tiene en la superficie de la unidad y en el entorno, analizamos seis muestras a lo largo del curso del río, desde la entrada en el territorio triásico, en el límite inferior de la Hoja, hasta la altura del Peñón de los Enamorados.(Tabla IV.27.)



Las cinco muestras se jalonan de la forma siguiente: la primera en la puerta anterior al Trías (A-49), la siguiente a la salida de la garganta por donde el río atraviesa los materiales triásicos, a la altura del Cortijo El Rincón, (A- 50). La tercera cae fuera del Trías y se tomó próxima a la desembocadura del arroyo Marín (A-51). Completan el ciclo tres tomas, que coinciden con la confluencia del arroyo Marín (A-52), el cortijo de El Mojón (A-53) y el Peñón de Los Enamorados (A-54).

Muestra n°	Procedencia	Origen	Localización	Altitud (m)
A-42	Pozo del Ayuntamiento	Pozo 30 m.	30SUG373540995	774
A-43	Cortijo Pelotas	Pozo 30 m.	30SUG373841008	767
A-44	Cortijo Galera	Pozo 30 m.	30SUG374540990	686
A-45	Cueva del Agua (Rincón 1)	Manantial	30SUG372841022	719
A-46	Cortijo El Rincón (2)	Manantial	30SUG372541025	600
A-47	La Higuera (Rincón 3)	Manantial	30SUG372541022	590
A-48	Fuente del Lobo	Manantial	30SUG373740985	700
A-49	Río Guadalhorce 0	Río	30SUG373240972	603
A-50	Río Guadalhorce 1	Río	30SUG373240984	721
A-51	Río Guadalhorce 2	Río	30SUG372541030	540
A-52	Río Guadalhorce 3	Río	30SUG371641047	480
A-53	Río Guadalhorce 4	Río	30SUG369241052	472
A-54	Río Guadalhorce 5	Río	30SUG367541026	743
A-55	Finca Tosquilla	Pozo 10 m.	30SUG373540979	686

Tabla IV.27.- Localización y origen de las aguas del subsector Las Lomas.

ANALITICOS														
Determinación	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
pH	7.6	7.6	7.7	7.7	7.7	7.8	7.7	7.9	8	7.9	8	7.8	8	7.5
C.E. a 20°C (dS/m)	2.3	2.3	2.1	2.2	2.4	2.4	2.1	1.6	0.6	0.7	0.6	0.8	0.8	2.5
Dureza (°F)	167	176	152	38	175	89	144	24	37	45	52	52	54	68
Residuo Seco a 180°C	2536	2418	2246	2352	2680	1845	2154	610	596	781	872	1002	1039	2714
SAR °	0.5	0.4	0.4	0.6	1.5	1.5	0.3	0	0.7	0.8	0.8	0.8	2.2	0.7
ANIONES (mg/L)														
Cloruros	64	60	32	64	77	168	36	98	40	46	54	58	57	89
Bicarbonatos	336	374	354	228	280	520	361	159	230	262	241	202	293	305
Sulfatos	1442	1488	1217	1330	1506	480	1202	102	121	230	307	410	408	1578
Cloruros/Sulfatos	0.04	0.04	0.02	0.04	0.05	0.3	0.02	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.05
Bicarb/Sulfatos	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	1	0.3	1.5	1.9	1.1	0.7	0.5	0.7	0.2
CATIONES (mg/L)														
Calcio	304	280	577	512	612	189	458	171	112	158	142	168	216	538
Magnesio	223	258	21	78	55	102	74	85	22	14	40	42	28	133
Sodio	41	38	22	41	49	108	22	63	26	30	34	38	36	59
Potasio	1.8	2.5	0.7	0.5	1.1	1.3	1.5	1.1	3.8	1.5	2.6	4.1	1.3	8.2
Magnesio/Calcio	0.7	0.9	0.03	0.1	0.1	0.5	0.1	0.5	0.2	0.08	0.3	0.2	0.1	0.2

Tabla IV.28.- Caracteres físico-químicos de del subsector de Las Lomas.

Respecto de los manantiales sólo hemos localizado cuatro surgencias y tres de ellas se concretan en la zona del Rincón, destacando por su caudal la Cueva del Agua (A-45). Otras dos están muy próximas entre sí pero en distinta orilla del río, denominándolas respectivamente Rincón (A-46) e Higuera (A-47). Con menor entidad, en cuanto a la intensidad del caudal y la temporalidad, está la Fuente del Lobo (A-48), de forma que para su muestreo tuvimos que volver al año siguiente al inicio de la primavera.

Los tres pozos muestreados tienen una profundidad media de 30 m y se ubican respectivamente en el Cortijo Pelotas (A-43), Galera (A-44) y del Ayuntamiento (A-42). Cabe señalar la existencia de pozos con menos de diez metros, que están abandonados secos y en mal estado de conservación.

## **2. Resultados analíticos**

Se recogen los datos obtenidos en las tablas: IV.28., IV.29. y IV.30.

		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	M.O. (mg/L)	Mn	Ba	Co	Cu	Zn	F	Ag	Fe	B
<b>Nivel guía (µg/L)</b>		25	2	20	100	--	100	100	--	--	50	1000
<b>CMA* (µg/L)</b>		50	5	50	--	--	3000	5000	1500	10	200	--
<b>Muestras</b>	A-46	23.4	1.5	0	11	2.6	0	2.5		0	--	384

\* CMA\*: Concentración máxima admisible según RD 1138/90

### **Tabla IV.1.d.3.- Elementos no deseables en aguas potables de Las Lomas.**

		Be	V	Cr	Ni	As	Se	Cd	Sb	Hg	Pb
<b>CMA* (µg/L)</b>		-	-	50	50	50	10	5	10	1	50
<b>Muestra</b>	A-46	0.05	0.6	2.2	36	0.2	0	0	0.1	0.4	0.6

CMA\*: Concentración máxima admisible según RD 1138/90

### **Tabla IV.30.- Elementos tóxicos en aguas potables del subsector Las Lomas.**

### 3.-Discusión de los resultados.

Comparamos los datos de la tabla IV.28 y los datos de la tabla IV.31. El gradiente altitudinal es de 88 m. Las aguas del pozo del Ayuntamiento de Archidona (A-42) y la del pozo del cortijo Pelota (A-43), son magnésica-cálcicas. Los valores de la relación  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$  son menores de 0.5, mientras que las muestras A-47 y A-49 son cálcicas-magnésicas, y la relación es menor de 0.5, teniendo en cuenta que valores inferiores a 0.3 hacen que las aguas pierdan esta composición y sean exclusivamente cálcicas. Los valores elevados de magnesio pueden limitar el consumo humano por el efecto laxante de la sal de Epsom (Tabla IV.31) y a nivel agrícola pueden crear problemas al complejo de cambio de los suelos.

El pH es ligeramente básico a básico en las aguas bicarbonatadas y la conductividad moderada debida a la presencia de sulfatos. No hay riesgo de alcalinización, si se aplican en riego, pero sí puede haberlos, e incluso de manera importante de salinización debidos al residuo seco.

La dureza permite establecer dos bloques ya que en el río Guadalhorce son duras y las restantes muy duras, por tanto de valor doméstico limitado y con algunos problemas en el consumo animal.

	Cloruros	Bicarbonatos	Sulfatos	Calcio	Magnesio	Sodio
Cloruros	1					
Bicarbonatos	0.443	1				
Sulfatos	-0.080	0.350	1			
Calcio	-0.015	0.236	0.857**	1		
Magnesio	0.175	0.470	0.646*	0.172	1	
Sodio	0.999**	0.439	-0.077	-0.144	0.170	1

Grados de libertad (n-2).- 5% = 0.532\* 1% = 0.661\*\*

**Tabla IV.31.- Matriz de correlación de Pearson del subsector Las Lomas.**

MUESTRA	COMPOSICION QUIMICA		APTITUD PARA EL RIEGO	
	SCHOLLER (1955)	SHCHUKAREV (1934)	I. SCOTT	RESTRICCIONES DE USO FAO (1987)
<b>A-42</b>	Clorurada normal. Sulfatada . Bicarbonatada normal. 622-4d	Sulfatada magnésica cálcica	K=32 BUENA	Riesgo de salinización: Importante Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-43</b>	Clorurada normal. Sulfatada. Bicarbonatada normal. 622- 4d	Sulfatada magnésica cálcica	K=33 BUENA	Riesgo de salinización: Importante Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-44</b>	Clorurada normal Sulfatada. Bicarbonatada normal. 622-4f	Sulfatada cálcica	K=70 BUENA	Riesgo de salinización: Importante Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-45</b>	Clorurada normal.Sulfatada. Bicarbonatada normal. 622-4f	Sulfatada cálcica	K=32 BUENA	Riesgo de salinización :Importante Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-46</b>	Clorurada normal. Sulfatada. Bicarbonatada normal. 622-4f	Sulfatada cálcica	K=26 BUENA	Riesgo de salinización: Importante Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-47</b>	Clorurada normal.Oligosulfatada. Hiperbicarbonatada. 631-4f	Sulfatada bicarbonatada cálcica magnésica	K =12 TOLERABLE	Riesgo de salinización: Moderada Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-48</b>	Clorurada normal.Sulfatada . Bicarbonatada normal 622-4f	Sulfatada cálcica	K=56 BUENA	Riesgo de salinización: Moderada Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-49</b>	Clorurada normal.Sulfatada normal. Bicarbonatada normal 622-6f	Clor-Bic-Sulfat. cálcica magnésica	K=20 BUENA	Riesgo de salinización: Moderada Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-50</b>	Clorurada normal.Sulfatada normal. Bicarbonatada normal 622-2a-4f	Bicarbon-Sulfatada cálcica	K=52 BUENA	Riesgo de salinización: Moderada Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-51</b>	Clorurada normal.Sulfatada normal. Bicarbonatada normal 622-4e	Sulfatada Bicarb. cálcica	K=44 BUENA	Riesgo de salinización: Moderada Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-52</b>	Clorurada normal.Oligosulfatada. Bicarbonatada normal 632-4f	Sulfatada Bicarb. cálcica	K=38 BUENA	Riesgo de salinización: Moderada Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-53</b>	Clorurada normal. Oligosulfatada. Bicarbonatada normal. 632-4f	Sulfatada cálcica	K=36 BUENA	Riesgo de salinización: Moderada Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-54</b>	Clorurada normal. Oligosulfatada. Bicarbonatada normal. 632-4f	Sulfatada cálcica	K=35 BUENA	Riesgo de salinización: Moderada Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-55</b>	Clorurada normal. Sulfatada. Bicarbonatada normal. 622-4f	Sulfatada cálcica	K=31 BUENA	Riesgo de salinización: Importante Riesgo de sodificación: Ninguna

**Tabla IV.32. Clasificación de las aguas para consumo humano y aptitud para riego del subsector de Las Lomas.**

Como en el resto de las muestras de otros subsectores la correlación de los sulfatos con el calcio y el magnesio es siempre buena y de ella puede derivar problemas sanitarios si se consume por el hombre.

La tabla IV.31. permite matizar el grado de actitud de las aguas teniendo en cuenta la conductividad y el SAR°. Las limitaciones de actitud respecto al primer parámetro son importantes para el caso de las muestras (A-42, A-43 A-44 A-45 A-46 A- 48 y A-55) o ligeras (A-49 y A-50), quedando como moderada las muestras A-47 y A-51 A-52 A-53 A-54. No hay riesgo de sodificación en ningún caso.

En la tabla IV.32 se aprecia con el índice de Scott que las aguas del subsector son buenas para riego, salvo la muestra A-47 que sólo es tolerable. Todas ellas son cloruradas normales y varían respecto de los sulfatos: sulfatadas normales A-49, A-50 y A-51; sulfatadas: A-47, A-52, A-53 y A-54, y las restantes oligosulfatadas.

Son todas ellas bicarbonatadas normales con la excepción de A-47 que es hiperbicarbonatada, hecho que se identifica mediante la relación  $\text{HCO}_3^-/\text{SO}_4^{=}$ . La relación  $\text{Cl}/\text{SO}_4^{=}$  confirma el carácter clorurado normal de las aguas del subsector.

La composición litológica del terreno que va desde la Cueva del Agua (A-45) hasta el manantial del cortijo El Rincón (A-46), con un salto de unos 20 m, no conlleva cambios de facies, (622-4f), que referido al manantial de La Higuera (A-47) mantiene la relación entre cationes y modifica la aniónica (631-4f), que le hace perder aptitud para riego, siendo la única del subsector que solamente es tolerable.

El Guadalhorce recibe también agua selenitosa de una serie de manantiales ordenados a lo largo del cañón. El análisis hidroquímico marca diferencias sucesivas a lo largo del cauce, marcadas por la facie cloro-bicarbonatada sulfatada cálcico magnésica de la muestra A-49, que pasa a bicarbonatada sulfatada cálcica en la A-50, sulfatadas bicarbonatadas en A-

51 y A-52 y termina como sulfatadas cálcicas en A-53 y A-54, hechos que ponen de manifiesto los cambios de facies que provoca el aporte hídrico de los manantiales, que atraviesan el conjunto triásico desde la cuenca apical de recepción.

Respecto a las Tablas IV.29 y IV.30, que toman como referencia la muestra A-46 se puede adelantar que no hay limitaciones de uso. Los rasgos organolépticos de la muestra A-55, permiten considerar la posibilidad de limitaciones por el contenido en materia orgánica de las aguas del pozo de la finca de La Tosquilla (aguas negras y malolientes).

#### **IV.I.e. Peñón de Los Enamorados - La Yedra.**

##### **IV.I.e.1.Introducción.**

Ocupa el extremo occidental de la Hoja y tiene como fronteras exteriores el río Guadalhorce en el tramo que va desde el alto de la Breña hasta el Peñón de los Enamorados; desde aquí hasta el límite con la Hoja de Antequera la referencia perimétrica es el escalón topográfico que separa los terrenos del Triás de la vega de Antequera.(Fig IV.7).

Carrasco (1986), identifica este sector como una superficie con drenaje endorreico, posicionada en una situación claramente interior dentro de la cuenca alta del Guadalhorce. Almécija (1992) la considera como una sucesión de pequeñas depresiones cerradas que dan lugar a lagunas temporales, desarrolladas sobre la formación triásica de arcillas y carniolas, manteniendo un relieve suave del que dice, es el efecto final de la elevación reciente sufrida por el sector.

El efecto exokárstico se identifica mediante dolinas, que actúan como colectores hídricos y destacan por su extensión las del Viso y la Caja. En la red hidrográfica superficial, de acuerdo con Durán (1994), se diferencian tres tipos de redes. El río Guadalhorce, de trazado maduro y sinuoso, tiene una red tributaria de varios órdenes, ubicada en el talud que separa la formación triásica del subsector de Las Lomas. Otra se sitúa en el norte del área, donde el río Guadalhorce circula por llanos de Archidona-Antequera y son numerosos los tributarios procedentes de la meseta que tallan un complejo mixto de arroyos y barrancos: los Remedios, Plata y Caloras, Gallo, Romeral, Almagro, Guerrero, Angostura y Chozas de interés hidroquímico por los cambios de facies que provoca a lo largo del río Guadalhorce.

Otro dato de interés, aunque mal conocido, es el entramado endokárstico compuesto por una red compleja de drenaje interior responsable de las surgencias que vierten aguas al río

Guadalhorce, destacando por su caudal las situadas a la altura del apeadero del Peñón de Los Enamorados.

#### **IV.I.e.2.Aspectos hidroquímicos.**

##### **1.-Toma de muestras.**

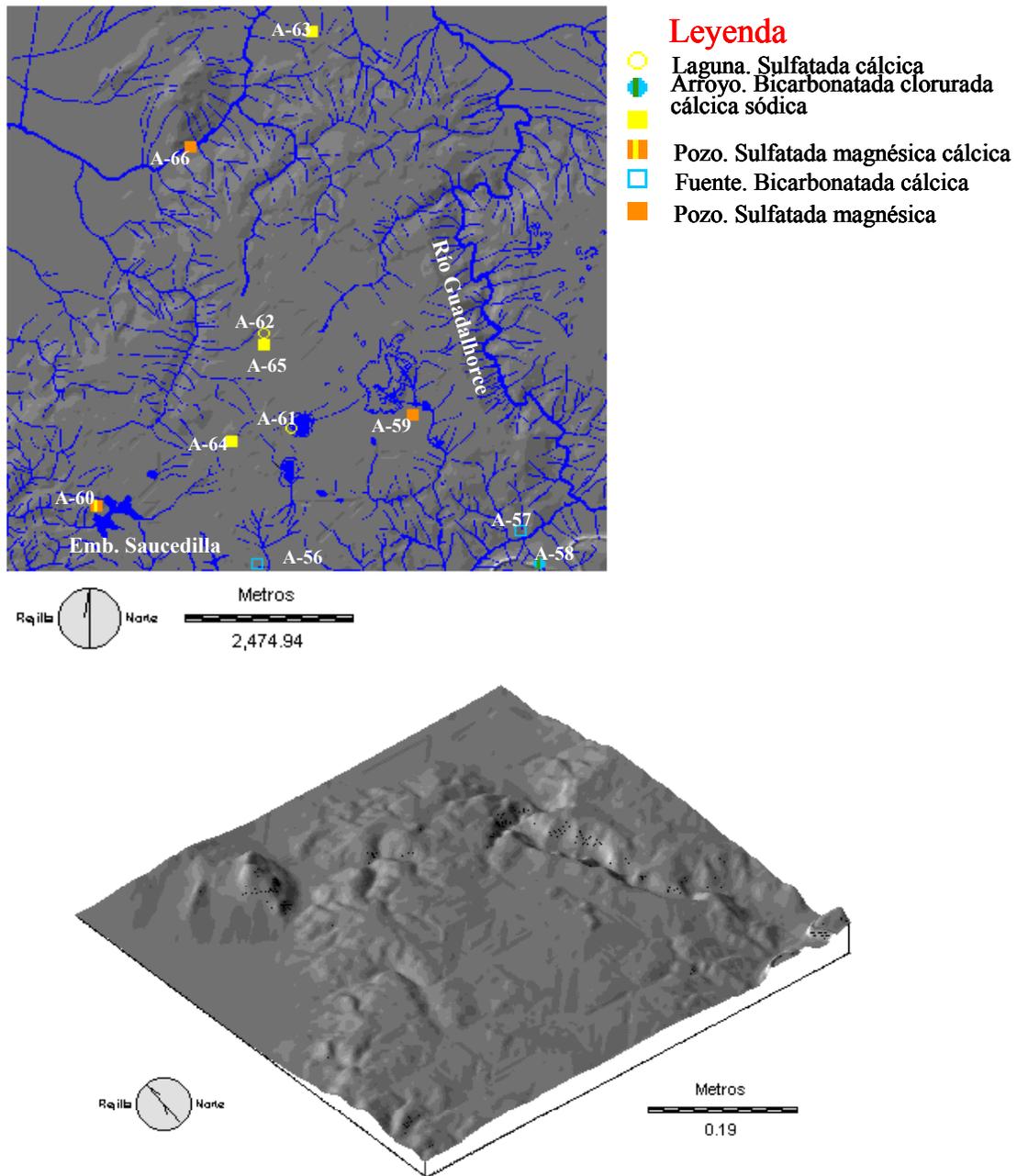
Han sido 11 los lugares elegidos para la toma de muestras. No se han podido investigar mayor número de enclaves debido a que la mayoría de los pozos y manantiales son privados y el acceso esta restringido. (Tabla IV.33.)

En el borde inferior de la Hoja, en las proximidades del Alto de La Breña, se tomaron las muestras: Fuente de La Vida (A-57) y Fuente de La Yedra (A-56), ambas son utilizadas para consumo doméstico. Cercana a esta zona, la muestra A-58 fue tomada en el arroyo de La Yedra, poco antes de su confluencia con el río Guadalhorce. Hacia el oeste se tomó la muestra A-60 en un pozo perteneciente al cortijo La Saucedilla, colindante al embalse del mismo nombre.

Más hacia el norte las muestras A-61 y A-62, se cogieron en las lagunas de Caja y Jaralón, respectivamente. La primera tiene carácter permanente mientras que la segunda es estacional, y tal vez sea esta la razón de la ubicación errónea en el mapa topográfico, porque según los habitantes de la zona, la laguna del Jaralón se encuentra al SW del pico del mismo nombre, (Jaralón, 778 m).

En la zona conocida como Montes de Monja han sido analizados varios pozos: en el cortijo Pastor, situado a 708 m de altitud, cercano a una explotación ganadera a la que abastece, se toma el agua A-64; al este de la laguna de Caja, está el pozo A-59, situado en la finca Las Lomas, en cuyas proximidades hay una laguna de carácter temporal; se encuentra a 757 m sobre el nivel del mar y el agua se extrae por bombeo dirigiéndose a una alberca situada a

unos 8 m, siendo este el lugar de la toma; el agua se destina a uso doméstico y para regar una plantación de nogales.



**Fig n° IV.7.- Bloque diagrama, red hidrográfica y muestras de agua en el sector Los Enamorados-la Yedra**

En la zona este del Peñón de los Enamorados, se sitúan la muestra A-68 con varios manatales a 460 m de altitud, cuyas surgencias se localizan en el jardín de Venta de La Angostura. En todo el subsector hay numerosas construcciones que reciben el nombre de “perezones”, que embalsan y facilitan agua a todas las fincas.

## 2.-Resultados analíticos.

En las tablas IV.34, IV.35, IV.36. se recogen los datos analíticos obtenidos de las muestras correspondientes al subsector de Los Enamorados-La Yedra

Muestra nº	Procedencia	Origen	Localización	Altitud (m)
A-56	Fuente La Yedra	Fuente	30SUG 370240932	592
A-57	Fuente La Vida	Fuente	30SUG 372740968	610
A-58	Arroyo La Yedra	Arroyo	30SUG 373240961	603
A-59	Cortijo Las Lomas	Pozo 10 m.	30SUG 371140986	719
A-60	Cortijo Saucedilla	Pozo 30 m.	30SUG 366440972	706
A-61	Laguna de Caja	Laguna	30SUG 369341984	743
A-62	Laguna Jaralón	Laguna	30SUG 368940999	720
A-63	Cortijo Caracate	Pozo 10 m.	30SUG 369641046	500
A-64	Casa Pastor	Pozo 10 m.	30SUG 368440982	708
A-65	Cortijo Chaparral	Pozo 30 m.	30SUG 368940997	722
A-66	Peñón de Los Enamorados (Apeadero)	Pozo 30 m.	30SUG 367841028	480

Tabla IV.33.-Localización y origen de las aguas del subsector Los Enamorados-La Yedra.

DATOS ANALITICOS											
Determinación	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
pH	7.6	7.8	7.6	7.7	7.7	7.5	7.6	7.7	7.7	7.7	7.6
C.E. a 20°C (dS/m)	0.4	0.6	0.8	2.3	1.9	2	2.0	2.3	2.3	2.3	2.6
Dureza (°F)	14	36	40	164	44	116	73	33	19	93	54
Residuo Seco a 180°C (mg/L)	278	685	741	2330	1905	1246	2688	1842	1967	1847	2449
SAR °	0.2	1.2	0.6	0.2	0.4	0.4	0.3	0.5	0.9	0.6	0.6
ANIONES (mg/L)											
Cloruros	12	70	98	32	21	40	25	51	22	43	87
Bicarbonatos	140	244	159	360	399	125	393	253	392	302	310
Sulfatos	30	131	102	1305	981	722	383	959	980	837	1395
Cloruros/Sulfatos	0.4	0.5	0.9	0.02	0.02	0.05	0.06	0.05	0.02	0.05	0.06
Bicarbo/Sulfatos	4.6	1.9	1.5	0.2	0.4	0.2	1.0	0.2	0.4	0.3	0.2
CATIONES (mg/L)											
Calcio	55	122	71	158	201	218	195	388	471	394	175
Magnesio	4	13	15	340	180	59	59	47	45	32	307
Sodio	8	44	63	22	14	26	14	38	15	28	61
Potasio	9.7	10.5	11	13.5	9.7	6.2	6.8	5.4	1.5	7.0	14.2
Magnesio/Calcio	0.07	0.1	0.2	2.1	0.8	0.2	0.3	0.1	0.09	0.08	1.7

Tabla IV.34. Caracteres físico-químicos del subsector Los Enamorados-La Yedra.

		NO <sub>3</sub> - (mg/L)	M.O. (mg/L)	Mn	Ba	Co	Cu	Zn	F	Ag	Fe
<b>Nivel guía (µg/L)</b>		25	2	20	100	--	100	100	--	--	50
<b>CMA* (µg/L)</b>		50	5	50	--	--	3000	5000	1500	10	200
<b>Muestras</b>	<b>A-58</b>	16	3	0.2	15.9	0.2	0	0		0	-
	<b>A-63</b>	49	5	0	19	0.64	0	0.6		0.1	0.09
	<b>A-64</b>	25	5	1	10	0.1	2.5	52		0	0.02

\* CMA: Concentración máxima admisible según RD 1138/90

**Tabla IV.35.-Elementos no deseables en aguas potables del subsector Enamorados-Yedra.**

		Be	V	Cr	Ni	As	Se	Cd	Sb	Hg	Pb
<b>CMA* (µg/L)</b>		-	-	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>50</b>
<b>Muestra</b>	<b>A-58</b>	0.02	0.8	0.5	4	0.2	0	0	0	0.3	0
	<b>A-63</b>	0.05	0.9	1.3	7.5	0.1	0	0	0	3.3	0
	<b>A-64</b>	0.01	0.2	0.8	2.7	0	0	0	0	0.3	0

\* CMA: Concentración máxima admisible según RD 1138/90

**Tabla IV.36. Elementos tóxicos en aguas potables del subsector Enamorados-Yedra.**

	Cloruros	Bicarbonatos	Sulfatos	Calcio	Magnesio	Sodio
Cloruro	1					
Bicarbonato	-0.294	1				
Sulfato	-0.060	0.514	1			
Calcio	-0.262	0.400	0.495	1		
Magnesio	0.066	0.441	0.776**	-0.134	1	
Sodio	0.994**	-0.279	0.022	-0.216	0.116	1

Grados de libertad (n-2)=9 5% = 0.602\* 1% = 0.735\*\*

**Tabla. IV.37. Matriz de correlación de Pearson del subsector Peñón Enamorados-Yedra.**

### 3.-Discusión de los resultados.

Los cambios de cota son importantes para definir la facies hidroquímicas en el acuífero del subsector, superando la cota de los 700 m las muestras del altiplano y aproximadamente a 500 m los manantiales de la base diapirica El tipo de muestreo es muy variado: agua circulante, pozos a 10 y 30 m, o lagunas, diseñan el abanico hidrológico del subsector.

MUESTRA	COMPOSICION QUIMICA		APTITUD PARA EL RIEGO	
	SCHOLLER (1955)	SHCHUKAREV (1934)	I. SCOTT	RESTRICCIONES DE USO FAO (1987)
<b>A-56</b>	Clorurada normal Sulfatada normal Bicarbonatada normal 643-6f	Bicarbonatada cálcica	K=40 BUENA	Riesgo de salinización: Ligero Riesgo de sodificación: Moderada
<b>A-57</b>	Clorurada normal Sulfatada normal Bicarbonatada normal 642-6e	Bicarbonatada cálcica	K=29 BUENA	Riesgo de salinización: Ligero Riesgo de sodificación: Moderada
<b>A-58</b>	Clorurada normal Sulfatada normal Bicarbonatada normal 642-5e	Bicarbonatada cálcica	K=20 BUENA	Riesgo de salinización: Ligero Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-59</b>	Clorurada normal Sulfatada Bicarbonatada normal 622-4d	Sulfatada calcica	K=63 BUENA	Riesgo de salinización: Importante Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-60</b>	Clorurada normal Oligosulfatada Bicarbonatada normal 632-4d	Sulfatada magnésica calcica	K=93 BUENA	Riesgo de salinización: Moderada Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-61</b>	Clorurada normal.Oligosulfatada.Hipobicarbonatada 633-4f	Sulfatada calcica	K=51 BUENA	Riesgo de salinización: Moderada Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-62</b>	Clorurada normal Oligosulfatada Bicarbonatada normal 632-4f	Sulfatada calcica	K=31 BUENA	Riesgo de salinización: Moderada Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-63</b>	Clorurada normal Oligosulfatada Bicarbonatada normal 632-4f	Sulfatada calcica	K=38 BUENA	Riesgo de salinización: Moderada Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-64</b>	Clorurada normal Oligosulfatada Bicarbonatada normal 632-4f	Sulfatada calcica	K=92 BUENA	Riesgo de salinización: Moderada Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-65</b>	Clorurada normal Oligosulfatada Bicarbonatada normal 632-4f	Sulfatada calcica	K=47 BUENA	Riesgo de salinización: Moderada Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-66</b>	Clorurada normal Sulfatada Bicarbonatada normal 622-4d	Sulfatada magnésica	K=40 BUENA	Riesgo de salinización:Importante Riesgo de sodificación: Ninguna

**Tabla IV.38.- Clasificación de las aguas para consumo humano y aptitud para riego.**

Las muestras a más de 700 m son sulfatadas cálcicas, y responden a facies muy próximas (632-4f), menos A-59 y A-60 que son magnésicas cálcicas, cuya relación cationica está próxima a 0.7 y en el caso de aaA-59 supera el valor 2, lo que hay que tener en cuenta si se pretende consumir como agua de bebida. En este sentido también hay que incluir la muestra A-66.

Todas las aguas son sulfatadas u oligosulfatadas o bicarbonatadas cálcicas cuando la relación  $\text{HCO}_3^-/\text{SO}_4^{=}$  es mayor de uno.

El pH está próximo a 7.5 y la conductividad a  $2 \text{ dSm}^{-1}$ , debido al carácter sulfatado de las aguas, que pasa a valores inferiores a uno cuando son bicarbonatadas. La dureza fluctúa entre el carácter de muy duras en las muestras (A-59, A-61, A-62, y A-65) duras (A-57, A-58, A-60, A-63 y A-66) y medianamente dulces a medianamente duras las restantes.

Según el SAR° los riesgos de sodización por riego son nulos pero no sucede lo mismo en el caso de la salinización fluctúan entre ligeros e importantes.

El desagüe del apeadero (A-66) aporta aguas netamente magnésicas, que como se ha descrito en otros subsectores puede ocasionar serios problemas

Según las recomendaciones de FAO (1987) la mayoría de las aguas del sector son aptas para riego y únicamente las muestras A-34, A-37 y A-43 deben ser utilizadas con precauciones. Todas poseen contenido bajo en sodio y son aptas para el riego, siendo el riesgo de alcalinidad nulo ( $\text{SAR}^\circ < 1.2$  y CE próximo a 2) aunque pueden ser importantes en las muestras A-59 y A-66 ( $\text{CE} > 3$ ). No hay limitaciones por la presencia de elementos tóxicos o no recomendados salvo puntualmente para la materia orgánica y los nitratos.

## **IV.2. SECTOR DEL KARST CALIZO.**

### **IV.2.a Sierra Gorda- San Jorge- Gibalto.**

#### **IV.2.a.1. Introducción**

Ocupa el subsector una franja de terreno montañoso situada en el extremo oriental del mapa más un ensanchamiento, en el tramo meridional, que es la prolongación del macizo de Sierra Gorda y engloba, tras la depresión de los Alazores, las sierras de San Jorge y Tres Mogotes. Ambos conjuntos están separados por el tajo de Las Palomas y por él pasa la carretera de Alfarnate. Al norte de la sierra de San Jorge está la de Gibalto, independizadas ambas por el desfiladero del río Guadalhorce, pasillo de la carretera que va a Villanueva del Trabuco.

El límite septentrional es corto y coincide con la N-321 antes de su llegada a Loja. En su sentido inverso dicho vial marca el límite occidental del subsector, y va paralelo a río Frío. Continúa después con el arroyo de las Mozas hasta la bifurcación de Alfarnate y Zafarraya, respectivamente.

Los puntos más altos de las sierras son: Tello (1408 m), Tres Mogotes (1378 m), Gibalto (1486 m) y Foscales (1365 m), Sierra Gorda (1671 m) y Caballón (1603 m).

La configuración de la red de drenaje y la dinámica fluvial tienen como agente morfogenético sectorial el eje río Frío-arroyo de las Mozas. El trazado de la red es asimétrico, ligado a la energía del relieve en ambos márgenes (forma y estabilidad de la ladera) y a la litología de los terrenos circundantes (naturaleza y coherencia de los materiales )(Fig. IV.8.).

En el sector meridional de Sierra Gorda nace el arroyo de las Mozas y sus tributarios proceden de dicho acuífero, conformando barrancos dispuestos paralelamente y poco

jerarquizados. Otras barranqueras vierten aguas de lluvia desde la sierra de San Jorge y Tres Mogotes al río Guadalhorce y al arroyo de las Mozas, manteniendo un trazado paralelo de escasa jerarquización.

A partir del barranco Zumbeón, en la margen derecha del arroyo de Las Mozas, se mantiene el alineamiento con Sierra Gorda y la misma organización, mientras que por la izquierda, coincidiendo con el sector de Cuesta Blanca-La Palma, se dibuja una red contorsionada y los afluentes son más largos, destacando el arroyo Salado. La jerarquización es de tercer orden y los cauces angostos y poco profundos.

Río Frío es el afluente más caudaloso del Genil por la margen izquierda, con una aportación media anual de unos 74 hm<sup>3</sup>, según estimaciones de López Chicano (1992). Inicia su andadura en Sierra Gorda, junto al núcleo de población de Riofrío, en una surgencia con importante caudal y enmarcada en un paisaje idílico. Ahora bien, son varios manantiales y cascadas, de acción esporádica, relacionada con las fases de recarga pluviométrica, los que desde el acuífero kárstico alimentan a este tributario mayor del río Genil, componiendo un circuito de fuentes naturales ubicadas en el borde de descarga del acuífero, componiendo el verdadero nacimiento del río.

Aguas arriba está el tramo que discurre entre el nacimiento de río Frío y el poblado de Atajea conocido como arroyo del Barrancón, y actúa de nexo con el arroyo de Las Chozas mediante una estrecha garganta, de singular belleza, excavada sobre una brecha calcárea cementada. En ella hay varios manantiales procedentes de Sierra Gorda cuyo caudal medio se aproxima a los 100 L/s, según López Chicano (1992).

A poca distancia el arroyo Salado, procedente de Fuente Camacho y tras asimilar al arroyo de Fuentealcaide, vierte aguas salobres en el arroyo de las Mozas, a la altura de la Atajea y aumenta ligeramente el caudal antes de tributar al río Frío, disminuyendo a la vez la calidad

de las aguas. Después el arroyo se estrecha hasta su nacimiento a la altura del Pico de Los Alazores (Cortijo del Pilar).

Otro río importante del sector es el Guadalhorce y tiene doble cabecera en Sierra Gorda, una cerca del cortijo del Cascojal y la otra próxima al cortijo de Mangones, unificándose monte abajo para descender rápidamente hasta la depresión de los Alazores, donde gira hacia el desfiladero de la Sierrecilla (sierra de San Jorge), caminando paralelo a la carretera N-325 hasta el cortijo de Moheda, en el límite del subsector.

En conjunto el relieve es montañoso, con una meseta (paleokarst) que corona el sistema, laderas escarpadas a muy escarpadas y un pie de monte inclinado que enlaza con la depresión (Figura IV.8.).

El marco geológico lo relaciona Vera (1966) con la unidad de Zafarraya. Incluye materiales mesozoicos carbonatados muy tectonizados. La columna estratigráfica, según este autor, la componen dolomías grises brechificadas con potencia superior a los 800 m, que afloran alrededor del puerto de los Alazores y se continúan por la carretera que va a Zafarraya. Sobreimpuesto hay un importante paquete de calizas blancas, con textura variable e intercalaciones margosas policromas, siendo el material aflorante más extendido en el subsector. El techo de la formación lo componen calizas grises con sílex e intercalaciones de margas y margocalizas que tiene poco espesor y escasa continuidad en superficie.

Los materiales paleógenos emergen en la depresión y se componen de arcillas, con distintos colores, ocultas a veces por un flysch calcarenítico arcilloso rojo (ITGE, 1991).

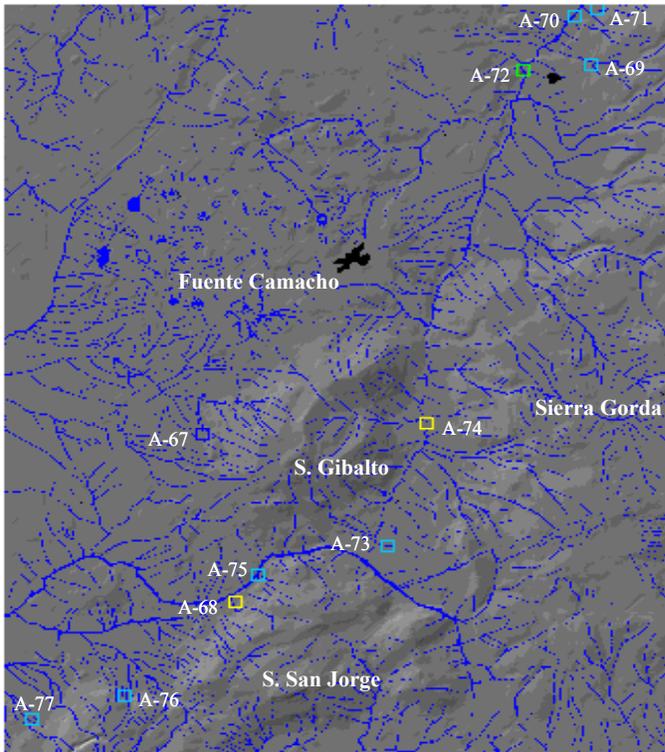
Los materiales pliocuaternarios son muy variados. Hemos observado brechas, depósitos aluviales en forma de conos de deyección y fondos de valle junto a deslizamientos de laderas, rellenos heterométricos, etc.. Plata et al. (1999) añade que el basamento del sistema no llega a aflorar pero debe suponerse constituido por materiales del Triás.

Son muy numerosos los estudios geomorfológicos e hidroquímicos en las sierras del sector, sobre todo en el macizo de Sierra Gorda, debido al gran valor paisajístico kárstico e hidrológico.

Hidalgo (1974), lo definió como un magnífico holokarst y Delgado et al. (1975) relacionan el desarrollo epikárstico con la altitud, señalando que a partir de los 1000 m son apreciables todos los aparatos kársticos. A su vez, Pezzi (1977) lo considera como la formación más importante dentro del ámbito andaluz y estableció dos niveles, de los cuales el superior es un paleokarst que coincide con la superficie de aplanamiento que corona la formación carbonatada, cuya máxima expresión es el cerro de Santa Lucía situado entre el cerro Caballón y el arroyo Zumbeón, observándose amplios lapiaces, diferentes dolinas y algún pequeño polje.

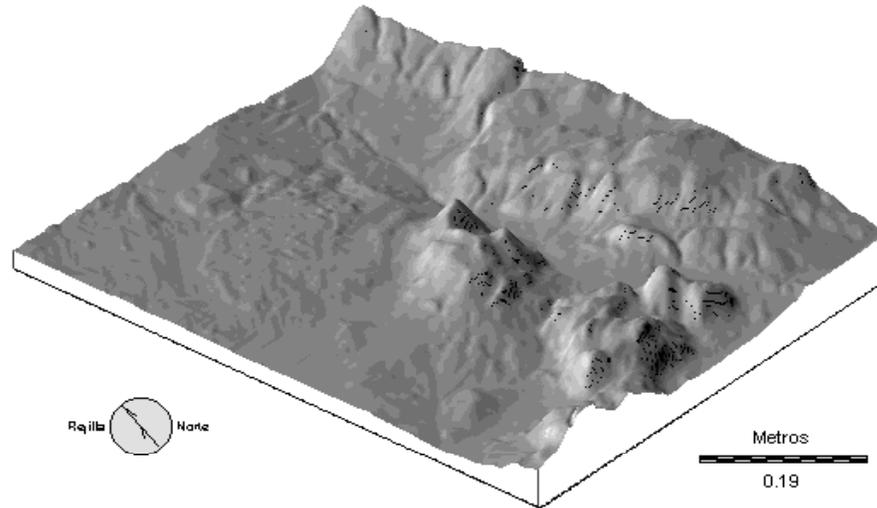
Dice López Chicano (1992), que el conjunto de lapiaces que afloran en Sierra Gorda, son discontinuos y en muchos casos semicubiertos, caracterizados por cuerpos rocosos expuestos a la intemperie y separados por rellenos de arcilla de descalcificación (terra rossa), añadiendo que los más reconocibles son los de diaclasa o estructurales, seguidos en extensión por los de arroyada. Desde el punto de vista hidrológico es muy importante por constituir la principal forma de absorción del agua, favorecer la infiltración y el drenaje natural de las aguas percoladas.

La dolinización en el sector es intensa, de forma que Pezzi (1977) contabilizó una media de 7.9 dolinas/km<sup>2</sup> y cartografió 40 dolinas /km<sup>2</sup> en los alrededores de Santa Lucía. El diámetro medio, según Delgado Moya (1973), oscila entre 15 y 30 m. La mayoría son formaciones en artesa, de planta irregular y bordes suaves, rellenas por una mezcla de arcillas autóctonas de descalcificación y por aportaciones de las aguas de escorrentía superficial. Hay algunas dolinas en embudo con fondo rocoso y son poco frecuentes las de hundimiento. Por sus dimensiones Milanovic (1981) las catalogó como verdaderas dolinas



### Leyenda

- Fuente. Bicarbonatada cálcica
- Fuente. Clorurada sódica
- Fuente. Sulfatada cálcica
- Fuente. Bicarbonatada magnésica



**Fig IV.8 .- Bloque diagrama, red hidrográfica y muestras de agua en el sector S. Gorda-San Jorge-Gibalto.**

cuando la escala es decamétrica, uvalas si era hectométrica y habla de poljé cuando las dimensiones mínimas se aproximan al km.

De acuerdo con la extensión podemos decir que dominan las dolinas y uvalas. Sólo hemos observado una superficie que por sus dimensiones puede considerarse un poljé (Majada del Tostao). Todas ellas tienen uso agropecuario y están colmatadas de arcillas rojas.

El sistema endokárstico es poco conocido. La red subterránea, inspeccionada por López Chicano (1992), no presenta gran desarrollo y data que el conjunto de galerías conocidas suman 3 km, inventariando 85 cavidades.

#### **IV.2.a.2.Aspectos hidroquímicos.**

##### **1.-Toma de muestras.**

El muestreo se ha realizado en base a dos principios. Uno alrededor de las surgencias naturales que orlan los macizos montañosos y tiene como referencia el eje río Frío-arroyo de Las Mozas.

Muestra n°	Procedencia	Origen	Localización	Altitud (m)
A-67	Fuente Lana	Fuente	30SUG385741030	760
A-68	Fuente Los Caños	Fuente	30SUG386340994	903
A-69	Nacimiento de río Frío	Manantial	30SUG392941109	500
A-70	Fuente del Nogal	Fuente	30SUG392641119	580
A-71	Fuente Trucha	Fuente	30SUG393041122	560
A-72	Nacimiento de Atagea	Arroyo	30SUG391641107	500
A-73	Fuente de Don Pedro	Fuente	30SUG389141005	850
A-74	Fuente de los Ríos	Fuente	30SUG389841032	800
A-75	Fuente José Miguel	Fuente	30SUG386740999	820
A-76	Fuente Las Chozas	Fuente	30SUG384240974	920
A-77	Fuente Borreguero	Fuente	30SUG382540969	920

**Tabla IV.39.- Localización y origen de las aguas del subsector S. Gorda-San Jorge- Gibalto.**

DATOS ANALITICOS											
Determinación	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77
pH	7.9	7.9	8.1	8.1	8.1	7.3	8.2	7.7	8.2	8.2	8.1
C.E. a 20°C (dS/m)	0.3	0.2	0.5	0.6	0.5	4.5	0.6	1.2	0.3	0.3	0.2
Dureza (°F)	23	16	15	13	13	41	15	28	9	13	11
Residuo Seco a 180°C (mg/L)	348	278	232	284	228	1749	360	442	196	224	214
SAR °	0.3	0.1	0.5	1.1	0.7	4.1	1.4	1.7	0.2	0.3	0.3
ANIONES (mg/L)											
Cloruros	18	9	24	53	36	902	24	101	11	13	15
Bicarbonatos	232	171	121	97	79	67	76	93	89	69	78
Sulfatos	10	23	36	37	33	68	22	176	21	14	18
Cloruros/Sulfatos	1.8	0.4	0.6	1.4	1.1	13	1	0.5	0.5	0.9	0.8
Bicarb/Sulfatos	23	7.4	3.3	2.6	2.3	0.9	3.4	0.5	4.2	4.9	4.3
CATIONES (mg/L)											
Calcio	36	48	40	37	36	148	44	99	25	41	25
Magnesio	29	10	14	13	11	17	11	8	7	7	12
Sodio	12	5	16	36	22	441	18	65	7	10	10
Potasio	8	12	11	14	9	10	11	12	12	10	8
Magnesio/Calcio	0.8	0.2	0.3	0.3	0.3	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.4

**Tabla IV.40.-Caracteres fisico-químicos del subsector S. Gorda-San Jorge- Gibalto.**

El segundo se circunscribe a la cuenca del río Guadalhorce y se han analizado las aguas de cuatro fuentes: Borreguero, Chozas, Caños (cortijo de Medianoche) y José Miguel. Según los lugareños tienen flujo estacional menos la de José Miguel, donde afloran varios manantiales muy próximos.

Próximo al arroyo de las Mozas se tomaron aguas en dos fuentes que denominamos con el nombre del cortijo al que pertenecen: fuentes de Don Pedro y de Los Ríos. En la Atajea se tomó agua próxima al nacimiento, dentro del arroyo. Más al norte, en la cuenca del río Frío, se muestrearon la surgencia donde nace este río y en dos fuentes colindantes (Nogal y Trucha). La localización exacta y procedencia de las aguas se incluye en la tabla IV.39.

## **2.-Resultados analíticos.**

Los resultados analíticos se recogen en las tablas IV.40., IV.41.y IV.42.

## **3.-Discusión de los resultados.**

Los datos de la tabla IV.40. muestran que las aguas del subsector tiene en su mayoría una composición química general semejante, sin embargo hay hechos que reflejan cambios hidroquímicos en las aguas que percolan y según el tramo por el que circulan dentro del arroyo Las Mozas-río Frío, siendo las diferencias más significativas las que afectan a la concentración de NaCl (A-72) y  $\text{SO}_4^-$  (A-74), además del pH y la conductividad. El papel del pH es importante porque, como señala Custodio (1989), al aumentar hace crecer el poder incrustante del agua.

López Chicano (1999), analizó el agua de dos aljibes situados en la parte alta de Sierra Gorda, próximos a límite de la Hoja de Archidona (1024). De los resultados que presenta el autor se comprueba que están en sintonía con los obtenidos por nosotros en la base de Sierra Gorda. Son aguas con dureza variable: duras (A-72), moderadamente duras (A-67 y A-74) medianamente dulce (A-68 A-69 A-73) y dulces (A-70, A-71, A-75 A-76, A-77).

Las hipótesis que justifican los cambios hidroquímicos observados en las muestras A-72 (clorurada sódica) y A-74 (sulfatada cálcica), pueden justificarse por caminos diferentes. Así, las aguas selenitosas procede del lixiviado a través de un banco yesífero (Trías), de forma que se disuelven las sales evaporíticas sulfatadas y afloran en la fuente de los Ríos,

		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	M.O. (mg/L)	Mn	Ba	Co	Cu	Zn	F	Ag	Fe	B
<b>Nivel guía (µg/L)</b>		25	2	20	100	--	100	100	--	--	50	1000
<b>CMA (µg/L)</b>		50	5	50	--	--	3000	5000	1500	10	200	
<b>Muestras</b>	A-69	14	3	1	8.1	0.2	0	0	4	0	0.02	451
	A-71	11	2	0	6.8	0.3	0	0	3	0	0.03	567
	A-72	7	4	0	20	0.3	0.23	0	0	0.1	0.04	480
	A-75	8	2	0	4.1	0.2	0	0	3	0	0.13	436

\* CMA: Concentración máxima admisible según RD 1138/90

**Tabla IV.41.-Elementos no deseables en aguas potables del subsector S. Gorda-San Jorge-Gibalto.**

		Be	V	Cr	Ni	As	Se	Cd	Sb	Hg	Pb
<b>CMA* (µg/L)</b>		-	-	50	50	50	10	5	10	1	50
<b>Muestra</b>	A-69	0.03	4.56	13	4	1.8	3	0	0.2	0.2	0
	A-71	0.02	1.12	11	4	0.4	0	0	0.2	1	0
	A-72	0.06	1.12	36	4	5	0	0	0.2	1.7	0
	A-75	0.02	0.5	0.2	2	0	0	0	0.2	0.8	0

\* CMA: Concentración máxima admisible según RD 1138/90

**Tabla IV.42.- Elementos tóxicos en aguas potables del subsector S. Gorda-San Jorge- Gibalto.**

hecho que nos induce a pensar que el manto triásico está subyacente al afloramiento calizo-dolomítico de Sierra Gorda. Esta fuente aporta caudal al arroyo de las Mozas, sin afectar su composición final hidroquímica por su poca intensidad y su intermitencia.

Las aguas cloruradas proceden de los arroyos Salado y Fuentealcaide, que confluyen poco antes de desembocar en el arroyo de Las Mozas, en un punto anterior a la cortijada de La Atagea, aportando aguas salobres que lo salinizan y así avanza el caudal del arroyo hasta La Atagea donde se nutre del agua del nacimiento, comenzando la dilución del caudal y llega a perder completamente el carácter salino cuando llega a Riofrío, por nuevos aportes en el nacimiento del río que da nombre a la aldea, utilizándose dicha agua en una piscifactoría con alta producción que es la base económica de sus habitantes.

Respecto a los cationes es claro el dominio del calcio sobre sodio y magnesio, existiendo una irregular relación con estos dos últimos iones, desplazándose con mayor frecuencia a favor del sodio, de ahí el riesgo de sodificación ligero-moderado de gran parte de las muestras analizadas. (Tabla IV.43)

La relación  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$  es siempre inferior a la unidad y solo en el caso de la muestra A-67 hay cierta aproximación entre ambos iones, de ahí que el calcio este garantizado en la solución del suelo y no interfiera negativamente el magnesio.

Los problemas de permeabilidad derivado de la utilización de aguas con baja concentración en sales son ligeros a moderados y nulos en el caso de la muestra A-72 y A-74, en función del contenido en sales.

Los riesgos de toxicidad son nulos en cuanto a la presencia de boro, mientras que los problemas de incrustaciones limitan el sistema de riego (aspersión, goteo, etc.), que se inician cuando el contenido en  $HCO_3^-$  es menor de  $100mgL^{-1}$ . Son prácticamente nulos en las muestras A-70, A-71, A-72 A-73 A-74 A-75 A-76 A-77 y ligeramente moderado en las aguas A-67 A-68 A-69.

En referencia a la potabilidad, según los datos de la tabla IV.41 y IV.42, no hay problema, pero sí por el contenido en bicarbonatos, ya que en este sentido, las aguas serían duras (A-67, A-72 y A-74) o medianamente duras (A-68, A-69, A-73), y dulces las restantes.

MUESTRA	COMPOSICION QUIMICA		APTITUD PARA EL RIEGO	
	SCHOLLER (1955)	SHCHUKAREV (1934)	INDICE DE SCOTT	RESTRICCIONES DE USO FAO (1987)
<b>A-67</b>	Clorurada normal.Sulfatada normal. Bicarbonatada normal 642-5d	Bicarbonatada magnésica	K>18 BUENA	Riesgo de salinización: Ninguna Riesgo de sodificación: Moderada
<b>A-68</b>	Clorurada normal.Sulfatada normal. Bicarbonatada normal 642-6f	Sulfatada cálcica	K>18 BUENA	Riesgo de salinización: Ninguna Riesgo de sodificación: Moderada
<b>A-69</b>	Clorurada normal.Sulfatada normal. Hipobicarbonatada. 642-6f	Bicarbonatada cálcica	K>18 BUENA	Riesgo de salinización: Ninguna Riesgo de sodificación: Moderada
<b>A-70</b>	Clorurada normal.Sulfatada normal. Hipobicarbonatada 643-5e	Bicarbonatada cálcica	K>18 BUENA	Riesgo de salinización: Moderado Riesgo de sodificación: Moderada
<b>A-71</b>	Clorurada normal.Sulfatada normal. Hipobicarbonatada 643-5e	Bicarbonatada cálcica	K>18 BUENA	Riesgo de salinización: Ninguna Riesgo de sodificación: Moderada
<b>A-72</b>	Oligoclorurada Sulfatada normal. Hipobicarbonatada 543-1b	Clorurada sódica	K=2 MEDIOCRE	Riesgo de salinización: Importante Riesgo de sodificación: Ninguno
<b>A-73</b>	Clorurada normal.Sulfatada normal. Hipobicarbonatada 642-5f	Bicarbonatada cálcica	K>18 BUENA	Riesgo de salinización: Ninguna Riesgo de sodificación: Moderada
<b>A-74</b>	Clorurada normal.Sulfatada normal. Hipobicarbonatada 643-4e	Sulfatada cálcica	K>18 BUENA	Riesgo de salinización: Moderado Riesgo de sodificación: Ninguno
<b>A-75</b>	Clorurada normal.Sulfatada normal. Hipobicarbonatada 643-6f	Bicarbonatada cálcica	K>18 BUENA	Riesgo de salinización: Ninguna Riesgo de sodificación: Moderada
<b>A-76</b>	Clorurada normal.Sulfatada normal. Hipobicarbonatada 643-5f	Bicarbonatada cálcica	K>18 BUENA	Riesgo de salinización: Ninguna Riesgo de sodificación: Moderada
<b>A-77</b>	Clorurada normal.Sulfatada normal. Hipobicarbonatada 643-5f	Bicarbonatada cálcica	K>18 BUENA	Riesgo de salinización: Ninguna Riesgo de sodificación: Moderada

**Tabla IV.43.-Clasificación de las aguas para consumo humano y aptitud para riego del subsector S. Gorda-San Jorge- Gibalto.**

En referencia a la tabla IV.43. las aguas deben clasificarse como bicarbonatadas cálcicas, con las excepciones ya mencionadas, y según Scholler son normales o hipocálcicas además de sulfatadas y cloruradas sódicas ( Sólo A-72 es oligoclorurada). Las divergencias se encuentran en el contenido catiónico, que como vemos en la tabla II.4. son: 1b A-72; 4e (A-74); 5d (A-67), 5e (A-70 y A-71), 5f (A-73 y A-76), 6f(A-68 y A-69 y A-65).

En términos amplios el uso de esta agua a nivel agrícola no debe presentar problemas en el caso de regar los suelos de las vaguadas ya que son calcáreos, pero se deberían tener ciertas precauciones si se utilizan en los dominios kársticos dada las características de los suelos.

La secuencia hidroquímica en el estiaje, cuando el ciclo hídrico anual es deficitario se debe mantener la tendencia detallada por López Chicano (1992), al incrementar significativamente la salinidad en el curso del río.

Mención especial merece la elevada concentración de ión nitrato, (Tabla IV.41.) respecto a otras aguas del subsector donde es inferior al nivel guía. En la fuente de Los Caños (A-68), surgencia situada a 903 m, presenta un contenido de  $55 \text{ mgL}^{-1}$ , al proceder directamente del acuífero carbonatado debe tener como origen la disolución de materiales nitrogenados de la capa superior del suelo procedente de la descomposición de la materia orgánica y en parte de la disolución de abonos nitrogenados procedentes de la prácticas agrícolas.

Según las normativa FAO (1987) se consideran aguas de buena calidad para el riego, que en algunos casos puede tener riesgo de salinización. Son aceptables para el consumo animal y la mayoría con pequeñas limitaciones puede ser utilizadas domésticamente dado el nivel de dureza.

## IV.2.b. Sierra de Archidona-Umbral.

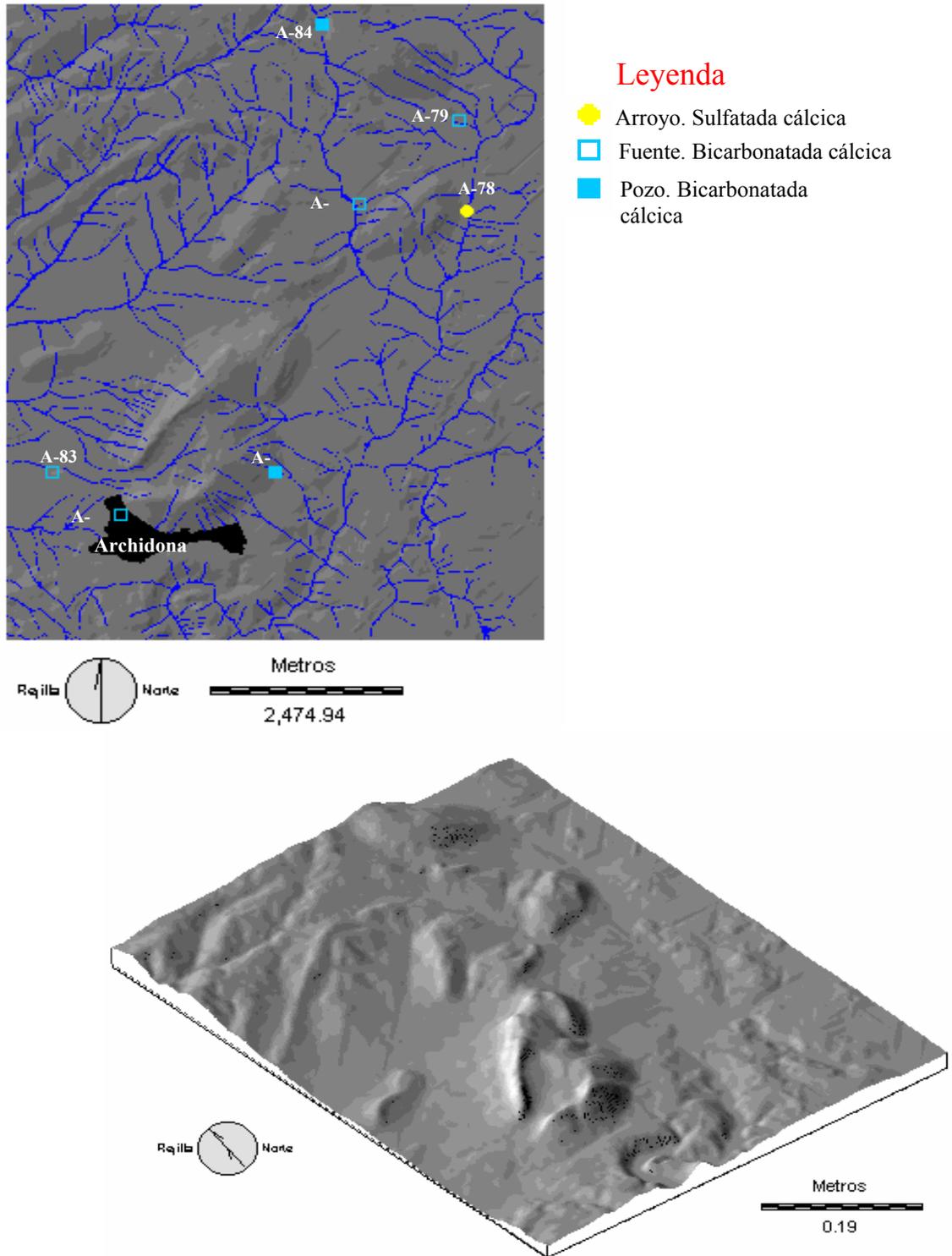
### IV.2.b.1.Introducción.

El subsector ocupa una superficie aproximada de 52 km<sup>2</sup> y está formado por la Sierra de Archidona con su pico Conjuero de 1012 m, la Sierra del Pedroso (1008 m), el cerro de El Morrón (887 m) y el cerro Mohedano, componiendo una formación con ligero desplazamiento N-SW. La zona central intermedia es triangular, cuyos vértices los ocupan los cerros de Moheda, Umbral y Morrón, enmarcando un territorio alomado entre los dos últimos cerros y es casi llano en los alrededores del Umbral, componiendo un piedemonte inclinado (Fig IV.9).

Geológicamente limita por el este con materiales triásicos y al norte con materiales jurásicos y cretácicos. La Sierra de Archidona es una compleja estructura Jurásica, construidos por calizo-dolomías con cierta karstificación. Es un acuífero carbonatado con aporte de agua de lluvia y régimen de descarga influenciado por bombeos en distintas captaciones y sobreexplotación en los años cuyas precipitaciones son inferiores a la media anual.

Muestra n°	Procedencia	Origen	Localización	Altitud (m)
A-78	Arroyo La Negra	Arroyo	30SUG381041112	710
A-79	Fuente La Encina	Fuente	30SUG380941125	760
A-80	Los Peligros	Fuente	30SUG379641113	750
A-81	Los Llanos	Pozo >30 m	30SUG378541074	760
A-82	Archidona	Fuente	30SUG376541068	720
A-83	Fuente Berros	Fuente	30SUG375641074	610
A-84	Casa Parra SW	Pozo 30 m	30SUG379141139	920

Tabla IV.44.- Localización y origen de las aguas de Sierra de Archidona-Umbral.



**Fig IV.9 .- Bloque diagrama, red hidrográfica y muestras de agua del sector Sierra de Archidona-Umbral**

Respecto a surgencias espontáneas, destaca la Fuente de la Encina, manantial importante que alimenta al arroyo de La Negra. Hacia el sur, en la población de Archidona, se localiza otra salida, resultante de la canalización de varias surgencias, conocidas con el nombre de Los Llanos. El agua es utilizada en el primer caso para riego en fincas colindantes como La Dehesa y El Cantarín y la segunda para abastecimiento de la población de Archidona.

#### **IV.2.b. 2.Aspectos hidroquímicos.**

##### **1.-Tomas de muestras.**

Se han tomado siete muestras (Tabla IV.44.). Una en el mismo arroyo de La Negra, dos en pozos y las restantes en distintos manantiales. Las cotas de estas surgencias oscilan entre 610 y 760 msnm.

##### **2.-Resultados analíticos**

En la tabla IV.45. se incluyen los datos analíticos de las muestras de agua del sector . En el primer grupo se recogen los datos representados por los factores primarios: pH, CE, dureza, residuo seco y SAR°.

Los otros dos bloques recogen los datos sobre concentraciones de las fracciones aniónicas y catiónicas en el agua, así como las relaciones que apoyan las concentraciones relativas de los iones fundamentales, de forma que permiten catalogar el tipo de facies que corresponde a cada muestra de agua.

En las tablas IV.46. y IV.47 se incluyen los análisis de sustancias no deseables en agua y de los elementos tóxicos respectivamente.

##### **3.-Discusión de los resultados.**

El conjunto de la sierra de Archidona es una compleja estructura jurásica, cuyo drenaje tiene lugar por galerías de abastecimiento, actualmente afectadas por los bombeos realizados para su explotación y suministro de agua a poblaciones vecinas, cuyas

necesidades, según datos suministrados por Guzmán del Pino, asciende a 700.000 m<sup>3</sup>/año para Archidona y 90.000 m<sup>3</sup>/año para Vva. de Tapia.

DATOS ANALITICOS							
Determinación	78	79	80	81	82	83	84
pH	7.7	7.9	7.6	7.9	7.9	7.9	7.8
C.E. a 20°C (dS/m)	2	0.5	0.7	0.5	0.6	0.7	0.7
Dureza (°F)	26	21	32	25	30	24	21
Residuo Seco a 180°C (mg/L)	1315	384	597	428	535	527	568
SAR °	1.2	0.3	0.8	0.3	0.2	1	0.8
ANIONES (mg/L)							
Cloruros	65	14	36	14	11	48	37
Bicarbonatos	305	221	346	255	364	249	233
Sulfatos	559	43	40	41	23	40	46
Cloruros/Sulfatos	0.1	0.3	0.9	0.3	0.4	1.2	0.8
Bicarbonatos/Sulfatos	0.5	5.1	8.6	6.2	15	6.2	5
CATIONES (mg/L)							
Calcio	252	73	104	75	106	62	64
Magnesio	48	10	16	16	17	21	19
Sodio	41	9	24	10	6	32	26
Potasio	3.1	3.5	5.3	2.3	4.2	4.6	2.9
Magnesio/Calcio	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.3	0.2

Tabla IV.45.- Caracteres físico-químicos del subsector Sierra de Archidona-Umbral.

La recarga del sistema se produce a partir de la infiltración del agua de lluvia, que después percola entre los materiales calizo-dolomíticos que componen los sistemas montañosos, desaguando los excedentes hídricos con facies bicarbonatadas y bajo contenido en cloruros

		NO <sub>3</sub> - (mg/L)	M.O. (mg/L)	Mn	Ba	Co	Cu	Zn	F	Ag	Fe	B
<b>Nivel guía (µg/L)</b>		25	2	20	100	--	100	100	--	--	50	1000
<b>CMA* (µg/L)</b>		50	5	50	--	--	3000	5000	1500	10	200	--
<b>Muestras</b>	<b>A-78</b>	50	2	3.1	45.8	1.6	1.4	1.6	105	11	4.23	332
	<b>A-79</b>	18	3	10.2	7.1	1.7	0.8	4.2	161	0	2.03	365
	<b>A-80</b>	85	1.5	9.8	10.3	1.7	1.2	1.9	101	0	3.68	425
	<b>A-81</b>	10	2	10.3	3.9	1.1	8.2	6.1	151	1.1	4.98	436
	<b>A-82</b>	13	3.3	10.6	9.2	2.9	0.4	2.5	120	0	2.84	398
	<b>A-83</b>	65	4	12.1	4.2	1.4	0	2.1	132	0	5.92	487
	<b>A-84</b>	56	1.2	11.4	3.7	1.9	0	2.6	115	0	6.83	453

\* CMA: Concentración máxima admisible según RD 1138/90

**Tabla IV.46.-Elementos no deseables en aguas potables del subsector Archidona-Umbral.**

		Be	V	Cr	Ni	As	Se	Cd	Sb	Hg	Pb
<b>CMA* (µg/L)</b>		-	-	50	50	50	10	5	10	1	50
<b>Muestra</b>	<b>A-78</b>	0.03	0.3	1.7	31.3	2.5	1.2	0.5	0	0.5	3.1
	<b>A-79</b>	0.01	1.1	3.6	28.2	0.9	0	0	0	0.3	1.6
	<b>A-80</b>	0.02	1.2	4.8	29.6	0.8	0	0	0	0.5	0
	<b>A-81</b>	0.02	1.1	0	18.1	0.5	0.3	0.2	0.2	6	1.5
	<b>A-82</b>	0.01	1.4	4.7	38.7	1.1	0	0	0	0.4	0
	<b>A-83</b>	0.9	1.1	2.1	25.3	0.5	0	0	0	0.2	0
	<b>A-84</b>	1.7	1.1	3.2	30.6	0.6	0	0	0	1	0

CMA: Concentración máxima admisible según RD 1138/90

**Tabla IV.47-. Elementos tóxicos en aguas potables del subsector Archidona-Umbral.**

Estamos ante un sistema cuyos recursos están en función directa con la recarga pluvial y es frecuente que algunos manantiales permanezcan secos desde agosto hasta octubre.

Desde el punto de vista hidroquímico (Tabla IV.45.) al carácter bicarbonatado hay que añadir una conductividad media baja de 0-6 dSm<sup>-1</sup> y un grado de dureza menor de 30, es decir se trata de aguas entre moderadamente duras y moderadamente dulces, con un SAR° de 1 (A-83) o menor en los restantes casos; no hay problemas con el Mg<sup>2+</sup> ni con el K<sup>+</sup>.

El contenido en nitratos oscila entre 10 y 85 mgL<sup>-1</sup> por lo que se deben tomar precauciones en situaciones como la de las muestras A.-78, A-80, A-83 y A-84. (Tabla IV.46). Respecto los elementos tóxicos no hay problemas que reseñar, salvo que parece significativa, pero no preocupante, la cantidad de níquel (Tabla IV.47).

	Cloruros	Bicarbonatos	Sulfatos	Calcio	Magnesio	Sodio
Cloruro	1					
Bicarbonato	0.015	1				
Sulfato	0.724	0.151	1			
Calcio	0.632	0.398	0.963**	1		
Magnesio	0.817*	0.208	0.960**	0.917	1	
Sodio	0.996**	-0.035	0.677	0.573	0.777	1

Grados de libertad (n-2)

5% = 0.754\*

1% = 0.874\*\*

**Tabla IV.48.-Matriz de correlación de Pearson del subsector Archidona-Umbral**

La matriz de Pearson (Tabla IV.48), mantiene la dinámica, observada en otros subsectores, en relación del Mg<sup>2+</sup> y Ca<sup>2+</sup> con los SO<sub>4</sub><sup>=</sup> y el irregular comportamiento frente a los bicarbonatos.

El tabla (Tabla IV.49), se clasifican las aguas de riego como buenas; tampoco presentan problemas para consumo humano y animal, salvo en el caso de las limitaciones ya reseñadas respecto de los nitratos.

La muestra A-84, es sulfatada calcica y sigue un comportamiento hidroquímico semejante al de la mayoría de las aguas de los subsectores triásicos.

MUESTRA	COMPOSICION QUIMICA		APTITUD PARA EL RIEGO	
	SCHOLLER (1955)	SHCHUKAREV (1934)	I. SCOTT	RESTRICCIONES DE USO FAO (1987)
A-78	Clorurada normal Oligosulfatada Bicarbonatada normal 632-4f	Sulfatada cálcica	K=31 BUENA	Riesgo de salinización: Moderada Riesgo de sodificación: Ninguna
A-79	Clorurada normal Sulfatada normal Bicarbonatada normal 642-6f	Bicarbonatada cálcica	K>18 BUENA	Riesgo de salinización: Ninguna Riesgo de sodificación: Moderada
A-80	Clorurada normal Sulfatada normal Bicarbonatada normal 642-6f	Bicarbonatada cálcica	K=56 BUENA	Riesgo de salinización: Ninguna Riesgo de sodificación: Moderada
A-81	Clorurada normal Sulfatada normal Bicarbonatada normal 642-6f	Bicarbonatada cálcica	K=45 BUENA	Riesgo de salinización: Ninguna Riesgo de sodificación: Moderada
A-82	Clorurada normal Sulfatada normal Bicarbonatada normal 643-6f	Bicarbonatada cálcica	K=19 BUENA	Riesgo de salinización: Ninguna Riesgo de sodificación: Moderada
A-83	Clorurada normal Sulfatada normal Bicarbonatada normal 642-6f	Bicarbonatada cálcica	K=42 BUENA	Riesgo de salinización: Ninguna Riesgo de sodificación: Moderada
A-84	Clorurada normal Sulfatada normal Bicarbonatada normal 642-6f	Bicarbonatada cálcica	K=55 BUENA	Riesgo de salinización: Ninguna Riesgo de sodificación: Moderada

**Tabla IV.49.-Clasificación de las aguas para consumo humano y aptitud para riego de la Sierra de Archidona-Umbral.**

### **IV.3. SIERRA DE ARCAS.**

#### **IV.3.1. Introducción.**

Ocupa el área noroccidental de la Hoja de Archidona y tiene una extensión aproximada de 145 km<sup>2</sup>. El relieve más importante es la sierra de Arcas, con su pico más elevado el de Arca a 948 m, situado en el centro del sistema montañoso.

IGTE (1991), da como posible que se trate de una estructura diapírica desarrollada a partir de los materiales subyacentes del Trías de Antequera, sin que estos lleguen a aflorar en superficie. Pyre (1974) define los materiales del basamento como un conjunto estratigráfico-tectónico muy plástico.

La sierra de Arcas tiene orientación NW-SE y la componen calizas blancas bioclásticas con afloramientos puntuales dolomíticos, pertenecientes ambos al Jurásico (Lías). Al norte limita con los Llanos del Marqués, que están hundidos respecto de la sierra, evento debido, posiblemente, a la existencia de fallas normales que marcan el lecho del arroyo Lucena entre ambas formaciones morfogénicas.

Los Llanos son el resultado último de la conexión de series aluviales ricas en arcillas y cantos con encostramientos, ligados a la tectónica general de la zona, donde el posible empuje diapírico que dio lugar a la sierra de Arcas, posibilitó un intenso proceso erosivo, y la creación de abanicos aluviales en el área circundante.

En el sector meridional las calizas del Lías buzan 60°, mientras que las margas y margocalizas del Dogger, concordantes con las calizas liásicas, alcanzan la verticalidad. Esta disposición y la menor consistencia de los materiales son la causa de la importante actividad erosiva, a partir de la cota 800, creando la orla caliza que coronan la formación.

Pensamos que la verticalidad de los componentes calcáreos del Dogger puede deberse a la importante tectónica de fragmentación existente en la zona, responsable a su vez de la

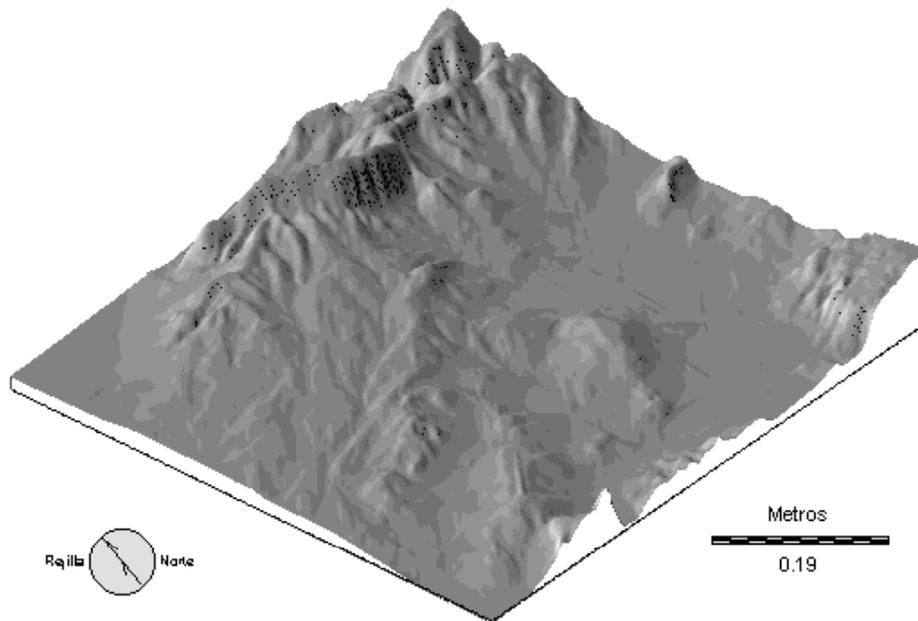
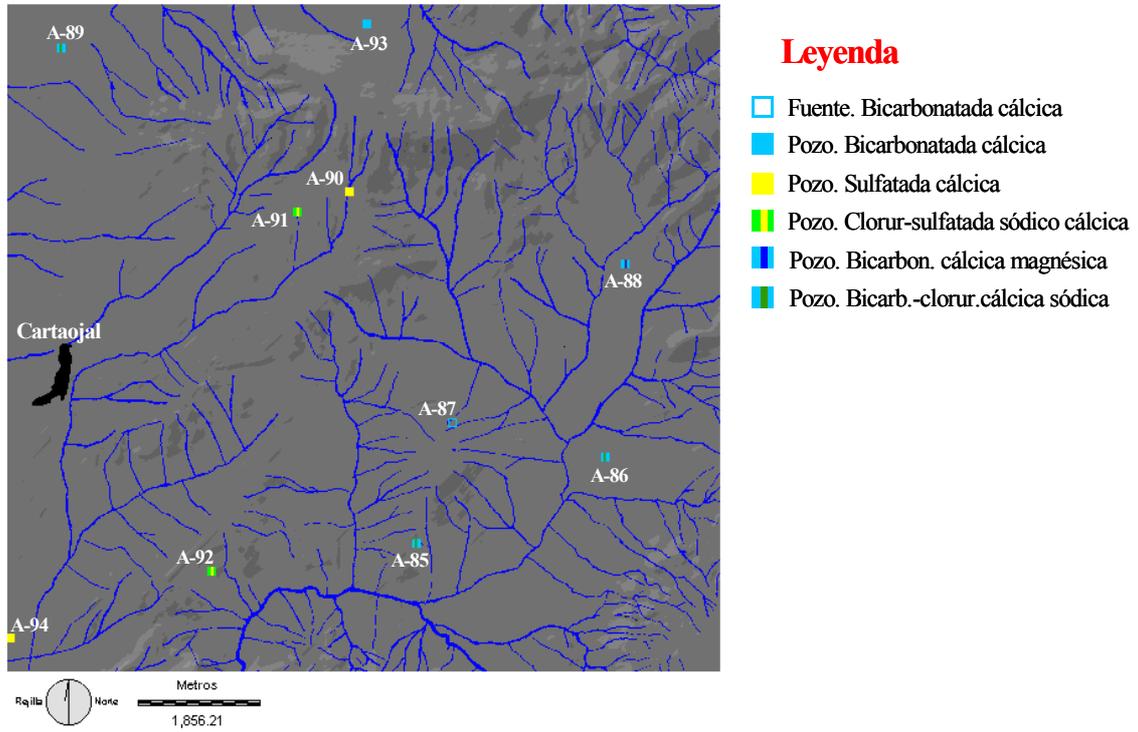
aparición de faceta triangulares y el consiguiente desarrollo de barrancos con cierto paralelismo, que actúan a modo de torrentes dando pie a nuevos conos aluviales imbricados entre sí (Fig.IV.10). Son similares a los de la zona norte pero con mayor pendiente y desgaste erosivo, de forma que es fácil observar restos de las costras geológicas en superficie.

Más al sur hay una superficie alomada orientada con el Trías de Antequera, muy afectada por la tectónica y cuyo modelado marca la frontera entre las áreas norte y sur del sector. La fisonomía está ligada al control que ejercen ciertos materiales, de forma que se tallan relieves litoestructurales definidos por una sucesión seriada de cerros que se inician con el de Tejón (559 m) y culminan en el extremo nororiental con el Endrinal (903 m), manteniendo toda una secuencia intermedia donde destacan los siguiente collados: Quemado (566 m), Tetas (588 m), Pelusas (651 m), Palomar (642 m), Mondazas (842 m), Buenavista (836m), etc. Hay que destacar la esbeltez de los cerros desplazados hacia el noreste, y la escasa variante altitudinal y de orden en el resto de la zona.

Componen por tanto una sucesión de relieves residuales con desarrollo moderado y estructura dependiente de la litología. Son combinaciones de calizas nodulares, calcarenitas con sílex y margocalizas del Malm, junto a otros materiales de edad cretácica representados con radiolaritas, margas y margocalizas de colores diferentes. A ambos lados del sistema descrito y asociados a la morfogénesis general hay que señalar la formación de nuevos conos aluviales encostrados, semejantes a los de la zona norte, pero con más cantos gruesos y gravas.

El tramo más meridional supone la conjunción de materiales aluviales de edades Pleistocena y Holocena que dan un relieve casi plano con cerros residuales aislados: Castellón (607 m) y Condestable (655 m).

Los conos aluviales son discordantes y están intercalados con las terrazas del Guadalhorce y de los afluentes. IGTE (1997), describe otras dos generaciones que no



**Fig IV.10** .- Bloque diagrama, red de drenaje y muestras de agua del subsector Sierra de Arcas

presentan encostramientos y están bien diferenciadas edáficamente, (Luvisol rodicálcico). En cuanto a la morfología, la etapa siguiente a la peniplanización Villafranquiense se materializó con el basculamiento de la formación de Trías y el inicio del desnivel que separa esta unidad geomorfológica de la vega subsidente de Archidona.

estra nº	Procedencia	Origen	Localización	Altitud (m)
A-85	Fuente del Grajo	Pozo 10 m	30SUG371341059	535
A-86	La Purísima	Pozo 30 m	30SUG374241072	520
A-87	Fuente Molina	Fuente	30SUG371941078	580
A-88	Cortijo Molina	Pozo 10 m	30SUG374541102	590
A-89	Casas Valezas	Pozo 30 m	30SUG365941135	500
A-90	Cortijo Pozo Ancho	Pozo 30 m	30SUG370341113	760
A-91	Cortijo Pozo Viejo	Pozo 10 m	30SUG369541110	760
A-92	Las Roperas	Pozo 30 m	30SUG368241055	570
A-93	Llano de los Mangones	Pozo 30 m	30SUG370641139	590
A-94	Cortijo Hospital	Pozo 30 m	30SUG365041045	460

**Tabla IV.50.- Localización y origen de las aguas del subsector Sierra de Arcas**

El paso siguiente consiste en la degradación superficial y el desarrollo de distintas generaciones de conos aluviales, posicionamiento del río Guadalhorce y configuración actual de la red hidrográfica, ya que no parece que el Cuaternario afectara de manera importante al modelado de la red, dada su poca entidad, salvo en el caso del río Guadalhorce que es el límite inferior del sector donde desembocan los arroyos del flanco sur de la sierra de Arcas, configurando una red hidrográfica difusa, sin apenas encajamiento, caracterizada por cauces estrechos, largos y lineales, y que componen redes dendríticas con marcada orientación NE-SE.

DATOS ANALITICOS										
Determinación	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94
pH	7.8	7.9	7.6	7.6	7.5	7.6	7.6	7.8	7.7	7.7
C.E. a 20°C (dS/m )	1	1	0.8	0.5	1	1.9	1	0.9	1	1.9
Dureza (°F)	27	27	26	22	30	54	45	32	32	66
Residuo Seco a 180°C (mg/L)	698	632	577	664	624	1352	989	712	786	1231
SAR °	2.2	2	1.5	0.4	2.2	2.9	3.3	2.7	2	1.2
ANIONES (mg/L)										
Cloruros	116	102	95	106	119	222	211	144	100	107
Bicarbonatos	232	190	212	195	180	151	270	201	290	182
Sulfatos	79	116	90	105	155	422	84	177	119	496
Cloruros/Sulfatos	1.4	0.8	1	1	0.7	0.5	2.5	0.8	0.8	0.2
Bicarb/Sulfatos	2.9	1.6	2.3	1.8	1.1	0.3	3.2	1.1	2.4	0.3
CATIONES (mg/L)										
Calcio	66	76	83	40	87	177	126	108	110	186
Magnesio	27	21	15	28	20	31	33	20	22	47
Sodio	77	69	48	18	76	136	138	92	65	60
Potasio	1.4	0.9	0.7	1.6	3.3	3.3	1.3	4.6	1.9	1.2
Magnesio/Calcio	0.4	0.2	0.2	0.7	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2

**Tabla IV.51- Caracteres físico-químicos del subsector Sierra de Arcas.**

Se identifican cuatro órdenes, siendo más cortos y encajados en la ladera de la sierra que están controlados por la estructura del terreno y la litología. Se trata de procesos de

adaptación fluvial de los sistemas de diaclasado dominante. Por el norte el trazado es casi paralelo a la sierra de Arcas y los arroyos están menos entallados.

### **IV.3. 2. Análisis hidroquímico**

#### **1.-Toma de muestras.**

Se han analizado diez muestra cuya localización geográfica, altitudinal y tipo de agua se incluye en la tabla IV.50.

#### **2.-Resultados analíticos**

Los resultados de los análisis de aguas se agrupan en tres tablas : la primera de ella tabla IV.51. reúne los índices de primer y segundo grado junto a los datos analíticos de los considerados elementos mayores. Las sustancias no deseables están en la tabla IV.52. y las tóxicas en la IV.53.

	NO <sub>3</sub> - (mg/L)	M.O. (mg/L)	Mn	Ba	Co	Cu	Zn	F	Ag	Fe	B
<b>Nivel guía (µg/L)</b>	25	2	20	100	--	100	100	--	--	50	1000
<b>CMA* (µg/L)</b>	50	5	50	--	--	3000	5000	1500	10	200	
<b>Muestras</b>	<b>A-85</b>	64	2	0	119	0.29	0	0	0.019	0.14	0.2
	<b>A-86</b>	62	4	0.06	47.8	0.22	0	1.3	0	0.15	0.2

\* CMA: Concentración máxima admisible según RD 1138/90

**Tabla IV.52.-Elementos no deseables en aguas potables del subsector Sierra de Arcas.**

	Be	V	Cr	Ni	As	Se	Cd	Sb	Hg	Pb	
<b>CMA* (µg/L)</b>	-	-	50	50	50	10	5	10	1	50	
<b>Muestra</b>	<b>A-85</b>	0.04	1.4	4.8	3.8	1.3	1	4	0.01	1.1	0
	<b>A-86</b>	0.03	1.3	1.3	3.6	0.25	1.1	3	0	0.16	0.015

CMA\*: Concentración máxima admisible según RD 1138/90

**Tabla IV.53. Elementos tóxicos en aguas potables del subsector Arcas.**

### **3.Discusión de los resultados**

En el ámbito del sector sólo hay dos manantiales, uno de ellos , Fuente Molina, tiene un caudal pequeño y el otro , Fuente del Grajo está seco hace años. El agua de Fuente

Molina (A-87) tiene una relación aniónica respecto de los sulfatos. Los nativos se abastecen de agua que extraen de pozos abiertos a distinta profundidad que es normalmente alta (Tabla IV).

MUESTRA	COMPOSICION QUIMICA		APTITUD PARA EL RIEGO	
	SCHOLLER (1955)	SHCHUKAREV (1934)	I. SCOTT	RESTRICCIONES DE USO FAO (1987)
<b>A-85</b>	Clorurada normal Sulfatada normal Bicarbonatada normal 642-50e	Bic-Clor. Cálcica-sódica	K=5 MEDIOCRE	Riesgo de salinización: Ligera Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-86</b>	Clorurada normal Sulfatada normal Bicarbonatada normal 642-5e	Bic-Clor. Cálcica-sódica	K=19 BUENA	Riesgo de salinización: Ligera Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-87</b>	Clorurada normal Sulfatada normal Bicarbonatada normal 642-5e	Bicarbonatada Cálcica	K=21 BUENA	Riesgo de salinización: Ligera Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-88</b>	Clorurada normal Sulfatada normal Bicarbonatada normal 642-5d	Bicarbonatada Cálcica magnésica	K=19 BUENA	Riesgo de salinización: Ligera Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-89</b>	Clorurada normal Sulfatada normal Bicarbonatada normal 642-5e	Bic-Clor. Cálcica-sódica	K=17 TOLERABLE	Riesgo de salinización: Ligera Riesgo de sodificación: Moderada
<b>A-90</b>	Clorurada normal Oligosulfatada Bicarbonatada normal 652-4e	Sulfatada cálcica	K=9 TOLERABLE	Riesgo de salinización: Moderada Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-91</b>	Clorurada normal Sulfatada normal Bicarbonatada normal 642-1e	Bic-Clor- calcica sódica	K=10 TOLERABLE	Riesgo de salinización: Ligera Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-92</b>	Clorurada normal Sulfatada normal Bicarbonatada normal 642-1e	Clor-Sulfatada sódico calcica	K=14 TOLERABLE	Riesgo de salinización: Ligera Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-93</b>	Clorurada normal Sulfatada normal Bicarbonatada normal 642-5e	Bicarbonatada cálcica	K=20 BUENA	Riesgo de salinización: Ligera Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-94</b>	Clorurada normal Oligosulfatada Bicarbonatada normal 652-3f	Sulfatada cálcica	K=19 BUENA	Riesgo de salinización: Moderada Riesgo de sodificación: Ninguna

**Tabla IV.55.- Clasificación de las aguas para consumo humano y aptitud para riego de la Sierra de Arcas**

Este efecto debe relacionarse con su ubicación en la cota alta del Cerro Condestable (580 m), donde los materiales del Trías se sitúan a profundidades que no afectan a la surgencia.

Los vecinos satisfacen sus necesidades hídricas tomando el agua de pozos abiertos con distinta profundidad: 10 m de media en el caso de A-85, A-88, A-91 y las restantes corresponden a un acuífero próximo a los treinta metros de profundidad.

En el primer caso las aguas son bicarbonatadas y además pueden ser cloruradas (A-85 A-91), y son menos cloruradas que bicarbonatadas las restantes. Los cationes de las dos primeras muestras dan facies cálcico sódicas y la tercera al ser la relación  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$  de 7 se considera cálcico magnésica.

En el segundo acuífero la composición química de las aguas es muy diferente y puede ser debido a la naturaleza del lixiviado que percola a través del material (paleógeno) enriquecido en bicarbonatos y cloruros. A este efecto debe añadirse posibles aportes laterales en profundidad debido al contacto del acuífero con el Trías que actúa como un zócalo moderno de la formación

En general son aguas ligeramente básicas y aguas muy mineralizadas, que afectan al conductividad de forma moderada ( $0.5-1.9 \text{ dSm}^{-1}$ ) asimilándose el valor superior al contenido en sulfatos (A-90 y A-94). Las aguas son muy duras en el caso de la muestra A-86, las restantes o son duras (A-90 y A-91) o moderadamente duras en el resto de los casos. Descartada el agua A-88 las demás son poco magnésicas y en todo los casos se relacionan con el exceso de sulfatos (Tabla IV.51). La presencia de potasio es poco importante en todas las muestras.

Los elementos no deseables (Tabla IV.52.) y los tóxicos (Tabla IV.53) no indican limitaciones de uso, salvo para los nitratos, hecho de fácil análisis si tenemos en cuenta que son tierras de cultivo intensivo.

El índice de Scott permite considerar las aguas como buenas o tolerables para riego y solamente se puede considerar mediocre la A-85 ( $K=5$ ). Según las restricciones de FAO (1987) no hay riesgos de sodización mientras que, la posibilidad de salinización son en general ligeras menos para A-90 y A-94.

#### **IV.4. CUESTA BLANCA- LA PALMA.**

##### **IV.4.1. Introducción**

Ocupa un área aproximada de 9 km<sup>2</sup>. Limita al norte y oeste con el Trías de Antequera; por el este con río Frío y su prolongación que es el arroyo de Las Mozas, cerrando el perímetro meridional, la sierra de Gibalto.

El relieve lo definen cerros paralelos, fuertemente ondulados, y colinas uniformes cuya altitud decrece de poniente a levante (Beatas 763 m, Álamos 724 m, Molinillos 702m, etc.).

La red fluvial está ligada al cauce río Frío-Mozas, que drena de sur a norte conformándose en una cuenca de drenaje superficial paralela, con arroyos de escasa entidad que desembocan en el cauce mayor manteniendo cierta simetría.

La excepción es el arroyo Salado y su afluente Fuentealcaide, que desarrollan una subcuenca de drenaje radial ligada a la estructura de Los Hoyos, donde inician su periplo. El caudal es temporal y se sustenta con las aguas de escorrentía superficial y mas continuamente con aguas del sistema endokárstico triasico.

Corresponde al principal afloramiento Pliocuaternario de la Hoja. Hay una amalgama bastante compleja de litologías, dispuestas de forma discontinua: arenas, margas y calizas alternan con gravas de facies fluviales en paleocanales. Las arcillas rojas, con lechos conglomeráticos, se alternan con cambios laterales de facies con margas y calizas lacustres. Coronando ambas formaciones aparecen discontinuos grandes bloques calizos y brechas calcáreas.

##### **IV.4. 2.Aspectos hidroquímicos**

###### **1.-Toma de muestras**

las muestras correponden a cuatro fuentes naturales y un pozo cuya profundidad media, según el propietario, estaría próxima a los 30 m (Tabla IV.55).

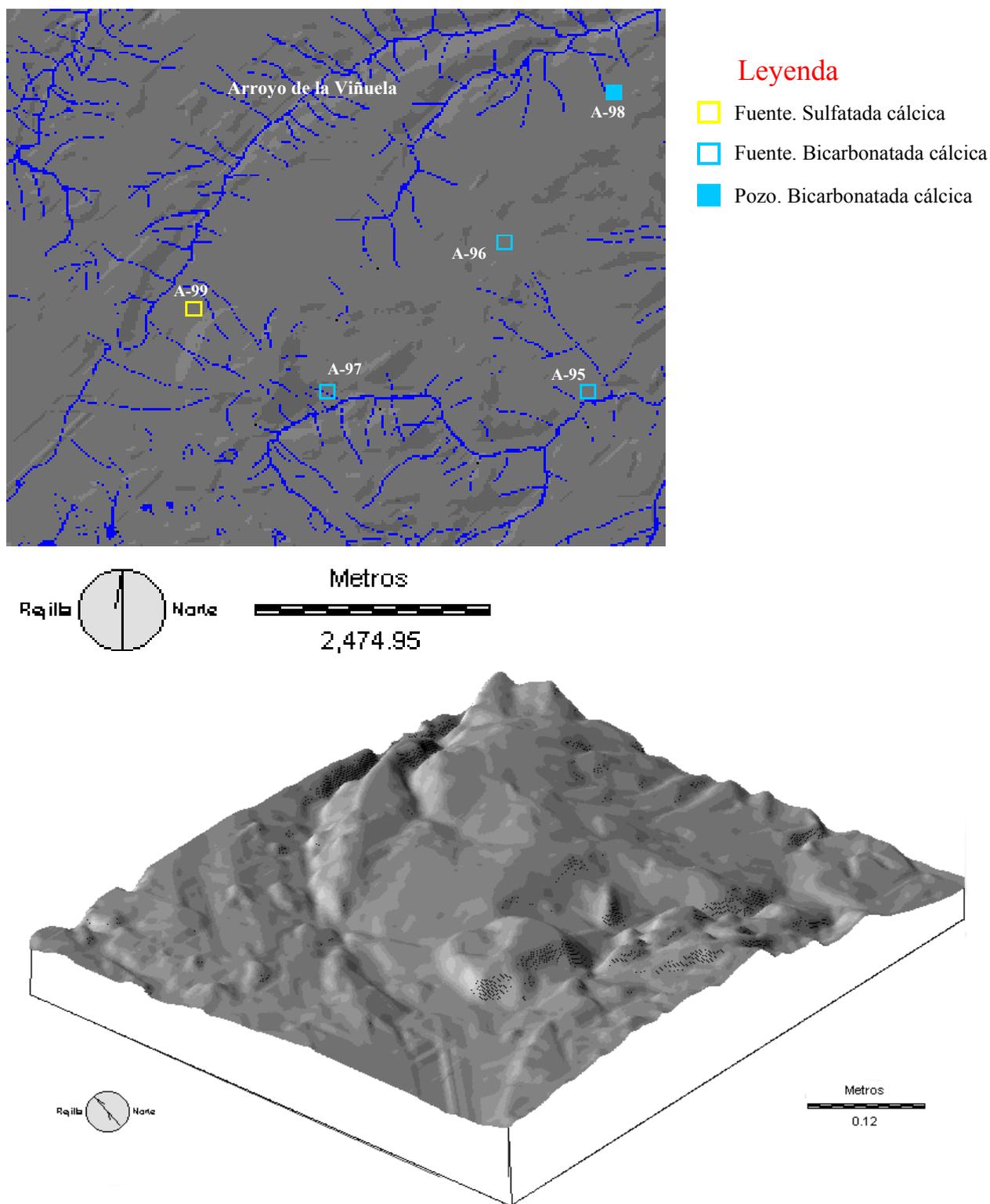


Fig IV.11.- Bloque diagrama, red hidrográfica y muestras de agua del sector Cuesta Blanca-La Palma

<b>Muestra n°</b>	<b>Procedencia</b>	<b>Origen</b>	<b>Localización</b>	<b>Altitud (m)</b>
A-95	Fuente Viña	Fuente	30SUG390241098	662
A-96	Fuente Álamo	Fuente	30SUG389341115	716
A-97	Fuente Alcaide	Fuente	30SUG387441097	740
A-98	Cortijo Cuesta Blanca	Pozo 30 m	30SUG390441132	653
A-99	Fuente de la Palma	Fuente	30SUG385941107	720

**Tabla IV.55.- Localización y origen de las aguas del sector Cuesta Blanca-La Palma.**

## **2.-Resultados analíticos.**

Los datos analíticos se resumen en la tabla IV.56. y los resultados de los elementos menores, diferenciados en no deseables y tóxicos se agrupan en las tablas IV.57. y IV.58.

## **3.- Discusion de los resultados.**

Como base de este comentario tomamos las tablas IV.59.y IV.60. Podemos ver en ellas que todas las aguas son buenas para el riego (Indice de Scott entre 26 y 62). Hay que matizar que se trata de aguas medianamente duras (A-95, A-97, A-98), o duras (A-96 y A-99) de forma que puede limitar su consumo humano y uso agrícola.

Los valores de la relación  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$  son bastante bajos, luego la presencia de estos aniones no debe generar problemas sanitarios ni edáficos. El exceso de  $Mg^{2+}$  tiende a formar sulfatos y de esta forma son lixiviados (Tabla IV.59).

DATOS ANALITICOS					
Determinación	95	96	97	98	99
pH	7.5	7.9	7.9	7.8	7.7
C.E. a 20°C (dS/m)	0.6	0.9	0.7	0.8	1
Dureza (°F)	30	36	25	30	41
Residuo Seco a 180°C (mg/L)	562	675	585	572	640
SAR °	0.8	1.1	0.6	1.7	0.7
ANIONES (mg/L)					
Cloruros	43	53	29	78	32
Bicarbonatos	240	336	290	202	155
Sulfatos	86	113	59	120	306
Cloruros/Sulfatos	0.5	0.4	0.5	0.6	0.1
Bicarb/Sulfatos	2.7	2.9	4.9	1.6	0.5
CATIONES (mg/L)					
Calcio	98	120	68	96	125
Magnesio	12	15	19	15	24
Sodio	26	33	19	50	21
Potasio	6.2	4.1	1	4.2	2.6
Magnesio/Calcio	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2

Tabla IV.56.- Caracteres físico-químicos del sector Cuesta Blanca-La Palma.

	NO <sub>3</sub> - (mg/L)	M.O. (mg/L)	Mn	Ba	Co	Cu	Zn	F	Ag	Fe	B
Nivel guía (µg/L)	25	2	20	100	--	100	100	--	--	50	1000
CMA* (µg/L)	50	5	50	--	--	3000	5000	1500	10	200	
Muestra	A-97	61	0.3	0.29	94	0.2	0	0.024	0	0	342

\* CMA: Concentración máxima admisible según RD 1138/90

Tabla IV.57.-Elementos no deseables en aguas potables de Cuesta Blanca-La Palma.

	Be	V	Cr	Ni	As	Se	Cd	Sb	Hg	Pb	
<b>CMA (µg/L)</b>	-	-	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>50</b>	
<b>Muestra</b>	<b>A-97</b>	0.028	4	6	4.3	0.14	1.1	0	2	0.8	0

CMA\*: Concentración máxima admisible según RD 1138/90

**Tabla IV.58.- Elementos tóxicos en aguas potables de Cuesta Blanca-La Palma.**

	Cloruros	Bicarbonatos	Sulfatos	Calcio	Magnesio	Sodio
Cloruros	1					
Bicarbonatos	0.015	1				
Sulfatos	0.724	0.151	1			
Calcio	0.632	0.398	0.963**	1		
Magnesio	0.817*	0.208	0.960**	0.917	1	
Sodio	0.996**	-0.035	0.677	0.573	0.777	1

Grados de libertad (n-2)

5% = 0.754\*

1% = 0.874\*\*

**Tabla IV.59.-Matriz de correlación de Pearson del sector Cuesta Blanca-La Palma.**

Todas las aguas analizadas son bicarbonatadas cálcicas, como corresponde al ambiente lítico-edafo del territorio. Es importante añadir el carácter oligosulfatado del agua A-99 y ello debe considerarse como el resultado de la proximidad en el subsuelo del manto freático. Las limitaciones posibles debidas a microelementos son recogidas en las tablas IV.57. y IV.58. , observando que en todo el conjunto hídrico sólo hay una limitación clara y ella es debida a la presencia de nitratos procedentes de la fertilización agraria.

MUESTRA	COMPOSICION QUIMICA		APTITUD PARA EL RIEGO	
	SCHOLLER (1955)	SHCHUKAREV (1934)	I. SCOTT	RESTRICCIONES DE USO FAO (1987)
A-95	Clorurada normal Sulfatada normal Bicarbonatada normal 642-6e	Bicarbonatada cálcica	K= 47 BUENA	Riesgo de salinización: Ninguna Riesgo de sodificación: Moderada
A-96	Clorurada normal Sulfatada normal Bicarbonatada normal 642-6e	Bicarbonatada cálcica	K= 38 BUENA	Riesgo de salinización: Moderada Riesgo de sodificación: Ninguna
A-97	Clorurada normal Sulfatada normal Bicarbonatada normal 642-6e	Bicarbonatada cálcica	K= 60 BUENA	Riesgo de salinización: Moderada Riesgo de sodificación: Moderada
A-98	Clorurada normal Sulfatada normal Bicarbonatada normal 642-6e	Bicarbonatada cálcica	K= 26 BUENA	Riesgo de salinización: Moderada Riesgo de sodificación: Ninguna
A-99	Clorurada normal Sulfatada normal Bicarbonatada normal 642-4f	Sulfatada cálcica	K= 62 BUENA	Riesgo de salinización: Moderada Riesgo de sodificación: Ninguna

**Tabla IV.60.- Clasificación de las aguas para consumo humano y aptitud para riego de Cuesta Blanca-La Palma.**

## **IV.5.VILLANUEVA DEL TRABUCO.**

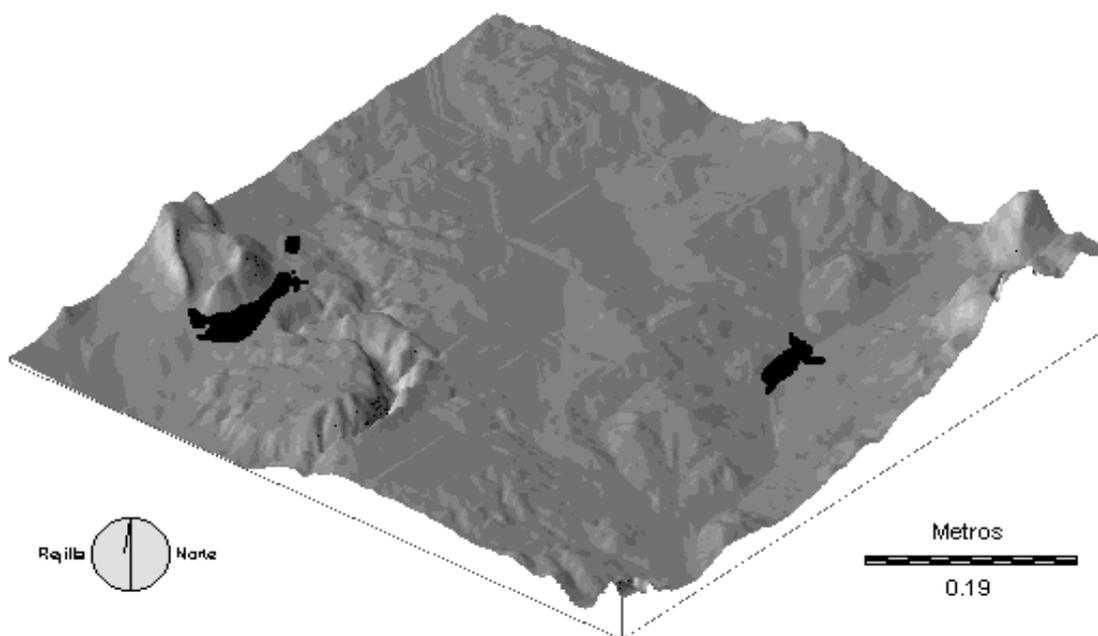
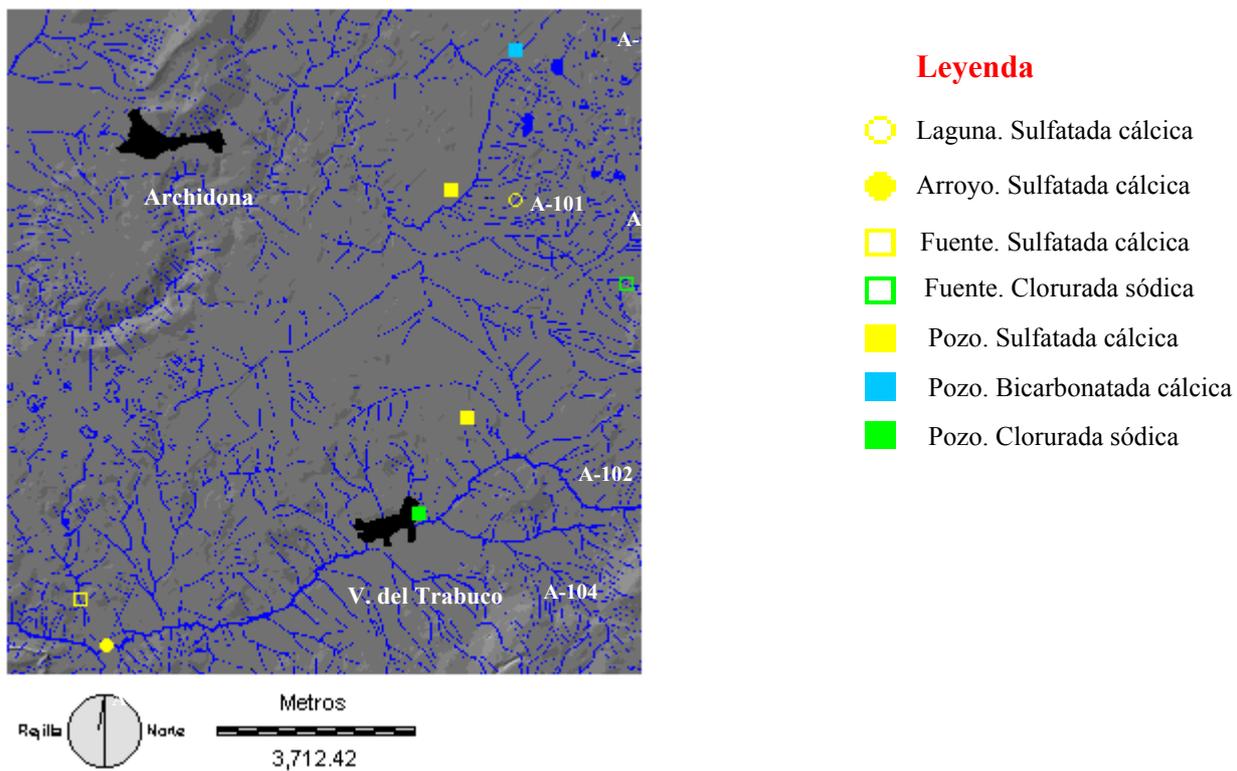
### **IV.5.1. Introducción**

Ocupa parte de la cuenca sur y se localiza en la zona suroriental de la Hoja tomando como eje el río Guadalhorce y los arroyos afluyentes que desde Sierra Gorda y sierra de San Jorge (Carrasco, 1986) nutren al río principal, aportándole aguas superficiales tras los eventos tormentosos y subterráneas procedentes de diferentes subcuencas, de forma que a lo largo del río se pueden establecer tramos con diferente composición litológica y por tanto con diferente efecto hidroquímico.

Hay que tener en cuenta también la profundidad a que se encuentran los materiales del Triás de Antequera. Estos materiales proceden de las unidades Subbéticas subyacentes y afloran discontinuos entre los materiales mesozoicos-terciarios que dan identidad geológica al sector.

El mayor afloramiento triásico está en Villanueva del Trabuco y hay otros dos islotes que se desplazan discontinuos hacia el sureste, situándose al sur del pico Solís. Ambos afloramientos están separados por el arroyo de la Fuente de la Araña y respecto del subsector de Las Lomas por el arroyo Fresnedilla.

Pyre (1974), define el afloramiento triásico de Villanueva del Trabuco como un islote tectónico de origen diapírico. Las otras dos superficies son pequeñas porciones del manto de corrimiento triásico que quedaron aisladas por la erosión. El relieve del subsector es fuertemente ondulado a colinado y el conjunto se extiende a lo largo de un tramo del río Guadalhorce que se inicia en los Alazores y termina en la desembocadura del arroyo de la Yedra.



**Fig.IV.12.- Bloque diagrama, red de drenaje y muestras de aguas del sector de Villanueva del Trabuco.**

Muestra n°	Procedencia	Origen	Localización	Altitud (m)
<b>A-100</b>	Cortijo La Saladilla	Laguna	30SUG383641053	745
<b>A-101</b>	Las Albaradas	Pozo 10 m.	30SUG382441055	732
<b>A-102</b>	Las Albaradas	Pozo 30 m.	30SUG382745011	729
<b>A-103</b>	Fuente Lana	Fuente	30SUG385741037	780
<b>A-104</b>	Cortijo El Garre	Pozo 10 m	30SUG381840992	690
<b>A-105</b>	Cortijo La Nava	Pozo 10 m	30SUG383641082	760
<b>A-106</b>	Cortijo La Fuente	Manantial	30SUG375440976	670
<b>A-107</b>	Río Guadalhorce (6)	Río	30SUG375940967	615
<b>A-108</b>	Río Guadalhorce (7)	Río	30SUG380640988	620
<b>A-109</b>	Vva del Trabuco	Fuente	30SUG382040992	710
<b>A-110</b>	Río Guadalhorce (8)	Río	30SUG385040995	735

**Tabla IV.61.- Localización y origen de las aguas de Villanueva del Trabuco.**

El trazado del río es bastante uniforme hasta su llegada a Cerrogordo donde hace un doble bucle que le lleva hasta los Alazores. La red fluvial es asimétrica, de forma que los arroyos de la margen izquierda marchan paralelos manteniendo una orientación sureste-noreste. En la margen derecha, fuera ya de la influencia de Sierra Gorda, el número de afluentes es menor y su cauce mas corto.

DATOS ANALITICOS											
Determinación	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110
pH	8.0	8.1	8.1	6.7	6.9	8.1	7.1	7.9	7.8	7.5	7.5
C.E. a 20°C (dS/m)	1.3	2.3	1.4	49.4	11.9	0.9	2.4	0.8	1.5	0.3	1.2
Dureza (°F)	60	132	75	244	238	36	162	21	81	35	30
Residuo Seco a 180°C (mg/L)	962	1980	1280	36826	7466	1188	2298	845	1584	619	587
SAR °	0.7	1.2	0.5	--	--	2.2	2.1	1.3	2.6	0.4	0.5
ANIONES (mg/L)											
Cloruros	64	109	42	18872	2145	136	36	89	189	40	29
Bicarbonatos	226	244	231	275	296	248	151	101	392	112	250
Sulfatos	391	1018	564	2250	2116	498	1464	253	480	225	97
Cloruros/Sulfatos	0.1	0.1	0.07	8.3	1	0.3	0.02	0.3	0.4	0.2	0.3
Bicarb/Sulfatos	0.5	0.2	0.4	0.1	0.1	0.5	0.1	0.3	0.8	0.5	2.6
CATIONES (mg/L)											
Calcio	128	402	203	696	744	182	522	81	234	84	75
Magnesio	68	78	60	172	116	66	77	31	57	34	29
Sodio	39	70	29	12449	1426	80	22	56	123	18	20
Potasio	2.8	4.1	3.1	8.6	11	3.2	6.1	4.3	9.3	6.2	10
Magnesio/Calcio	0.5	0.2	0.3	0.2	0.1	0.4	0.1	0.3	0.2	0.4	0.3

**Tabla IV.62.- Caracteres físico-químicos del sector Villanueva del Trabuco**

En el contacto con el subsector de Las Lomas, al río Guadalhorce solo llegan dos arroyos que vierten aguas salinas. Son el arroyo de la Fuente de la Araña y el de Fresnedilla.

### **IV.5.2.Aspectos hidroquímicos**

#### **1. Toma de muestras.**

Se agrupan en este sector doce muestras que comparten características geológicas comunes.(Tabla IV.61.)

#### **2.Resultados analíticos.**

Los resultados analíticos correspondientes a este sector, se agrupan en las siguientes tablas. (Tablas IV.62.; IV.63. y IV.64)

		<b>NO<sub>3</sub>- (mg/L)</b>	<b>M.O. (mg/L)</b>	<b>Mn</b>	<b>Ba</b>	<b>Co</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>F</b>	<b>Ag</b>	<b>Fe</b>	<b>B</b>
<b>Nivel guía (µg/L)</b>		25	2	20	100	--	100	100	--	--	50	1000
<b>CMA* (µg/L)</b>		50	5	50	--	--	3000	5000	1500	10	200	
<b>Muestra</b>	<b>A-105</b>	16	3	0.2	15.9	0.2	0	0		0		300
	<b>A-106</b>	25	4	1	1	0.1	2.5	52		0	0.02	420

\* CMA: Concentración máxima admisible según RD 1138/90

**Tabla IV.63.-Elementos no deseables en aguas potables de Vva. del Trabuco**

		<b>Be</b>	<b>V</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>As</b>	<b>Se</b>	<b>Cd</b>	<b>Sb</b>	<b>Hg</b>
<b>CMA* (µg/L)</b>		-	-	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>1</b>
<b>Muestra</b>	<b>A-105</b>	0.02	0.8	0.5	4	0.2	0	0	0	0.3
	<b>A-106</b>	0.01	0.2	0.8	2.7	0	0	0	0	0.3

CMA\*: Concentración máxima admisible según RD 1138/90

**Tabla IV.64.- Elementos tóxicos en aguas potables de Vva. del Trabuco**

#### **3.Discusión de los resultados.**

Las muestras analizadas están en su mayoría influenciadas por el Trías subyacente, hecho que confirma la extensión de estos materiales, componiendo un sustrato que emerge como diapiro y que se situa al norte de Vva. del Trabuco o en pequeños islotes, ordenados linealmente, hasta llegar al Alto de la Breña.

La fuerte incidencia de la falla destral, descrita por Saenz de Galdeano (1983) y las otras subplacas (Bética), marcan aquí las surgencias de aguas cloruradas, mediante un mecanismo similar al de Fuente Camacho.

En el caso de la muestra de Garre y alrededores del pueblo, la alta salinidad de las aguas, incrementa su potencial iónico y con él, el poder de disolución de yeso, aumentando su concentración en algunas muestras, superando incluso el producto de solubilidad del sulfato cálcico en el agua pura. (A-103 y A-104)

MUESTRA	COMPOSICION QUIMICA		APTITUD PARA EL RIEGO	
	SCHOLLER (1955)	SHCHUKAREV (1934)	I. SCOTT	RESTRICCIONES DE USO FAO (1987)
<b>A-100</b>	Clorurada normal Oligosulfatada Bicarbonatada normal 642-4f	Sulfatada cálcica	K=31 BUENA	Riesgo de salinización: Moderada Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-101</b>	Clorurada normal Oligosulfatada Bicarbonatada normal 642-4f	Sulfatada cálcica	K=18 BUENA	Riesgo de salinización: Moderada Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-102</b>	Clorurada normal Oligosulfatada Bicarbonatada normal 632-4f	Sulfatada cálcica	K=60 BUENA	Riesgo de salinización: Moderada Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-103</b>	Clorotalasico Sulfatada Bicarbonatada normal 222-1b	Clorurada sódica	K=0.2 MALA	Riesgo de salinización: Importante Riesgo de sodificación: Importante
<b>A-104</b>	Clorurada media Sulfatada Bicarbonatada normal 322-1b	Clorurada sódica	K=0.9 MALA	Riesgo de salinización: Importante Riesgo de sodificación: Importante
<b>A-105</b>	Clorurada normal Sulfatada normal Bicarbonatada normal 642-5f	Bicarbonatada cálcica	K=15 TOLERABLE	Riesgo de salinización: Ligera Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-106</b>	Clorurada normal Sulfatada Bicarbonatada normal 642-4f	Sulfatada cálcica	K=50 BUENA	Riesgo de salinización: Moderada Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-107</b>	Clorurada normal Sulfatada normal Hipobicarbonatada 643-4f	Sulfatada cálcica	K=23 BUENA	Riesgo de salinización: Moderada Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-108</b>	Clorurada normal Oligosulfatada Bicarbonatada normal 632-4e	Sulfatada cálcica	K=10 TOLERABLE	Riesgo de salinización: Moderada Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-109</b>	Clorurada normal Sulfatada normal Hipobicarbonatada 643-4f	Sulfatada cálcica	K=51 BUENA	Riesgo de salinización: Ligera Riesgo de sodificación: Ninguna
<b>A-110</b>	Clorurada normal Sulfatada normal Bicarbonatada normal 642-6f	Bicarbonatada cálcica	K=70 BUENA	Riesgo de salinización: Moderada Riesgo de sodificación: Ninguna

**Tabla IV.65.- Clasificación de las aguas para consumo humano y aptitud para riego Vva. del Trabuco**

El contenido salino, como se ha señalado, está dominado por el cloruro sódico, en algunas muestras, y en otros casos el uso práctico viene matizado por la relación  $\text{HCO}_3^- / \text{SO}_4^{=}$  menor de 0.5 . En la tabla IV.65. se clasifican las aguas mayoritariamente como sulfatadas cálcicas y las que mencionamos: A-103 y A-104, como cloruradas sódicas, siendo el resto bicarbonatadas. El contenido en sales e indirectamente la dureza y CE, centra la aptitud para riego, que a pesar de los sulfatos, es buena o tolerable, salvo en caso de las cloruradas que no tienen interés práctico alguno.

#### **IV.I.4. RESUMEN.**

El conjunto de la Vega de Archidona y las zonas aledañas desarrollan un sistema hídrico compuesto por diferentes acuíferos, subterráneos o emergentes, que se explotan artificialmente mediante bombeos (pozos) o afloran directamente (manantiales). La entidad y naturaleza de las aguas definen el uso que se les puede dar, que en la zona estudiada está frecuentemente limitado por la diferente mineralización de las aguas.

La puesta en riego de muchos suelos acentúan en la zona del Trías la demanda hídrica, explotándose en la actualidad el acuífero cuyo nivel piezométrico se sitúa a una profundidad media de 30 m, abandonándose el usado anteriormente que estaba situado a unos 10 m.

El problema en la zona no radica en la falta de agua si no en su calidad, bien porque el Trías de Antequera aflora o bien porque constituye un zócalo por materiales más modernos que han cabalgado sobre él y afectan al nivel piezométrico, marcando las aguas con la incorporación de sulfatos, de forma que se incrementa el residuo seco, la dureza, la conductividad y en general todos los parámetros que delimitan el uso para consumo humano y agrícola. La facies presentan una secuencia en abanico que va desde aguas sulfatadas a oligosulfatadas o sulfatadas cloruradas que pasan en situaciones extremas a cloruradas.

La contaminación por sulfatos no sólo afecta a los acuíferos subterráneos, si no que repercute por igual en todo el territorio triásico, ligándose al complejo sistema exo-endokárstico, de forma que las aguas que se adsorben en superficie y percolan a través del conjunto triásico emergen dando aguas selenitosas.

Las aguas más cloruradas están íntimamente relacionada con la tectónica que hace aflorar la salmuera, desde las zonas más profundas siguiendo las líneas de falla, como se ha descrito en Fuente Camacho y los alrededores de Villanueva del Trabuco.

En las zona del Trías las aguas tienen una relación entre alcalinotérreos variada y las facies se pueden validar en función de que la relación  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$ , que cuando es mayor de 0.7, comienza a marcar las aguas como magnésicas y empiezan a aparecer signos organolépticos diferentes (sabor amargo y salino), junto con manifestaciones farmacológicas (Sal de Epson), e incide en el estado del complejo de cambio de los suelos. El efecto farmacológico es muy de tener en cuenta, sobre todo por el poder laxante, dado que muchas de esta agua afloran en zonas muy transitadas por los excursionistas (arroyo Marín, Reserva de Las Lagunas, nacimiento de río Frío, etc).

La estructura hidráulica y la naturaleza de los sistemas montañosos (Sierra Gorda, sierra de Archidona, etc.), son una gran reserva hídrica y constituye la base del consumo de agua por los habitantes de la zona. A pesar de ello conviene reseñar que la morfología kárstica de estos sistemas marca las aguas como bicarbonatadas y su uso va a depender de la intensidad: Hipobicarbonatada, bicarbonatada normal o hiperbicarbonatada, dependiendo del recorrido kárstico de las aguas. Con el  $Mg^{2+}$ , sucede lo mismo que en los terrenos triásicos, dependiendo su intensidad de la relación caliza-dolomía en la zona de percolación de las agua.

En general podemos resumir que la presencia de sulfatos, en cualquier situación, hay que atribuirla a los yesos del Trías. La relación  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$ , debe ser tenida en cuenta para datar la calidad del agua, y se puede añadir, finalmente, que el sodio conecta casi en exclusividad con los iones cloruro, mientras que el potasio puede superar los niveles guía, y procede de los riegos en tierras de labor.

Los contenidos en nitratos y materia orgánica son con cierta frecuencia superiores a los niveles máximos permitidos según R.D. 1138/1990 de 14 de septiembre. La materia orgánica no suele presentar problemas directos dadas las características organolépticas tan negativas que su presencia condiciona. En el caso de los nitratos el problema es más complejo y peligroso y en el R.D. 261/1996, se recoge la nueva normativa legal, que tiende a paliar el efecto nocivo de los nitratos en agua debidos a un exceso de abono en

las tierras de labor. Hay que añadir la importancia de los problemas farmacológicos que estas sales pueden provocar: cianosis y procesos cancerígenos.

Los análisis puntuales de las aguas de los dos ríos que circulan por el territorio, denuncian las distintas litologías por donde transcurren ambos y los arroyos que a ellos tributan. Así, hay un momento en que las aguas del arroyo Las Mozas-río Frío se tornan salobres al recibir aportes del arroyo que transita por terrenos de Trías; también en el río Guadalhorce las aguas en su primer tramo son bicarbonatadas y pasan a sulfatadas cuando atraviesan la zona del Trías; a la altura del Rincón, hay un momento que se hace ligeramente clorurada por recibir agua del manantial de La Higuera para a continuación tornarse nuevamente sulfatada, facies que mantiene hasta su llegada al límite de la Hoja.

## **IV.II EDAFOLOGIA.**

### **IV.II.1. PRINCIPIOS BÁSICOS DEL SISTEMA BRSM.**

Los principios básicos generales de la BRSM (1998), se cimentan en una serie de propiedades definidas en términos de horizontes de diagnóstico y características diagnóstico, tomadas en relación con los procesos genéticos, teniendo en cuenta que estos criterios no son prioritarios y deben intentar relacionar los caracteres de diagnóstico más importantes, de manera que sea posible su acomodación a otros sistemas taxonómicos. Comprende dos categorías:

1. Referencia Base, que tiene treinta grupos de suelos .
2. Sistema de clasificación BRSM, consistente en la combinación de prefijos clasificadores añadidos al grupo de referencia, de manera que se identifiquen de forma precisa los pediones.

Los niveles de referencia inferiores se establecen según criterios catalogados como secundarios: otros horizontes de diagnóstico, propiedad y materiales de diagnóstico, teniendo en cuenta la diversificación en subunidades. En la definición de los niveles inferiores se evitan solapamientos y se mantiene el orden excluyente de referencia según clave. No incluyen información relacionada con el clima, vegetación , pendiente o erosión.

Para la definición de unidades taxonómicas tendremos en cuenta los tres volúmenes presentados en el XVI congreso Mundial del Suelo celebrado en Montpellier (Francia, 1998):

- Base de Referencia Mundial para los recursos del suelo. Introducción (1998).
- Base de Referencia Mundial para los recursos del suelo. Atlas. (1998)
- Base de Referencia Mundial para los recursos del suelo. (1998)

En casos concretos, no bien definidos, recurrimos a la leyenda del Mapa de Suelos del Mundo de FAO (1988) utilizando definiciones, características de suelo que clasificamos, facies, etc. Algunas subunidades se pueden acompañar de un calificativo, entre paréntesis, que resalta algún rasgo significativo dentro del proceso genético general de los perfiles centrales.

Con el fin de no complicar la leyenda del mapa de suelos sólo utilizaremos el primer término de la serie de los vocablos propuestos en cada uno de los treinta grupos, y a nivel de comentario genético incluiremos otros rasgos importantes entre paréntesis.

#### **IV.II. UNIDADES MORFOLOGICAS: TAXONOMÍA Y ANALITICA.**

Los perfiles correspondientes a los suelos analizados en el ámbito de Archidona se recogen en el Anexo I y las asociaciones que compone las unidades cartográficas representadas en el mapa de suelos (Fig III.11.), se incluyen en el Anexo II.

#### **IV.II.3. ASPECTOS GENÉTICOS.**

En el esquema de la figura IV.13 se hace el comentario general sobre los procesos edafogenéticos en el área de Archidona, relacionándolos con las distintas unidades litológicas:

##### **1.- Karst triásico.**

Los suelos del sector del Trías son esencialmente regosólicos: calcáricos, litocromos, (7.5YR) y desarrollan sobre los materiales villafranquienses cuando se conserva la cubierta cuaternaria. Si ha desaparecido los suelos son fundamentalmente gipsíferos.

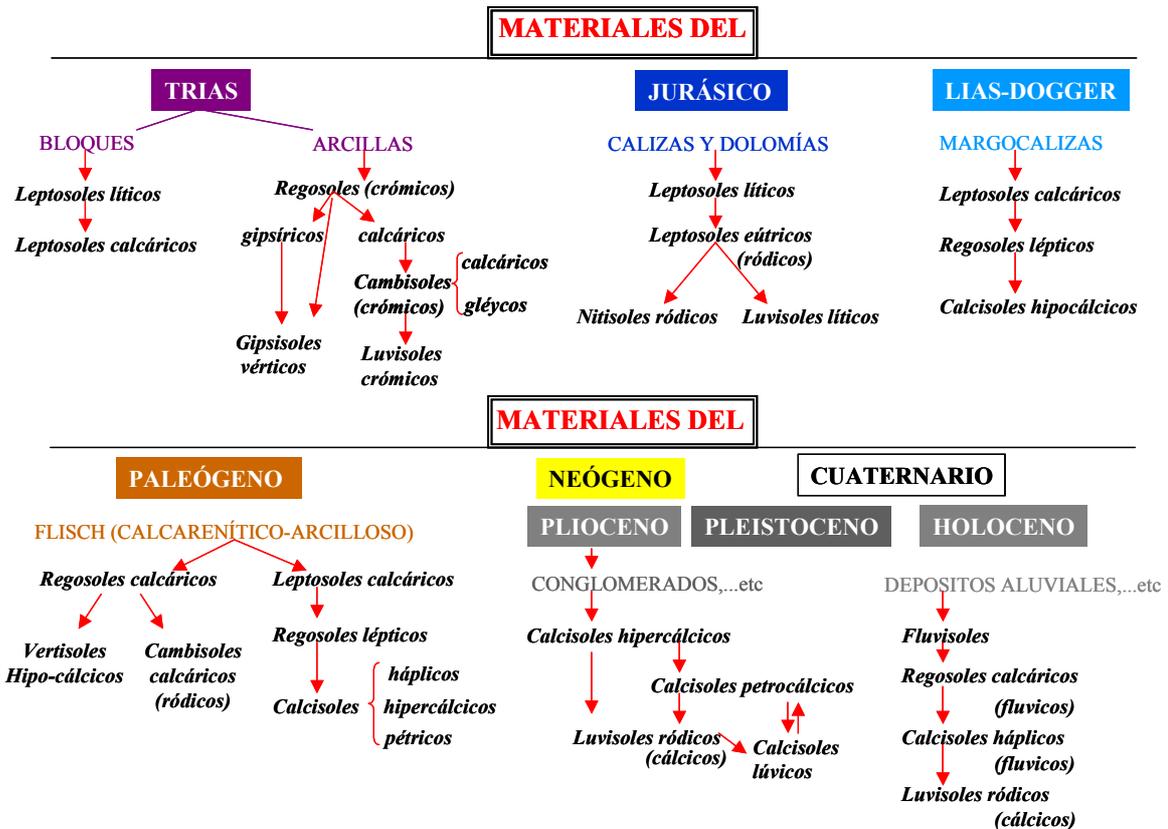


Fig IV. 13.- Procesos edafogénicos del área de Archidona

El perfil central más evolucionado corresponde a un Cambisol y se diferencian dos unidades: calcárica y gléyca, que tienen ciertas diferencias en el horizonte cámbico, siendo menos desarrollado en el primer caso. Se definen mediante cambios estructurales y de color (CHROMA al menos una unidad superior respecto del epipedión y suelen mantener el VALUE).

Los contrastes en el horizonte Bw son más patentes en las dolinas (Roca et al., 2000), donde los materiales que colmatan la cavidad kárstica son poco permeables, hecho que facilita ciertos procesos hidromórficos y el desarrollo de unidades gléycas (calcárico-crómicas); también los cambios enunciados son más nítidos que en la otra unidad, hecho comprobado a nivel de campo y en el análisis micromorfológico (P. 1024-1, 6, 10 y 17).

El epipedión ócrico tiene estructura granular y descansa, mediante un límite neto y plano, sobre el horizonte cámbico más estructurado (bloques subángulares a angulares), con textura franca o más fina, que en las situaciones más extremas llega a arcillosa. Los suelos son calcáricos o hipercalcáricos en todo el perfil.

El pH es básico y el complejo de cambio está saturado en bases, donde el calcio es el ión dominante seguido de magnesio y en algunas situaciones es importante la presencia de sodio. (1024-1), en cuyo caso se eleva la conductividad hasta valores superiores a tres; en las demás situaciones el valor medio se sitúa alrededor de los 2 dSm<sup>-1</sup> cuando hay yesos y si no por debajo de la unidad.

En profundidad los suelos ubicados en las dolinas muestran signos de hidromorfía, en forma de manchas ocreas o decoloradas y a veces oscuras, acompañadas de nódulos de manganeso. Suele existir un horizonte 2C más arcilloso, que es el responsable del mencionado problema hidromórfico.

La evolución está poco afectada por la vegetación y en general la edafogénesis se puede considerar como un proceso monocíclico, marcado por la doble dinámica de alteración hidrolítica y de oxidación (Bw y Bwg o Cg). El epipedión ócrico es en todos los casos pobre en materia orgánica y los subhorizontes toman tintes pardo rojizos que se hacen más llamativo en el horizonte Bw, como ya se ha señalado, debido a la liberación de hierro y el descenso del contenido en materia orgánica.

En la tabla IV.66. se incluyen los contenidos entre Si<sub>t</sub>, Al<sub>t</sub>, Fe<sub>t</sub> y Mn<sub>t</sub>, más las formas extraídas con oxalato (ox) y citrato-ditionito (cd), y se correlacionan entre sí las distintas fracciones, como elementos básicos que definen el proceso de empardecimiento o del grado de enrojecimiento.

La ferruginación es muy suave, según se deduce del bajo contenido en hierro libre de los suelos analizados. Las formas cristalinas (Fe<sub>cd</sub>-Fe<sub>ox</sub>), son escasas y ello podría explicar los pequeños contrastes cromáticos. El hierro está muy ligado a los minerales

de la arcilla: illita y clorita (si está presente), marcando con su alteración la mayor concentración de hierro libre y cristalino observada en los horizontes profundos. El porcentaje de hierro activo ( $Fe_{ox}$ ) suele ser bajo, ya que la materia orgánica está sometida a un fuerte proceso de mineralización, pero es mayor en los epipediones.

La presencia de manganeso total y cristalino se ve incrementada en los horizontes con hidromorfia y su dinámica debe ajustarse al estado hídrico y propiedades fisicoquímicas del suelo (pH/Eh).

Runge et al. (1960), analizaron el comportamiento del manganeso en los suelos y lo asimilaron al del hierro. Jiménez Ballesta et al. (1985), efectúan técnicas de análisis multivariante frente al hierro y dicen que se acumula, especialmente, en la fracción arcilla y añaden, respecto al manganeso, que decrece cuando la intensidad del lixiviado aumenta, merced a un buen drenaje de los suelos, y concluyen que, en todo caso, su papel es mucho menos relevante que el del hierro. En la tabla IV.66. podemos ver que la relación entre  $Mn_{cd}/Mn_{ox}$  es prácticamente 1 en los epipediones, de forma que el manganeso se acompleja casi exclusivamente con la materia orgánica. La fracción de manganeso extraída con ditionito aumenta en profundidad considerablemente, respecto a la extraída con oxalato, hecho que determina su concentración en forma cristalina trivalente, que puede retornar fácilmente al estado bivalente según las características del medio Duchaufour (1987).

El manganeso total se incrementa en el epipedión respecto del subhorizonte contiguo, efecto que puede justificarse por aportes biogeoquímicos, tal como describe Duchaufour (1987), y evoluciona rápidamente, por oxidación, a formas tri o tetravalentes. En los horizontes inferiores está asociado con fases hidromórficas, reductoras, que alterna con otras oxidativas, de forma que precipita el hierro dando manchas ocreas o grisáceas, y el manganeso lo hace desarrollando concreciones, más o menos difusas, de color negro.

Perfil/Hor.	CONTENIDO EN HIERRO (%)			CONTENIDO EN MANGANESO(%)			CONTENIDO EN ALUMINIO(%)			CONTENIDO EN SILICE(%)		
	Fe <sub>t</sub>	Fe <sub>cd</sub>	Fe <sub>ox</sub>	Mn <sub>t</sub>	Mn <sub>cd</sub>	Mn <sub>ox</sub>	Al <sub>t</sub>	Al <sub>cd</sub>	Al <sub>ox</sub>	Si <sub>t</sub>	Si <sub>(cd)</sub>	Si <sub>ox</sub>
<b>1024-1</b>												
Au	2.09	0.97	0.07	0.28	0.05	0.05	7.16	0.15	0.05	27.16	0.08	0.02
Bgy	2.49	1.20	0.06	0.20	0.09	0.03	8.22	0.19	0.05	29.12	0.09	0.01
2Cg	2.06	1.80	0.06	0.22	0.10	0.04	8.25	0.19	0.08	29.12	0.10	0.01
<b>1024-6</b>												
Au	3.66	1.99	0.08	0.14	0.06	0.05	8.15	0.13	0.08	32.10	0.07	0.01
Bw	3.53	2.11	0.6	0.07	0.06	0.02	9.16	0.18	0.09	30.22	0.07	0.03
C	3.92	2.34	0.6	0.07	0.05	0.02	9.24	0.15	0.06	29.41	0.08	0.01
<b>1024-10</b>												
Au1	2.78	1.70	0.05	0.24	0.06	0.06	9.16	0.10	0.06	33.22	0.08	0.02
Au2	2.59	2.05	0.06	0.10	0.06	0.04	8.72	0.09	0.06	30.15	0.08	0.02
Bwg	3.25	2.25	0.05	0.19	0.10	0.05	8.75	0.19	0.09	31.42	0.10	0.03
<b>1024-17</b>												
Au	2.70	0.77	0.05	0.25	0.6	0.06	7.92	0.11	0.03	28.17	0.05	0.04
Bg1	2.27	0.94	0.04	0.19	0.6	0.03	7.45	0.14	0.04	28.13	0.06	0.05
Bg2	3.75	1.09	0.03	0.21	0.9	0.03	8.05	0.16	0.05	27.16	0.07	0.05
2Cg	3.95	1.77	0.03	0.21	0.11	0.04	7.63	0.15	0.04	28.47	0.07	0.04
	Fe <sub>t-cd</sub>	Fe <sub>cd-ox</sub>	Fe <sub>t-ox</sub>	Mn <sub>t-cd</sub>	Mn <sub>cd-ox</sub>	Mn <sub>t-ox</sub>	Al <sub>t-cd</sub>	Al <sub>cd-ox</sub>	Al <sub>t-ox</sub>	Si <sub>t-cd</sub>	Si <sub>cd-ox</sub>	Si <sub>t-ox</sub>
<b>1024-1</b>												
Au	1.12	0.8	2.02	0.23	0.00	0.23	7.10	0.10	8.11	27.08	0.06	27.14
Bgy	1.29	1.04	2.43	0.03	0.06	0.11	8.03	0.14	8.17	29.03	0.08	29.11
2Cg	1.26	1.84	2.00	0.03	0.06	0.12	8.06	0.11	8.13	29.02	0.09	29.11
<b>1024-6</b>												
Au	1.67	1.91	3.58	0.08	0.01	0.09	8.02	0.05	8.07	32.03	0.06	32.09
Bw	1.42	2.05	3.47	0.01	0.04	0.1	9.98	0.09	7.07	30.15	0.04	30.19
C	1.58	2.28	3.86	0.01	0.02	0.2	9.09	0.09	7.18	29.30	0.07	29.40
<b>1024-10</b>												
Au1	1.12	0.8	2.43	0.18	0.02	0.18	7.10	0.10	9.10	27.08	0.06	33.20
Au2	1.29	1.04	2.53	0.03	0.02	0.04	7.03	0.14	8.66	29.03	0.08	30.13
Bwg	1.26	1.84	3.20	0.03	0.05	0.09	7.06	0.11	8.66	29.02	0.09	31.39
<b>1024-17</b>												
Au	1.33	0.62	2.02	0.19	0.00	0.14	7.81	0.08	7.89	28.12	0.01	28.13
Bg1	1.33	0.90	2.23	0.14	0.03	0.13	7.31	0.10	7.31	28.07	0.01	28.08
Bg2	2.66	1.06	3.72	0.10	0.04	0.12	7.89	0.11	7.89	27.09	0.02	27.11
2Cg	2.18	1.74	.92	0.11	0.04	0.10	7.48	0.11	7.48	28.40	0.03	28.43

**Tabla IV.66. Porcentajes en hierro, manganeso, aluminio y sílice de la tierra fina y sus relaciones en Los Hoyos-F. Camacho**

Las formas tetravalentes ( $MnO_2$ ) componen el estadio de máxima oxidación y permiten su acumulación de forma más estable, llegando a formar pequeños perdigones de color negro, sin descartar que sean heredados del material original (Martínez et al., 1996).

El aluminio se sitúa en las capas de los filosilicatos y por tanto el porcentaje total libre se relaciona con la mineralogía de las arcillas (Tabla IV.66.). No hay significación en cuanto al contenido de estos óxidos libres, de acuerdo con los porcentajes de aluminio en sus distintas formas.

La sílice sigue un camino cuantitativo paralelo al del aluminio y en casi su totalidad se relaciona con filosilicatos. El contenido en cuarzo es muy bajo, y puede no aparecer en algunos suelos. (Tabla IV.67.)

Perfil/ Horizonte	MINERALES DE LAS ARCILLAS					
	Illita	Caolinita	Clorita	Intrest.	Cuarzo	Halita
<b>1024-1</b>						
A	72	10	7	3	2	6
Cy	74	3	3	1	0	6
2Cy	87	0	3	0	0	10
<b>1024-6</b>						
Ap1	82	7	2	4	2	3
Ap 2	78	9	3	3	3	4
2C	63	11	8	10	2	6
3C	48	16	8	19	4	5
<b>1024-10</b>						
Au1	78	11	4	6	1	0
Au2	73	13	4	5	3	2
Bwg	70	11	3	12	2	2
Cg	87	6	2	2	1	2
<b>1024-17</b>						
Au	48	26	6	0	0	20
Cg 1	48	27	4	0	0	21
Cg 2	54	23	6	0	0	17
2Cg	68	8	3	0	0	21

**Tabla IV.67.-Mineralogía de las arcillas de los suelos del Trías de Antequera.**

La poca agresividad medioambiental y las condiciones desfavorables del medio limitan el ataque hidrolítico y justifica que la mayoría de los minerales silicatados sean

heredados (illita y caolinita); las transformaciones son poco importantes, traduciéndose en series interestratificadas de illita a vermiculita o clorita. La cantidad de clorita es pequeña en los suelos de las dolinas y bien podría ser heredada (Roca et al , 2000).

Si seguimos el esquema de la figura IV.13, vemos que hay zonas edáficamente más evolucionadas, presentando Luvisoles crómicos, no estudiados por su escasa representación geográfica, pero que mencionamos por ser la manifestación última de la cadena edafogenética.

Cuando afloran los bloques pétreos triásicos (carniolas, calizas, dolomías, etc.), los suelos pertenecen al grupo de los Leptosoles. La depresión de Fuente Fresno, donde drenan las aguas sulfatadas, procedentes del subsector Los Hoyos-Fuente Camacho, provocan cambios en la dinámica edafogenética desarrollando Vertisoles hipocálcicos y gleycos o Gipsisoles ázricos, donde el horizonte Y se relaciona con la presencia de un manto freático enriquecido en sulfato cálcico, sin descartar la presencia de sulfato magnésico, de acuerdo con los estudios hidroquímicos.

La presencia de la capa freática, dentro de los 100 cm superficiales, y el grado de circulación del agua subterránea, hacen que no se clasifiquen como Gleysoles. La naturaleza sulfatada de las aguas procedentes del acuífero Los Hoyos-Fuente Camacho, componen un manto freático que conduce al proceso de gipsificación, desarrollado según el esquema siguiente. (Fig IV.14)

Los cristales de yeso son autigénicos, presentan forma lenticular con clara tendencia a rellenar huecos, como se ve en el estudio micromorfológico (Perfil 1024-11). También se observan en lámina delgada clastos de rocas carbonáticas, algunos nódulos micríticos, signos de hidromorfía y concreciones ferruginosas muy estables.

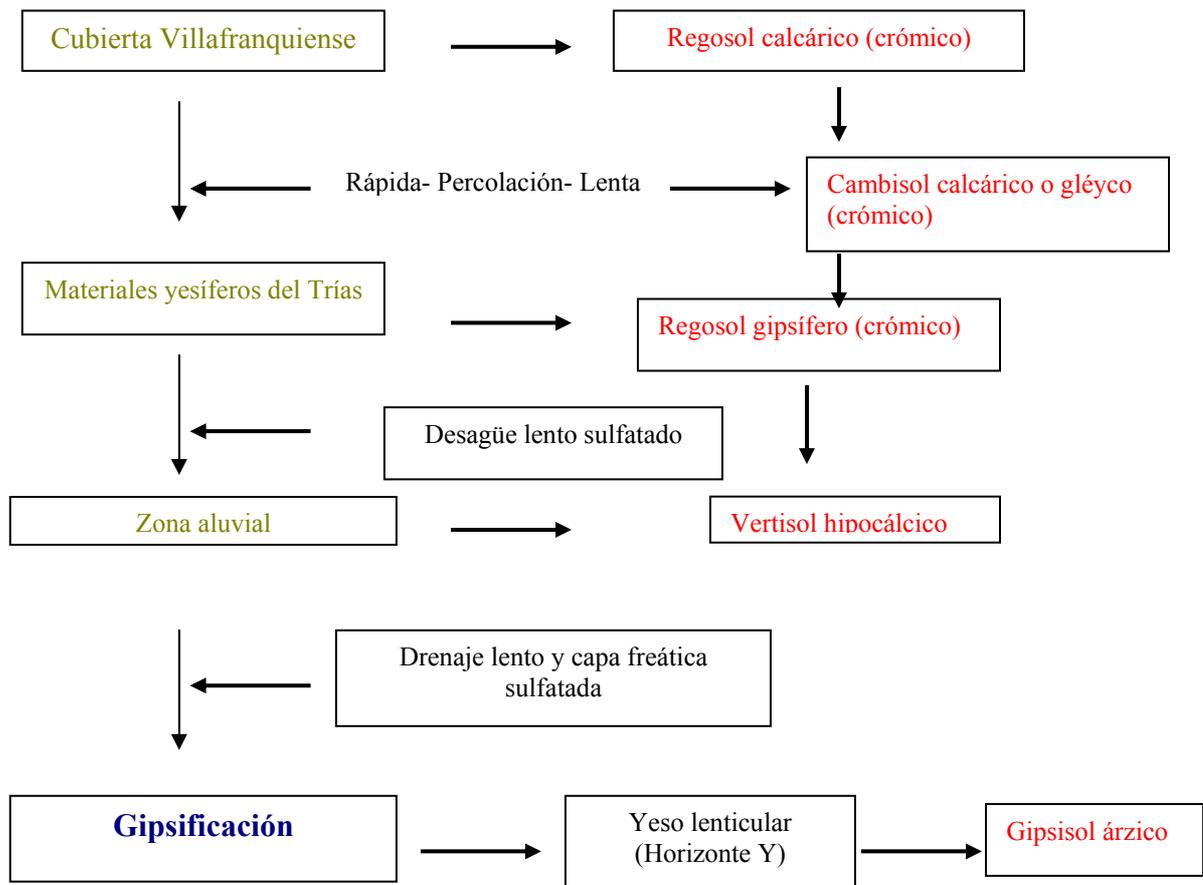


Fig IV.14.- Evolución de los suelos en el Trías de Antequera.

## 2.- Karst calizo.

La génesis de los suelos del sector hay que entenderla en las condiciones concretas de Sierra Gorda, pasadas y presentes, siendo menos expresiva en las sierras de San Jorge y Gibalto, Archidona, etc., donde el clima es xérico y los suelos mayoritariamente esqueléticos, con matriz rubefactada.

El imponente karst de Sierra Gorda está tallado sobre calizas muy puras, de color blanco y edad jurásica, enfrentadas a un clima más húmedo que el de las tierras vecinas y muy contrastado, como se vio en el capítulo III (Clima). La región kárstica continua activa, provocando y manteniendo una reserva hídrica importante que da significado

hidroquímico a la formación, como se ha señalado, aportando aguas bicarbonatadas al conjunto de río Frío-arroyo de Las Mozas y marca la edafogénesis.

La plataforma somital está salpicada por numerosas dolinas, uvalas y algún polje, que actúan como verdaderas cuencas de adsorción hídrica y se colmatan de terra rossa (López Chicano, 2000). Están cubiertas de un pastizal con distinto grado de desarrollo.

Alias et al. (1963, 1972 y 1977) contribuyeron al reconocimiento de la terra rossa española, y en sus trabajos dicen que se trata de suelos muy antiguos, típicamente mediterráneos, que desarrollan sobre calizas liberando sesquióxidos y sílice. Anteriormente declaró Durán (1959), que sólo se debe emplear esta denominación en el caso de suelos rojos desarrollados en ambiente kárstico, de ahí que Cano et al.(1996) hablen de formaciones tipo terra rossa.

Se han abierto nueve calicatas en el karst de Sierra Gorda y finalmente se tomó una muestra del residuo mineral concentrado en la pequeña oquedad oradada en la caliza. La descripción macromorfológica de los mencionados perfiles y los análisis fundamentales se incluyen en el Anexo I.

	<b>CO</b>	<b>Arcillas</b>	<b>CIC</b>	<b>Agua útil</b>
<b>CO</b>	1.00			
<b>Arcillas</b>	-0.355*	1.00		
<b>CIC</b>	0.743**	-0.070	1.00	
<b>Agua útil</b>	0.765**	-0.390	0.692**	1.00

Grados de libertad (n-2) 5%=0.329\*\*; 1%=0.598\*\*

**Tabla IV.68. Matriz de correlación de Pearson con los valores de CO, arcilla, CIC y agua útil**

Referente a las propiedades físicas y químicas de los suelos cabe indicar que se trata de suelos rojos, con texturas finas y no calcáreos, salvo en los epipediones de ciertos perfiles donde pueden estar ligeramente carbonatados (máximo 4%).

El perfil central consta de un epipedión ócrico, texturalmente empobrecido en arcilla respecto de los subhorizontes y tienen límites graduales. Sólo en situaciones locales

puede haber ferriargilanes iluviales, muy finos y de poca extensión; en los demás casos se observa cierto barniz sobre las paredes de las unidades estructurales. La potencia del horizonte textural oscila entre unos pocos centímetros, suficientes para alcanzar el carácter diagnóstico, y varios metros, según el desarrollo de las dolinas.

Los suelos están moderadamente bien drenado (vertientes) o imperfectamente drenados (cavidades kársticas), tienen estructura granular media en superficie y pasa en profundidad a bloques angulares-prismáticos, guardando cierta relación con el grado de enrojecimiento de los horizontes (Rr), que aumenta con la profundidad y lo hace simultáneamente con los óxidos de hierro.

La consistencia de los horizontes Bt es dura en seco, volviéndose ligeramente plástica-ligeramente adherente cuando el suelo está húmedo. En ningún caso hay horizonte eluvial y sin embargo es frecuente la presencia de un horizonte AB.

La concentración en materia orgánica es elevada para estas latitudes (menos en el perfil Sierra Gorda-10, donde muy posiblemente el primitivo epipedión ha sido desmantelado). Mantiene una relación C/N algo superior a 10 que, de acuerdo con Alias et al. (1963), permite hablar de una humificación generadora del mull cálcico. También los suelos estudiados están saturados en la parte superior del perfil y es el ión calcio el dominante; hacia el interior los horizontes tienden a la neutralidad o son ligeramente ácidos y están parcialmente desaturados. La capacidad de cambio es moderada en los epipediones y decrece en los horizontes texturales.

La conductividad es siempre baja, igual que la capacidad de almacenar agua, (Tabla IV.68.). El contenido en macronutrientes, fósforo y potasio, es superior en los horizontes orgánicos, con valores que superan los mínimos dados por Wild (1992) para suelos agrícolas, descendiendo con la profundidad y lo hace significativamente el potasio.

En la figura IV.15 se ve cierta sincronización entre los parámetros: arcilla, CO, CIC y agua útil, pero el nivel de significación sólo es válido cuando se correlacionan los diferentes elementos del conjunto con CO; el comportamiento general es inverso para las arcillas y debe justificarse por la poca actividad de los componentes mineralógicos de la tierra fina, así como por la desigual alteración (se acentúa con la profundidad). Así, la fijación del agua útil por las partículas coloidales del suelo se correlacionan significativamente con la CIC, y ambos parámetros, a su vez, por el comportamiento coloidal de los componentes sólidos, que están muy afectados por la naturaleza de la materia orgánica y de la arcilla.

El conjunto de procesos que marcan el estado de los suelos se analiza en la figura IV.16. Los trabajos de Alias et al. (1977) y Cano et al. (1996), manifiestan el elevado contenido en carbonatos del material original y la existencia de un residuo no calcáreo e insoluble, próximo al 15%, rico en mica, que se acompaña, circunstancialmente, de cloritas, vermiculitas, montmorillonitas, feldespatos o plagioclasas.

### **Karstificación**

El proceso kárstico ha sido ya debatido y sólo cabe añadir dos puntualizaciones: 1) la desbasificación no afecta grandemente al complejo de cambio porque el material original garantiza el aporte de iones alcalinotérreos. 2) las posibles causas del enrojecimiento, que llevan a matices (HUE): 5YR-2.5YR-10R, y el índice de enrojecimiento gradual entre horizontes, queda de manifiesto por cambios de la relación VALUE/CHROMA. Este último proceso debe ser relativamente rápido tras la decarbonatación, ya que todos los huecos de las calizas están rellenos de un residuo arcilloso rubificado.

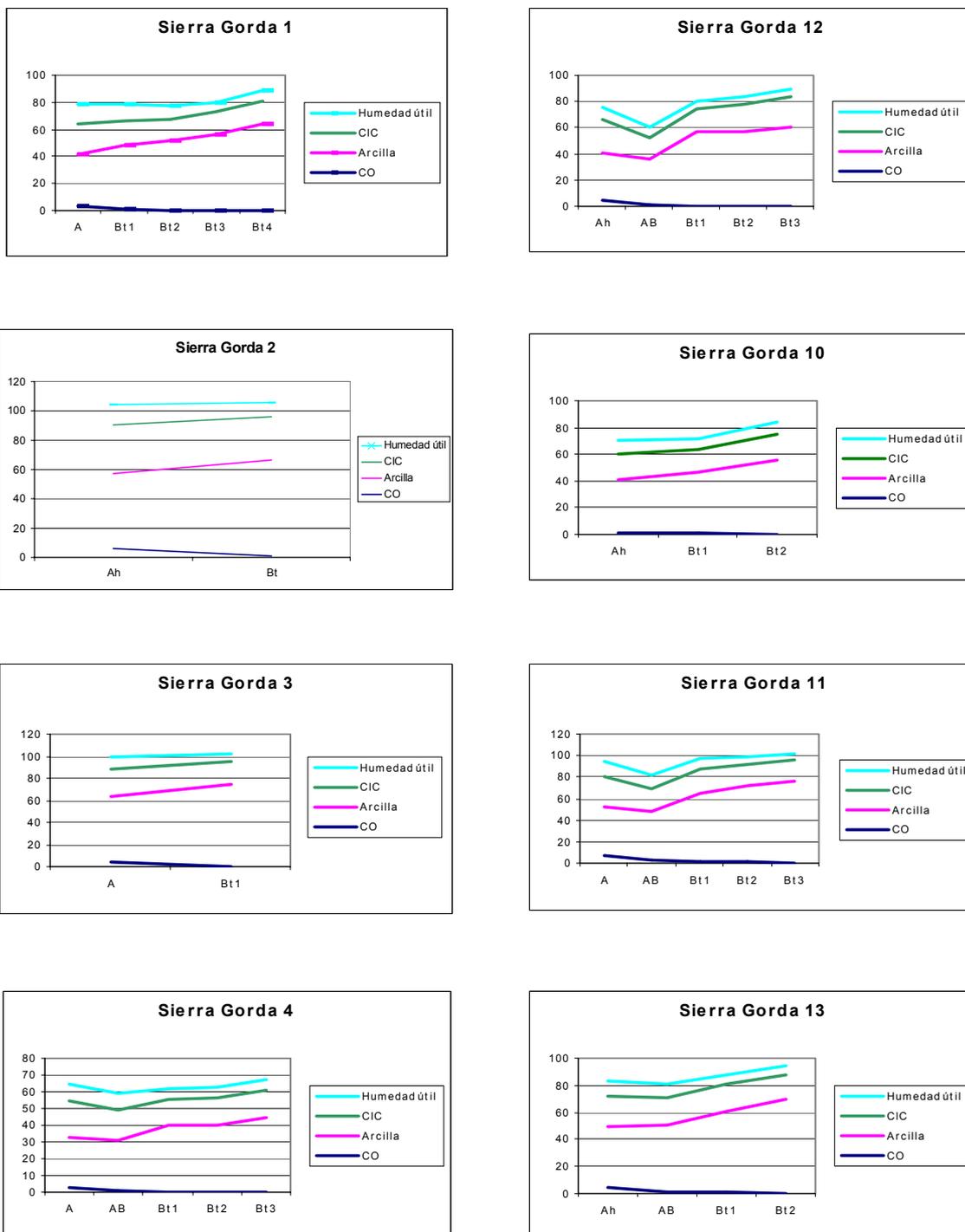


Fig IV.15.-Relación entre agua útil, CIC, arcilla y CO de los perfiles de Sierra Gorda

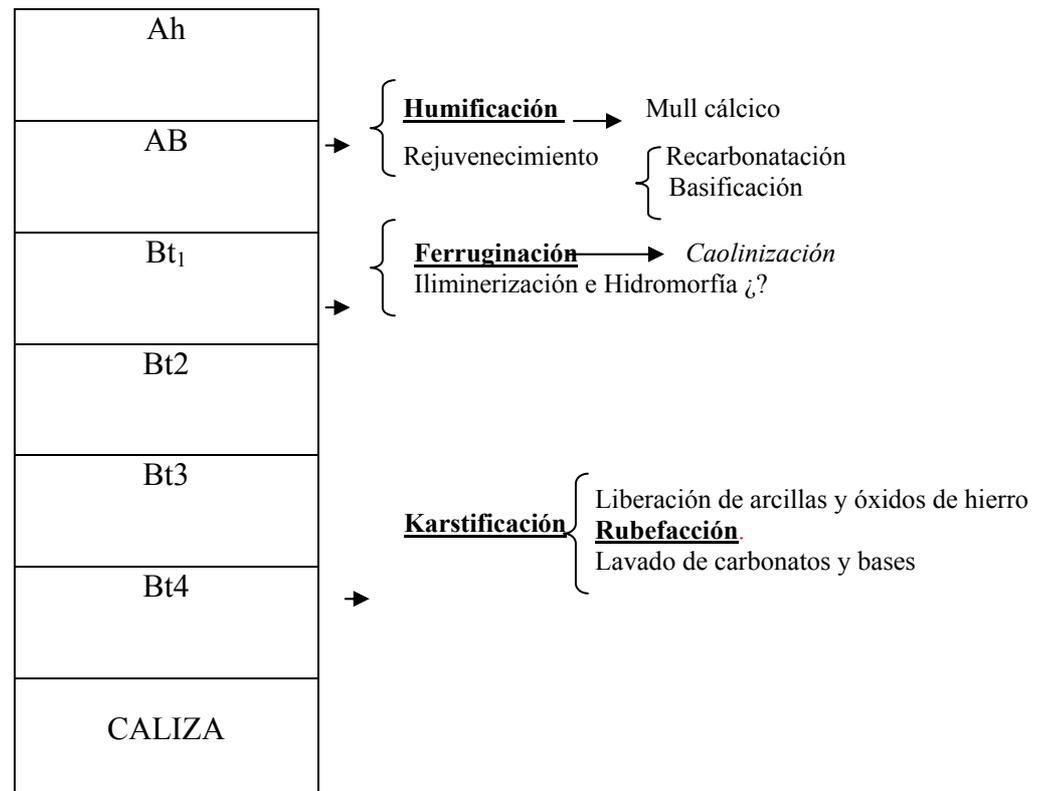
### **Rubefacción.**

La interpretación del color rojo ha sido y sigue siendo problemática. Basta analizar el trabajo de Guerra (1972), que describe el proceso en función de un clima alternante, con etapas húmedas importantes y fuerte sequía estival, conjugando la liberación del hierro, su estado y la decarbonatación de la caliza original.

La hipótesis mas generalizada correlaciona el enrojecimiento con las formas de hierro y el tamaño (Sierra et al, 1979; Torrent et al., 1980; Taboada et al., 1999; Ortiz, 2001, etc.), utilizando a veces para su definición ciertos índices de enrojecimiento (Hurst 1977; Torrent 1983; etc.) El matiz rojo es mayor en los horizontes próximos a la roca madre, por causa del empobrecimiento en materia orgánica frente al elevado porcentaje de los óxidos de hierro.

Besoain (1985) declara que la presencia de distintas formas de hierro es el resultado de una combinación hidroxí-oxidativa después de liberado el hierro. El camino seguido es doble: se acompleja con la materia orgánica (matizando el grado de enrojecimiento) o bien se acumula “in situ”, alrededor de las partículas finas y en las paredes de los pedos, formando así una película brillante característica no iluvial (cútanos de hierro y arcilla).

Sierra et al. (1979) y Guillet et al (1984) concluyeron que además de estos minerales es importante el grado de microdivisión y en estas condiciones el color rojo se debe tanto a la presencia de hematites como de goethita. Torrent et al. (1986) y Robert (1993), entre otros muchos autores, señalan las hematites como responsables últimos del matiz rojo, por su gran poder pigmentante. Colombo et al. (1991) añaden que las hematites son los óxidos de hierro que con mayor facilidad se fijan a las arcillas y a su vez son los responsables de la rubefacción



**Fig IV.16. Procesos edafogénicos en las tierras rojas de Sierra Gorda.**

Schwertmann et al. (1989) comprobaron que a pH próximo a la neutralidad el paso de goethita a hematite es rápido y analizan la doble cinética que conduce a la formación de las formas cristalinas, añadiendo que si bien la transformación a hematite es rápida el proceso inverso no es posible salvo neoformación.

El microclima en la meseta de Sierra Gorda favorece la fuerte liberación de hierro y el depósito sobre las unidades estructurales, hecho que nos confundió inicialmente y se trató como acumulación iluvial de arcilla-hierro, circunstancia desmentida tras el estudio microscópico en lámina delgada, con la excepción del suelo rojo de la ladera oriental de Sierra Gorda (Perfil 1024-32), en condiciones semiáridas y donde sí hay mayor iluviación. (Unidades cartográficas 8 y 9)

En el caso de las tierras rojas se trata de un ciclo prolongado en el tiempo, de ahí que Cano et al. (1996) hablen de paleogénesis. Para entender las pequeñas divergencias

existentes entre horizontes, hay que conjugar los factores formadores y de forma especial el binomio clima-tiempo

### **Ferruginación .**

Los suelos de la zona alta de Sierra Gorda tiene un rango de pH próximo a la neutralidad. El microclima es húmedo y muy contrastado, marcando la dinámica de las arcilla y de los oxi-hidróxidos de Fe, Al, y Si, (Fig IV.16), dominantes en el complejo de alteración. A ellos dedicaremos algunos comentarios, como responsables primarios de la ferruginación-caolinización y de la jerarquización de los procesos secundarios.

Los resultados de las extracciones selectivas para cada horizonte y del material de la oquedad kárstica, se recogen en la tabla IV.69 y se correlacionan entre sí (tabla IV.70.) Se observa la sílice libre ( $Si_{cd}$ ) es muy baja y se debe a que parte de ella, al ser liberada por colapsar las estructuras primarias de las arcillas, se arrastra con las aguas de escorrentía en cantidades que deben ser pequeñas, ya que no se ha detectado en las aguas de los manantiales que drenan por la base de Sierra Gorda.

Los excedentes no lixiviados se insolubilizan formando geles amorfos (polimerización de ácido monosilícico), formando complejos órgano-minerales, en pequeñas cantidades, o desarrollan minerales con distinto grado de cristalinidad, culminando con la neoformación de cuarzo, que se integra en las distintas fracciones texturales, o se une a los oxi-hidróxidos de aluminio para dar caolinita.

Douchaufour (1987) analiza este proceso y dice que esto es posible en medios que no estén bien drenados y añade que la formación del gel primitivo se favorece si el medio es poco ácido. El proceso de caolinización se analizará posteriormente de forma más detallada.

Los otros dos elementos, hierro y aluminio, son insolubles al pH de los suelos de Sierra Gorda y tienden a desarrollar formas que progresan del estado amorfo hasta el cristalino, dando goethita/hematite y bohemita/gibbsite, respectivamente. (Tabla IV.71.)

Hay autores como Schwertmann et al (1983), Besoain (1985) etc. que ligan el desarrollo de goethita o hematites a un precursor paracristalino (ferrihidrita), de color pardo rojizo, del que dicen es muy frecuente en los suelos, pero no lo hemos detectado en el análisis de Rayos-X. Añaden estos autores que la decantación hacia una u otra forma cristalina depende de la concentración férrica y especifican que el color rojo viene como resultado de la pérdida de agua del mencionado gel oxihidratado. Borggard (1982) relaciona la ferrihidrita con los complejos órgano minerales y en mucha menor proporción con las formas cristalinas, hecho que podría justificar su no detección en los diagramas de Rayos-X. (Tabla IV.71.)

El aluminio libre se integra fundamentalmente neoformando caolinita y puntualmente, bohemita/gibbsite, según los excedentes y las condiciones del medio (pH, lavado de sílice y régimen de temperatura favorable). A pesar de las analogías existentes entre hierro y aluminio conviene concretar ciertos aspectos que definen la neoformación de los minerales mencionados, sin descartar, como señala Besain (1985), la posible formación de cristales mixtos por sustituciones isomórficas entre hierro y aluminio, dependiendo de las concentraciones relativas. Segalen (1965) señala que la evolución del aluminio es posible en medios ligeramente ácidos y climas contrastados con períodos secos a temperaturas altas, tal como sucede en la meseta que corona el sistema de Sierra Gorda.

El hierro es el ión dominante en la trilogía elemental comentada. Su fuerte actividad geoquímica marca la intensidad del proceso ferruginación-rubefacción, Boero et al. (1989) dicen que puede ir acompañado de una leve fersialitización, que en nuestro caso está poco identificada.

Perfil/Horizonte	Arcilla (%)	C.O. (%)	CONTENIDO EN HIERRO			CONTENIDO EN ALUMINIO			CONTENIDO EN SILICE		
			Fe <sub>t</sub>	Fe <sub>cd</sub>	Fe <sub>ox</sub>	Al <sub>t</sub>	Al <sub>cd</sub>	Al <sub>ox</sub>	Si <sub>t</sub>	Si <sub>cd</sub>	Si <sub>ox</sub>
<b>S<sup>a</sup> Gorda 1</b>											
Ah	37.8	3.5	10.11	8.03	0.74	13.49	0.47	0.20	38.72	0.19	0.05
Bt1	50.2	0.6	10.75	8.52	0.44	12.72	0.40	0.16	46.71	0.19	0.05
Bt2	61.2	0.3	10.41	9.67	0.49	14.16	0.76	0.18	50.31	0.12	0.03
Bt3	63.4	0.3	10.77	8.32	0.45	15.20	0.80	0.19	55.29	0.15	0.02
Bt4	68.3	0.2	12.96	10.13	0.51	16.18	0.79	0.16	56.82	0.10	0.02
<b>S<sup>a</sup> Gorda 4</b>											
Ah	40	3.2	10.9	9.18	0.77	10.21	0.41	0.22	38.73	0.07	0.04
AB	40.1	1.6	11.7	9.01	0.54	10.72	0.43	0.19	37.6	0.07	0.02
Bt1	50.8	0.3	12.12	9.3	0.47	12.99	0.59	0.18	48.34	0.08	0.02
Bt2	60	0.2	10.65	8.72	0.45	12.82	0.60	0.19	48.44	0.09	0.02
Bt3	64	0.2	12.09	10.14	0.51	15.02	0.59	0.20	48.62	0.06	0.02
<b>S<sup>a</sup> Gorda 10</b>											
Au	50.2	1.3	10.71	7.63	0.70	13.17	0.43	0.20	37.34	0.06	0.04
AB	54.4	0.8	11.16	7.73	0.69	18.19	0.47	0.16	46.43	0.12	0.02
Bt2	68.7	0.5	12.34	9.66	0.69	24.22	0.52	0.15	50.32	0.10	0.02
<b>S<sup>a</sup> Gorda 11</b>											
Ah	45.2	6.7	10.61	9.79	0.68	18.25	0.49	0.26	42.91	0.15	0.06
AB	45.1	3.1	10.73	9.97	0.60	18.48	0.47	0.21	44.42	0.15	0.04
Bt1	69.4	1.1	13.21	12.26	0.61	20.32	0.59	0.19	59.31	0.09	0.03
Bt2	70.6	0.8	13.22	11.38	0.57	22.39	0.75	0.20	68.72	0.07	0.02
Bt3	75.6	0.2	13.33	12.13	0.61	22.47	0.80	0.18	70.79	0.07	0.02
<b>S<sup>a</sup> Gorda 12</b>											
Ah	46.1	5	12.99	12.07	0.72	10.15	0.45	0.25	34.82	0.11	0.05
AB	44.6	1.6	12.82	11.20	0.67	10.78	0.45	0.20	36.92	0.10	0.03
Bt1	66.2	0.2	13.42	12.86	0.64	12.71	0.49	0.18	40.37	0.04	0.02
Bt2	66.4	0.1	13.61	11.55	0.68	12.15	0.51	0.15	52.36	0.04	0.01
Bt3	66.1	0.1	14.11	12.01	0.61	16.10	0.59	0.17	55.42	0.14	0.01
<b>S<sup>a</sup> Gorda 13</b>											
A	45.0	4.2	15.25	12.71	0.89	18.09	0.42	0.24	43.52	0.09	0.05
AB	48.8	1.6	15.48	12.87	0.84	18.25	0.49	0.20	45.49	0.09	0.03
Bt1	71.9	1	15.79	13.94	0.80	20.92	0.51	0.19	56.35	0.11	0.02
Bt2	74.1	0.4	16.02	14.29	0.81	20.20	0.70	0.20	60.32	0.10	0.02
<b>Oquedad</b>	83.1	0.3	18.09	16.71	0.67	21.02	0.82	0.11	65.41	0.15	0.01

**Tabla IV.69. Porcentajes en hierro, manganeso, aluminio y sílice de la tierra fina y sus relaciones en los suelos de S. Gorda.**

Perfil/Horizonte	FORMAS DE HIERRO							
	Fe <sub>t</sub>	Fe <sub>cd-ox</sub> / Fe <sub>cd</sub>	Fe <sub>ox</sub> / Fe <sub>cd</sub>	Fe <sub>ox</sub> / Fe <sub>t</sub>	Fe <sub>cd</sub> / Fe <sub>t</sub>	Fe <sub>ox</sub> / CO	Fe <sub>cd-ox</sub> /Arcilla	Fe <sub>ox</sub> / Arcilla
<b>S<sup>a</sup> Gorda 1</b>								
Ah	7.29	0.91	0.09	0.07	0.79	0.21	0.19	0.019
Bt1	8.08	0.95	0.05	0.05	0.79	0.73	0.15	0.009
Bt2	9.18	0.95	0.05	0.05	0.93	1.63	0.15	0.008
Bt3	7.87	0.95	0.05	0.05	0.77	1.50	0.12	0.007
Bt4	9.64	0.95	0.05	0.05	0.78	2.56	0.14	0.007
<b>S<sup>a</sup> Gorda 4</b>								
Ah	8.41	0.92	0.08	0.07	0.79	0.24	0.21	0.019
AB	8.47	0.94	0.06	0.06	0.79	0.34	0.21	0.013
Bt1	8.83	0.95	0.05	0.05	0.77	1.57	0.17	0.009
Bt2	8.27	0.95	0.05	0.05	0.77	2.25	0.14	0.008
Bt3	9.67	0.95	0.05	0.05	0.78	2.55	0.15	0.009
<b>S<sup>a</sup> Gorda 10</b>								
Au	8.13	0.91	0.09	0.07	0.71	0.53	0.13	0.001
AB	8.60	0.92	0.09	0.06	0.69	0.86	0.13	0.001
Bt2	10.44	0.93	0.08	0.06	0.78	1.38	0.13	0.001
<b>S<sup>a</sup> Gorda 11</b>								
Ah	9.11	0.93	0.07	0.06	0.92	0.10	0.20	0.015
AB	9.55	0.94	0.06	0.06	0.93	0.19	0.21	0.013
Bt1	12	0.95	0.05	0.05	0.93	0.55	0.17	0.009
Bt2	11.13	0.95	0.05	0.05	0.86	0.71	0.15	0.008
Bt3	11.86	0.95	0.05	0.05	0.91	3.05	0.15	0.008
<b>S<sup>a</sup> Gorda 12</b>								
Ah	11.53	0.94	0.06	0.06	0.93	0.14	0.25	0.016
AB	10.8	0.94	0.05	0.05	0.87	0.42	0.21	0.015
Bt1	12.64	0.95	0.05	0.05	0.96	3.20	0.17	0.010
Bt2	11.27	0.95	0.05	0.05	0.85	6.80	0.15	0.010
Bt3	11.68	0.95	0.05	0.05	0.85	6.10	0.15	0.008
<b>S<sup>a</sup> Gorda 13</b>								
A	12.05	0.93	0.07	0.06	0.83	0.21	0.26	0.020
AB	12.37	0.93	0.06	0.05	0.83	0.55	0.25	0.007
Bt1	13.63	0.95	0.05	0.05	0.88	0.80	0.18	0.011
Bt2	13.9	0.95	0.05	0.05	0.89	2.02	0.18	0.011
<b>Oquedad</b>	15.49	0.99	0.04	0.04	0.87	2.33	0.19	0.008

**Tabla IV.70.- Formas de hierro en la tierra fina de los suelos de Sierra Gorda.**

Perfil/Hor.	MINERALES DE LAS ARCILLAS										
	Illita	Caolinita	Montm.	Vermiculita	Clorita	Intrest.	Cuarzo	Gibbsita	Bohemita	Hematites	Goethita
<b>S<sup>a</sup> Gorda 1</b>											
Ah	27	23	0	0	2	12	18	2	2	12	2
Bt1	26	23	0	0	5	12	19	2	2	9	2
Bt2	39	18	0	0	6	13	13	1	2	8	0
Bt3	39	17	0	0	7	9	15	3	0	9	1
Bt4	41	17	0	0	7	15	8	2	0	10	1
<b>S<sup>a</sup> Gorda 4</b>											
Ah	31	11	0	0	10	5	10	2	2	26	3
AB	32	11	0	0	12	6	12	2	2	21	2
Bt1	32	10	0	0	9	21	7	5	0	16	0
Bt2	27	9	0	0	7	23	9	5	0	20	0
Bt3	31	15	0	0	10	21	8	2	2	11	0
<b>S<sup>a</sup> Gorda 10</b>											
Au	32	19	2	7	5	4	12	2	3	14	0
AB	35	19	1	6	6	2	12	2	1	16	0
Bt2	24	16	4	12	6	6	13	1	2	13	3
<b>S<sup>a</sup> Gorda 11</b>											
Ah	39	11	5	4	9	3	11	1	0	15	2
AB	39	12	6	6	7	2	12	1	0	11	4
Bt1	37	13	0	5	10	6	8	3	2	12	4
Bt2	29	20	0	6	12	7	4	5	2	13	2
Bt3	28	20	0	6	12	10	4	5	3	10	2
<b>S<sup>a</sup> Gorda 12</b>											
Ah	41	18	1	0	6	4	14	2	2	7	1
AB	45	15	2	0	13	4	10	1	2	7	1
Bt1	41	21	3	0	12	6	4	2	4	7	0
Bt2	42	19	2	0	12	4	2	2	4	12	0
Bt3	41	21	3	0	14	3	7	0	5	12	0
<b>S<sup>a</sup> Gorda 13</b>											
A	40	21	0	0	10	5	7	2	4	11	0
AB	33	21	0	0	11	10	9	0	5	11	0
Bt1	41	16	0	0	10	10	7	3	2	11	0
Bt2	44	14	0	0	10	18	8	0	2	4	0

**Tabla IV.71.- Mineralogía de las arcillas de los suelos de Sierra Gorda.**

En la tabla IV.70., correlacionamos entre sí las distintas formas de hierro extraídas con los contenidos en CO y arcillas. El hierro liberado es en todos los casos muy alto y hay cierta irregularidad entre los horizontes, que pueden marcar distintas manifestaciones paleoclimáticas en el curso de la edafogénesis.

El hierro libre cristalino ( $Fe_{cd} - Fe_{ox}$ ) es la forma dominante y se acompaña en estos suelos, de forma muy minoritaria, de complejos activos amorfos ( $Fe_{ox}$ ) y del hierro ligado estructuralmente a los filosilicatos ( $Fe_t - Fe_{cd}$ ), componiendo las tres fracciones que integran el hierro total del suelo ( $Fe_t$ ).

El hierro liberado en la karstificación forma oxi-hidróxidos amorfos que se alinean con la materia orgánica ( $Fe_{ox}$ ), formando complejos órgano minerales muy importantes para la estabilidad estructural y la definición del tipo de humus (mull cálcico rico en ácidos húmicos y huminas de insolubilización ligadas al hierro). También afecta al grado de enrojecimiento (Rr) de los epipediones respecto de los subhorizontes texturales, de forma que impiden el desarrollo de un horizonte móllico. En la muestra de la oquedad kárstica alcanza el 0.67%, que puede considerarse un valor intermedio entre los máximos del perfil de Sierra Gorda-13 y los mínimos de Sierra Gorda-1, descartados los epipediones donde suele elevarse y adquieren el rango de horizonte ócrico.

Si analizamos la relación  $Fe_{ox}/CO$ , es menor en los horizontes inferiores y tiene mayor significación cuando se comparan con los epipediones y los horizontes árgicos.

La mayor parte del hierro libre está en estado cristalino y se acopla con las arcillas (cútanos de hierro y arcilla), dando una relación hierro cristalino/arcilla suficiente para frenar la iluviación, componiendo el horizonte nítico que lleva a clasificar los suelos como Nitisoles.

La relación entre el hierro cristalino ( $Fe_{cd} - Fe_{ox}$ ) y el hierro libre ( $Fe_{cd}$ ) es muy alta, alcanzando en la oquedad kárstica el 99%, y en los suelos oscila entre valores algo inferiores al 95% en los epipediones y ligeramente superiores al 95% en los

subhorizontes, hecho que ratifica la preponderancia de las formas cristalinas y por tanto su incidencia en la rubefacción. Además, la relación entre hierro activo ( $Fe_{ox}$ ), y las formas libres ( $Fe_{cd}$ ) o totales ( $Fe_t$ ), dan porcentajes comparativos muy bajos de  $Fe_{ox}$  y corroboran lo dicho respecto de las diferencias entre los horizontes superficiales y subsuperficiales, y es mínima entre los subhorizontes Bt.

La relación porcentual del  $Fe_{ox}$  con la arcilla es baja siendo a menudo inferior al 2%, y en algún horizonte no llega al 1%. Sin embargo, la relación Fe cristalino/arcilla sí es significativa, alcanzando valores medios del 18%, dato que pone de manifiesto la importante liberación ferruginosa, su estado cristalino y la integración en la fracción coloidal mineral.

Excepcionalmente el perfil 1024-30 (Sierra Gorda-12) , muestra en profundidad signos de hidromorfía, presumiblemente debidos a la obturación del embudo basal que actuaba como desagüe.

La intensidad edafogenética en la formación de Sierra Gorda y sus alrededores es diferente según la localización geográfica y el posicionamiento fisiográfico: zonas exokárstica y vertientes escarpadas marcan el dominio no excluyente de suelos con acumulación de hierro y arcilla neoformados “in situ” o producto de la iluviación respectivamente.(Fig. IV.16), que como en el caso del perfil 1024-28 (Sierra Gorda 10) se sitúan ligeramente por encima del (árgico, cutánico)

Los horizontes Bt están marcados por el proceso de ferruginación ya descrito y propios de los ambientes kársticos, pudiendo ir acompañado, irregularmente, de otros procesos colaterales e incipientes (ilimerización). Duchafour (1984), caracterizó tres fases de alteración edáfica en clima cálido, diciendo: “se diferencian por tener grado de alteración creciente de los minerales primarios, pérdida de sílice y por último, un predominio de los procesos de neoformación de arcillas a expensas de los elementos previamente solubilizados”.

Las tres fases que describe este autor en la génesis de suelos ferruginosos son: fersialitización y ferralitización (mínimos en la zona kárstica), y ferruginación (proceso fundamental en toda el área). Se puede interpretar el proceso como fases sucesivas y distintas de una misma alteración, que entendemos están sujetas a ciclos biotásicos-rexistásicos diferentes, relacionados con los factores estacionales de cada época.

Duchafour (1984) define la ferruginación de la forma siguiente: "Alteración intensa, aunque algunos minerales primarios pueden subsistir (moscovita, illita); desilicificación acusada; arcillas transformadas, de tipo 2/1, minoritarias en comparación con las arcillas neoformadas de tipo 1/1, caolinita; generalmente no se forma gibbsita libre, salvo en algunos tipos de transición; según los casos, los óxidos pueden estar rubificados o no; el grado de saturación en bases varía mucho según la humedad del clima y la importancia del periodo seco; los procesos de lavado son todavía activos aunque menos acusados que en los suelos fersialíticos".

La ilimerización fue ampliamente analizada por Aguilar et al. (1983, 1986), Dorronsoro et al. (1988), Roca et al. (1994), etc.. Aquí la intensidad del proceso está poco identificada, condicionado al drenaje y a la afinidad de las partículas de arcilla con los óxidos libres, tal como describe (Douchaufour, 1984).

La suspensión de arcilla férrica y su arrastre a través del suelo es un hecho comprobado siempre que la relación Fe entre Arcilla no sea muy elevada (Douchaufour, 1984). En nuestros suelos está limitado este proceso ya que la relación es alta (18%), hecho que no sucede en el perfil 1024-28 (Sierra Gorda-10), donde hay iluviación y el valor de la relación es aproximadamente la mitad que en los casos anteriores.

Resumiendo, en el residuo insoluble resultante de la karstificación se incorpora lo que Besoain (1985) denomina gel pardo, que por envejecimiento origina goethita o hematites, dependiendo de la temperatura y el pH. Cuando los valores térmicos son bajos y el pH alto se produce preferentemente goethita y en caso contrario, cuando el

pH es básico o ligeramente ácido, se formarían hematites, responsables últimos del enrojecimiento.

Segallen (1965) diseña también la evolución de los compuestos amorfos alumínicos en función del pH, de forma que este parámetro es el que controla la estructura del precipitado alumínico, dando bohemita o gibbsita.

### **Humificación y recarbonatación.**

Continuando con los aspectos genéticos expuestos en la figura IV.16, se contempla en la parte superior del perfil una ligera recarbonatación y elevación del pH. Estos hechos debe relacionarse con la posible contaminación eólica, porque aquí los vientos son muy fuertes, de tal envergadura que actualmente se ha creado un parque eólico.

El contenido en materia orgánica es alto y la humificación sigue la marcha marcada por el microclima húmedo y contrastado de la zona, frente a una vegetación mejorante (pastizal), tal como lo describen Sierra et al (2000), en un medio saturado en bases, de forma que se desarrolla un proceso isohúmico, caracterizado por valores altos en la relación ácidos húmicos/ácidos fúlvicos, y próximos a 10 en su relación C/N; estabilizados por las bases alcalinotérreas y por el hierro libre amorfo, generando importantes compuestos húmicos, donde destacan las huminas de insolubilización.

### **Caolinización.**

La roca aporta óxidos de hierro que culminan dando materiales amorfos más goethita y hematite, que se unen a los minerales laminares heredados (micas). Besoain (1985) señala que la existencia de moscovita en la roca y en el suelo es menos frecuente que lo usualmente es considerado y muchos de los minerales dados como moscovita corresponden a formas alteradas o estructuras interstratificadas de moscovita con otras especies, por ello en la tabla IV.71. partimos del conjunto micáceo considerados como illita.

La fracción arcilla extraída de la tierra fina en las formaciones de terra rossa, no muestran cambios significativos (cualitativos) entre horizontes, ni en los distintos perfiles. Dominan los filosilicatos micáceos (heredados) y la caolinita (neoformada). Le sigue en menor cuantía y con irregular distribución, series interestratificadas, cuarzo, goethita/hematite y gibbsita/bohemita.

Son muy esporádicos y discontinuos otros filosilicatos como montmorillonita, vermiculita y clorita, pero lo más significativo son sus interestratificados con la illita. Todos ellos, dice Alias et al (1977), proceden posiblemente de la degradación de las illitas en etapas evolutivas diferentes.

La transformación de moscovita en illita consiste, básicamente, en pérdida por difusión del ión potasio e inicio de la abertura de las capas, hecho conjugable con el nivel de potasio de cambio en la solución del suelo. A partir de aquí pueden penetrar por los bordes iones hidratados (magnesio y calcio o aluminio), dependiendo de su concentración en la fase acuosa. En la zona de estudio el aluminio marca la dinámica evolutiva desarrollando, preferentemente, los mencionados interestratificados micáceos con la montmorillonita, vermiculita y clorita, según el medio.

Como resumen sintetizamos el proceso general en la figura IV.17:

El proceso de caolinización es el mejor representado en el área de Sierra Gorda y se manifiesta con distinta intensidad en los suelos y en cada horizonte. Besoain (1985) describe el doble proceso de transformación y neoformación de distantes minerales micáceos con las siguientes etapas: lavado de iones alcalinotérreos, silicatación y exceso de  $H_3O^+$  que actúan como ión de cambio.

El evento se materializa en una alteración hidrolítica, donde el agua, más o menos carbónica, constituye el factor desencadenante de la formación de caolinita, previa despolimerización y liberación iónica de sílice y aluminio hidratados. La sílice se elimina, con mayor o menor cuantía, y en función del gradiente lixiviado se formarán

cantidades variables de caolinita, gibbsita y/o bohemita. Barshan (1964) considera la neoformación de caolinita como el resultado de la interacción última de sílice con carga negativa y la alúmina hidratada con carga positiva.

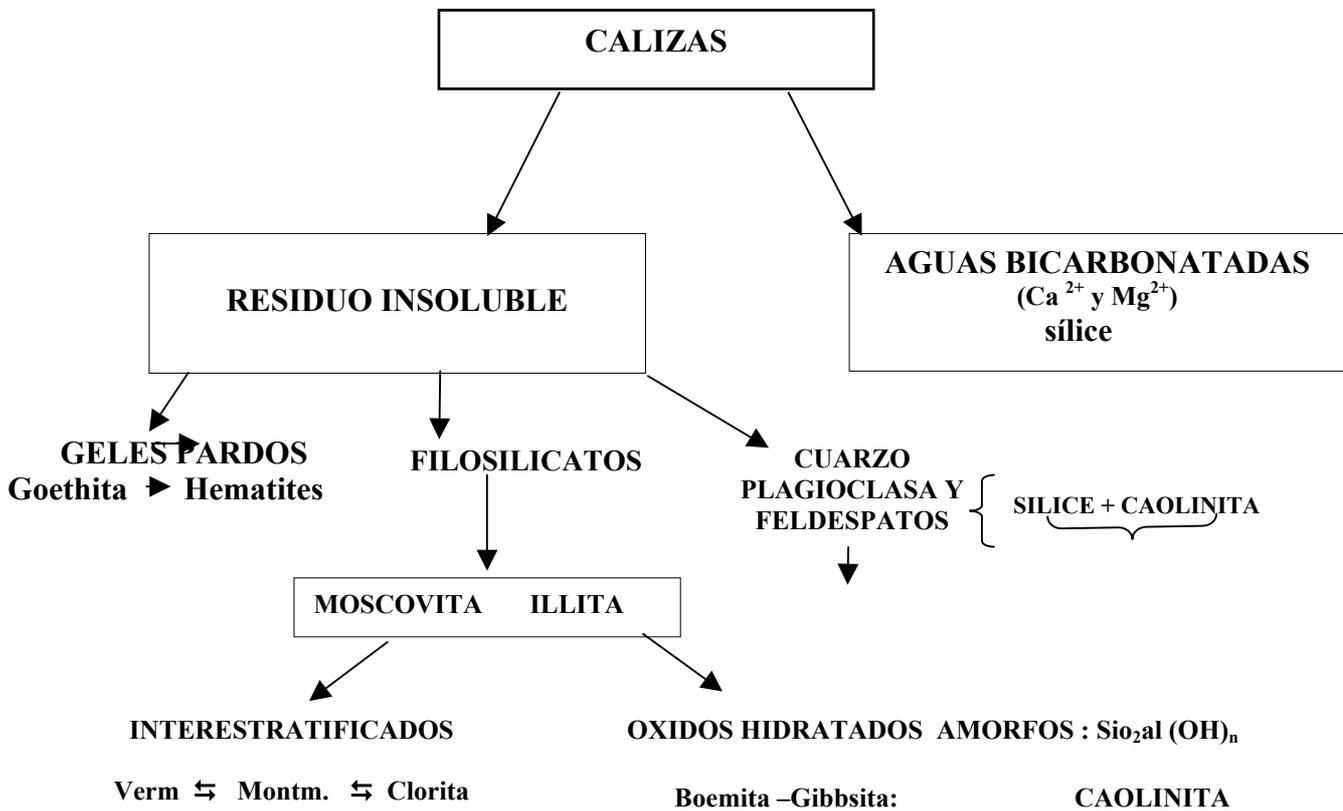


Fig IV.17.- Evolución mineralógica de los Nitisoles de Sierra Gorda.

La meteorización hidrolítica que afecta a la illita se comporta como si derivara de una sal de ácido débil con base fuerte, de forma que penetran protones y salen bases para ser eliminadas en las aguas de drenaje. Se trataría en este caso de un simple proceso de cambio (Garrel et al. 1959), criterio que no es compartido por Correns (1967), aunque sí por muchos otros autores como Devore (1959) y Bondnan (1969). El residuo insoluble continua el ciclo hidrolítico en un medio moderadamente favorable, liberando óxidos de hierro, aluminio y sílice, que finalmente llevan a la neoformación de caolinita y en casos extremos a la de interestratificados 2:1. Cuando se parte de los feldespatos el proceso

hidrolítico sería similar, pero en el caso que nos ocupa es poco significativo, por su pequeña presencia en el material original.(Alias et al 1977)

### **Clasificación.**

A nivel taxonómico hay que partir de suelos con un horizonte ócrico al que subyace un horizonte árgico, que presenta a menudo propiedades níticas (cútanos de hierro y arcilla) o muestra evidencias importantes de ilimerización (cútanos de iluviación), de forma que se establecen dos grupos de suelos dominantes: en la zona apical están los Nitisoles eutri-ródicos y se asocian con Luvisoles lepti-ródicos en las zonas bajas donde hay esmectitas y vermiculitas horadadas (P 1024-28) y ampliamente con Leptosoles eutri-líticos (Unidad 48).

Gisbert (2002) los equipara con los Ultisoles de la Soil Taxonomy (1999), atendiendo a la baja retención de bases en una profundidad de 125 cm. En este sentido cabe reseñar que FAO (1998), en las características adicionales para la definición del horizonte nítico exige que la CIC, corregida la MO, sea menor de  $36 \text{ cmol}^+\text{kg}^{-1}$ , añadiendo que con frecuencia se sitúa por debajo de los  $24 \text{ cmol}^+\text{kg}^{-1}$ , reflejando el predominio de arcillas con retículo 1:1.

Este valor dista mucho de los  $16 \text{ cmol}^+\text{kg}^{-1}$  de arcilla exigidos para los horizontes kándicos de la Soil Taxonomy (1999), de forma que los Nitisoles, tal y como se definen en la WRB superan estos valores mínimos de CIC; en este sentido pueden constituir intergrados con los Luvisoles y Alisoles, o bien, el contenido en óxidos de hierro libres al ser muy alto, que como se señala en FAO (1988), indica un elevado almacenamiento de humedad útil y propiedades favorables para la adsorción-desorción de fosfatos, o sea condicionan la capacidad del complejo de cambio.

En las zonas donde la iluviación es posible a causa de la menor estabilidad de los complejos arcillosos-férricos, y del porcentaje arcilla/hierro además de las condiciones medioambientales, (zona coluviales y grietas), es posible el desarrollo de suelos con

horizonte árgico-cutánico y la unidad se clasifica como Luvisol rodi-leptico (cutánico).

### **3.- Zona Lías-Dogger y Paleógena.**

Sobre los materiales jurásicos del Lías-Dogger y del Paleógeno, que afloran en el noroeste de la Hoja, alrededor de la formación diapírica de Sierra de Arcas o en parte del territorio de Vva. del Trabuco, la evolución edáfica está relacionada con el lavado de los carbonatos en forma de bicarbonatos, hecho que se debe considerar, teniendo en cuenta la naturaleza hidroquímica de los acuíferos. Las unidades cartográficas que engloban estos terrenos son la 2 y la 28. Esta última marca el prototipo de paisaje al asociarse en exclusividad con el olivar.

El suelo modal se puede considerar como un intergrado entre Calcisoles hipocálcicos y háplicos, según sea la concentración de caliza secundaria, reducida a pequeñas nodulaciones difusas, formación de pseudomicelios o concentrada alrededor de las gravas. Si la acumulación empieza a ser importante (perfil 1024-5) hablamos de Calcisoles háplicos.

La unidad 2 está representada por suelos esqueléticos y el perfil más evolucionados sería un intergrado entre unidades diferentes de Calcisoles y Cambisoles lépticos.

### **4.- Terrenos Paleógenos.**

Los materiales paleógenos se corresponden con arcillas rojas y verdes coronadas por un flysch calcarenítico-arcillosos rojo. La complejidad litológica es responsable de la dispersión de unidades de suelos, concretándose en cinco unidades cartográficas: 24, 26, 33, 37 y 38 (Anexo II), de forma que pueden establecerse, desde el punto de vista genético, dos series de suelos, según desarrollen sobre arcillas rojas o lo hagan a partir de materiales consolidados (calcarenitas y calizas). En las vaguadas, es común, la presencia de suelos vertisólicos y alcanzan especial significación en la depresión de

Vva. del Trabuco, marcando dos unidades de paisaje definidas por el uso: olivar o sembrado

El proceso fundamental, en este medio semiárido erosivo, lleva a la formación de suelos con horizontes cálcicos de diferentes magnitud o petrocálcicos, que son el resultado del doble proceso de decarbonatación y posterior precipitación. Aguilar et al. (1989) describen este proceso como la precipitación de los carbonatos por descenso de la tensión de CO<sub>2</sub>, aumento del pH y de la temperatura, pérdidas hídricas y otras causas que dificulten la circulación de las aguas bicarbonatadas a través del manto edáfico o de la saprolita.

En la zona se garantiza el aporte de agua carbónica y con ella la movilidad de los carbonatos en el sentido de la pendiente, de ahí que el horizonte cálcico se sitúe donde esta se rompe, porque hay cambios texturales o topográficos (Ortega et al.,1988). En estas circunstancias los carbonatos autigénicos rellenan los huecos que hay entre las unidades estructurales y los poros, pudiendo llegar, en caso extremo, a cementar (horizonte petrocálcico)

Alrededor del cerro de las Beatas dominan los Calcisoles háplicos o hipercálcicos y son menos frecuentes los hipocálcicos. Algunas unidades presentan horizonte petrocálcico, con desigual potencia, que se sitúa alrededor de los 50 cm.

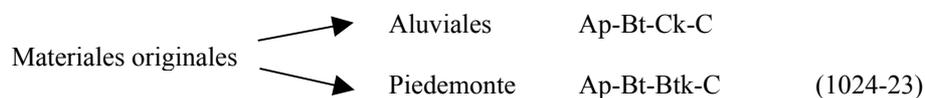
#### **5.- Terrenos Pliocuaternarios.**

Mientras que el karst de Sierra Gorda sigue activo y con él los procesos de ferruginación (Nitisoles), los terrenos Pliocuaternarios tienden a presentar un suelos climácico con horizonte árgico (ródico-cutánico), no calcáreos, salvo en posiciones donde la erosión antrópica es importante y posibilita cierta recarbonatación del horizonte árgico (Calcisoles lúvicos).

Cabe pensar que se trata de paleosuelos en estado latente acordes con las condiciones rexistásicas imperantes. La dinámica geomorfológica permite establecer cuatro superficies, y los suelos centrales son Luvisoles: terraza del río Guadalfeo y sus afluentes (Huertas de Archidona) y tres niveles de glacis: uno antiguo, muy erosionado, donde el suelo modal, en las condiciones actuales, es un Calcisol lúvico con horizonte petrocálcico, que se conserva relicto en pequeñas áreas y en declive porque se está roturando y rompiendo el horizonte petrocálcico para plantar olivos (unidad cartográfica 34). Más distantes del macizo halocinético de Sierra de Arcas está el segundo nivel de glacis y el suelo modal es un intergrado entre Luvisol cálcio y Calcisol Lúvico, sin horizonte pétrico, componiendo con las unidades más degradadas (Calcisoles) la unidad cartográfica 35. Finalmente el glacis moderno está dominado por una cubierta edafizada de color rojo intenso, donde el suelo principal es el Luvisol cálcico (unidad cartográfica 11) y actualmente se puebla de olivo.

En la zona Holocena, los Fluvisoles marcan el contacto edáfico con la red hidrográfica. Fuera de la zona afectada por la inundaciones hay una amplia terraza (Huertas), donde se conjugan Regosoles calcáricos, Calcisoles háplicos o hipercalcáricos y Luvisoles cálcicos todos ellos con propiedades flúvicas en los horizontes C (unidad cartográfica 11).

La diferencia entre las unidades de Luvisoles quedan así marcadas por la composición del perfil central:



Donde C es un conjunto heterométrico redondeado o semianguloso, cuya naturaleza define la procedencia: ofitas y calizas del Trías en las terrazas o calizas con dolomías jurásicas en las zonas de glacis.

Los procesos edáficos generales para ambas formaciones geológicas son los siguientes:

Decarbonatación y carbonatación secundaria.

Rubefacción y transformación limitada de los silicatos.

Ilimerización primaria y secundaria.

Erosión y recarbonatación epipediónica.

El proceso de carbonatación secundaria está ligado a las aguas bicarbonatadas que fluyen lateral y verticalmente. El proceso siguiente, hidrólisis parcial y oxidación, marca el principio del enrojecimiento de los suelos. (Anexo II).

La ilimerización sigue la dinámica descrita por autores como Alias et al (1978), Aguilar et al. (1983,1986 y 1989), Dorronsoro et al (1988), Benayas et al (1991), Ortiz et al. (1993), etc., y a ellos debemos remitirnos para justificar este proceso en la edafogénesis de estos suelos. (Fig. IV.18)

El análisis de las arcillas del perfil 1024-23, manifiesta cierta neoformación de montmorillonita y la transformación más generalizada entre illita, esmectita y clorita.

Las características más definidas están marcadas por cambios texturales entre el epipedión ócrico y el horizonte árgico (neto y plano), con distinta evolución estructural, cual es el paso de tipos granulares a bloques con tendencia prismática y evidentes signos de iluviación. La elevada capacidad de cambio y el grado de saturación permite clasificarlos como Luvisoles. Tienen vocación semillada que actualmente se está modificando el uso con la plantación de olivos.

El proceso general, que define la unidades cartográficas esta marcado en primer lugar por la presencia de suelos poco desarrollados, acorde con el ambiente climático imperante en la zona. Faz et al. (1977b) define cuatro procesos básicos y de escasa entidad en la definición de estos suelos: humificación, lavado, calcificación y arcillización. Estos procesos se continúan en la zona con otro más intenso, difícilmente justificable en las condiciones climáticas actuales (Paleosuelos), constituyendo un

manto edafizado, que de acuerdo con Faz (1977a), se compone de suelos rojos ilimerizados de carácter débilmente fersialítico, que cubre prácticamente la planicie pliocuaternaria.

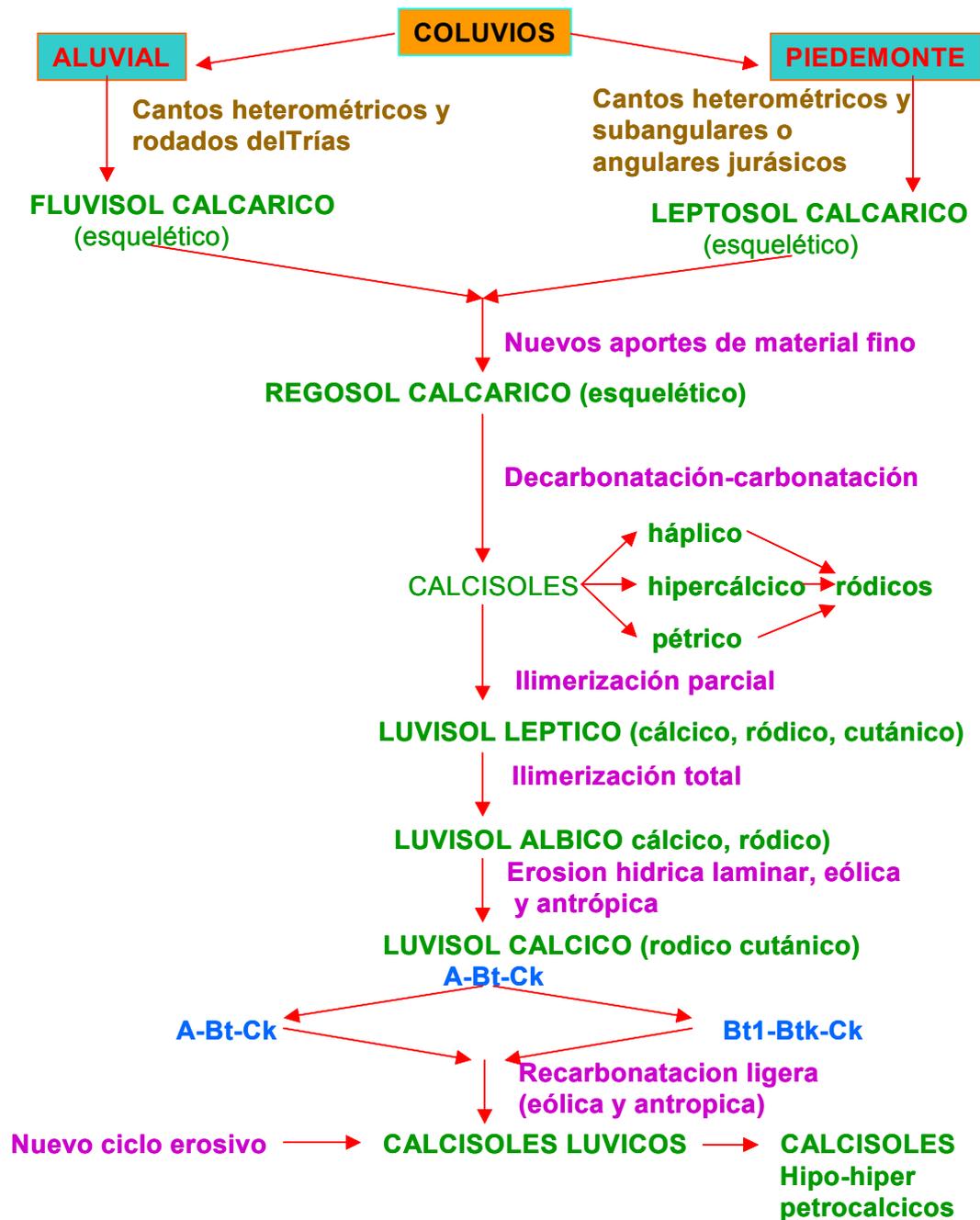


Fig IV. 18.- Evolucion edáfica en suelos pliocuaternarios.

La roturación de estas superficies casi llanas se ve afectada, erosivamente, por la agresividad hídrica en los periodos húmedos y eólica de irregular distribución; este hecho repercute en el epipedión y ha sido desmantelado en gran parte del area, de forma que, actualmente, es el horizonte Bt más superficial, el que representa al horizonte A, terrificándose y recarbonatándose. Previamente a este doble proceso puede promoverse una nueva ilimerización que contamina a los horizontes K, dando lugar a los horizontes Btk (Dorronsoro, 1988).

Resumiendo, la zona de estudio puede considerarse como un mosaico edáfico de climas semiáridos a húmedos, donde los suelos dominantes son Nitisoles (zonas húmedas), asociados a Regosoles-Leptosoles, en ambientes con deficit hídrico, que se acompañan de Calcisoles, Gipsisoles y Cambisoles en las zonas semiáridas o de Paleosuelos lúvicos en las formaciones pliocuaternarias de piedemonte.

Los procesos de ferriuginación (Nitisoles), ilimerización (Luvisoles), carbonatación (Calcisoles), y gipsificación (Gipsisoles), están bien definidos y diferenciados a nivel macro y micromorfológico (Anexo I). Acompañando a estos procesos primarios hay otros que marcan diferentes características diagnóstico, utilizadas a nivel inferior de clasificación: desbasificación parcial, rubefacción, neoformaciones y transformaciones minerales, hidromorfia, humificación, recarbonataciones, etc.

Nitisoles y Luvisoles pueden considerarse paleosuelos, pero en el primer caso el proceso de karstificación continua activo y con él la ferruginación. La dinámica edafológica marca ciertas diferencias debidas, posiblemente, a fases de biostasia-rexistasia, que fueron muy efectivas en los horizontes inferiores, bien por causas paleoclimáticas o bien por la sumatoria, en el tiempo, de los procesos hidrolítico-oxidativos y la caolinización.

En el caso de los Luvisoles hay que hablar de dos procesos similares, según se trate de superficies antiguas (glacis) o modernas (terrazas). En ambos casos parece lógico hablar

de paleosuelos en toda su extensión, dada las condiciones rexiológicas imperantes en la actualidad.

En las superficies pliocuaternarias en el proceso de ilimerización puede considerarse como bicíclico y de ahí la existencia de horizontes Btk. En la terraza del Guadalfeo (huertas) el proceso es monocíclico y genera un perfil de tipo A-Bt-Ck.

Si analizamos los horizontes cálcicos en los Luvisoles, hay que concluir en un doble proceso: el primero ligado al lavado lateral de las aguas bicarbonatadas y se alcanza el estadio cuatro descrito por Gile et al. (1965); el segundo se debe al percolado vertical de las aguas, cuando estas alcanzan cantidades hídricas suficientemente elevadas y el lixiviado se favorece por la fisiografía de la superficie (casi plana), de forma que se inicia el proceso de decarbonatación “in situ” previo a la ilimerización (Ck).

En los glaciares pliocuaternarios los Luvisoles están decapitados y el epipedión se genera por terrificación del Bt más superficial. En estas condiciones la menor potencia del solum facilita el drenaje vertical en profundidad y la arcilla en suspensión penetra en el horizonte cálcico desarrollando el Btk.

## ***V. CONCLUSIONES***



## V. CONCLUSIONES.

1. Se analizan los factores medioambientales en el ámbito de las Tierras de Archidona y sus alrededores, plasmando los estudios en una serie de mapas temáticos: vegetación, relieve, redes de drenaje, litología y edafología.
2. En la Hoja de Archidona está profusamente representado el Trías de Antequera, con un nivel de despegue que es producto de la colisión entre placas, a favor del cual se suceden cabalgamientos que sepultan, parcialmente, los materiales plásticos citados, o provocan exclusiones diapíricas que modelan la banda de Trías aflorante, marcan el territorio y modifican la composición química de los acuíferos circunscritos a ella; además canalizan los procesos edafogénicos ligados al karst de yesos que generan estos materiales.
3. El estudio hidroquímico permite definir tres tipos de aguas: bicarbonatadas, sulfatadas y cloruradas; ligados los primeros a materiales carbonatados de edad jurásica y los otros dos al Trías de Antequera. Las fuentes analizadas diseñan en el segundo caso un comportamiento desigual del acuífero, según el posicionamiento y composición del manto triásico, a través del cual percolan las aguas que, finalmente pueden ser catalogadas como sulfatadas, sulfato cloruradas o cloruradas.
4. Las aguas cloruradas se relacionan con la complejidad tectónica y la forma en que emergen: cambios de presión en la fractura que conecta el lecho de salmuera con la superficie exterior, tal como sucede en las salinas de Fuente Camacho.
5. La relación catiónica entre iones alcalinotérreos permite establecer dos niveles. Uno para valores mayores de 0.7, donde se inician las facies hidroquímica magnésica y la otra por encima del valor 1, que afecta a las propiedades farmacológicas que confieren al agua (sal de Epsom), y a la actividad del complejo de cambio de los suelos. El sodio está íntimamente relacionado con el

ión cloro y el potasio se encuentra en cantidades no siempre despreciables, desde el punto de vista de la aportación de este nutriente al suelo.

6. La zona de Archidona y sus alrededores componen un magnífico mosaico edáfico, donde destacan los suelos generados por ferruginación (Nitisoles), por ilimerización (Luvisoles) y calcificación o gipsificación (Calcisoles y Gipsisoles).
7. Las acumulaciones de calizas antigénicas se deben a la morfología del terreno y la dinámica hidroquímica. Los Gipsisoles presentan un horizonte Y, producto de la acumulación lenticular de yeso secundario, asociada a la existencia de un nivel freático sulfatado. Los suelos más evolucionado pueden catalogarse como paleosuelos y tienen un horizonte árgico, ródico y cutánico, que están en fase estable o degradativa (Luvisol cálcico-Calcisol lúvico). Otros suelos presentan árgico con escasos signos de iluviación y se considera nítico (Nitisoles), proceso que sigue vigente en la actualidad.
8. La ferruginación es intensa y se traduce en dos procesos fundamentales: rubefacción y monosialitización, que marcan las características de los Nitisoles desarrollados en la formación de terras rossas.
9. Los análisis de rayos-X y micromorfológicos permiten confirmar la diferente composición mineral y organización de los horizontes árgicos, en Nitisoles y Luvisoles, así como los procesos neoformación y alteración de las arcillas: (interestratificados: illita-vermiculita o esmectita-clorita), con posibles neoformaciones de caolinita (zona húmedas) y esmectitas (zonas semiáridas).

***VI. BIBLIOGRAFIA***



**VI. BIBLIOGRAFÍA.**

**AGUILAR, J.; GUARDIOLA, J.L.; BARAHONA, E.; DORRONSORO, C.; SANTOS, F.; (1983).**-“ Clay iluviation in calcareous soils”. In P. Bullock and C.P. Murphy Ed. Soil Micromorphology. A. B. Publisher, Berkhamsted England, pp 541-550

**AGUILAR, J. ; RODRIGUEZ, T.; SIMON, M.; (1986).**-“Mecanismos de iluviación de arcillas en materiales calcareos”. An Edafol. Agrob. 45, pp 565-576.

**AGUILAR, J. (1987).**- “La fertilidad de los suelos en la ordenación del territorio” VIII Cong. Nac. de Química. Sevilla, pp 71-77.

**AGUILAR, J.; FERNÁNDEZ, J.; FERNÁNDEZ, E. (1988).**- “Una clasificación para la evaluación integral de las tierras” Cong. Geol. de España, pp 449-452.

**AGUILAR, J.; GALLARDO, J., (1989).**- “Tipologías y variación de tipos de suelos de zonas áridas”. Seminario de zonas áridas en España. Real academia de CC Exactas, Física y Naturales, Madrid. pp 287-305.

**AGUILAR, J. ; FERNÁNDEZ, J.; FERNÁNDEZ, E. y RODRIGUEZ, T. (1995).**- “Jerarquización de parámetros edáfico en la evaluación de la productividad del olivo” Edafología Vol. 1 nº1. Granada, pp 101-110.

**AGUILO, M. (1984).**- “Guía para la elaboración de estudios del medio físico: contenido y metodología”.(2ª edición). MOPOU, 809 pp.

**ALIAS, I. (1963).**- “Algunos aspectos de la mineralogía de la terra rossa”. Anales de Edaf. Y Agro., XXII. Madrid, 277 pp.

**ALIAS, L. NIETO, M. (1972).**-“Contribución al estudio de la terra rossa española. I Macromorfología y datos analíticos generales”. An. Edafol. Agrob 31, pp 71-75.

**ALIAS, L. NIETO, M.; ALBADALEJO, J. (1977).**- “Contribución al estudio de la terra rossa española. II Mineralogía de la fracción arcilla”. An. Edafol. Agrob. 36, pp 97-108.

**ALIAS, L.;ALBADALEJO, J. (1978).**-“Mineralogía y génesis de los suelos con horizonte textural, sobre rocas calizas, en el sureste de España”. An.Edafol. Agrob. 37, pp 647-663.

**ALLISON, F. (1973).**- “Oversaturation method for preparing saturation extract for salinity appraisal” Soil Sci., 116 pp 65-69.

**ALLUE ANDRADE, J.L.(1990).**- “Atlas Fitoclimático” de España”. Taxonomías. M.A.P.A.; I.N.I.A., Madrid, 125 pp.

**ALMÉCIJA, C. (1997).**-”Estudio hidrológico e hidroquímico de los sistemas lagunares del norte de la provincia de Málaga.” Tesis Doctoral. Univ. de Granada, 499 pp.

**AMA, (1991).**-“Guía de los espacios naturales de Andalucía”. Ed Incafo, S.A. Madrid. 192 pp.

**AYERS, R.; WEST COT, D. (1987).**- “La calidad del agua en la agricultura”.Estudio FAO. Serie Riego y drenaje. Nº 29. Rev. 1. Ed. FAO. Roma, 85 pp.

**BAENA, J. JEREZ MIR, L (1982).**- “Síntesis para un ensayo paleogeográfico entre la Meseta y la Zona Bética (s. Str.)” IGME. Colección Informe, 256 pp.

**BARAHONA, E. (1974).**- “Arcillas de ladrillería de la provincia de Granada. Evaluación de algunos ensayos de materias primas”. Tesis Doctoral. Universidad de Granada, 398 pp.

**BARSHAD, I. (1964).**-“Chemistry of soil development. In: Chemistry of the Soil. Ed. Por FE Bear (20Ed) N.York. Reinhold Publ. Corp.pp1-70

**BENAVENTE, J. ; CARRASCO, F. (1984).**- “Evolución hidroquímica en el río Guadalhorce (Málaga).” Bol Geol. Min. XCV-IV, pp 374-382.

**BENAYA, J. ALCALA DEL OLMO, L., MONTURIOL, F., GUERRA, A., (1991).**-“Paleoprocesos edáficos en superficies pliocuaternarias del centro de España”. Suelo y Planta 1, pp 287-301.

**BENAVENTE, J ; SANZ DE GALDEANO, C (1985).**- “Relación de las direcciones principales de karstificación y del termalismo con la fracturación en las cordilleras Béticas”*Estudios Geolo.* 41, pp 177-188.

**BENAVENTE, J ; ALMECIJA, C; CARRASCO, F. ; RODRÍGUEZ JIMÉNEZ, P; CRUZ SAN JULIAN, J. (1992).**- “Reconocimiento hidroquímico de zonas endorreicas del karst evaporítico de Antequera (Málaga). *Geogaceta*, 12, pp 50-52.

**BENSOAIN, E. (1985).**- “Mineralogía de arcillas de los suelos”. II Ca. Costa Rica. 1205 pp.

**BLANEY, J.N.; CRIDDLE, W. (1950).**- “Determinig water requeriment in irrigated areas from climatological and irrigation data”. USDA. Soil Conservation Service, 165 pp.

**BLUMENTAL, M. (1930).**- “ Versuch einer tektonischen Gliederung der Betischen Cordillera von Central und Südwest (Andalusien)”. *Eclog. Geol. Helv.*, V. 20, pp 487-532.

**B.O.E. 29de junio de 1982-** “Reglamentación Técnico Sanitaria para el abastecimiento y control de las aguas potables de consumo público”.

**BOERO, V.; SCHWERTMANN, U. (1989).**- Iron oxide mineralogy of Terra rossa and its genetic implications. *Geoderma*, 44 pp 319-327.

**BONDAM, J. ( 1969).**-“Soxhlet extraction of albite”. *Proc. Intern. Clay ConferenceTokyo*, V.I, Israel Universities press. Jerusalem., 475-492 pp.

**BORGAARD, O. (1982).**-” The influence of iron oxides on the surface area of soil . *Joun. Soil Science* 33, pp 443-449.

**BOUAT, A. Y CROUZET, C. (1965).**- “Notes techniques sur un appareil semiautomatique de dossage de l’azote (et des certains composées volatils)”. *Ann. Agr.* 16 , 1, pp 107-118.

**BOURGOIS, J ( 1975).**- “Presence de breches d’origine sedimentaire á éléments de Cretacé au sein du Trias germano-andalou. Hypothèses sur la signification de cette formation (Andalousie, Espagne), Bull. Soc.Geol.France, (7), XVII n°6, pp 1092-1100.

**BOURRELIER, P.H. ;BERTHELIN, J.(1998).**-“: Contamination des sols par les éléments en traces : les risques et leur gestion” . Lavoiser Tecdoc. Rapport n.42, pp 440.

**BOWER, H. (1969).**-“Theory of Seepage from Open Channels, Advances in Hydrosciencie, n° 5, Academic Press, 1969, pp 1221-1720.

**BREWER, R.(1964).**- “Fabric and mineral analysis of soils”. John Wiley & Sons. New York, 470 pp.

**BRIDGES, E. ; DAVIDSON, D.A.(1982).**- “ Principales and applications of soil geography”, 215 pp.

**BRUNTON,G. (1955).**- “ Vapour Glycolation”. Am. Miner., 40, pp: 124-126.

**BULLOCK, P. FEDOROFF, N.; JOUPERIUS, A.; STOOPS, G.; TURSINA, T.; (1985).**- “Handbook for soil thin section description”. Ed Waine Research Publications. Wolverhampton. Englad, 152 pp.

**BUOL, S.W.; HOLE, F.D. ; McCRACKEN, R. J. (1990)-** “Génesis y clasificación de suelos”.Ed. Trillas. México,417 pp.

**CALAFORRA J. M. (1996).**- “Contribución al conocimiento de la karstología de yesos”. Tesis doctoral Univ. Granada, 350 pp.

**CANO, M.D. RECIO, J.M.(1996) .-**“Formaciones tipo terras-rossas sobre calizas cámbricas en Sierra Morena central (Hornachuelos, Córdoba)”. Cuaternario y Geomorfología, 10 (1-2), pp 79-78.

**CANOVAS, J. (1990).**- “Calidad agronómica de las aguas de riego” Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Cuarta edición revisada. Madrid, 55 pp.

**CARRASCO, F. (1978).**- “Variación de la salinidad de las aguas del río Guadalhorce. Influencia de la litofacies. *Tecniterrae*, 22, pp 35-41.

**CARRASCO, F. (1986).**- “Contribución al conocimiento de la Cuenca Alta del río Guadalhorce: el medio físico, hidrogeoquímica”. Tesis Doctoral Universidad de Granada , 435 pp.

**CEFTA (1993).** Foto aérea. Hoja nº 1024. Escala 1 :18.000. Madrid.

**CHOW, V. (1964).**- « Runoff en Secc. 14 de Handbook of Applied Hidrology” (editor Chow) McGraw-Hill Co., 54 pp.

**CLINE, M. G. (1961).**-“The changing model of soil”. *Soil Sci. Soc. Am Proc.* 25 pp 442-446.

**COLOMBO, C., TORRENT, J. (1991).**- “Relationships between aggregation and iron oxides in terra rossa soils from Southern italy. *Catena*18, pp 51-59

**COOK, G.D.; MULLER, W.J. (1997).**-“Is exchangeable sodium content a better index of soil sodicity than exchangeable sodium percentage” A reassessment of published data. *Soil Sci.* 162,5 pp 343-349.

**COMISIÓN EUROPEA.** Directiva (80/778/CE)

**CRUZ SANJULIAN, J. J. (1974).**- “Estudio Geológico del sector Cañete las Real-Teba-Osuna.( Cordillera Bética, región occidental). Tesis Doctoral Univ. Granada nº 71. Secret. Publ. Univ. Granada,XII, 431 pp.

**CUSTODIO, E; LLAMAS, M. (1983).**- “Hidrología subterránea”. Ed. Omega. Tomo I. Barcelona, 1157 pp.

**DAVIS, S.; DE WIEST, R. (1971).**-“ Hidrogeología”. Ed. Ariel. Barcelona, 563 pp.

**DELGADO, G; AGUILAR, J (1985).**- “Aplicación de métodos paramétricos a la evaluación de la aptitud para uso agrícola de los suelos de la zona de Linares” An. Edaf y Agrobiol. T. XLIII. N° 7-8. Madrid, pp 1091-1105.

**DEL MORAL, T.F. (2000).**-“Génesis, Cartografía y Evaluación de suelos en Campillos 1022 (Málaga). Tesis Doctoral. Universidad de Almería, 656 pp.

**DeVORE, G.W. (1959).**- “The surface chemistry of feldspars as an influence on their decomposition products”. 6<sup>th</sup> Nat. Conf: Clays and Clay Minerals. California, Berkeley, 1957. Nueva York, Pergamon (international series of Monographs on Earth Sciences. Vol. 2) pp 26-41.

**DENT, D.; YOUN, A. (1981).**- “Soil Survey and Land Evaluation”.Ed. George Allen & Unwin. London.(Citado en FAO, 1985)

**DISCHER (1996).**-“Química Inorgánica Farmacéutica”.Editorial Alambra. S.A. 538 pp.

**DOKUCHAEV, V.(1883).**-“Russian Chernozem”. (Tomado de Buol, Hole, y McCracken).

**DORRONSORO, C. y AGUILAR, J. (1988)** “El proceso de iluviación de arcilla”. An Edafol. Agrobiol., pp 311-350.

**DOORENBOS, J.; PRUITT, W. (1986).**- “Las necesidades de agua de los olivos”. Estudios FAO. Serie riego y drenaje N° 24. Ed. FAO. Roma.(Tomado de Pizarro, 1990)

**DUCHAUFOR, P. H. (1984).**- “Edafogénesis y Clasificación” Ed. Masson S.A. Barcelona, 493 pp.

**DUCHAUFOR, P., BONNEAU, M. Y SOUCHIER, B. (1987).**- « 2.Constituyentes y propiedades del suelos » Ed Masson S.A. Barcelona, 461 pp.

**DURAN, J.J. (1983).**- “Estudio geomorfológico del un sector entre Antequera y Archidona (Málaga, Andalucía)”. Trabajo monográfico. Universidad de Granada, 81 pp.

**DURAN, J. J. (1984).**- “Evolución geomorfológica del cañón del río Guadalhorce en el Triás de Antequera (Archidona, Málaga) Cuad. De Inv. Geografica,. X, fasc. 1 y 2, pp 43-54.

**DURAN, J.J. ; BURILLO, F. (1985).**-“Triassic gypsum Karst f the Loma del Yesar (Archidona, Málaga Southern Spain)”. Le Grotte d’Italia. 4 (XII)- Proc. Int. Symp. On Evaporite Karst, Bologna. pp 237-246.

**EMBERGER, L. (1930 y 1932).**-“La vegetación de la región mediterraneenne” Rev. Gén. Bot. 42, pp.641-662 y 705-725. Un proyect de classification des climants du point de vue phitogéographique. La Meteorologie, pp 423-432.

**ENCICLOPEDIA DE ANDALUCIA.**- Tomo I. Editorial Anel 520 pp.

**FANIRAN, A.; AREOLA, O.; (1978).**-“Essential of soil study”. Heinemann, London, 728 pp.

**FAZ, A. (1997a).**-“Génesis y evolución paleoambiental de los suelos de la sierra de Carrascoy (Murcia)”. Tesis Doctoral , Universidad de Murcia, 505 pp.

**FAZ, A.; ORTIZ, R.; FERNANDEZ, M.T. (1977 b).**-“Tipología, mineralogía y génesis de los suelos poco evolucionados sobre roca no consolidada en la sierra de Carrascoy” ,pp 281-290.

**FAO-UNESCO (1963).**- “Carte bioclimatique de la zone méditerranéenne”. París.

**FAO (1976).**- “Evaluación de tierras” Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. N°32. Roma, 66 pp.

**FAO (1977).**- “Guía para la descripción de perfiles del suelo” 2ª ed. FAO. Roma, 70 pp.

**FAO (1985).**-“Evaluación de tierras para agricultura de secano”, n° 52, Roma, 229 pp.

**FAO (1987).**- “La calidad del agua en la agricultura”. Estudio FAO. Serie Riego y Drenaje. n° 29. Rev.1. Ed. FAO. Roma, 174 pp.

**FAO (1988).**-“Soil Map of the 1:5.000.000”Food and Agriculture Organization the United Nations. Report 60.Roma, 141 pp.

**FAO (1990).**- “Evaluación de tierras para la agricultura de regadío: directivas. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación.Boletín de suelos de la FAO 55. Roma, 289 pp.

**FAO (1998).**- ”World reference base for soil resource”: Introducción” . J Deckers, Nachtergaeete, F; Spaargaren ,O; (Eds.) First Edition. ISRIC and ISSS.& FAO. Acco. Leuven, . 165 pp.

**FAO (1998).**- ”World reference base for soil resource:Atlas) World Soil Resource reports, 84. FAO, ISRIC and ISSS. Roma. 79 pp.

**FAO (1998).**- ”World reference base for soil resource” World Soil Resource reports, 84. FAO, ISRIC and ISSS. Roma,. 88 p.

**FASBENDER, H.W. Y BOUNEMISZE, E (1987).**- “Química de suelos”. Ed. IICA. Costa Rica, 420 pp.

**FEDERAL COUNCIL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY FOR SCIENTIFIC HIDROLOGY (1962).** Trans. Am. Geophys. Union, v 43 n°4 , 493 pp.

**FELICÍSIMO A. (1994).**- “Modelos digitales del terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales. Unv. Oviedo, 122 pp.

**GARCIA DUEÑAS (1967).**-“Unidades paleogeográficas en el sector central de la zona Subbética”. Not y com. IGME., n° 101 y 102, pp 73-100.

**GARRELS, R.; HOWARDS, P.; (1959).**- “Reaction of feldspars and mica with water at low temperature and pressure .6thNat. Conf: Clays and Clay Minerals. California, Berkeley, 1957. Nueva York, Pergamon (international series of Monographs on Earth Sciences. Vol. 2) pp 66-68.

**GASCO, J. M y ELIAS F.(1985).**- “Subdivisiones de los regímenes de humedad de los suelos. Aplicaciones a los regímenes xérico y arídico de Almería. IX Reunión de Bioclimatología pp 1-12.

**GASCO, J. M .(1985).**- “Regímenes de humedad de los suelos de la sierra de Madrid”. D.G.R.H., Plant. Int. Abas. Ag. Madrid, P.I.A.M.

**GASCO, J. M.; IBÁÑEZ, V. (1986).**- “Criterios para la estimación del régimen de humedad de los suelos” An. INTIA. Ser, Gen. V. 6,. pp 61-76.

**GAUSSEN, H. (1954).**- “Théories et classification des climats et microclimats” VIII Congrès Int.CNRS. Bot Act. 7at 3, pp 125-130.

**GAUSSEN, H. (1955).**-“Expresión des milieux par des formules écologiques”. Colloque. Int CNRS pp 257-269.

**GILE, I, PETERSON, F. y GROSSMAN, R. (1965).**- The K horizo. A master horizont of carbonate accumulation in desert soils. Soil Sci. 101, pp 347-360.

**GILLET, B. ; BURTI, G.; DELACROIX. P.; GURY, M. (1984).**-“Le fer des calcaires et des terra fusca des plateaux lorrains (France) “. Pedologie, 34, pp 301-318.

**GISBERT, J.M. (2002).**-“Taxonomía de suelos (Soil Taxonomy-99)” Editorial. U.P.V. Valencia, 329 pp.

**GLINKA, K. (1927).**- “The great soil groups of the world and their development.(Tomado de Buol, Hole y McCracken.)

**GONZALEZ GARCIA, F; SANCHEZ CAMAZANO, M. (1968).**- “Diferentation of kaolinite from chloride by treatment with dimethylsulfoxide” Clay Min. 7, pp 447-451.

**GONZALEZ DONOSO; VERA (1968).**- “Sur la presence de terrains post-tectoniques antéburdigaliens au bord sud-ouest du bassin de Guadix (Cordilleres Bétiques, Espagne) » C.R. Ac Sc. Paris. 266, pp 49-51.

**GRIFFIN, A. E. (1958).** “Problems caused by manganese in water supplies” An water works Assoc. Jour. Vol 50, pp1386-1388.

**GUERRA, A. (1972).**- «Los suelos rojos en España. Contribución a su estudio y clasificación”. Instituto de edafología y biología vegetal, CESIC. Madrid . 253 pp.

**GUILLET, B. ; BURTIN, G. ; DELACROIX, P. Y GURY, M (1984).**- Le fer des calcaries et des terra fusca des plateaux lorrains (France). Pedologie., 34, pp 301-318.

**HARRIS, E.S. (1915).**- “Effect of alkali salts in soils on the germination and growth of crops”. J Agr .Res 5 pp 1-53.

**HANKS, R.(1974).**-“Mode for predicting plant growth as influenced by evapotranspiration and soil water” Agron. Jour. V. 66, pp 273-276.

**HERNANDEZ, J.(1976).**- “Estudio de los procesos de cambio de los iones alcalinotérreos en mmembranas ácidas Permaplex C-20 ®”. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. 361 pp.

**HERRERO, J. (1986).**- “Salinidad en los suelos: aspectos de su incidencia en regadíos de Huesca” Diputación general de Aragón. Dept Ag. Gan. Y Montes. Zaragoza.197 pp.

**HERRERO, J. (1991).**- “Morfología y génesis de suelos sobre yesos”. Monografía I.N.I.A. nº 77. Madrid, 477 pp.

**HENIN, S. ; GRAS, S. ; MONNIER, G.(1972).**- “El perfil cultural”.Ed. Mundi-Prensa. Madrid, 341 pp.

**HOLGREN, G. (1967).**-“ A rapid citrate-dithionite extractable iron procedure” Soli sci. Soc. Am. Proc. , 31, pp 210-211.

**HURST, V.J., (1977).**- “Visual estimation of iron in saprolite. Geor. Soc. Am. Bul.; 88, pp 174-176.

**IGME (1980).**- “Calidad de las aguas subterráneas en las cuencas del sur de España (Programa Nacional de Gestión y Conservación de acuíferos) Colección Informe Serv. Publ. Minist. Industria y Energía, Madrid, 172 pp.

**ITGE (1991)** “Mapa geológico de España”. Escala 1:50.000. Hoja 1023 de Archidona. Segunda Edición. Madrid, 67 pp.

**JENNY, J. (1941).**- “Factors of soil formation”. McGraw-Hill Book Company. Inc. London. pp 31-50.

**JEREZ, F. (1981).**- “Propuesta de un nuevo modelo tectónico para la Cordillera Bética”. Bol. Geol. Min., t. XCII-I, pp 1-18.

**JIMENEZ BALLESTA, R.; GUERRA, A.; GALLARDO, J.; IBAÑEZ, J.J. (1988).**- “Evaluación de la distribución de manganeso en algunos suelos mediterráneos” An.. Edafol. Agrobiol. pp 395-407.

**JUNTA DE EXTREMADURA. (1992)**- “Interpretación de análisis de suelo, foliar y de agua de riego”. Consejo de Abonado. (Normas Básicas).Consejería Agricultura y Comercio. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 66 pp.

**KAZMANN, R. (1969).**- “Hidrología Moderna”. Editorial Continental S.A. México, 420 pp.

**KIRKBY, M. J. ; MORGAN, R. P. (1984).**- “Erosión de suelos”. Ed Limusa. Méjico, 375 pp.

**LANG, R. (1915).**- Versuch Einer Exakten Klassifikation der Boden in klimatischen und Geologischer Hinsicht.” Alemania: Inter.. Mittof. Bodenkundn, 5, pp 312-346.

**LHENAFF, R. (1967).**-« Problemes geomorphologiques de la vallé du Guadalhorce (andalousie). Melanges Casa Velasquez, III, pp.5-28.

**LHENAFF, R. (1981).**- “Recherches géomorphologiques sur les Cordillères Bétiques centro-occidentales (Espagne)”. Thèse Univ. de Lille III, 2., 713 pp.

**LITTLE, T.M. (1983).**-”Métodos estadísticos para la investigación en agricultura. Ed Trillas. México, 270 pp.

**LOPEZ CADENAS, F.; BLANCO CRIADO, M. (1976).**- “Hidrología Forestal”. E.T.S. Ing. De Montes, Madrid.

**LOPEZ CHICANO, (1992).**- “Hidrología de acuífero kárstico de de Sierra Gorda” Tesis Doctoral. Univ. de Granada. (INÉDITA).

**LOPEZ RITAS, J.; LOPEZ MELIDA, J. (1990).**- “El diagnóstico de suelos y plantas”. Métodos de campo y laboratorio. 4ª Ed. Ediciones: Mundi-Prensa.

**LUCDEME.(1995).**-Colmenar 1039. Mapa de suelos escala 1:100.000. ICONA Universidad de Granada. Facultad de Farmacia. Departamento de Edafología. ETD Micropublicaciones. B-23294/95

**LUCDEME (1995).**- Loja 1025. Mapa de suelos escala 1:100.000. ICONA Universidad de Granada. Facultad de Farmacia. Departamento de Edafología. ETD Micropublicaciones. B-26729/95

**LUCDEME (1995).**-Antequera 1023. Mapa de suelos escala 1:100.000. ICONA Universidad de Granada. Facultad de Farmacia. Departamento de Edafología. ETD. Micropublicaciones. B-26730/95

**MAAS (1984).**- “Salt tolerance of plants”. The Handbook of plants Science in Agruculture. CRC Press, BocaRaton , Florida.(Tomado de FAO, 1987)

**MAMANI, F.J. (2002).**-“Génesis, cartografía y evaluación de los suelos de olivar de la Hoja de Alcalá La Real 990”. Tesis inédita. Universidad Granada., 375 pp.

**MARBUT, C. F. (1935).**- “The soils of the United States”. En atlas of American agriculture. Capítulo 3, USDA., 24 pp.

**MARTONNE (1925).**- “Traite de Geographie Phisique”. Paris.

**MARTÍN SERRANO, A. (1982).**-“Mapa geológico de España a escala 1:50.000 (2ª serie, MAGNA) y memoria explicativa de la Hoja nº 16-42 (1023) (Antequera) IGME., 48 pp.

**MARTIN VIVALDI, J.L.; RODRIGUEZ GALLEGO, M.(1961).**- “Some problems in the identification o clay minerals in mixtures by X-ray diffraction photographs. Part I- Chlorite-Kaolinite mixture Part II.- Clhorite-swelling, chlorite and montmorillonite”. Clay. Min. Bull,4 pp 282-292 y 293-298.

**MARTINEZ, F.J. (1990).**-“Estudio Edáfico de la hoja de Guadix-1.011. Evaluación y uso de los suelos”. Tesis doctoral. Servicios y publicaciones de la Universidad de Granada, 695 pp.

**MARTINEZ, F.J.; SIERRA, C.; ROCA, A.; ASENSIO, C.(1996).**-“ Análisis de los suelos del piedemonte de la vertiente norte de la sierra de Alhama (Granada, España) IV Reunión de Geomorfología. Gandal d´Anglade, A. I. Pagét Valcarlos, J., Eds. Coruña, pp 801-814.

**MARTONNE, E De. (1925).**- « Traité de Geographie Phisique » Paris.

**MEINZER, O. (1939).**- “ Hidrology”. Ed. Dover. New York, pp 142.

**MEINZER, O.(1942).**- “ Hidrology”. McGraw Hill Book New York Co., 712 pp

**MESA, (1975).**- “Estudio edafológico del Trías Germano-Andaluz del S.E. de Campillos (Málaga)”. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad. 356 pp.

**MINISTERIO DE RELACIONES CON LAS CORTES Y DE LA SECRETARIA DEL GOBIERNO.**- “Métodos oficiales de análisis fisico-químico para las aguas potables de consumo publico”. B.O.E.. 9/7/1987. O. De 1 de Julio.

**MINISTERIO DE AGRICULTURA (1971).**- “Métodos oficiales de Análisis de suelos” MAPA. Madrid. 182 pp.

**MINISTERIO DE AGRICULTURA (1978).**-“Mapa de cultivos y aprovechamiento de Archidona” (1024). Escala 1:50.000. Madrid. 97 pp.

**MONTERO DE BURGOS, J.L.; GONZALEZ, J. L.(1974).**-“Diagramas bioclimáticos” ICONA. Madrid.

**MORETE, A. (1964).**- Precis D’ Hidrology. Masson Editenus. Libraire de l’Academie de Medicine 120, Doul. Saint-Germain, Paris, 532 pp.

**MUDARRA, J. L. (1987).**- “ Reconocimiento y evaluación de la capacidad de uso de los suelos de las cuencas atlánticas andaluzas (España)” Seminario sobre evaluación de recursos naturales en zonas mediterráneas. Sevilla.

**MUNSELL COLOR COMPANY INC. (1954).**- “ Munsell soil color charts. Baltimore. Mariland. USA. 17 pp.

**OLSEN, S. ; DEAN, L. (1965).**- “Phosphorus”. En C.A. Black, Ed. Methods of Soil Analys. part. II” Amer. Soc. Agronomy, Inc Madison, Wis., pp1034-1045.

**ORUETA, D. (1877).**- “Bosquejo físico y geológico de la región septentrional de la provincia de Málaga. Bol. Com. Mapa Geol. España, IV, pp 189-171.

**ORTEGA, E. SIERRA. C; MARTINEZ, J (1988).**- “Caracterización de los suelos con horizonte petrocálcico en el glacis de la sierra de Baza. (Granada)” I. Congreso nacional de la Ciencia del suelo. Sevilla. Tomo I, pp 241-240.

**ORTEGA, E.; SIERRA. C; MARTINEZ, J.; LOZANO, J.; (1990).**-“Characterization of soil moisture and temperature regimes in south Spain” 14<sup>th</sup> International Congress of Soil Science. Vol. V. Kyoto., Japon., pp 353-354.

**ORTIZ, R ,; FAZ, A. (1993).**- “Tipología y génesis de suelos con horizonte argílico en la Sierra de Carrascoy (Murcia). Acta del Congreso Latinoamericano de la Ciencia del suelo. Salamanca. pp 1069-1076.

**ORTIZ, I. (2001).**-“Reconstrucción paleoambiental de la depresión de Granada a través del estudio de paelosuelos”. Tesis Doctoral. Univ. de Granada, 230 pp

**PAPADAKIS, J. (1980 ).**- “El clima”. Ed. Albatros. Buenos Aires, 377 pp.

**PEARSON, G. (1960).**-“Tolerance of crops to exchangeable sodium”. USDA Information Bulletin No., 2164 pp.

**PEDRAZA, J. (1996).**- “Geomorfología: principios, métodos y aplicaciones”. Ed. Rueda, S.L., Madrid pp 51-61.

**PEYRE, Y. (1974).**- “ Gèologie d’Antequera et de sa règeion (Cordilleres Bètiques)”, Espagne. These. Univ. París, 250 pp.

**PEZZI, M. (1977).**- “Morfología kàrstica del sector central de la Cordillera Subbètica”. Tesis Doctoral. Cuad. Geogr.. Univ. Granada, S.M. 2, 289 pp.

**PIZARRO, F. (1985).**- “Drenaje agrícola y recuperación de sueos salinos” (Editorial Agrícola Española S.A. Madrid. 305 pp.

**PIZARRO, F. (1990).**- “Riegos localizados de alta frecuencia” 2ª Edición Ed. Mundi-Prensa Madrid, 471 pp.

**PORTA, J. (1980).**- “Aportación al sistema Riquier-FAO a la ordenacion del territorio: aplicaci3n de dos areas modelo del campo de Tarragona.”. Curso de ordenaci3n del territorio. ETSIA. Lèrida.

**PORTA, J. (1986).**- “Evaluaci3n de suelos para riego: Criterios y problemàtica en los regadios de Huesca”. Diputacion General de Arag3n.. Departamento de Agricultura, Ganadería y montes, pp 119-147.

**PORTA, J LOPEZ-ACEVEDO, M ; ROQUERO, C (1994).**- “Edafología para la agricultura y el medio ambiente”. Mundi-Prensa. Madrid, 807 pp.

**PORTA, J; LOPEZ-ACEVEDO, M ; ROQUERO, ET AL. (1999)** “Edafología para la agricultura y el medio ambiente”. Mundi-Prensa. Madrid. 2ª edición, 849 pp.

**PULIDO, J.L. (1978).**- “Hidrogeología práctica”. Ed. Urmo. Bilbao.314 pp.

**QUIRANTES, J. (1991).**- “Métodos para el estudio de la erosión eólica”. Sociedad Española de Geomorfología. Geoforma Ediciones, 26 pp.

**REYES CASTAÑEDA, P. (1980).**-“Bioestadística Aplicada.” Ed. Trillas, México, pp 217.

**REITAN, C. H.;GREEN C.R.(1967).**-“Weather and climate of desert enviroment Desert of the World” W. G. Mc. Ginnies; B.J. Goldman y P. Paylose Editrs. University of Arizona Press. Tucson pp 18-22.

**RICHARDS, L. (1947).**- “Pressure-membrana apparatus and use”. Agri. Engin. N°28, pp 451-454.

**RICHARDS, L. (1954).**- “Diagnosis and improvement of saline and alkali soils”. U.S. Salinity. Laboratory.Dept. Agric. Washington.Handbook. nº 60, 160 pp.

**RIQUIER , J.; BRAMAO, D.; CORNET, I. (1970).**- “A new system of soil appraisal in ters of actual and potential productivity” FAO (AGL TERS 1670/6), 268 pp.

**RIVAS MARTINEZ, S. (1987).** “Memoria del mapa de series de vegetación de España”. MAPA de ICONA. Madrid. 268 pp.

**ROBERT, M. (1993).** “Genesis of clay in Red Mediterranean Soils”. 2nd international meeting on “Red Mediterranean Soils” Turquia. May-1993, pp 27-28.

**ROCA, A. (1990).**- “Estudio integral de la cuanca del río Gualchos. Degradación y uso del suelo”. Tesis Doctoral. Univ. de Granada. Vol. 5 275 pp.

**ROCA, A; SIERRA, C.; AGUILAR, J. (1994).**- “Suelos con horizonte árgico en la depresión de de Baza (Granada, España). Geomorfología de España. Tomo II. Logroño, pp 339-351.

**ROCA, A.; CIRRE, A. ;MAMANI, F.; MARTINEZ, F.J., SIERRA,C, (2000).**- “Estudio edáfico y mineralógico en el Trías de Antequera sector de Los Hoyos (Archidona-Málaga)” Edafología pp 75-82 pp.

**RUNGE, E.C. ; DeLEON, L.(1960).**- “Distribution of Mn in a biototopo-sequence of southeasttern Iowa soil. Proc. Acad. Sc 67 pp 232-336.

**SABATEL (1973).**- “Estudio mineralógico del Trías y Mioceno del sector de Moraleda (Granada). Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada, 85 pp.

**SANZ DE GALDEANO, C. (1983).**- “Los accidentes y fracturas principales de las Cordilleras Béticas”. Est. Geol. 39, pp 157-165.

**SÁNCHEZ , J.; RUBIO, J.L.; MARTINEZ, V.; ANTOLIN, C. (1984).**- “Metodología de Capacidad de Uso de los suelos para la cuenca mediterranea”. I. Cong. Nac. de la Ciencia del Suelo, pp 837-848.

**SANTOS, F. (1979).**- “Estudio geológico y edafológico del sector Montiel-Alcaraz-Bienservida”. Tesis Doctoral. Univ. Granada, 525 pp.

**SAURA, I. (1978).**- “Aguas minerales de la provincia de Málaga” Tesis Doctoral. Univ. de Granada, 472 pp.

**SAURA, I.; ROCA, A.; ASENSIO, C.; SIERRA, C; ORTEGA, E.(1999).**- “Influencia del riego con aguas residuales urbanas en las características de un suelo de la vega de Granada” Ars Pharmaceutica: Tomo XXXIV nº 3-4. Granada, 15 pp.

**SCHOELLER H. (1964).**-“La classification geochimique des eaux ”.IASH General Assambly of Berkeley. Pb. 64 pp 16-24.

**SCHULTZ, L. (1964).** - “Quantitative interpretation of mineralogical composition from X-ray and chemical data for the Pierce shale”. Geol. Surv. Prof. Paper, 391-C

**SCHWERTMANN, U. y MURAD, E. (1983).**-“ Efect of the pH on the formation of Goethite and Hematite from Ferrhydrite“Clay and clay min. 31, nº 4, pp. 277-284.

**SCHWERTMANN, U. y TAYLOR, R.M. (1989).**- “Iron oxides. E: Dixon, J.B. and Weed, S.B. (eds.), Mineral in soil Environments. Soil Sci. Soc. Ame. Publ., Madison, WI., pp 379-438.

**SEGALEN, P.(1965).**- “Le produits alumineux dans le sols de la zone tropicale humide. “ Cah. Oston, ser. pedol. , III (3), pp 179-205.

**SERVICIO GEOGRAFICO DEL EJERCITO.-** “Hoja nº1024: Archidona”.

**SERVICIOS DE CONSERVACION DE SUELOS DE EEUU (1966).**- “Manual de Conservación de Suelos”. Centro regional de ayuda. México, 60 pp.

**SHCHUKAREV (1934).**-“Intento de una revisión general de las aguas de Georgia desde el punto de vista geoquímico”. Tr. Gos. Tsentr. In-ta Kurortologii. Vol 5.(Tomado de Custodio, 1983)

**SIERRA, C. (1972).**- “La productividad y el desarrollo del olivo en la provincia de Granada en relación con el suelo y con el clima”. Tesis doctoral inédita, de la Universidad de Granada, 276 pp.

**SIERRA, C.; CAMPO, J.; AGUILAR, J.; DELGADO, M. (1979).**- “ El color en los suelos y su posible influencia en la fertilidad del olivo“. An. Edafol. Agrob.38 (7-8), pp1261-1276.

**SIERRA, C.; ROCA, A.; SOCORRO, O. (1992).**- “Valoración del paisaje en la cuenca del río Cacán (Depresión de Granada), en relación con elementos geomorfológicos, edáficos y bióticos”. Estudios de Geomorfología en España, pp 693-702.

**SIERRA, C; LOZANO, F. J.; MARTINEZ, F.J.; ROCA, A.; (1999).**- “Problemática de los regímenes de humedad y temperatura en los suelos del ámbito mediterráneo andaluz (España)”. 14º Congreso Latinoamericano de la Ciencia del suelo. Temuco-Chile.CD-Room.

**SIERRA, C., MARTINEZ, F.J.-, MAMANI, F.; SAURA, I. (2000).**-“Análisis de la materia orgánica, hierro y manganeso en los suelos dal karst Sierra Gorda- Zafarraya” (Granada, España). Edafología (7-3), pp 65-73

**SIERRA, M; MAMANI, F.; PEREZ, E.; CIRRE, A. (2001).**- “Problemas de la contaminación en los suelos de uso agrícola del karst de Zafarraya”. I Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Granada-España.

**SIMSON, C.; COREY, R.; SUMMER; M. (1979).**- “Effect of varying Ca:Mg ratios on yield and composition of maize (*Zea mays*)” Communications in Soil Science and Plant Analysis 10 pp 153-162.

**SOCORRO, O.; ROCA, A. ARREBOLA. L. (1992).**- “ Estudio de la relación suelo-planta en el ámbito de la depresión de los Bermejales(Granada). Interés práctico del mismo.” Actas del XX Congreso Internacional de la Sociedad Farmacéutica del Mediterráneo Latino. ARS Pharmaceutica. Vol. XIX, 154 pp.

**SOIL CONSERVATION SERVICE (1972).**- “Soil Survey Laboratory“ Methods and procedures for collecting soil samples. U.S.D.A. Dpto. Agric. Washington, 87 pp.

**SOIL SURVEY STAFF (1960).**- “Soil classification, a comprehensive system-7 th approximation”. U.S. Dept. Agr. U.S. Govt. Printing Office, Washington, 295 pp.

**SOIL SURVEY STAFF (1975).**- “Soil Taxonomy » Soil Conservation Service.U.S. department of agriculture. Haandbook, N° 436, 755 pp.

**SOIL SURVEY STAFF (1999).**- “Soil Taxonomy : A Basic System of Soil classification for Making & Interpreting Soil Survey”. USDA. Second Edition. U.S. Departament of Agriculture. Haandbook, N° 436.Washintong, 869 pp.

**SPOSITO, G. ; MATTIGOD, S.W.(1977).**- “On the chemical foundation of the sodium adsorption ratio”. Soil Sci. Soc. Am. J. pp 323-329.

**SUAREZ, C.(1981).**- “Relation between pHc and sodium Adsorption ratio (SAR) and a alternative method of estimating SAR of soil or drainage waters. Soil Science American Journal, nº 45, pp 469-475

**STAUB, R. (1926).**- “Gedanken zur Tektonik Spaniens”. Vierteljahrsschr. Naturf. Ges. Zurich. 71, pp 196-261.

**TABOADA, M.T.; SILVA, B.N.; BARRAL, M.T. (1999).**- “Relación entre formas de hierro y color rojo en suelos sobre calizas de Galicia. Cuaternario y geomorfología 13 (3-4) pp: 31-41

**TAVERNIER ; VAN WAMBEKE (1976).**-“Determinación del régimen hídrico de los suelos de España según el modelo matemático de de Newhall”. Agrochimica, pp 407-412.

**TEJEDOR, M. (1996).**- “La evaluación y conservación de suelos, una aproximación. Eva J. Aguilar, A. Martínez, A. Roca, Ed. Granada: 1-4. Evaluación y manejos de suelos”.

**THORNE ,D ; PETERSON, H.(1954).**- “Irrigate Soils”(2ª ed.). The Blakiston Co. Nueva York.(Tomado de Urbano, 1992)

**THORNTHWAITE, C. (1948).**- “An approach toward a rational classification of climate” Geol. Rev., 38, pp 55-94.

**TORRENT, J.; (1980).**-“Iron oxide mineralogy of some soils of two river terrace sequences in Spain” Geoderma 23, pp191-208

**TORRENT, J.; SCHWERTMANN, U.; FETCHER, H.; y ALFEREZ, F.; (1983).** “Quantitative relationships between Soil Color and Hematite content. Soil Science 136, pp 354-358.

**TORRENT, J. y CABEDO, A. (1986).** “Source of iron oxides in reddish brown soil profiles from calcarenites in southern Spain”. Geoderma, pp 3757-3766.

**TURC (1961).**-“Evaluation des besoins en eau d'irrigation : evapotranspiration potentielle ”Ann. Agron., 12, pp 13-46.

**TYURIN, I. (1951).**- “Analitical procedure for a comparature study of soil humus”. Trudy Pochr. Inst. Dokuchaeva, 38, 5, pp 5-9.

**URBANO, P. (1992).**- “Tratado de fitotecnia general”. 2ª edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, 895 pp.

**VALENZUELA, C.(1980).**- “Estudio de los procesos de cambio de los iones alcalinotérreos en membranas ácidas Permaplex C-20 ®.II.- Isotermas de cambio”. An. Quim., 75, pp 210-219.

**VALENZUELA, C. (1981).**- “Estudio de los procesos de cambio de los iones alcalinoterreos en membranas ácidas Permaplex C-20 ®.I.- Cinética del proceso”. An. Quim., 77, pp 114-122.

**VALENZUELA, C (1981).**- “Coeficiente de actividad de los iones hidrogeno y de los cationes alcalinoterreos retenidos en membranas Permaplex C-20 ®. Revista Academia de Ciencias de Granada . Vol. 3, pp 75-83.

**VERA, J. A. (1966).**- “ Estudio geológico de la zona Subbética en la transversal de Loja y sectores adyacentes”. Tesis Univ. Granada .Mem. IGME, T. LXXII, 191 pp

**WILD, A (1992) .-** “Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell”. Mundi-Prensa. Madrid, 1045 pp

**ZINCK, J. (1996).**-” La información edáfica en la planificación del uso de las tierras y el ordenamiento territorial. Evaluación y manejo de suelos, Ed. Aguilar, J.; Martínez, A y Roca, A. Granada. España. pp 49-75.





***ANEXO I***



**PERFIL N°1024-1**

**CARACTERISTICAS MACROMORFOLOGICAS.**

**Localización:** Caserío de Fuente Fresno.

**Coordenadas:** SUG 3818 41049

**Altitud:** 740 m.

**Posición fisiográfica:** Planicie.

**Topografía circundante:** Plana.

**Pendiente:** Llana.

**Vegetación:** Cereales.

**Material original:** Sedimentos del Trías.

**Drenaje:** Moderadamente bien drenado.

**Pedregosidad:** Ninguna piedra.

**Afloramientos rocosos:** No.

**Erosión:** Hídrica laminar débil.

**Influencia humana:** Laboreo.

**Clasificación:** Gipsisol árzico.

**Hor. Prof.cm. Descripción**

A	0-18	Color en seco 7.5YR 5/2 (pardo) y en húmedo 7.5YR 3/2 (pardo oscuro); textura franco arcillosa a arcillosa; estructura granular gruesa, bien desarrollada; consistencia: ligeramente duro, ligeramente plástico, ligeramente adherente; pocas eflorescencias blanquecinas; poros finos, continuos, caóticos, imped; raíces abundantes, finas; calcárico; límite neto y plano.
Cy	18-35	Color 7.5YR 5/2 (pardo) y en húmedo 7.5YR 3/2 (pardo oscuro); presenta un moteado blanco de yeso y muy escasas manchas difusas ocreas (7.5YR 7/8); duro, friable, ligeramente plástico, ligeramente adherente; textura arcillosa; disminuye el número de poros respecto al horizonte A, pero mantienen la misma disposición; pocas raíces muy finas; calcáreo; límite brusco y plano.
2Cy	>35	Color 7.5 YR 5/3 (pardo) y en húmedo 7.5 YR 5/2; textura arcillosa; estructura masiva; consistencia en seco muy duro, adherente y plástico, muy firme; sin raíces. La parte inferior está cubierta de agua.

RESULTADOS ANALITICOS (P.1024-1)

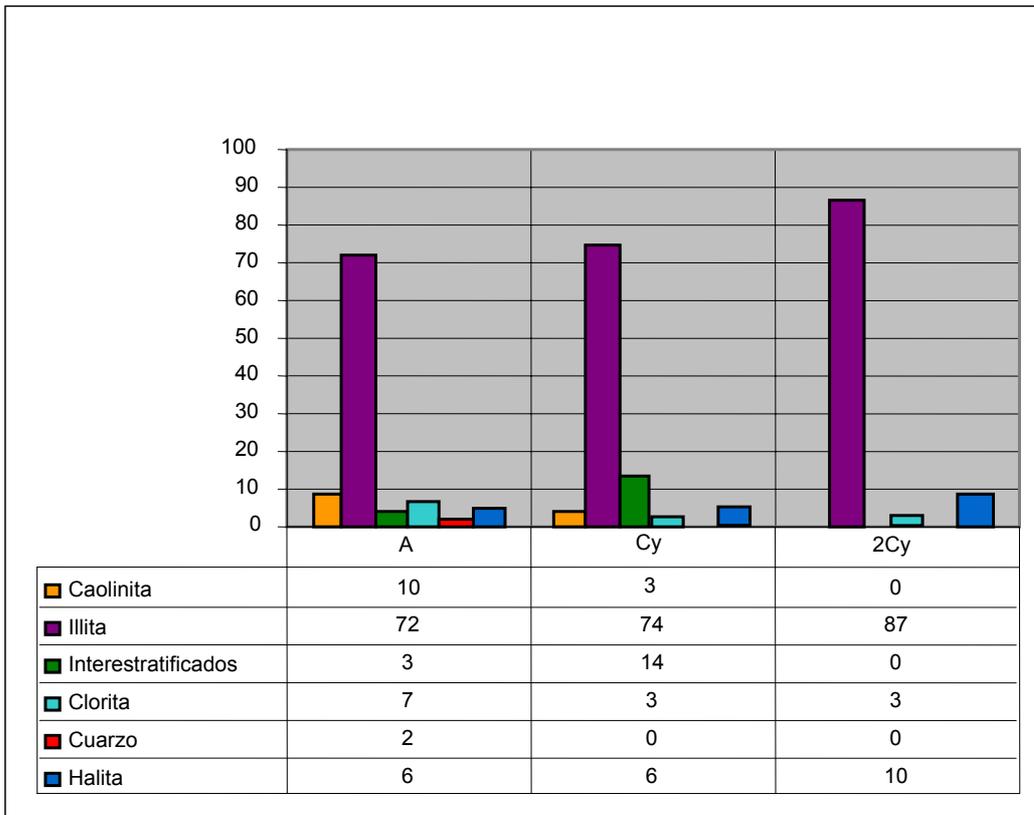
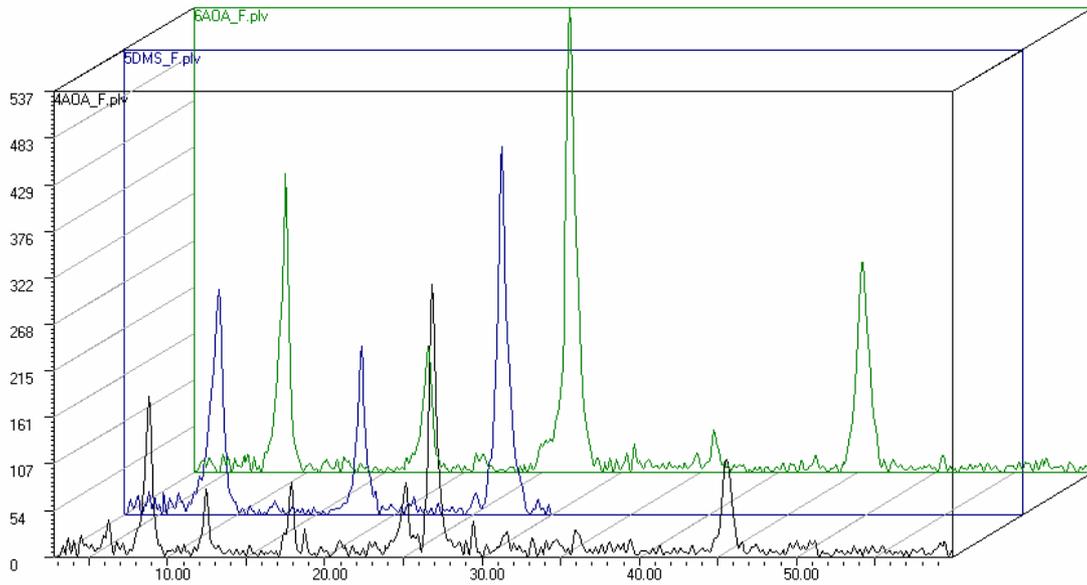
ANALISIS TEXTURAL (%)									
Hor.	Prof. (cm)	ARENAS					LIMO		ARCILLAS
		M. gruesa	Gruesa	Mediana	Fina	M. fina	Grueso	Fino	
A	0-18	15.1	5.4	5.3	7.8	7.4	12.2	20.3	39.5
Cy	18-45	4.1	5.0	5.5	6.5	9.5	12.4	15.5	42.5
2Cy	>45	4.1	2.7	2.0	2.0	2.2	9.1	10.5	67.4

CAPACIDAD Y BASES								
Hor.	Bases extraibles (cmol <sup>+</sup> Kg <sup>-1</sup> )					V%	Aniones extraibles (cmol <sup>+</sup> Kg <sup>-1</sup> )	
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CIC		SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Cl <sup>-</sup>
A	16.2	2.6	0.5	1.2	15.0	Sat	0.01	4.1
Cy	19.8	2.8	1.9	0.9	14.2	Sat	0.003	10.3
2Cy	11.7	1.7	1.9	0.4	12.5	Sat	0.002	9.3

OTROS DATOS ANALITICOS									
Hor.	pH (H <sub>2</sub> O 1:1)	C.E. dS/m	N (%)	CO (%)	C/N	CaCO <sub>3</sub>	Humedad (%)		
							33kPa	1500kPa	H <sub>2</sub> O útil
A	7.4	2.5	0.30	3.3	11	13	27.6	17.1	30.5
Cy	7.6	5.7	0.11	1.7	8.9	11	27.9	18.5	27.7
2Cy	8.1	3.5	0.07	0.6	8.6	15	--	--	--

DATOS REFERENTES AL EXTRACTO							
Hor.	Aniones (cmol <sup>+</sup> Kg <sup>-1</sup> )			Cationes (cmol <sup>+</sup> Kg <sup>-1</sup> )			
	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
A	155.3	15.8	66.0	80.1	2.2	10.1	0.9
Bgy	315.4	31.8	70.0	145.5	2.3	20.6	0.6
2Cg	240.2	33.5	71.2	113.5	1.2	19.4	0.3

Perfil 1024-1



**PERFIL N°. 1024-6**

**CARACTERISTICAS MACROMORFOLOGICAS.**

**Localización:** Cortijo La Saladilla.  
**Coordenadas:** 30SUG 3836 41051  
**Altitud:** 750 m.  
**Posición fisiográfica:** Planicie.  
**Topografía circundante:** Casi plano.  
**Pendiente:** Suavemente inclinado.  
**Vegetación:** Cultivo de patatas.  
**Material original:** Sedimentos triásicos.  
**Drenaje:** Escasamente drenado.  
**Pedregosidad:** Sin piedras.  
**Afloramientos rocosos:** Ninguno.  
**Erosión:** Hídrica laminar.  
**Influencia humana:** Labranza.  
**Clasificación:** Fluvisol calcárico.

<b>Hor.</b>	<b>Prof. cm.</b>	<b>Descripción</b>
Ap1	0-12	Color en seco gris rojizo(10YR 4/2) y en húmedo pardo oscuro (10YR 3/3); textura arcillosa; estructura granular fuerte; duro, friable y plástico; poros frecuentes, finos y medianos, oblicuos, imped; frecuentes gravas; calcáreo; raíces abundantes finas y muy finas; límite brusco y ondulado.
Ap2	12-17	En seco color gris rojizo (10YR 4/3); y en húmedo pardo rojizo oscuro (10YR 3/3); textura arcillosa; estructura en bloques subangulares; duro, friable, plástico y adherente; pocas gravas; raíces comunes; calcáreo; límite neto plano.
2C	17-48	Color en seco gris rojizo (10YR 5/2) y en húmedo gris rojizo oscuro(10YR 4/2); textura arcillosa; estructura moderada, en bloques; duro, friable, adherente, plástico; poros finos y medianos, oblicuos exped; límite neto y plano.
3C	48-54	Color en seco y húmedo gris rosado (10YR 7/2); textura arcillosa; duro, friable, plástico, adherente; poros oblicuos finos exped; otros finos y muy finos tubulares e intersticiales, imped; calcáreo; frecuentes gravas redondeadas con ciertas estratificaciones y sin piedras. Límite neto y plano.
4C	>58	Aumentan las gravas y desaparecen totalmente las raíces El color es similar al del horizonte 2C y mantiene la consistencia. Calcáreo. Decrecen las gravas y no hay raíces.

## RESULTADOS ANALITICOS. PERFIL 1024-6

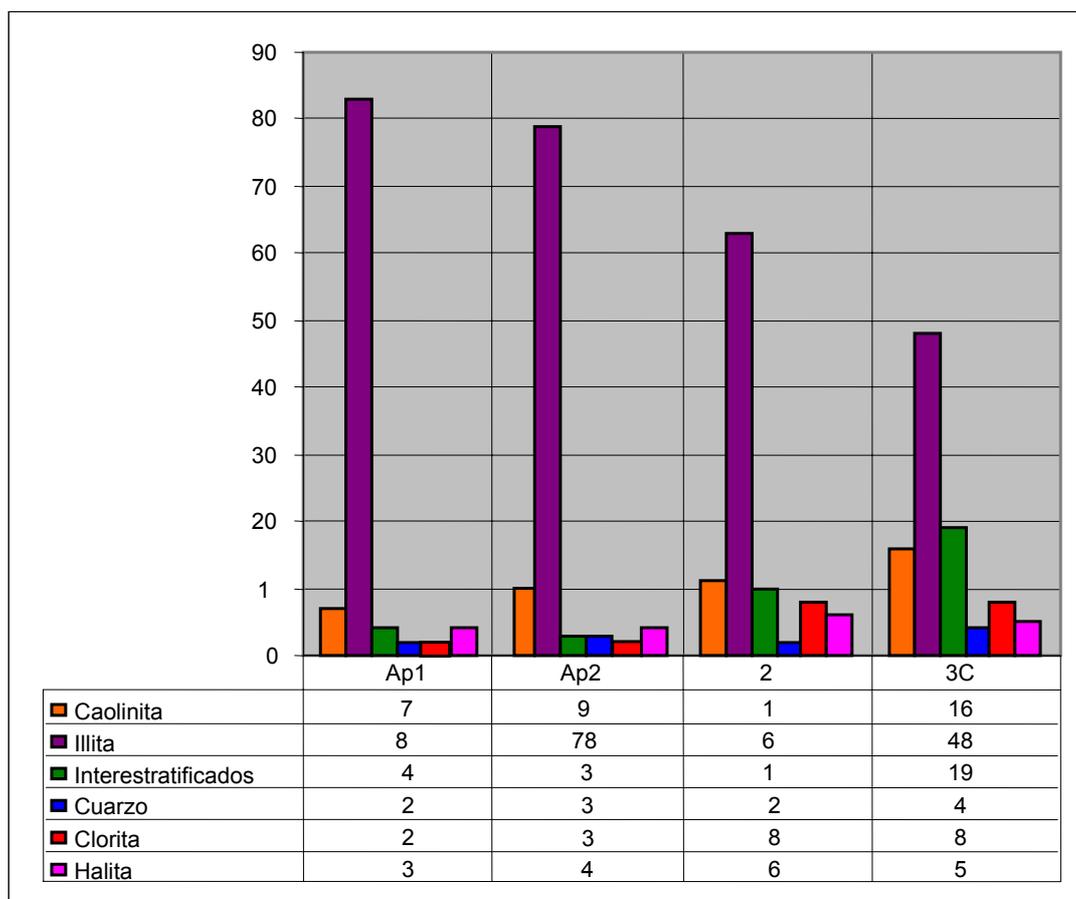
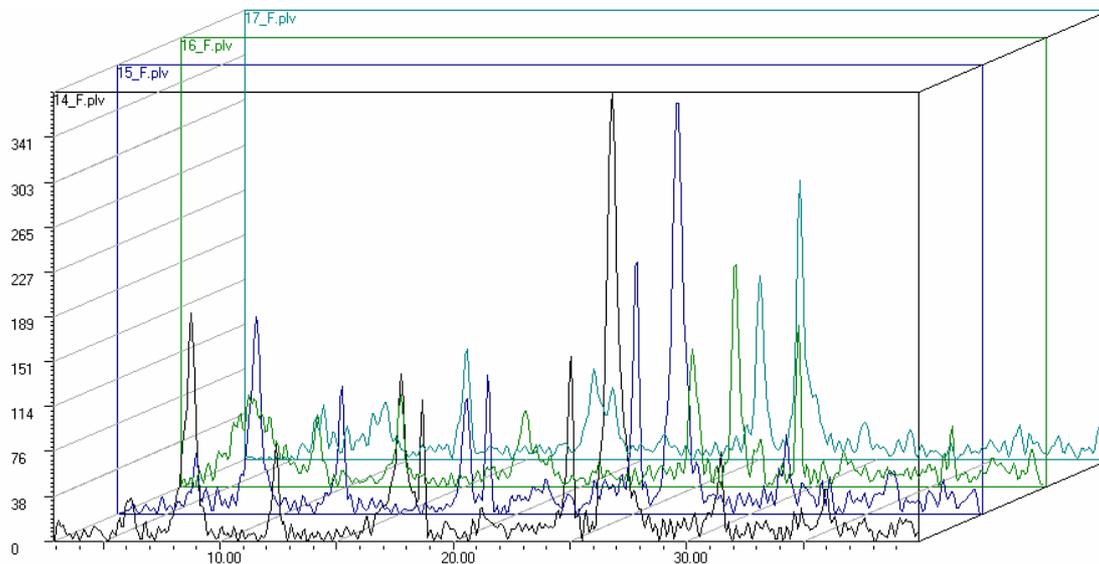
ANALISIS TEXTURAL (%)									
Hor.	Prof. (cm)	ARENAS					LIMO		ARCILLAS
		M. gruesa	Gruesa	Mediana	Fina	M. fina	Grueso	Fino	
Ap1	0-12	7.0	3.9	1.3	2.1	1.4	12.1	35.1	37.1
Ap2	12-17	6.5	1.5	1.7	2.3	2.4	17.1	32.0	36.5
2C	17-48	7.1	2.7	2.1	1.7	3.1	12.4	35.8	35.1
3C	48-54	9.2	1.5	1.3	2.0	2.1	15.1	33.1	35.7

CAPACIDAD Y BASES								
Hor.	Bases extraibles (cmol <sup>+</sup> Kg <sup>-1</sup> )					V%	Aniones extraibles (cmol <sup>+</sup> Kg <sup>-1</sup> )	
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CIC		SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Cl <sup>-</sup>
Ap1	17.4	1.2	1.2	0.8	18.2	Sat	0.001	9.1
Ap2	16.7	1.2	0.7	0.4	17.3	Sat	0.001	3.2
2C	17.2	1.2	0.9	0.3	17.9	Sat	0.01	4.5
3C	17.3	1.4	1.1	0.2	16.2	Sat	0.02	7.2

OTROS DATOS ANALITICOS									
Hor.	pH (H <sub>2</sub> O 1:1)	C.E.	N (%)	CO (%)	C/N	CaCO	Humedad (%)		
							33kPa	1500kPa	H <sub>2</sub> O útil
Ap1	7.5	1.8	0.21	2.1	10	10	34.4	20.9	20.08
Ap2	7.8	0.6	0.15	1.4	9.3	10	31.3	20.0	16.6
2C	8.0	0.6	0.05	0.7	9	14	19.2	10.5	13.4
3C	7.2	1.4	0.10	0.9	8	15	--	--	--

DATOS REFERENTES AL EXTRACTO							
Hor.	Aniones (cmol <sup>+</sup> Kg <sup>-1</sup> )			Cationes (cmol <sup>+</sup> Kg <sup>-1</sup> )			
	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
Ap1	49	15.5	84.6	40.9	2.3	3.2	0.6
Ap2	38	10.4	83.3	42.1	1.6	2.3	0.3
2C	35	11.5	84.4	43.3	15	3.4	0
3C	40	13.5	83.2	47	1.5	4.1	0

Perfil 1024-6



## **Micromorfología del Perfil 1024-6.**

### **Horizonte Ap 1.**

Cuarzo anguloso de origen metamórfico con textura cristalomorfa. Masa basal de color pardo amarillento con algunas puntuaciones de óxido férrico; material orgánico fino revistiendo como pigmento; huecos planares y de empaquetamiento compacto; agregados subangulares fuertemente desarrollados; restos de raíces parcialmente pseudomorfizadas por  $\text{CO}_3\text{Ca}$ . Alguno nódulos de óxidos de hierro; agregados con revestimiento carbonato cálcico; con textura cristalomorfa; relación grueso/fino (c/f) 3:1, con un límite de 3 a 4 micras; distribución relacionada porfirica.

### **Horizonte Ap 2.**

Se observan huecos de empaquetamiento compuesto, algunas cavidades, abundantes huecos y canales; estructura en agregados constituidos por bloques subangulares, moderadamente desarrollados; particularmente acomodados. Relación c/f 025/75; contextura porfirica simple. Escasos restos orgánicos, masa mineral constituida por cuarzo redondeado (30%). Distribución relacionada cristalomorfa.

### **Horizonte 2C.**

Se observa menos porosidad que en el horizonte anterior, con más huecos planares siendo la porosidad intragregados pequeña. Esta compacidad representa la presencia de una antigua hidromorfia, con nódulos de hierro y manganeso; algunos nódulos de hierro presentan nucleos con cristales de cuarzo, lo que nos indica la procedencia de una situación distinta a la actual. Fragmentos calizos subredondeados y cristalaria de carbonato cálcico micrítico; distribución relacionada porfirica; abundantes manchas de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; microestructura en bloques subangulares; estructuras nodulares típicas de hierro.

**PERFIL N° 1024-10**

**CARACTERISTICAS MACROMORFOLOGICAS**

**Localización:** Cortijo Las Lagunas.

**Coordenadas:** 30SUG 3847 41072

**Altitud:** 816 m.

**Posición fisiográfica:** Dolina.

**Topografía Circundante:** Montañoso hacia el S y colimado hacia el N.

**Pendiente:** Suavemente inclinado

**Vegetación:** Orla de retama con centro de pradera.

**Material original:** Arcillas del Trías.

**Drenaje:** Imperfectamente drenado.

**Manto freático:** Desconocido.

**Afloramientos rocosos:** No

**Pedregosidad:** Ninguna.

**Actividad Humana:** Pastoreo.

**Clasificación:** Cambisol Gleyco.

<b>Hor.</b>	<b>Prof. (cm)</b>	<b>Descripción</b>
Au <sub>1</sub>	0-8	Color en seco pardo claro (7.5YR 6/4) y en húmedo pardo (7.5YR5/4); textura franco limosa; estructura granular, moderada, de fina a mediana; ligeramente duro, ligeramente plástico, y ligeramente adherente; pocos poros, finos, continuos, imped; no hay fragmentos rocosos; calcáreo; actividad biológica elevada; frecuentes raíces, finas y muy finas; límite neto y plano.
Au <sub>2</sub>	8-22	Color en seco pardo (7.5YR 5/4), y en húmedo ligeramente más oscuro (7.5YR 4/4); textura franco limosa; estructura moderada, en bloques angulares y subangulares; ligeramente duro, ligeramente plástico, ligeramente adherente y friable; poros frecuentes, finos, caóticos, imped; actividad biológica elevada; raíces en menor número que en el horizonte superior y algunas de mayor grosor; calcáreo; límite neto y plano.
Bwg	22-58	Color en seco pardo claro (7.5YR 6/4) en húmedo pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/4); textura franco limosa; estructura moderada, en bloques medianos y gruesos, angulares y subangulares; ligeramente duro, ligeramente adherente y ligeramente plástico; pocos poros, medianos y gruesos, tubulares, imped, otros verticales y oblicuos exped; nódulos de Mn de color negro; pequeñas manchas difusas de color ocre (10YR 6/6); pocas raíces finas; calcáreo; eflorescencias irregulares blancas; límite neto ondulado.

Cg >58 Color pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/4) y en húmedo es más oscuro (7.5YR 3/4). Manchas abundantes, grises oscuras (10YR 4/1) y amarillento-rojizas (10YR 6/8); textura franco arenosa; estructura moderada, en bloques; nódulos de Mn de color negro y restos orgánicos muy descompuestos; no hay raíces; calcáreo.

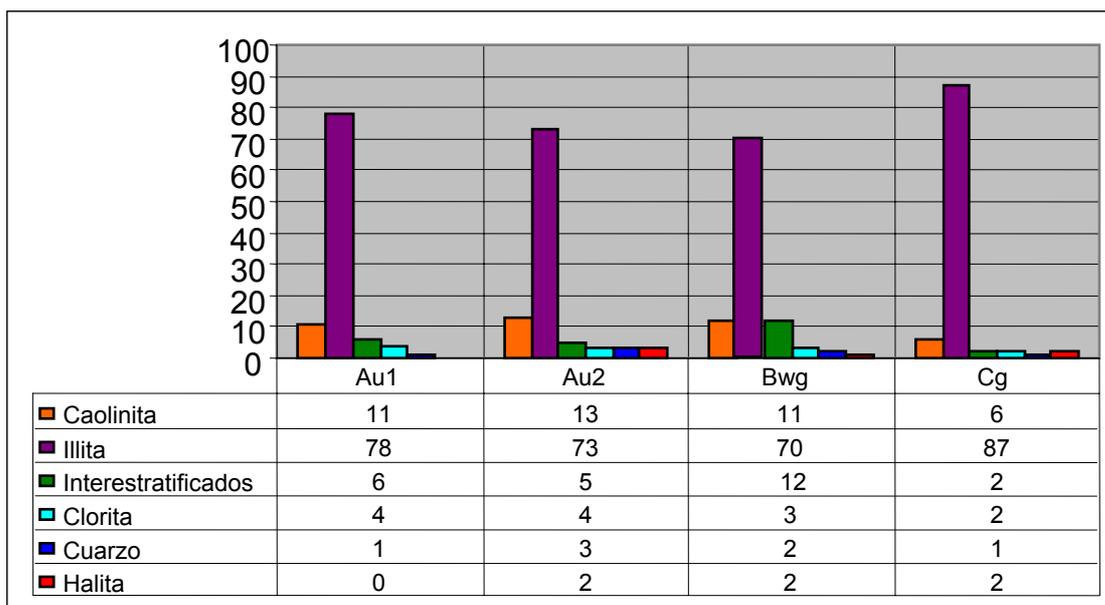
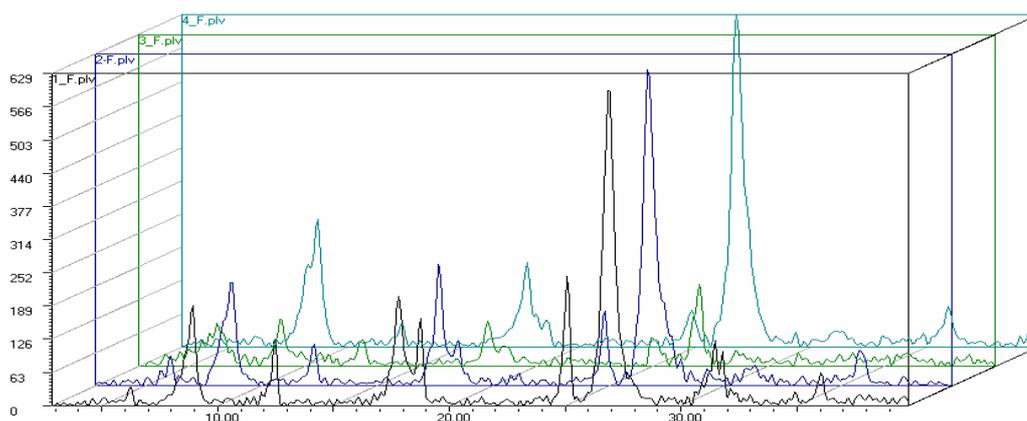
**RESULTADOS ANALITICOS (P.1024-10)**

ANALISIS TEXTURAL (%)									
Hor.	Prof. (cm)	ARENAS					LIMO		ARCILLAS
		M. gruesa	Gruesa	Mediana	Fina	M. fina	Grueso	Fino	
Au <sub>1</sub>	0-8	2.1	2.8	3.9	6.8	1.1	11.9	57.7	13.7
Au <sub>2</sub>	8-22	2.6	2.5	3.7	7.1	2.5	13.4	52.2	16
Bwg	22-58	5.6	6.9	3.9	10.4	1.0	8.0	49.5	14.7
Cg	>58	2.3	2.7	2.1	11.8	2.5	6.5	54.5	17.6

CAPACIDAD Y BASES								
Hor.	Bases extraíbles (cmol <sup>+</sup> Kg <sup>-1</sup> )					V%	Aniones extraíbles (cmol <sup>+</sup> Kg <sup>-1</sup> )	
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CIC		SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Cl <sup>-</sup>
Au <sub>1</sub>	12.5	0.7	0.1	0.8	13.8	Sat	22.4	6.1
Au <sub>2</sub>	10.6	0.1	0.1	0.8	11.4	Sat	22.2	6.1
Bwg	10.6	0.1	0.3	0.7	10.7	Sat	22.1	7.4
Cg	10.1	1.9	0.3	0.6	9.7	Sat	30.2	7.5

OTROS DATOS ANALITICOS									
Hor.	pH (H <sub>2</sub> O 1:1)	C.E.	N (%)	CO (%)	C/N	CaCO <sub>3</sub> (%)	Humedad (%)		
							33kPa	1500kPa	H <sub>2</sub> O útil
Au <sub>1</sub>	7.8	0.5	0.26	3.7	14.2	10	20.2	10.7	3.2
Au <sub>2</sub>	7.7	0.5	0.16	1.5	9.4	12	18.7	10.9	4.2
Bwg	7.5	0.6	0.07	0.5	7.1	14	18.6	11.0	10.4
Cg	8.2	0.6	0.05	0.3	6	16	--	--	--

DATOS REFERENTES AL EXTRACTO							
Hor.	Aniones (cmol <sup>+</sup> Kg <sup>-1</sup> )			Cationes (cmol <sup>+</sup> Kg <sup>-1</sup> )			
	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
Au <sub>1</sub>	30	9.4	44.4	25	0.5	6.1	0.6
Au <sub>2</sub>	33	9.4	88.8	42	0.2	6.2	0.6
Bwg	30	10.4	78.4	37	0.1	6.5	0.4
Cg	36	10.5	79.4	43	0.8	6.4	0.4



**PERFIL N°. 1024-17**

**CARACTERISTICAS MACROMORFOLOGICAS.**

**Localización:** Cortijo de M<sup>a</sup> Fernández.

**Coordenadas:** 30SUG 3883 41073.

**Altitud:** 900 m.

**Posición fisiográfica:** Depresión.

**Topografía circundante:** Dolina (temporal).

**Pendiente:** Colinado.

**Vegetación:** Juncos.

**Material original:** Sedimentos del Trías.

**Drenaje:** Mal drenado.

**Pedregosidad:** Sin piedras.

**Afloramientos rocosos:** Ninguno.

**Erosión:** Hídrica laminar.

**Influencia humana:** Ninguna

**Clasificación:** Regosol gléyco.

<b>Hor.</b>	<b>Prof. (cm)</b>	<b>Descripción</b>
Au	0-12	Color en seco gris claro (10YR 7/2) y en húmedo pardo grisáceo (10YR 5/2); manchas blanquecinas; textura limo; estructura moderada granular; duro, firme, plástico y adherente, poros frecuentes, finos, exped; pocos fragmentos rocosos; raíces muy finas; fuertemente calcáreo; límite gradual plano.
Cg1	12-50	El color en seco corresponde a pardo oliva claro (2.5Y 5/4) y en húmedo es pardo oliva (2.5Y 4/4), existen pequeñas difusas manchas de color ocre (7.5YR 6/8); textura limosa; estructura masiva; duro, friable, no plástico y no adherente; poros finos; frecuentes raíces, muy finas; fuertemente calcáreo; límite gradual y plano.
Cg2	50-80	En seco el color es pardo amarillento claro (2Y 6/4) y en húmedo pardo oliva claro (2Y 5/4); manchas ocres difusas junto a otras de color negro más pequeñas o grises (10YR 5/1); textura limosa; estructura masiva; duro, firme, no plástico y no adherente; poros finos; fuertemente calcareo; límite plano y neto.
2Cg	>80	Color en seco pardo amarillento (2YR 6/4) y en húmedo pardo oliva (2Y 4/4); manchas de color negro y gris claro (2.5 Y7/2) y pequeñas motas amarillo rojizas (7.5YR 7/8); textura limosa; estructura masiva; duro, no plástico y no adherente; fuertemente calcáreo.

RESULTADOS ANALITICOS (P. 1024-17)

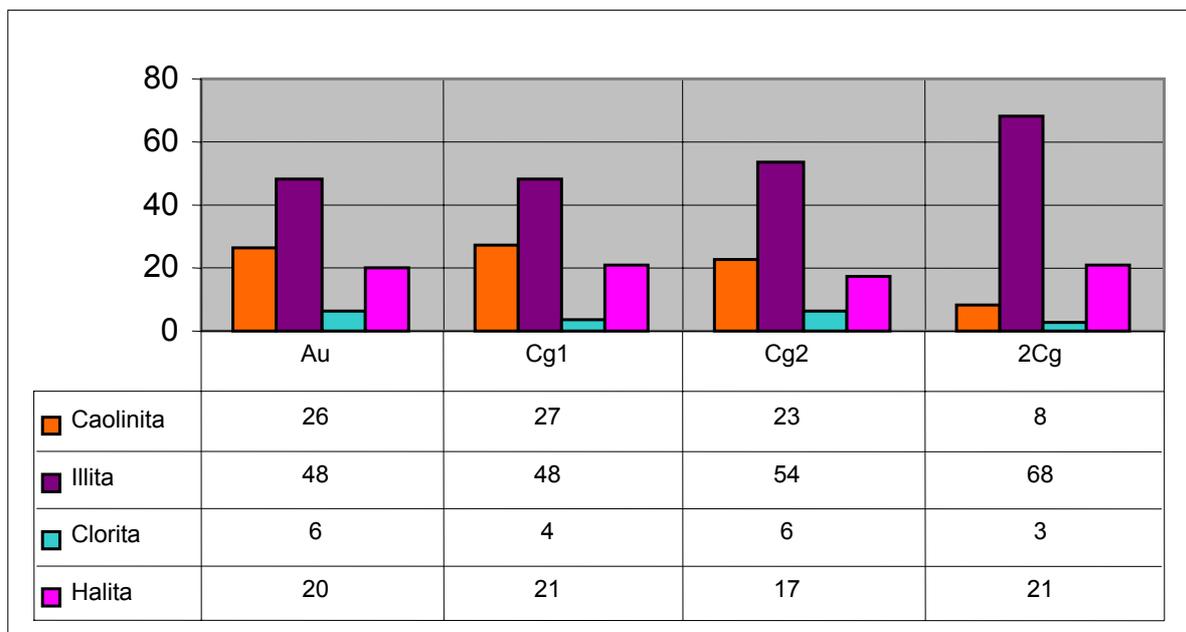
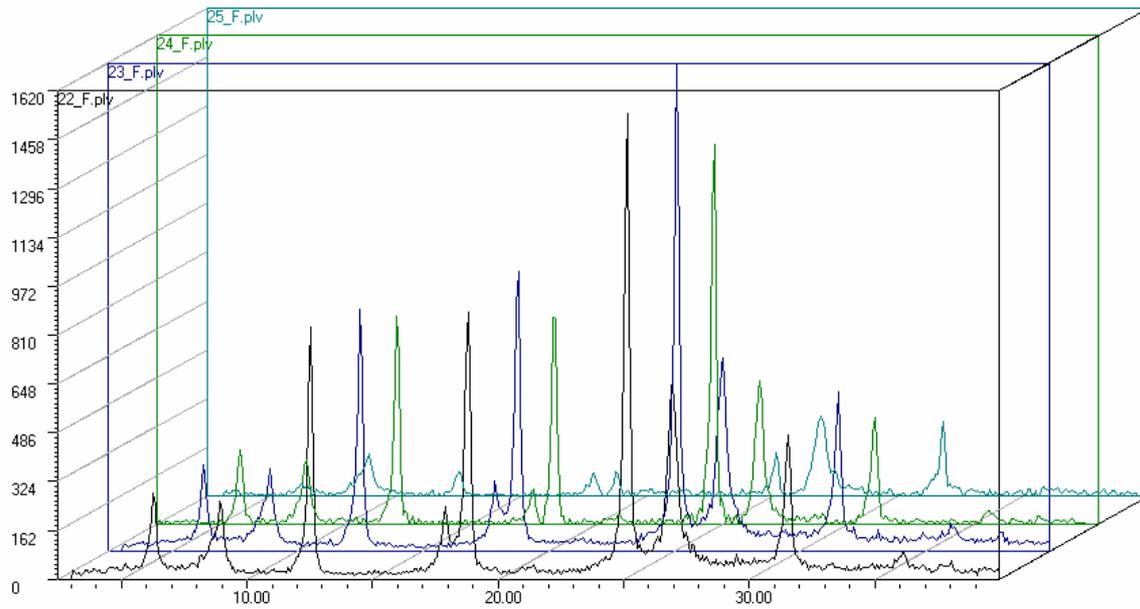
ANALISIS TEXTURAL (%)									
Hor.	Prof. (cm)	ARENAS					LIMO		ARCILLAS
		M. gruesa	Gruesa	Mediana	Fina	M. fina	Grueso	Fino	
Au	0-12	0.5	0.7	0.2	0.1	0.6	9.5	80.9	7.5
Cg1	12-50	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	7.9	83.8	7.5
Cg2	50-80	0.2	0.1	0.1	0.1	0.5	8.4	85.1	5.5
2Cg	>80	0.1	0	0.1	0	0.2	2.1	80.0	17.5

CAPACIDAD Y BASES								
Hor.	Bases extraibles (cmol <sup>+</sup> Kg <sup>-1</sup> )					V%	Aniones extraibles (cmol <sup>+</sup> Kg <sup>-1</sup> )	
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CIC		SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Cl <sup>-</sup>
Au	9.1	0.1	0.5	0.6	8.7	Sat	22.1	5.5
Cg1	9.5	0.2	0.4	0.7	8.6	Sat	32.9	5.0
Cg2	9.1	0.4	0.4	0.7	8.7	Sat	32.4	4.5
2Cg	9.4	0.2	0.7	0.6	9.1	Sat	36.5	5.5

OTROS DATOS ANALITICOS									
Hor.	pH (H <sub>2</sub> O 1:1)	C.E.	N (%)	CO (%)	C/N	CaCO <sub>3</sub> (%)	Humedad (%)		
							33kPa	1500kPa	H <sub>2</sub> O útil
Au	7.5	0.5	0.13	1.1	8.5	41	35.2	24.8	5.10
Cg1	7.6	0.4	0.09	0.8	8.9	45	29.7	21.6	5.8
Cg2	7.7	0.4	0.07	0.8	8.6	48	29.7	20.4	5.9
2Cg	7.5	0.4	0.07	0.6	8.6	47	29.4	20.2	7.1

DATOS REFERENTES AL EXTRACTO							
Hor.	Aniones (cmol <sup>+</sup> Kg <sup>-1</sup> )			Cationes (cmol <sup>+</sup> Kg <sup>-1</sup> )			
	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
Au	24.9	7.7	104.4	42.2	0.1	4.2	0.2
Bgy 1	37.9	4.4	84.2	44.2	0.1	2.3	0.1
Bgy 2	35.7	3.1	83.3	42.4	0.2	2.0	0.1
Cgy	40.7	4.1	91.3	46.5	0.1	2.3	0.0

Perfil 1024-17



## **Micromorfología del Perfil 1024-17**

### **Horizonte Cg 1**

Estructura masiva; distribución relacionada porfírica con menos nódulos de hematites; textura cristalomorfa con una relación c/f muy baja cuyo límite se cifra en 2 micras. Restos vegetales pseudomorfizados por carbonato cálcico, entre los que se observan esporas de helechos con un diámetro de 400 micras y abundantes granos de polen humificados con un diámetro de 0.06 mm.

### **Horizonte Cg 2**

Estructura masiva; huecos planares que determinan una porosidad mucho más baja que en el horizonte anterior. Microestructura fracturada, en algunas zonas paralela; se observan algunas esporas de helechos pseudomorfizadas por bicarbonato cálcico. Relación c/f :1/10; distribución relacionada porfírica. Masa basal muy fina y homogénea de color amarillo, teñida por goethita y salpicada de nodulaciones de hematites. (procesos de oxidación reducción). Se observan restos de tejidos.

### **Horizonte Cgy**

Presenta las mismas características que el horizonte anterior pero con menos porosidad y más masivo.

**PERFIL N°. 1024-23.**

**CARACTERISTICAS MACROMORFOLOGICAS.**

**Localización:** Cortijo Cabreriza, estación de Archidona.

**Coordenadas:** 30SUG 3665 41014

**Altitud:** 450 m.

**Posición fisiográfica:** Glacis.

**Topografía circundante:** Llano.

**Pendiente:** Casi llano.

**Vegetación:** Plantación reciente de olivos.

**Material original:** Arcillas y arenas aluviales.

**Drenaje:** Moderadamente bien drenado.

**Pedregosidad:** Sin piedras.

**Afloramientos rocosos:** No.

**Erosión:** Deposición hídica.

**Influencia humana:** Cultivos.

**Clasificación:** Luvisol cálcico.

<b>Hor.</b>	<b>Prof. (cm)</b>	<b>Descripción</b>
Ap	0-25	Color en seco y húmedo rojo oscuro (2.5YR 3/6); textura arcillosa; estructura en bloques subangulares, medianos; duro, friable, adherente y muy plástico; muchos poros intersticiales, exped; muy pocas gravas, calizas y dolomías, sin alterar; ligeramente calcáreo; pocas raíces, finas y muy finas; límite brusco y plano.
Bt	25-54	Color en seco pardo rojizo (2.5YR 3/4) y en húmedo pardo rojizo oscuro (2.5YR 2.5/4); textura arcillosa; estructura en bloques angulares gruesos; muy adherente, muy plástico, ligeramente friable y muy duro; cutanes iluviales discontinuos, de naturaleza arcillosa y con sesquioxidos, situados en las caras de los peds y de algunas gravas; pocos poros, tubulares, finos y muy finos, caóticos, imped y otros oblicuos, finos, exped; no calcareo; muy pocas raíces, finas y muy finas; límite neto e irregular.
Btk	54-79	Rojo oscuro en húmedo y en seco (2.5 YR 2.5/6); textura franco arcillosa; estructura en bloques angulares, medianos; adherente, plástico, duro y ligeramente friable; pocos cutanes, delgados, zonales, de arcilla y sesquioxidos, con la misma disposición que en el horizonte Bt; muchas gravas y piedras, que aumentan de tamaño con la profundidad, de naturaleza caliza, frecuentes nódulos de carbonato cálcico; fuertemente calcáreo; límite gradual e irregular.
Ck	>79	Coluvio calizo bien conservado envuelto en una matriz calcarea de origen secundario, que tiende a cementar el horizonte.

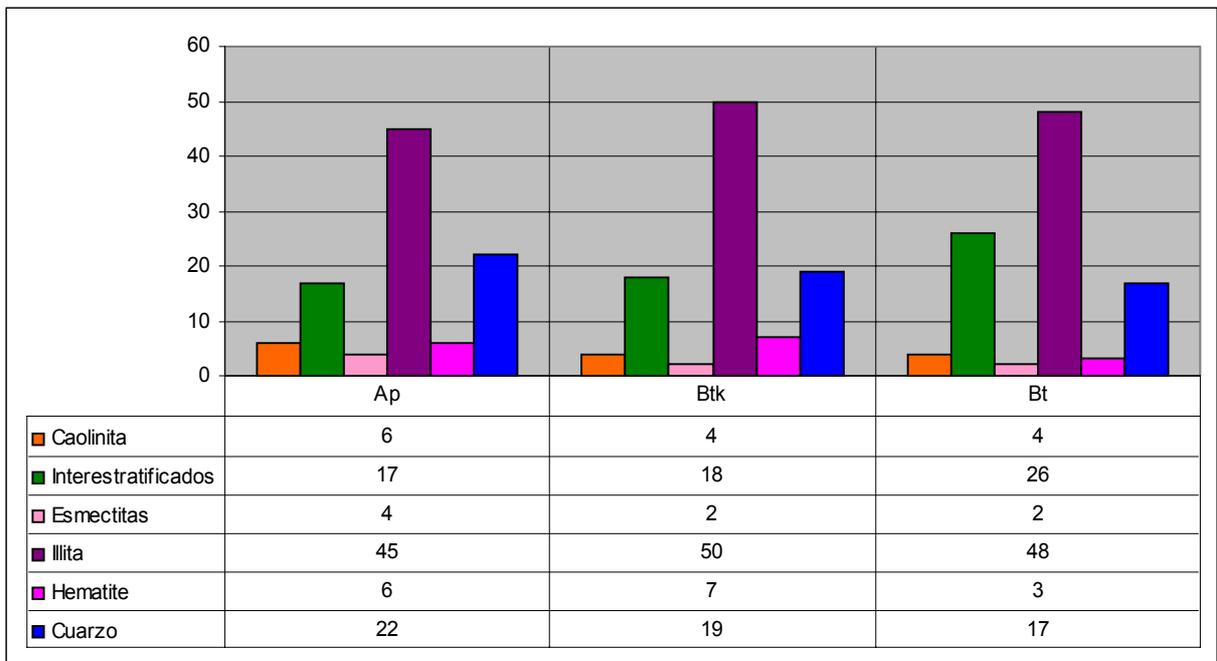
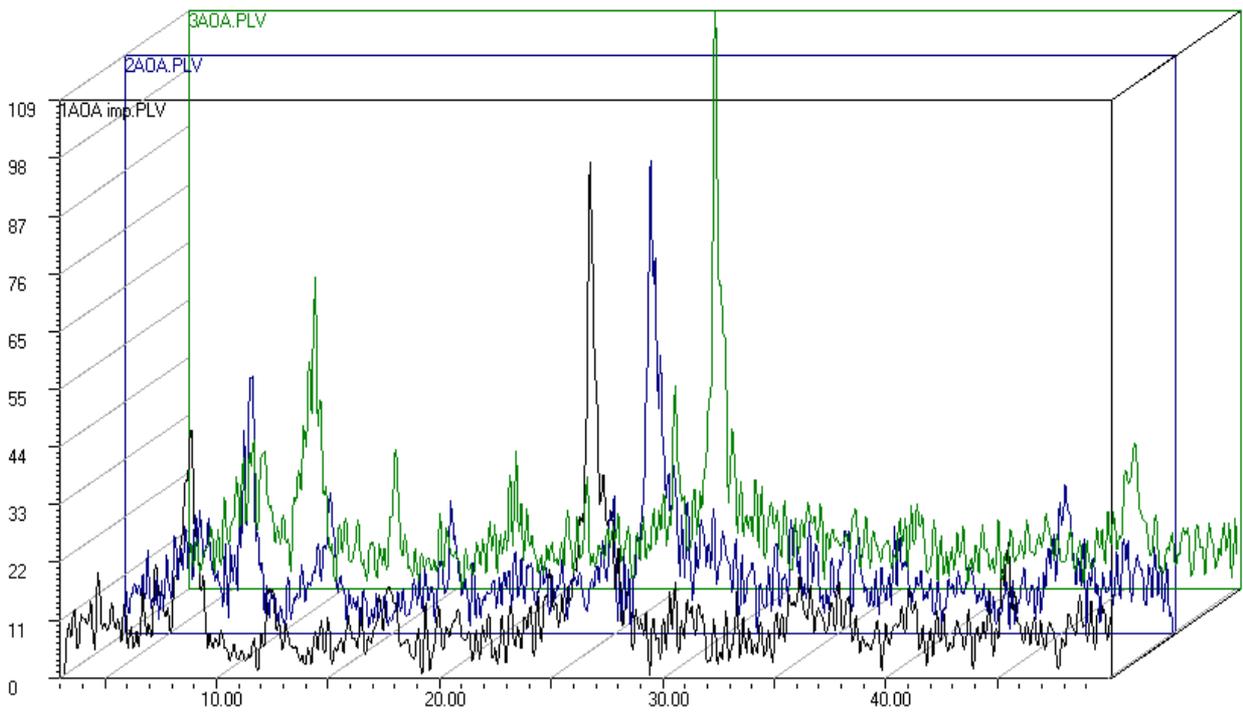
RESULTADOS ANALITICOS (P.1024-23)

ANALISIS TEXTURAL (%)									
Hor.	Prof. (cm)	ARENAS					LIMO		ARCILLAS
		M. gruesa	Gruesa	Mediana	Fina	M. fina	Grueso	Fino	
Ap	0-25	2.8	6.6	4.3	10.7	6.5	7.9	15.6	45.3
Bt	25-54	0.4	1.4	2.0	6.1	5.8	5.8	9.2	69.1
Btk	54-79	10.7	10.2	6.0	7.4	6.4	12.9	10.7	35.5

CAPACIDAD Y BASES						
Hor.	Bases extraíbles (cmol <sup>+</sup> Kg <sup>-1</sup> )					V%
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CIC	
Ap	22.6	2.9	0.31	0.45	23.5	Sat
Bt	26.9	3.5	0.21	0.3	30.4	Sat
Btk	19.6	2.9	0.15	0.3	16.6	Sat

OTROS DATOS ANALITICOS									
Hor.	pH (H <sub>2</sub> O 1:1)	C.E.	N (%)	CO (%)	C/N	CaCO <sub>3</sub>	Humedad (%)		
							33kPa	1500kPa	H <sub>2</sub> O útil
Ap	7.7	0.5	0.14	1.6	11.5	2	25.8	14.1	11.7
Bt	7.6	0.6	0.05	0.6	10.7	0	30.6	20.9	9.7
Btk	8.1	0.7	0.02	0.2	9.5	49	17.1	12.1	5

# Perfil 1024-23



## PERFIL N°. 1024-5

### CARACTERISTICAS MACROMORFOLOGICAS.

**Localización:** Fuente Viña

**Coordenadas:** 30SUG 3903 41096

**Altitud:** 618 m.

**Posición fisiográfica:** Fondo de valle.

**Topografía circundante:** Talud de meseta

**Pendiente:** Ondulado

**Vegetación:** Cereal

**Material original:** Coluvio

**Drenaje:** moderadamente bien drenado(mal drenado en profundidad)

**Pedregosidad:** Sin piedras

**Afloramientos rocosos:** Ninguno

**Erosión:** Hídrica laminar.

**Influencia humana:** Cultivo

**Clasificación:** Calcisol háplico.

#### Hor. Prof.cm. Descripción

A	0-15	Color en seco pardo amarillento (10YR 5/4) y oscurece en húmedo (10YR 5/4); estructura granular media, gruesa; textura franca; duro, friable, plástico y adherente; frecuentes poros medianos y finos intersticiales, y algunos horizontales, exped; son frecuentes caóticos y tubulares los imped, raíces comunes; calcáreo; límite brusco y plano.
Bwk	15-32	Color en seco pardo amarillento algo más intenso que en el horizonte superior (10YR 5/6) y algo más oscuro en húmedo (10YR 4/6); estructura en bloques con cierta tendencia prismática; textura franco arcillosa; muy duro, muy plástico y muy adherente; poros medianos verticales, exped; muy pocos y muy finos, caóticos, exped; calcáreo; pocas raíces y finas; frecuentes gravas calizas y redondeadas, con distinto grado de meteorización; nódulos calizos y muy difusos; límite brusco y plano.
Ck <sub>1</sub>	32-105	Horizonte de color semejante al del horizonte superior y con frecuentes concreciones pequeñas e irregulares redondeados, blandos, de carbonato clásico; textura franco arcillosa estructura masiva y están ausentes las raíces; fuertemente calcáreo y limite inferior gradual y ondulado.
2Ck <sub>2</sub>	>105	Muy parecido al anterior pero de color más pardo en seco y húmedo (10YR 4/4)

## RESULTADOS ANALITICOS (P. 1024-5)

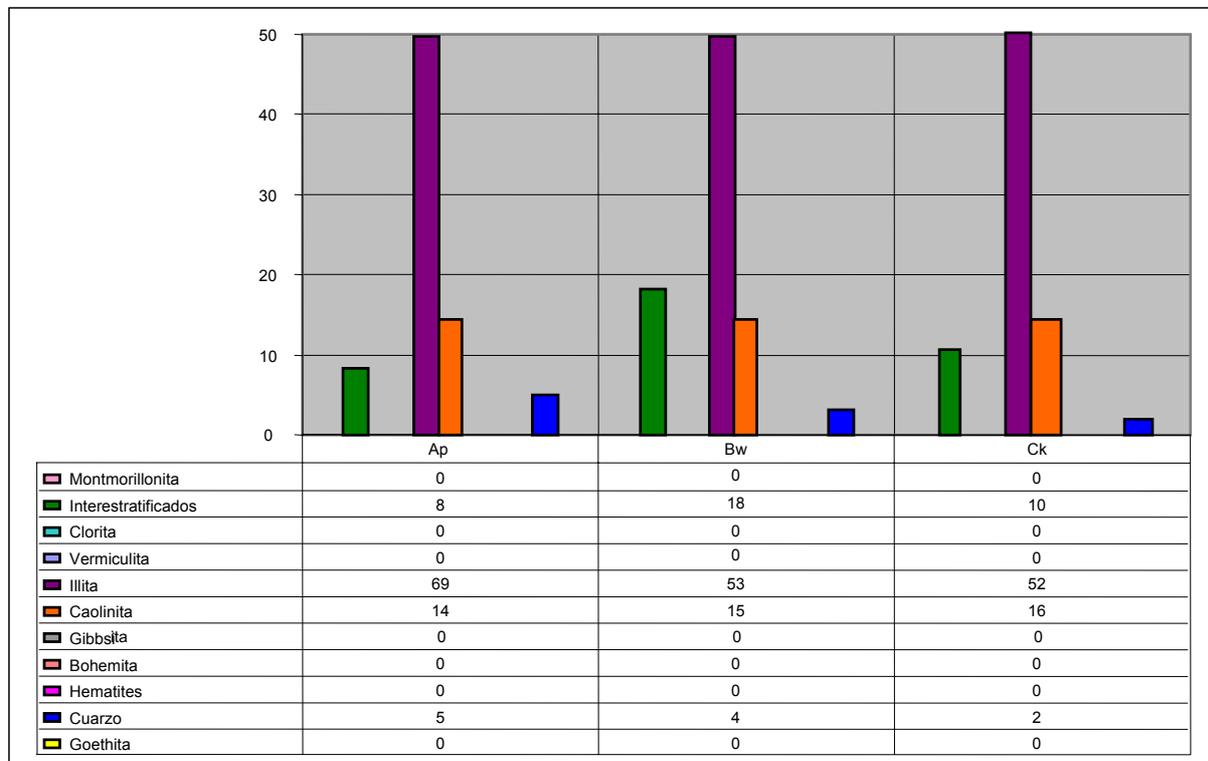
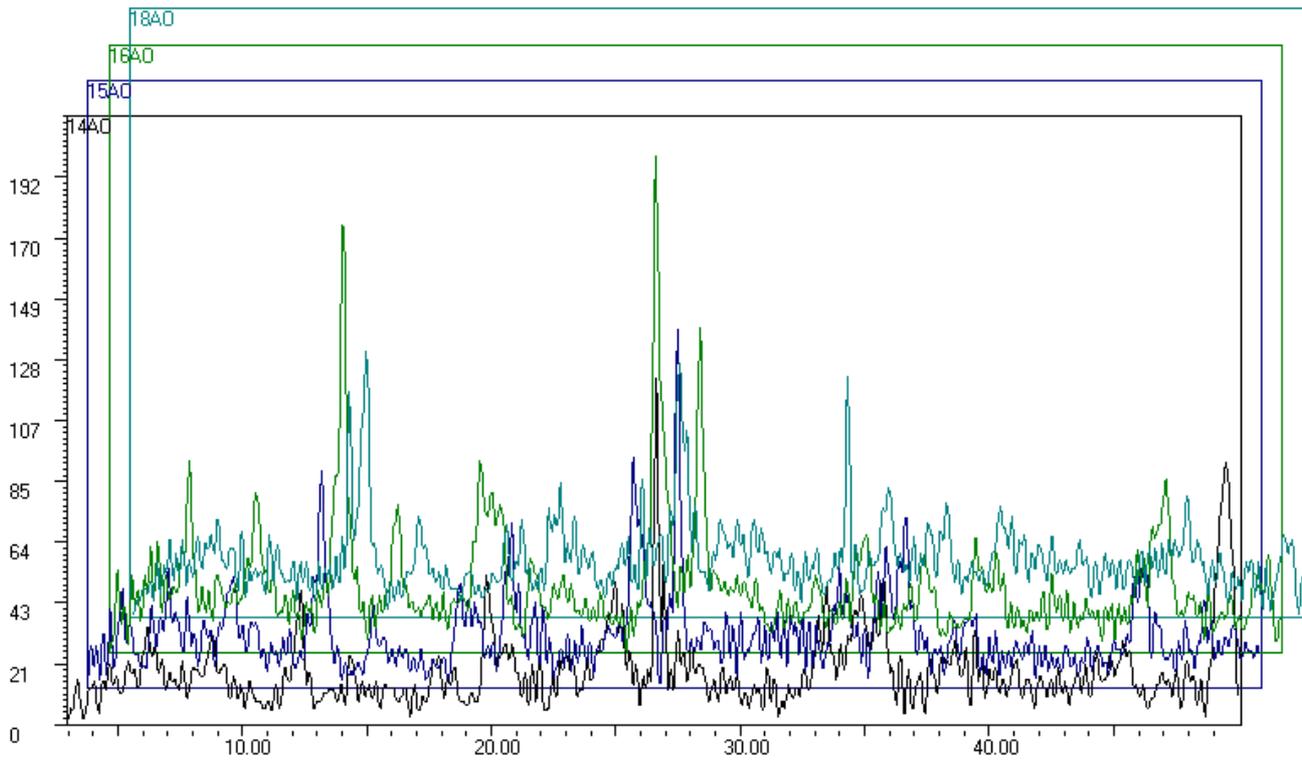
ANALISIS TEXTURAL (%)									
Hor.	Prof. (cm)	ARENAS					LIMO		ARCILLAS
		M. gruesa	Gruesa	Mediana	Fina	M. fina	Grueso	Fino	
A	0-15	3.4	4.6	5.5	11.3	10.1	25.5	19.3	20.3
Bwk	15-32	3.0	3.3	4.4	9.0	8.2	24.5	9.1	38.5
Ck <sub>1</sub>	>32	0.1	0.2	1.1	11.1	11.7	27.2	9	39.6

CAPACIDAD Y BASES								
Hor.	Bases extraíbles (cmol <sup>+</sup> Kg <sup>-1</sup> )					V%	Aniones extraíbles (cmol <sup>+</sup> Kg)	
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CIC		SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>
A	13.1	2.1	0.1	0.5	15.5	Sat	26	6
Bwk	11.4	1.9	0.0	0.2	15.0	Sat	20	7
Ck <sub>1</sub>	10.8	9.0	0.1	0.1	14.7	Sat	24	8

OTROS DATOS ANALITICOS									
Hor.	pH (H <sub>2</sub> O 1:1)	C.E.	N (%)	CO (%)	C/N	CaCO <sub>3</sub> (%)	Humedad (%)		
							33kPa	1500kPa	H <sub>2</sub> O útil
A	7.7	0.7	0.12	1.3	10.8	18	18.9	9.7	9.2
Bwk	7.7	0.7	0.03	0.3	10		22.6	10.8	11.8
Ck <sub>1</sub>	7.8	0.6	0.02	0.2	10	46	--	--	--

DATOS REFERENTES AL EXTRACTO							
Hor.	Aniones (cmol <sup>+</sup> Kg <sup>-1</sup> )			Cationes (cmol <sup>+</sup> Kg <sup>-1</sup> )			
	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
A	37.7	13.8	68	34.6	2.3	8.2	0.3
Bwk	31.3	13.8	88.9	30.5	1.8	8.1	0.1
Ck <sub>1</sub>	32.5	6.3	64.2	31.4	3.2	4.2	0.1

## Perfil 1024-5



**PERFIL N°1024.- 24****CARACTERISTICAS MACROMORFOLOGICAS.****Localización:** Al Norte del Cerro de Santa Lucía. (SIERRA GORDA 1)**Coordenadas:** 30SUG 3931 41027**Altitud:** 1440 m**Posición fisiográfica:** Dolina**Topografía circundante:** Fuertemente socavada.**Pendiente:** Casi llano.**Vegetación:** Pastizal.**Material original:** Caliza.**Drenaje:** Moderadamente bien drenado.**Pedregosidad:** Sin piedras.**Afloramientos rocosos:** Sin afloramientos.**Erosión:** Eólica.**Influencia humana:** Ganadería.**Clasificación:** Nitisol ródico.**Hor. Prof.cm Descripción**

Ah	0-11	Color en seco pardo rojizo (2.5 YR 4/4) que pasa en húmedo a pardo rojizo oscuro (2.5 YR 3/4); textura franco arcillosa; estructura granular media. Ligeramente duro, friable, ligeramente adherente y ligeramente plástico.; frecuentes raíces, finas y muy finas; pocas gravas de naturaleza caliza y subredondeadas; frecuentes poros, finos y medianos, continuos, horizontales y vesiculares, imped; ligeramente calcáreo; límite gradual y plano.
Bt 1	11-40	Color en seco rojo (2.5YR 4/6), que oscurece en húmedo (2.5 YR 3/6). Textura arcillosa; estructura en bloques angulares medianos. Algunos cutanes de hierro y arcilla. Ligeramente duro, friable, ligeramente adherente y ligeramente plástico; frecuentes poros, finos y muy finos, continuos, horizontales y tubulares, imped; otros medianos, oblicuos, exped; muy pocas gravas, subredondeadas y de naturaleza caliza; pocas raíces, finas y muy finas; no calcáreo; límite gradual y plano.
Bt 2	40-72	Color en seco rojo (2.5 YR 4/7) que en húmedo pasa a rojo oscuro (2.5YR 3/8); textura arcillosa; estructura en bloques angulares medianos; cutanes de hierro y arcilla que dan cierto brillo a las paredes de los peds. Duro, firme, ligeramente adherente y ligeramente plástico; poros frecuentes, oblicuos y algunos verticales exped; sin gravas; no calcáreo; límite gradual y plano.
Bt 3	72-105	Color en seco rojo (2.5YR 4/8) que pasa a rojo oscuro en húmedo (2.5YR 3/6); textura arcillosa; estructura con cierta tendencia a prismática. Cutanes de arcilla y hierro que mantiene brillantes los peds. Duro, firme, ligeramente adherente y ligeramente plástico; poros finos

con tendencia vertical, exped; sin raíces; no calcáreo; límite gradual y plano.

Bt 4 105-138 Color rojo en seco (10R 4/8) que oscurece en húmedo (10R 3/7); textura arcillosa; estructura casi prismática; cutanes de hierro y arcilla; duro, firme, ligeramente plástico y ligeramente adherente; poros finos semejantes a Bt3 pero en mayor número; no calcáreo.

R >138 Roca caliza.

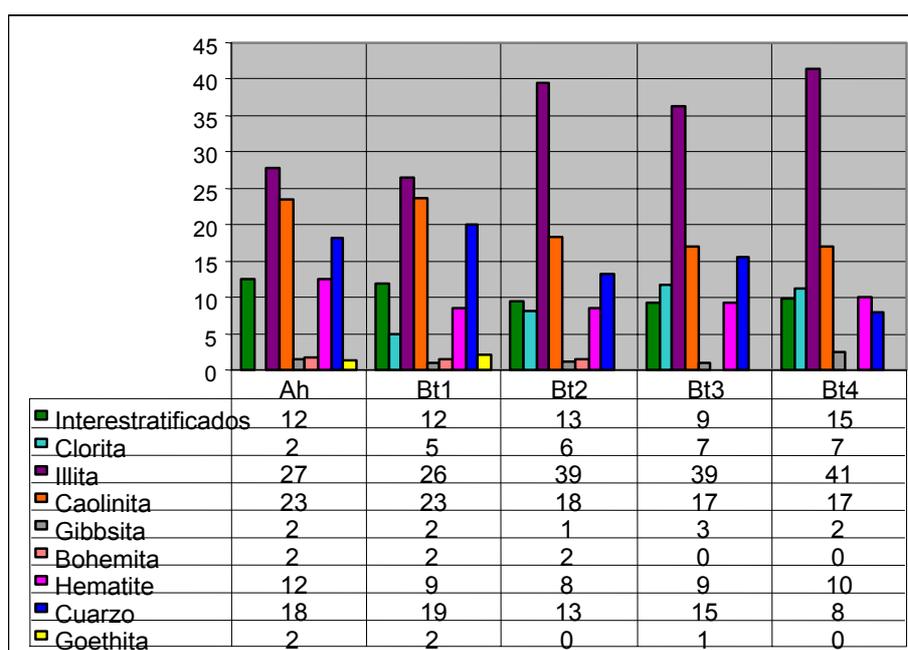
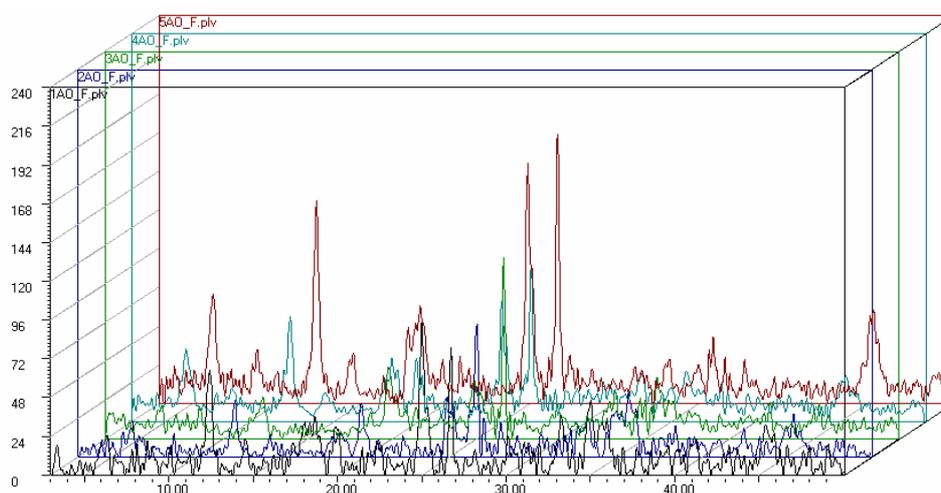
**RESULTADOS ANALITICOS (P. 1024-24 )**

ANALISIS TEXTURAL (%)									
Hor.	Prof. (cm)	ARENAS					LIMO		ARCILLAS
		M. gruesa	Gruesa	Mediana	Fina	M. fina	Grueso	Fino	
Ah	0-11	3.6	4.2	4.2	4.4	4.1	14.7	27	37.8
Bt 1	11-40	0.7	2.7	2.8	3.5	4.5	10.2	25.4	50.2
Bt 2	40-72	0.4	3.3	2.4	4.1	4.2	8.7	15.7	61.2
Bt 3	72-105	0.7	1.1	1.2	4.1	4.4	8.6	16.5	63.4
Bt 4	105-138	0	0.3	0.4	2.2	2.2	9.2	17.4	68.3

CAPACIDAD Y BASES							
Hor.	Bases extraíbles (cmol <sup>+</sup> /kg)					V%	Rr
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CIC		
Ah	21.90	1	0.62	1.62	22.8	Sat	7.5
Bt 1	16.41	0.66	0.63	0.64	17.5	Sat	11.2
Bt 2	13.32	0.89	0.66	0.60	16.3	95	13.1
Bt 3	13.33	0.82	0.74	0.50	16.7	92	15
Bt 4	14.20	0.86	0.72	0.50	17.8	91	20

OTROS DATOS ANALITICOS											
Hor.	pH (H <sub>2</sub> O 1:1)	C.E. dS/m	N %	CO %	C/N	CaCO <sub>3</sub> %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100g	K <sub>2</sub> O mg/100 g	Humedad (%)		
									33 kPa	1500 kPa	H <sub>2</sub> O Util
A	7.5	0.55	0.362	3.45	9.5	0.9	19	54	22.40	8.02	14.38
Bt 1	7.5	0.30	0.080	0.60	7.5	0	16	41	25.09	12.05	13.04
Bt 2	7	0.37	0.038	0.33	8.6	0	12	25	22.22	10.64	11.8
Bt 3	6.9	0.35	0.036	0.31	8.6	0	7	20	21.42	11.84	9.58
Bt 4	6.9	0.30	0.221	0.2	-	0	7	19	21.32	11.06	10.26

Perfil 1024-24 (Sierra Gorda 1)



## PERFIL N°1024 –25

### CARACTERISTICAS MACROMORFOLOGICAS.

**Localización:** Cortijo del Pecho de La Mata. (SIERRA GORDA 2).

**Coordenadas:** 30SUG 3939 41049

**Altitud:** 950 m

**Posición fisiográfica:** Grieta.

**Topografía circundante:** Montañoso.

**Pendiente:** Moderadamente escarpado.

**Vegetación:** Pastizal.

**Material original:** Calizo dolomía.

**Drenaje:** Moderadamente bien drenado.

**Pedregosidad:** Muy pedregoso.

**Afloramientos rocosos:** Extremadamente rocoso.

**Erosión:** Hídrica laminar y en surcos.

**Influencia humana:** Pastoreo.

**Clasificación:** Nitisol ródico.

### Hor. Prof.cm Descripción

Ah	0-17	Color en seco rojo (2.5 YR 4/6) que pasa en húmedo a rojo oscuro (2.5 YR 3/6); textura arcillo limosa; estructura granular moderada. Ligeramente duro, friable, ligeramente adherente y ligeramente plástico.; frecuentes poros, finos y medianos, imped; pocas gravas; evidencia de lombrices y hormigas; lateralmente raíces comunes, finas y muy finas; no calcáreo; límite interrumpido y neto
Bt	17-64	Color en seco rojo (10R 4/6), que oscurece en húmedo (10R 3/6). Textura arcillosa; estructura en bloques angulares gruesos a prismática. Duro, firme, adherente y plástico; frecuentes cutanes de arcilla con óxidos de hierro, delgados y continuos; pocos poros, tubulares imped y otros mas frecuentes oblicuos, exped; no calcáreo; muy pocas raíces; límite lateral interrumpido.
R	>64	Caliza

## RESULTADOS ANALITICOS (P. 1024-25)

ANALISIS TEXTURAL (%)									
Hor.	Prof. (cm)	ARENAS					LIMO		ARCILLAS
		M. gruesa	Gruesa	Mediana	Fina	M. fina	Grueso	Fino	
Ah	0-17	0.1	0.2	1.2	2.1	4	21	20.2	51.2
Bt	17-64	0.1	0.1	0.2	2.4	3	17	11.7	65.5

CAPACIDAD DE CAMBIO Y BASES.							
Hor.	Bases extraibles (cmol <sup>+</sup> /Kg)					V%	Rr
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CIC		
Ah	23.1	6.03	0.04	1.49	22.1	Sat	11.2
Bt	18.01	2.41	0.02	0.45	20.6	97	15

OTROS DATOS ANALITICOS											
Hor.	pH (H <sub>2</sub> O 1:1)	C.E. DS <sub>m</sub> <sup>-1</sup>	N (%)	CO %	C/N	CaCO <sub>3</sub> %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100 g	K <sub>2</sub> O mg/100 g	Humedad (%)		
									33kPa	1500kpa	H <sub>2</sub> O Util
Ah	7.5	0.44	0.562	6.01	10.7	0.5	21	54	36.2	22.1	14.0
Bt	7.1	0.40	0.098	0.89	9.1	0	20	18	26.1	14.2	11.9

**PERFIL N°1024 -26.**

**CARACTERISTICAS MACROMORFOLOGICAS.**

**Localización:** Este del ventorro de La Charoda. (SIERRA GORDA 3)

**Coordenadas:** 30SUG 3915 41055

**Altitud:** 920 m

**Posición fisiográfica:** Ladera

**Topografía circundante:** Montañosa.

**Pendiente:** Escarpada

**Vegetación:** Pastizal.

**Material original:** Caliza.

**Drenaje:** Moderadamente bien drenado.

**Pedregosidad:** Pedregoso.

**Afloramientos rocosos:** Rocoso

**Erosión:** Hídrica moderada a débil en surcos

**Influencia humana:** No se observa.

**Clasificación:** Nitisol ródico.

**Hor. Prof.cm Descripción**

Ah	0-22	Color en seco pardo rojizo (5 YR 5/4) que oscurece en húmedo (5 YR 4/4); textura arcillosa; estructura en bloques subangulares gruesos Ligeramente duro, friable, ligeramente adherente y ligeramente plástico; frecuentes poros, finos y medianos, intersticiales y oblicuos, imped; pocas gravas, calizas, angulosas y subredondeadas, carstificadas; evidencia de lombrices y hormigas; raíces comunes, finas y muy finas; ligeramente calcáreo; límite brusco y ondulado.
Bt	22-35	Color en seco rojo amarillento (5YR 4/6), que oscurece en húmedo (5YR 3/6); textura arcillosa; estructura en bloques angulares a prismáticos. Muy duro, firme, ligeramente adherente y ligeramente plástico; cútanos de arcilla finos y al azar; poros finos y medianos, oblicuos, exped; algunas gravas angulosas y subredondeadas; muy pocas raíces; límite interrumpido lateralmente y brusco.
R	>35	Caliza

## RESULTADOS ANALITICOS (P. 1024-26)

ANALISIS TEXTURAL (%)									
Hor.	Prof. (cm)	ARENAS					LIMO		ARCILLAS
		M. gruesa	Gruesa	Mediana	Fina	M. fina	Grueso	Fino	
Ah	0-22	1.1	1.7	0.2	3.3	4.6	13.6	16.3	59.2
Bt	22-35	0.2	0.6	0.1	0.3	2.1	6.2	16.6	73.9

CAPACIDAD DE CAMBIO Y BASES.							
Hor.	Bases extraibles (cmol <sup>+</sup> /kg)					V%	Rr
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CIC		
Ah	22.10	2.51	0.10	1.03	24.6	Sat	5
Bt	17.52	1.75	0.06	0.64	20.6	97	7.5

OTROS DATOS ANALITICOS											
Hor.	pH (H <sub>2</sub> O 1:1)	C.E. dS/m	N (%)	CO (%)	C/N	CaCO <sub>3</sub> (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100g	K <sub>2</sub> O mg/100 g	Humedad (%)		
									33 kPa	1500 kPa	H <sub>2</sub> O Util
Ah	7.4	0.45	0.308	3.90	12.7	1	36	35	39.91	28.81	11.10
Bt	7.1	0.40	0.051	0.40	7.8	0	19	38	37.62	26.03	11.59

**PERFIL N°1024 –27.**

**CARACTERISTICAS MACROMORFOLOGICAS.**

**Localización:** Majada del Tostado (SIERRA GORDA 4)

**Coordenadas:** 30SUG 3943 41037

**Altitud:** 1420 m

**Posición fisiográfica:** Dolina.

**Topografía circundante:** Ondulado a colinado.

**Pendiente:** Llano.

**Vegetación:** Pastizal.

**Material original:** Caliza oolítica.

**Drenaje:** Moderadamente bien drenado.

**Pedregosidad:** Sin piedras.

**Afloramientos rocosos:** Sin afloramientos.

**Erosión:** Hídrica laminar en surcos.

**Influencia humana:** Pastoreo.

**Clasificación:** Nitisol ródico.

**Hor. Prof.cm Descripción**

Ah	0-5	Color en seco rojo (2.5 YR 4/6) que oscurece en húmedo (2.5 YR 3.5/6); textura franco-arcillo-limosa; estructura granular fina. Ligeramente duro, friable, ligeramente adherente y ligeramente plástico. Ligeramente calcáreo; abundantes gravas y alguna piedra; raíces comunes, muy finas y finas. Excelente actividad biológica (hormigueros y lombrices). Límite neto y plano.
AB	5-16	Algo mas rojo en seco (2.5YR 4/7) y en húmedo rojo oscuro (2.5 YR 3/6). Textura franco arcillo limosa; estructura granular media a bloques subangulares; ligeramente duro, friable, ligeramente adherente y ligeramente plástico. No calcáreo; pocos poros, finos y muy finos, caóticos, imped. Pocas raíces, muy finas; (hormigueros y bioporos); decrecen las gravas; límite gradual y plano.
Bt 1	16-33	Color en seco rojo (2.5 YR 4/8) y en húmedo oscurece (2.5YR 3/8); Textura franco arcillosa; estructura en bloques angulares; duro, firme, ligeramente adherente y ligeramente plástico; no calcáreo; muy pocas raíces, muy finas; pocos poros, finos y muy finos, caóticos, imped; pocas gravas y alguna piedra; bioporos; algunos cutanes; límite gradual y ligeramente ondulado.
Bt 2	33-49	Color rojo (10R 4/7) que oscurece en húmedo (10R 3/6); textura arcillosa; estructura en bloques angulares y paredes brillantes. Duro, firme, ligeramente adherente y ligeramente plástico; no calcáreo; frecuentes poros, finos, oblicuos e intersticiales, exped; límite gradual y plano.

Bt 3	49-111	Color rojo (10 R 4/8) que oscurece en húmedo (10R 3/8); textura arcillosa; estructura algo más desarrollada que en el horizonte Bt2 y mantiene la pátina brillante en la pared de los pedis; duro, firme, ligeramente plástico y ligeramente adherente; poros similares a los del horizonte superior si bien dominan los oblicuos y aparecen algunos verticales; sin raíces; no calcáreo.
R	>111	Roca caliza

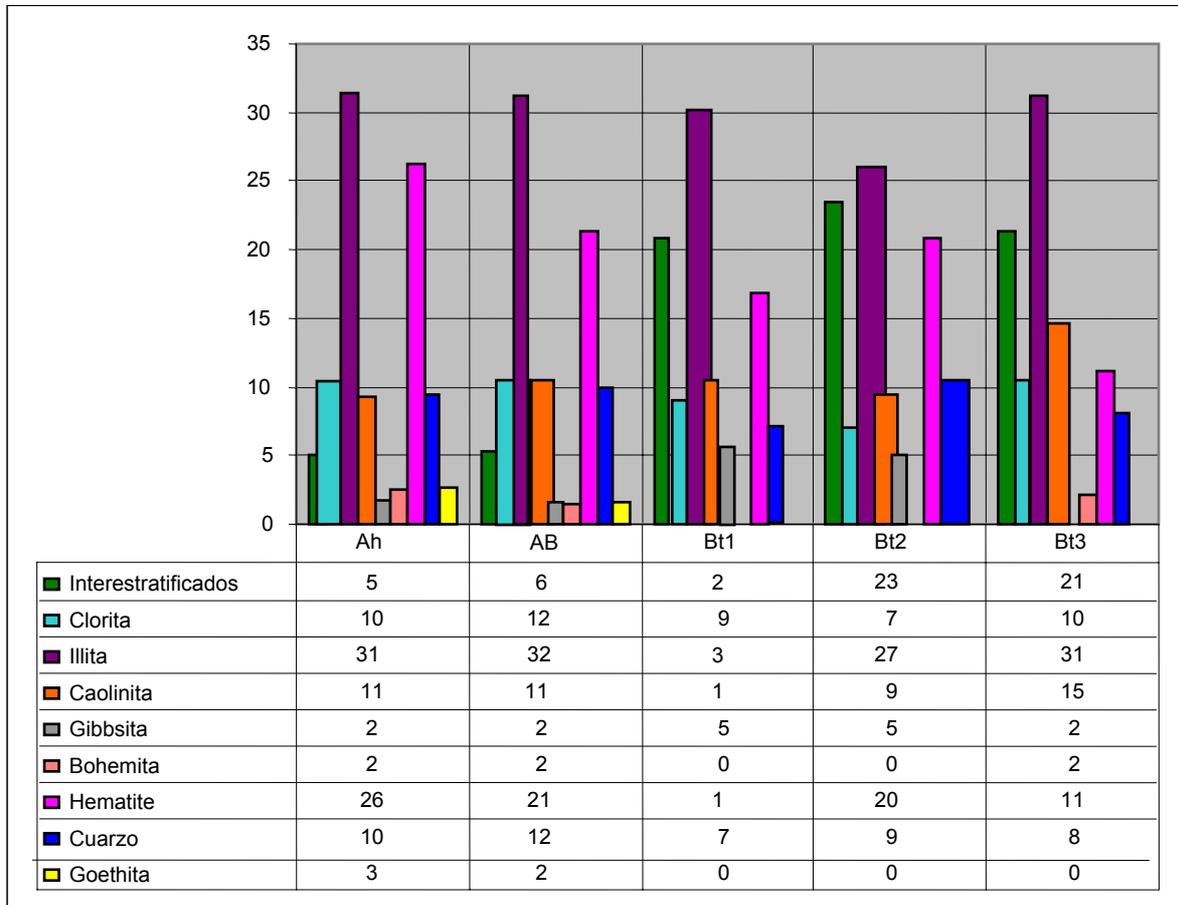
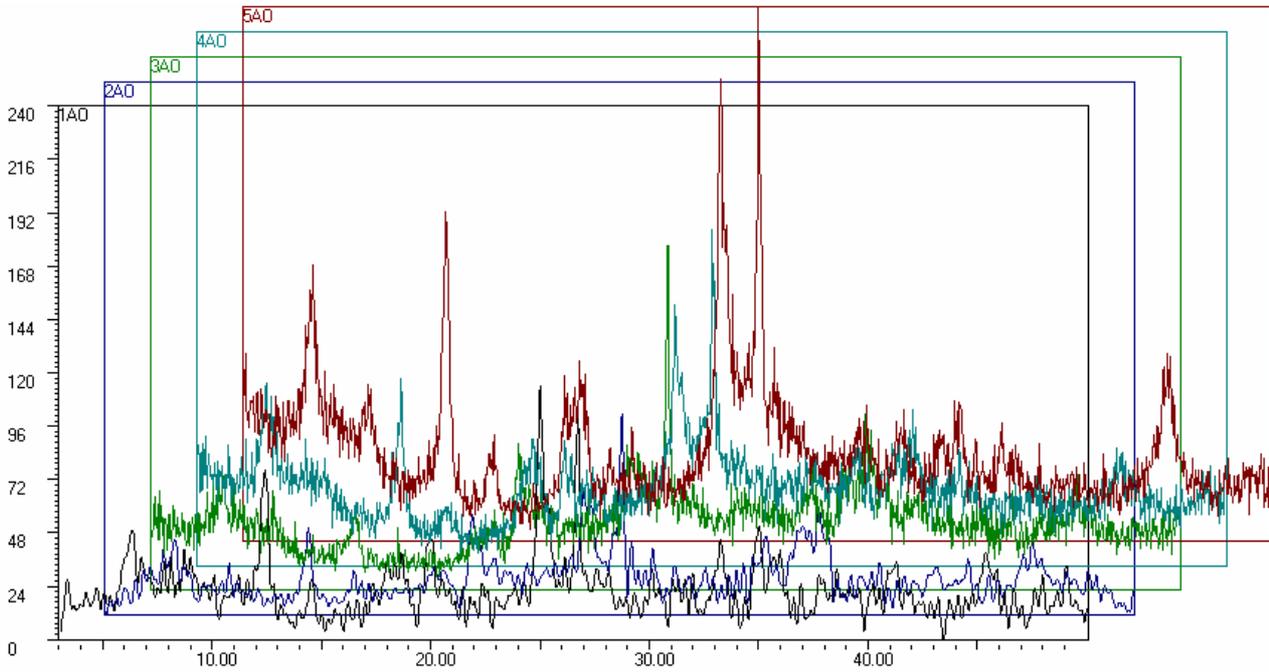
**RESULTADOS ANALITICOS (P 1024-27)**

ANALISIS TEXTURAL (%)									
Hor.	Prof. (cm)	ARENAS					LIMO		ARCILLAS
		M. gruesa	Gruesa	Mediana	Fina	M. fina	Grueso	Fino	
Ah	0-5	0.4	1.2	1.9	3.0	2.5	16.3	34.7	40
AB	5-16	0.2	0.6	1.8	3.8	2.7	15.9	34.9	40.1
Bt 1	16-33	0.6	0.7	1.8	3.6	3.1	10.9	20.5	56.8
Bt 2	33-49	1.0	2.0	2.9	3.3	3.9	8.7	18.2	60
Bt 3	>49	0.4	1.6	1.2	2.7	2.6	8	17.1	64.4

CAPACIDAD DE CAMBIO Y BASES.							
Hor.	Bases extraíbles (cmol <sup>+</sup> /Kg)					V%	Rr
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CIC		
Ah	20.20	1.68	0.72	1.41	21.3	Sat	11.2
AB	19.60	1.20	0.90	0.85	18.5	Sat	13.1
Bt 1	13.02	0.85	0.58	0.73	15.4	99	15
Bt 2	12.03	0.97	0.72	0.62	15.8	91	17.5
Bt 3	12.35	1.30	0.83	0.50	15.9	94	20

OTROS DATOS ANALITICOS.											
Hor.	pH (H <sub>2</sub> O 1:1)	C.E. dS/m	N %	CO %	C/N	CaCO <sub>3</sub> %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100g	K <sub>2</sub> O mg/100 g	Humedad (%)		
									33kPa	1500 kPa	H <sub>2</sub> O útil
Ah	7.6	0.38	0.260	2.90	11.15	2	25	57	23.90	12.94	10.96
AB	7.4	0.39	0.170	1.60	9.41	2.05	19	35	23.28	12.76	10.52
Bt 1	7.0	0.40	0.042	0.30	7.1	0	6	29	21.62	11.11	10.51
Bt 2	7.0	0.39	0.030	0.21	7.0	0	2	25	20.65	11.16	9.49
Bt 3	7.0	0.40	0.029	0.20	6.89	0	2	20	20.71	11.29	9.42

Perfil 1024-27 (Sierra Gorda- 4)



**PERFIL N°1024 –28.****CARACTERISTICAS MACROMORFOLOGICAS.****Localización:** Cerro del Caballón. (SIERRA GORDA 10)**Coordenadas:** 30SUG 3935 40994**Posición fisiográfica:** Dolina.**Topografía circundante:** Montañoso por el sur y ondulado a colinado el resto.**Pendiente:** Casi llano.**Vegetación:** Pastizal.**Material original:** Caliza.**Drenaje:** Moderadamente bien drenado.**Pedregosidad:** Moderadamente pedregoso.**Afloramientos rocosos:** Sin rocas.**Influencia humana:** Pastoreo.**Clasificación:** Luvisol léptico.**Hor. Prof.cm Descripción**

Hor.	Prof.cm	Descripción
Au	0-6	Color en seco rojo (2.5 YR 5/6) y en húmedo es ligeramente más oscuro (2.5 YR 4/6); textura arcillo limosa; estructura granular a bloques subangulares. Ligeramente duro, friable, no adherente, no plástico. Raíces comunes, finas y muy finas. Abundantes gravas de material calizo, subredondeadas; ligeramente calcáreo; límite brusco y plano.
AB	6-22	Color rojo (2.5YR 5/8) y en húmedo más oscuro (2.5 YR 4/8). Textura arcillosa; estructura en bloques subangulares medianos, moderada. Ligeramente duro, friable, adherente, plástico; pocos poros, finos y muy finos, continuos, caóticos, imped, y frecuentes, oblicuos, intersticiales, exped. Disminuyen las raíces siendo medianas y finas; hormigueros y lombrices; pocas gravas; ligeramente calcáreo. Límite gradual, parcialmente interrumpido
Bt	22-45	Color en seco rojo (10R 5/8) y en húmedo rojo oscuro (10R 4/6). Textura arcillosa; estructura en bloques angulares a prismáticos. Muy duro, firme, muy adherente, muy plástico. Muy pocas raíces. Frecuentes poros, finos y muy finos, otros verticales y oblicuos; frecuentes cutanes de presión y de iluviación; no calcáreo; Límite interrumpido.
R	>45	Caliza muy fragmentada.

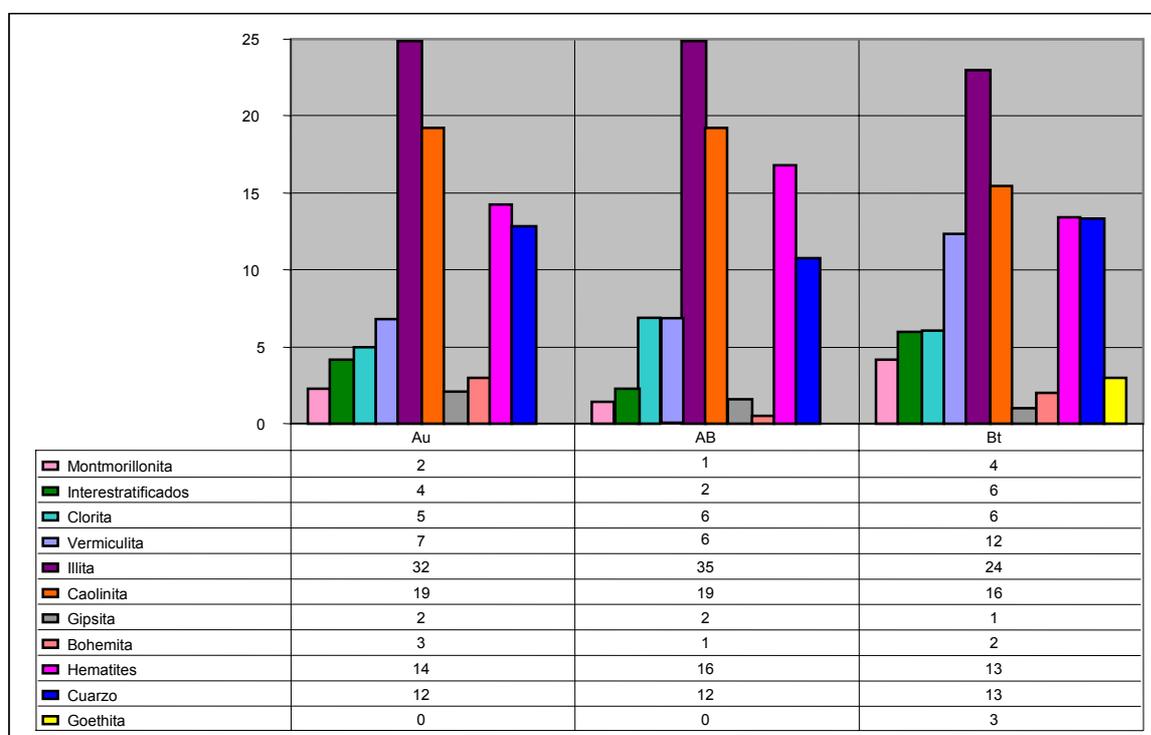
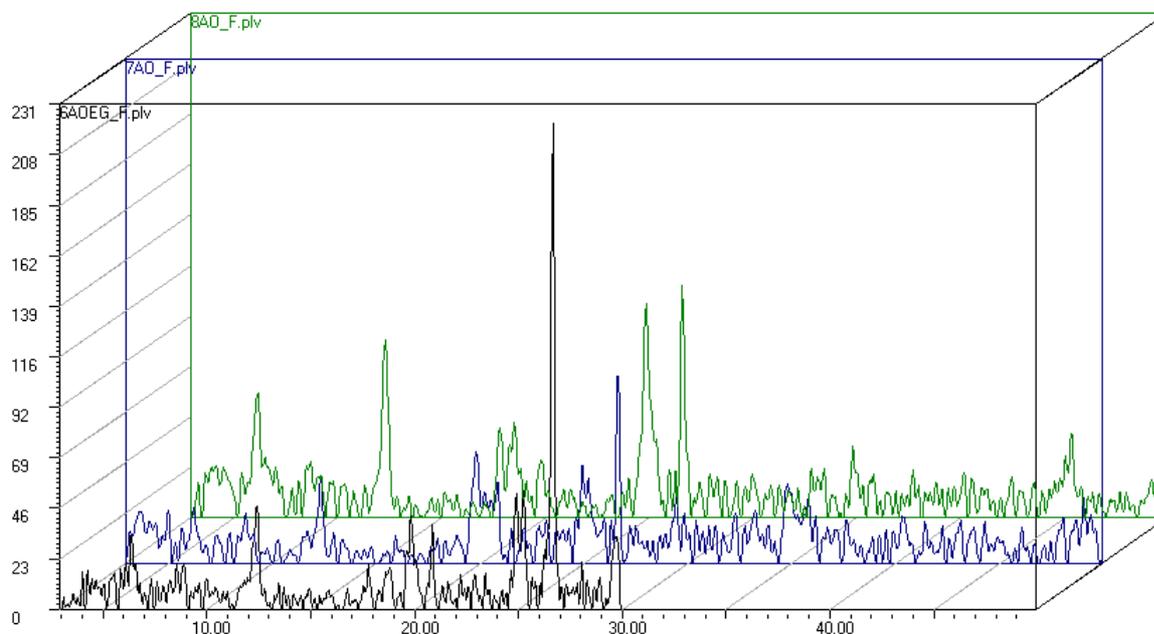
**RESULTADOS ANALITICOS (P. 1024-28)**

ANALISIS TEXTURAL (%)									
Hor.	Prof.(cm)	ARENAS					LIMO		ARCILLAS
		M. gruesa	Gruesa	Mediana	Fina	M. fina	Grueso	Fino	
Au	0-6	0.2	0.2	0.5	2.0	4.3	19.8	30.8	42.2
AB	6-22	0.5	1.1	2.8	3.9	5.5	10.3	32.4	43.5
Bt	22-45	0.4	0.6	2.6	3.4	4.3	10.3	17.7	60.7

CAPACIDAD DE CAMBIO Y BASES.							
Hor.	Bases extraibles (cmol <sup>+</sup> /kg)					V%	Rr
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CIC		
Au	19.3	1.9	0.12	0.80	20.2	Sat	9
AB	15.8	1.1	0.13	0.79	17.3	Sat	10.9
Bt	16.2	1.2	0.19	0.62	19.0	9.6	16

OTROS DATOS ANALITICOS											
Hor.	pH (H <sub>2</sub> O 1:1)	C.E. dS/m	N %	CO %	C/N	CaCO <sub>3</sub> %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100g	K <sub>2</sub> O mg/100 g	Humedad (%)		
									33kPa	1500 kPa	H <sub>2</sub> O útil
Au	7.4	0.79	0.10	1.34	12.5	1.9	18	33	24.76	11.18	13.58
AB	7.3	0.61	0.09	0.83	9.2	0.2	11	32	20.65	10.35	10.3
Bt	6.9	0.48	0.07	0.53	7.5	0	6	22	21.36	10.69	10.67

### Perfil 1024-28 (Sierra Gorda 10)



## PERFIL N°1024 –29.

### CARACTERISTICAS MACROMORFOLOGICAS.

**Localización:** Casa de los Muertos. (SIERRA GORDA 11)

**Coordenadas:** SUG 3937 41046

**Altitud:** 1380 m.

**Posición fisiográfica:** Grieta

**Topografía circundante:** Fuertemente socavado

**Microtopografía:** Lapiaz.

**Pendiente:** Escarpada

**Vegetación:** Pastizal.

**Material original:** Calizas

**Drenaje:** Moderadamente bien drenado.

**Pedregosidad:** Muy pedregoso.

**Afloramientos rocosos:** Extremadamente rocoso

**Influencia humana:** Pastoreo

**Clasificación:** Nitisol ródico.

#### Hor. Prof.cm Descripción

Ah	0-18	Color en seco pardo rojizo (2.5 YR 4/3), y oscurece en húmedo (2.5 YR 3/3); textura arcillosa; estructura granular, fina a mediana. Ligeramente duro, friable, no adherente y ligeramente plástico; frecuentes poros y fuerte actividad biológica; muy pocas gravas; abundantes raíces, finas y muy finas; ligeramente calcáreo; límite gradual y plano.
AB	18-31	Color en seco pardo rojizo (2.5YR 4/4)y en húmedo oscurece (2.5 YR 2/4); estructura granular mas gruesa que en el horizonte Ah; textura entre arcillo limosa y franco arcillosa. Consistencia en seco y húmedo igual que en el horizonte superior; decrecen los bioporos; comienzan a aparecer poros oblicuos; hay más gravilla que en el horizonte superior;no calcáreo; raíces comunes, finas y muy finas; límite neto y plano, algo inclinado.
Bt 1	31-42	Color rojo en seco (2.5YR 4/6) y mas oscuro en húmedo (2.5 YR 4/6); estructura en bloques subangulares a angulares; textura arcillosa. Ligeramente plástico, ligeramente adherente, friable y duro; alguna gravilla; poros oblicuos e intersticiales, finos, exped, otros son tubulares, caóticos, imped; pocos bioporos; pocas raíces; ligeramente calcáreo; límite inferior neto e irregular.
Bt 2	42-81	Color rojo en seco (2.5 YR 4/6.5) y en húmedo más oscuro (2.5 YR 3/6); estructura en bloques angulares a prismáticos de paredes brillantes; textura arcillosa; ligeramente adherente adherente, ligeramente plástico, friable a firme y duro; alguna piedra; poros verticales y oblicuos, finos a medianos, exped, muy pocos imped y finos; sin raíces; no calcáreo; límite neto y plano.
Bt 3	81-120	Color rojo en seco (10 R 4/6) y rojo oscuro en húmedo (10 R 3/6); arcilloso; plástico y adherente, firme; estructura en bloques casi prismáticos, medianos, con fuerte subestructura y pátina roja muy brillante. Frecuentes poros, imped,

finos, oblicuos y verticales; frecuentes cútanos de arcilla, mas generalizados que en el horizonte Bt 2.

R >120 Roca caliza

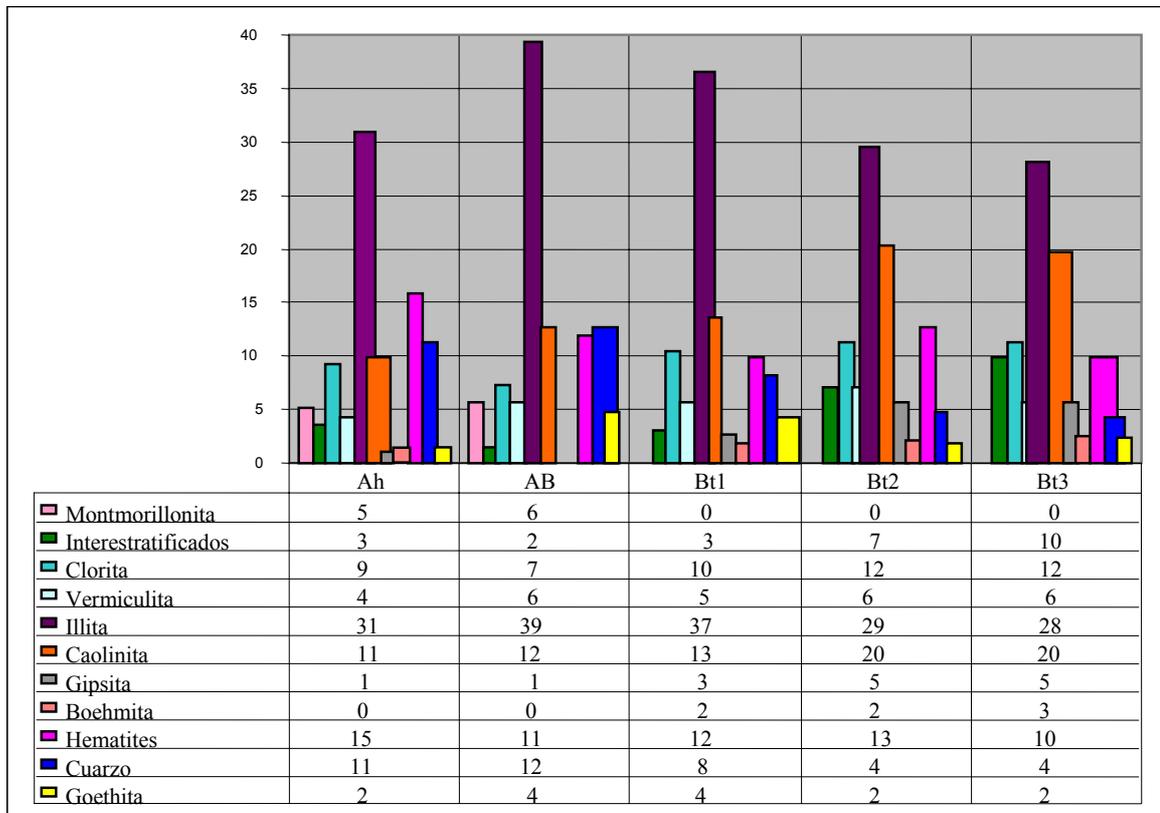
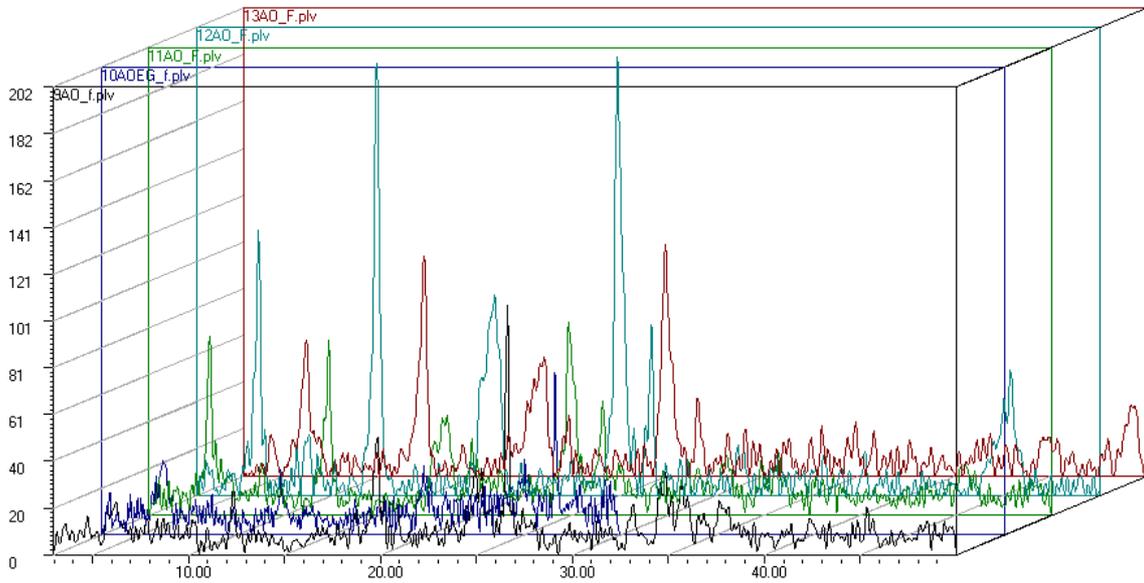
### RESULTADOS ANALITICOS (P. 1024 -29)

ANALISIS TEXTURAL (%)									
Hor.	Prof.(cm)	ARENAS					LIMO		ARCILLAS
		M. gruesa	Gruesa	Mediana	Fina	M. fina	Grueso	Fino	
Ah	0-18	1.9	1.4	1.3	4.3	5.8	11.4	28.7	45.2
AB	18-31	2.2	2.6	2.7	4.7	6.3	10	26.4	45.1
Bt 1	31-42	0.5	0.1	1	1.1	1.9	5.2	20.8	69.4
Bt 2	42-81	0.1	0.5	0.5	1	2.1	4.7	20.5	70.6
Bt 3	> 81	0	0	0	0	0	4.7	19.7	75.6

CAPACIDAD DE CAMBIO Y BASES.							
Hor.	Bases extraíbles (cmol <sup>+</sup> /kg)					V%	Rr
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CIC		
Ah	18.5	2.8	0.13	0.80	21.4	Sat	5.6
AB	17.7	1.3	0.10	0.37	19.2	Sat	7.5
Bt 1	15.3	1.5	0.12	0.26	17.8	Sat	11.2
Bt 2	14.9	1.5	0.13	0.32	17.5	96	12.1
Bt 3	15.6	0.5	0.01	0.05	18.0	90	15

OTROS DATOS ANALITICOS											
Hor.	pH (H <sub>2</sub> O 1:1)	C.E. dS/m	N %	CO %	C/N	CaCO <sub>3</sub> %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100g	K <sub>2</sub> O mg/100 g	Humedad (%)		
									33 kPa	1500 kPa	H <sub>2</sub> O Util
Ah	7.6	0.6	0.600	6.68	11.1	1.9	20	31	38.20	24.61	13.59
AB	7.6	0.4	0.291	3.07	10.6	1.1	13	15	39.11	26.32	12.79
Bt 1	7.4	0.5	0.097	1.06	9.9	0.4	10	11	25.21	15.13	10.08
Bt 2	7.1	0.5	0.081	0.77	9.5	0	7	14	24.20	15.16	9.04
Bt 3	7	0.5	0.022	0.18	8.2	0	6	6	24.60	14.25	10.35

Perfil 1024-29 (Sierra Gorda 11)



**PERFIL N°1024 –30.****CARACTERISTICAS MACROMORFOLOGICAS.****Localización:** Al sur entre el Cerro de Sta Lucia y Calderón. (SIERRA GORDA 12).**Coordenadas:** 30SUG 3942 41000**Altitud:** 1400 m.**Posición fisiográfica:** Dolina.**Topografía circundante:** Montañoso**Pendiente:** Suavemente inclinado a inclinado.**Vegetación:** Pastizal.**Material original:** Calizas.**Drenaje:** Imperfectamente drenado.**Pedregosidad:** Pedregoso.**Afloramientos rocosos:** Rocoso**Erosión:** Hídrica en surcos y cárcavas.**Influencia humana:** Pastoreo.**Clasificación:** Nitisol ródico.**Hor. Prof.cm Descripción**

Ah	0-17	Color en seco pardo rojizo (2.5YR 4/5) que pasa a pardo rojizo oscuro en húmedo (2.5 YR 3/6); textura arcillo limosa y estructura granular fina a mediana, débil. Blando, friable, no adherente y no plástico; bioporos; frecuentes raíces, finas y muy finas; algo calcáreo; pocas gravas que son, calizas subredondeadas; límite neto e interrumpido.
AB	17-32	Horizonte de color rojo en seco y en húmedo (2.5YR 4/6); textura arcillo limosa; estructura granular media, moderada. Ligeramente duro, friable, ligeramente plástico y no adherente; pocos poros y muy fino, imped; otros más desarrollados, exped, son intersticiales y a veces oblicuos; raíces comunes; ligeramente calcáreo; pocas gravas, muy localizadas, calizas subredondeadas; límite gradual e interrumpido.
Bt 1	32-60	Color en seco (2.5 YR 4/8) y oscurece en húmedo; arcilloso y con estructura en bloques subangulares a angulares; escasos cutanes de presión. Duro, friable, ligeramente plástico y ligeramente adherente; muy pocos poros, imped y frecuentes los exped, que son intersticiales y oblicuos, finos; muy pocas raíces y algunas gravas; no calcáreo; límite inferior gradual e interrumpido.
Bt 2	60-92	Color en seco rojo (10R 5/8) y más oscuro en húmedo (10R 3/6); textura arcillosa; estructura en bloques angulares y prismáticos. Muy duro, friable, adherente y plástico; pocos poros, imped y frecuentes exped, oblicuos y verticales, con sus paredes brillantes, no calcáreo; muy pocas raíces; sin gravas; límite gradual e interrumpido.
Bt g	92-124	Horizonte más rojo (10R 5/9); arcilloso; estructura prismática con buen desarrollo y brillo en las paredes de los peds; muy duro, muy plástico, muy

adherente y firme; sin gravas con alguna piedra en la base; sin raíces; frecuentes poros verticales y horizontales, finos a medianos; no calcáreo; hay signos de hidromorfia manifiestos por la decoloracion discontinua de la matriz ferruginosa; límite interrumpido.

R > 124 Restos de caliza.

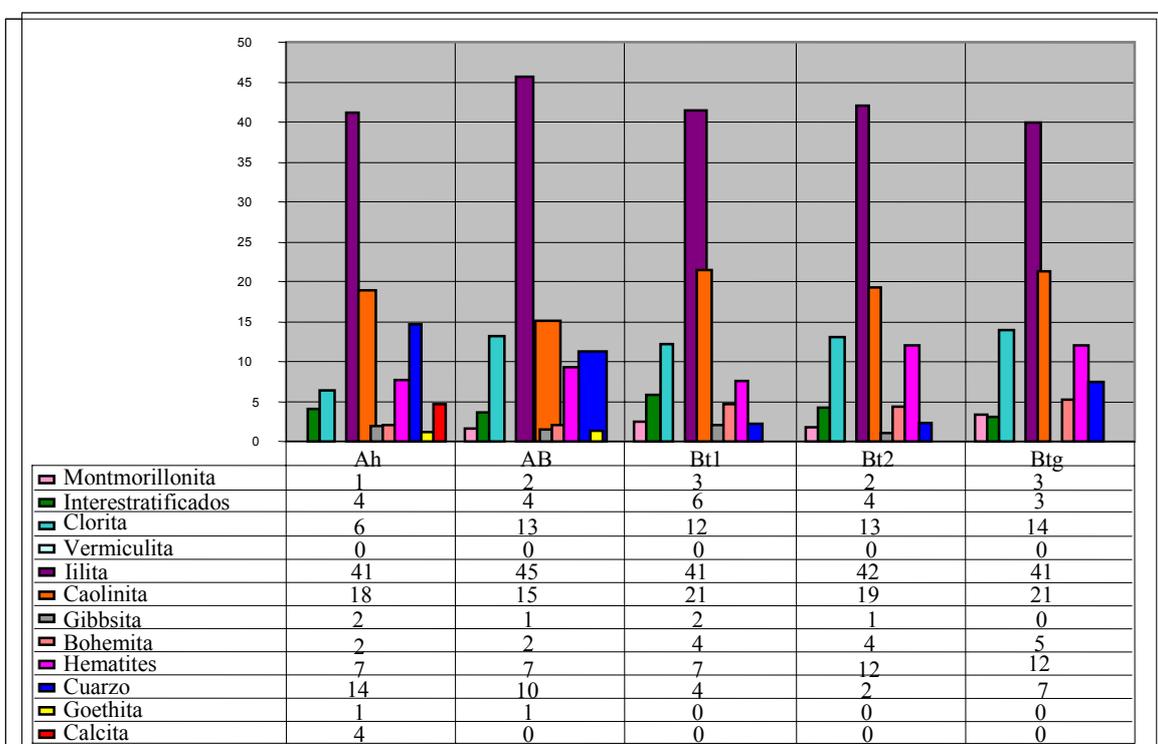
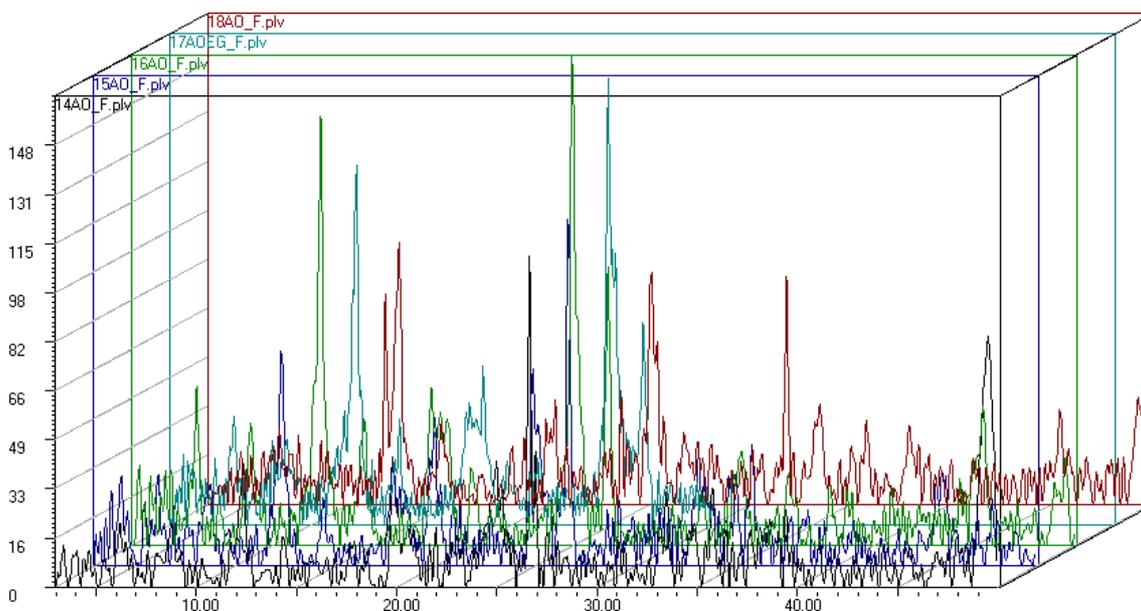
**RESULTADOS ANALITICOS (P. 1024-30)**

ANALISIS TEXTURAL (%)									
Hor.	Prof.(cm)	ARENAS					LIMO		ARCILLAS
		M. gruesa	Gruesa	Mediana	Fina	M. fina	Grueso	Fino	
Ah	0-17	2.0	1.6	0.9	1.1	2.4	13.3	32.6	46.1
AB	117-32	2.6	2.1	0.3	0.5	2.6	15.8	31.5	44.6
Bt 1	32-60	2	2.1	0.7	0.9	1.9	9.1	17.1	62.2
Bt 2	60-92	0.7	2.1	2.1	2.3	3.7	9.3	13.4	66.4
Bt g	92-124	0.7	1.1	1.2	2	2.1	10.2	16.6	66.1

CAPACIDAD DE CAMBIO Y BASES.							
Hor.	Bases extraíbles (cmol <sup>+</sup> /Kg)					V%	Rr
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CIC		
Ah	20.4	0.8	0.12	1.04	20.5	Sat	9.4
AB	15.13	0.4	0.14	0.33	15.5	Sat	11.2
Bt 1	15.87	0.3	0.08	0.25	16.4	Sat	11.2
Bt 2	15.02	0.2	0.09	0.23	16.3	95	16
Bt g	15.92	0.2	0.09	0.26	17.6	93	18

OTROS DATOS ANALITICOS											
Hor.	pH (H <sub>2</sub> O 1:1)	C.E. dS/m	N %	CO %	C/N	CaCO <sub>3</sub> %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100g	K <sub>2</sub> O mg/100 g	Humedad (%)		
									33 kPa	1500 kPa	H <sub>2</sub> O Util
Ah	7.7	0.57	0.474	4.97	10.5	2.5	26	43.6	30.21	18.29	11.92
AB	7.6	0.47	0.167	1.61	9.6	1.5	19	13.8	28.72	18.79	9.93
Bt 1	7.5	0.44	0.032	0.24	7.5	0	10	10.5	23.75	12.92	10.83
Bt 2	7.2	0.44	0.023	0.14	6.1	0	13	10.2	24.46	13.91	10.55
Bt 3	7.0	0.41	0.025	0.13	--	0	6	6.1	24.51	14.31	10.20

### Perfil 1024-30 (Sierra Gorda 12)



## PERFIL N°1024-31.

### CARACTERISTICAS MACROMORFOLOGICAS.

**Localización:** Al sur del cerro de santa Lucía. (SIERRA GORDA 13)

**Coordenadas:** 30SUG 3928 41008

**Altitud:** 1600 m.

**Posición fisiográfica:** Ladera cóncava

**Topografía circundante:** Fuertemente socavado.

**Pendiente:** Moderadamente escarpado.

**Vegetación:** Espartal/tomillar con algunas encinas diseminadas

**Material original:** Calizas.

**Drenaje:** Moderadamente bien drenado.

**Pedregosidad:** Excesivamente pedregoso.

**Afloramientos rocosos:** Muy rocoso

**Influencia humana:** Pastoreo

**Clasificación:** Nitisol ródico.

#### Hor. Prof.cm Descripción

Ah	0-11	Color en seco entre rojo y pardo rojizo (2.5 YR 5/5), que pasa a rojo oscuro en húmedo (2.5 YR 3/5); textura arcillo limosa; estructura granular, fina, débil. Blando, muy friable, no adherente, no plástico; bioporos; frecuentes gravas y algunas piedra; algo calcáreo; abundantes raíces, finas y muy finas. Limite brusco y plano.
AB	11-20	Color en seco rojo (2.5 YR 5/6) que oscurece cuando húmedo (2.5 YR 4/6); textura arcillo limosa; estructura granular media, débil. Ligeramente duro, friable, ligeramente plástico, ligeramente adherente; pocos poros, finos, imped, y más frecuentes intersticiales, exped; bioporos; pocas gravas; ligeramente calcáreo; raíces comunes y finas. Limite ligeramente ondulado y neto.
Bt 1	20-39	Color en seco rojo (2.5 YR 4/6) y rojo oscuro en húmedo (2.5YR 3/6); arcilloso; estructura en bloques angulares a prismáticos brillantes, medianos a finos. Duro, friable, ligeramente adherente y ligeramente plástico; frecuentes poros, verticales y horizontales, en menor numero oblicuos, exped; muy pocos y muy finos los imped; sin gravas; sin carbonatos y sin raíces; algunos cutanes de arcilla-hierro, finos y dispersos; limite inferior plano y neto.
Bt 2	39-54	Color en seco y húmedo algo más rojo que en el horizonte Bt 1 (10R 5/6 y 10R 4/6, respectivamente); arcilloso; estructura con tendencia a prismática y de fuerte desarrollo, con subunidades poliédricas brillantes. Muy duro, firme, ligeramente plástico y ligeramente adherente; algunos cutanes de arcilla, más desarrollado que en horizonte superior; poros verticales, finos a medianos, otros oblicuos y horizontales más finos imped; sin carbonatos, con alguna grava y piedras en la base.
R	>54	

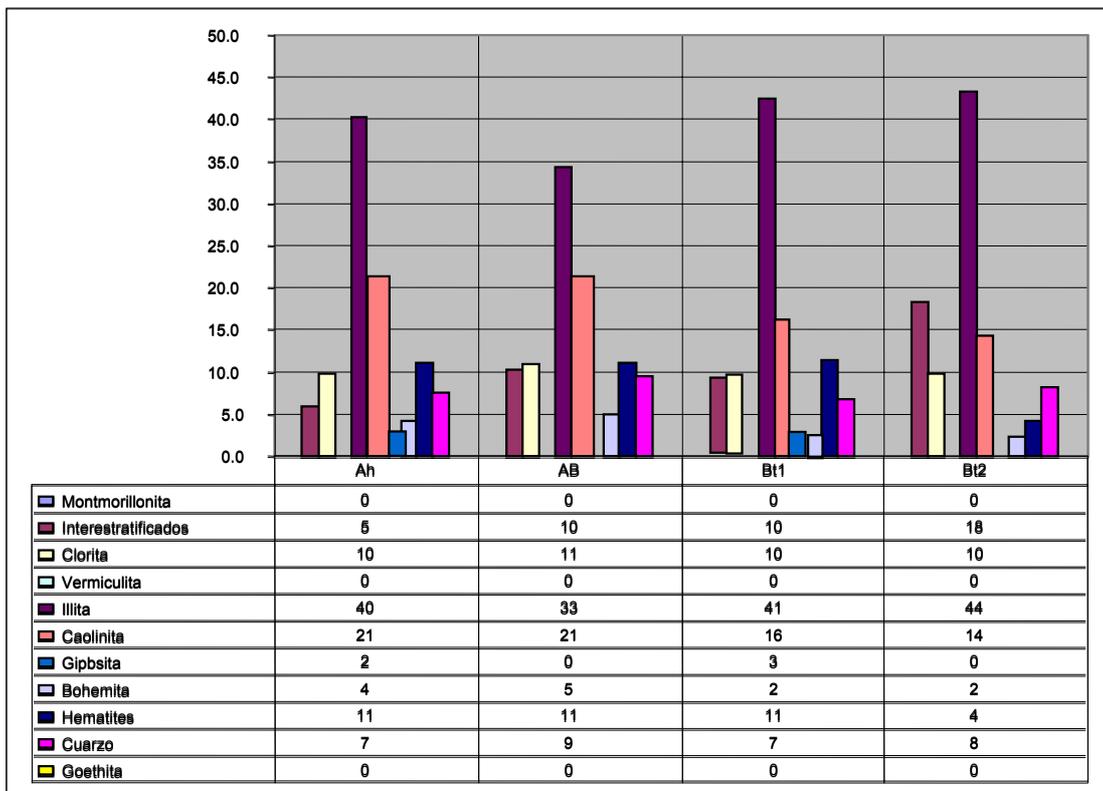
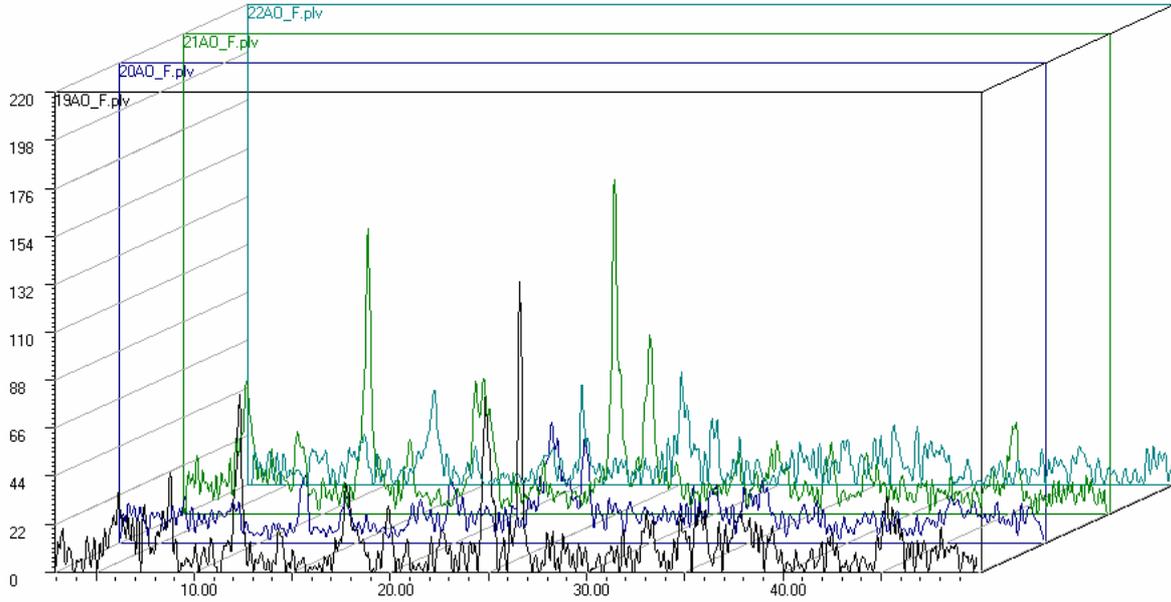
**RESULTADOS ANALITICOS. PERFIL 1024-31**

<b>ANALISIS TEXTURAL (%)</b>									
<b>Hor.</b>	<b>Prof.(cm)</b>	<b>ARENAS</b>					<b>LIMO</b>		<b>ARCILLAS</b>
		<b>M. gruesa</b>	<b>Gruesa</b>	<b>Mediana</b>	<b>Fina</b>	<b>M. fina</b>	<b>Grueso</b>	<b>Fino</b>	
<b>A</b>	0-11	0.6	0.4	0.5	1.1	1.6	15.5	35.1	45.2
<b>AB</b>	11-20	0	0.1	0.1	0.2	1.4	20.7	28.7	48.8
<b>Bt 1</b>	20-39	0.1	0.2	0.3	0.4	0.8	13	24.9	60.3
<b>Bt 2</b>	>39	0	0	0.5	0.5	0.6	10.9	14.4	73.1

<b>CAPACIDAD DE CAMBIO Y BASES.</b>							
<b>Hor.</b>	<b>Bases extraibles (cmol<sup>+</sup>/kg)</b>					<b>V%</b>	<b>Rr</b>
	<b>Ca<sup>2+</sup></b>	<b>Mg<sup>2+</sup></b>	<b>Na<sup>+</sup></b>	<b>K<sup>+</sup></b>	<b>CIC</b>		
<b>Ah</b>	22.9	0.7	0.13	1.05	22.8	Sat	7.5
<b>AB</b>	20.36	0.2	0.14	0.36	20.5	Sat	9
<b>Bt 1</b>	16.26	0.2	0.07	0.26	17.8	94	11.2
<b>Bt 2</b>	16.27	0.2	1.0	0.27	18.6	95	15

<b>OTROS DATOS ANALITICOS</b>											
<b>Hor.</b>	<b>pH (H<sub>2</sub>O 1:1)</b>	<b>C.E. dS/m</b>	<b>N %</b>	<b>CO %</b>	<b>C/N</b>	<b>CaCO<sub>3</sub> %</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> mg/100g</b>	<b>K<sub>2</sub>O mg/100 g</b>	<b>Humedad (%)</b>		
									<b>33 kPa</b>	<b>1500 kPa</b>	<b>H<sub>2</sub>O Util</b>
<b>Ah</b>	7.7	0.49	0.425	4.16	9.8	1.8	30.2	44.1	25.6	14.3	11.3
<b>AB</b>	7.7	0.47	0.169	1.55	9.2	0.3	19.1	13.1	20.9	10.6	10.3
<b>Bt 1</b>	7.0	0.47	0.110	0.96	8.7	0	10.2	10.9	19.9	10.7	9.2
<b>Bt 2</b>	6.9	0.37	0.060	0.39	6.5	0	6	9.9	18.8	10.8	8

### Perfil 1024-31 (Sierra Gorda 13)



## **MICROMORFOLOGÍA.**

### **Horizontes A**

Todos ellos corresponden a antiguos horizontes B que han sufrido un proceso de terrificación al encontrarse en superficie.

Se caracterizan por poseer una masa basal densa y pocos granos de esqueleto, de manera que la relación c/f es muy pequeña en general, algo mayor en la muestra Sierra Gorda 11 (1024-29), pero siempre pequeña. El límite c/f es en todos los casos  $2\mu$ . La contextura es moteada y la distribución relacionada, porfírica. Los granos de esqueleto están constituidos por cuarzo y ortosa y pajillas de mica que como hemos dicho se encuentran en pequeña cantidad. En la muestra Sierra Gorda-11 existen además granos de calcita, tanto aislados como formando concentraciones esparíticas de gran tamaño.

La cantidad de materia orgánica es pequeña en todos los casos (algo mayor en S. Gorda-11) y se encuentra, en general perfectamente humificada, de forma que se presenta casi íntegramente como pigmentos, aunque también existen algunos restos de órganos. La porosidad es pequeña en todos los casos y se encuentra principalmente como cavidades y algunos huecos de empaquetamiento compuesto.

Como rasgos edáficos sólo existen pequeñas cantidades de nódulos de hierro, algo mayor en S. Gorda-11, de pequeño tamaño y límite, en general difuso.

### **Horizontes Bt**

Caracterizados por una masa basal muy densa con pocos granos de esqueleto y prácticamente ningún fragmento rocoso. Los componentes minerales son cuarzo, ortosa y sobre todo hay muchas pajillas de mica. La relación c/f es muy pequeña y el límite c/f es igual a  $2\mu$ . La contextura del material fino es moteada aunque existen zonas, sobre todo en S. Gorda-12 (1024-30) que en profundidad da la sensación de ser equiestriada pero se debe a la orientación de las pajillas de mica. La distribución relacionada es porfírica en todos los perfiles y a todas las profundidades.

La porosidad es escasa y está constituida por cavidades, canales y huecos planares. Es de destacar el carácter nítico del horizonte Bt2 de S. Gorda 11, que desarrolla mejor en profundidad y ocurre en todos los perfiles estudiados. Como rasgos edáficos sólo existen nódulos de cuarzo cuya cantidad aumenta con la profundidad, en algún perfil (S. Gorda-12) destaca la existencia común de nódulos irregulares de pirolusita, que reflejan una antigua hidromorfia.

***ANEXO II***



## **UNIDADES CARTOGRÁFICAS**

En este anexo son definidas las distintas unidades cartográficas, lo que nos permite el levantamiento del mapa de suelos de la zona de Archidona.

### **Unidad 1. Unidad de Antrosoles Urbicos.**

Se engloba una superficie perturbada por la acción antropogénica, en la construcción de obras civiles lineales. Define la superficie situada en el cruce de carreteras que hay en la estación de Salinas. Se trata de un terreno fuertemente perturbado por la acción humana, que ha provocado una profunda modificación del medio, obligada por la remoción de materiales llevada a cabo para el nuevo trazado vial que une Granada con Málaga, Sevilla y otros núcleos de población de menor entidad como Archidona, Villanueva del Trabuco, Villanueva de Tapia, etc. Es pues un cruce de carreteras que inicialmente podría asimilarse a la unidad de terraza, vecina por el sur, de la que se ha desgajado por las razones descritas.

También definimos dentro de la unidad el área ocupada por Fuente Camacho, colonia compuesta por casas dispersas que cuenta cada una, con una zona ajardinada y parcela para cultivos hortofrutícola de consumo propio.

### **Unidad 2. Unidad de Leptosoles líticos y calcáricos.**

Unidad dispersa por el mapa que ocupa pequeñas extensiones de terreno, correspondiente a las zonas mas escarpadas de los sistemas montañosos, asimilable también a las brechas, coluvios, canchales, etc., situados a piedemonte o en las mesetas que coronan las sierras.

La litología marca por si misma la ordenación edáfica de la unidad: los Leptosoles líticos ocupan los farallones y zonas muy pendientes, donde la erosión impide el crecimiento potencial de los epipedones edáficos; en las zonas coluviales, brechas y

canchales, el epipedión es más potente y rico en materia orgánica pero sin llegar a móllico, de ahí que los suelos se clasifiquen en este caso como Leptosoles calcáricos, habiendo sido roturados con fines agrícolas, olivos y almendros, para poco después ser abandonados, como puede observarse en la carretera de Loja a Zafarraya o al este del peñón de los Enamorados.

La vegetación natural está bastante esquilmada y se reduce a un pastizal-matorral de escasa densidad y composición variable.

### **Unidad 3. Unidad de Leptosoles calcáricos y líticos con inclusión de Leptosoles réndricos.**

Son terrenos abruptos y pedregosos cubiertos por una capa vegetal densa, donde las encinas y los pinos en estado fustal destacan de un conjunto de matorrales diferentes según las condiciones bioclimáticas; acoge además, en las situaciones soleadas, diferentes comunidades aclaradas de retamales, aulagares o tomillares, que constituyen la etapa de degradación de la clímax en los niveles inferior y medio del piso mesomediterráneo. También destacar la existencia de pastizales anuales y vivaces dispuestos en los claros del matorral de las laderas pedregosas.

Se trata de un conjunto edafológico esquilmado a causa de la erosión hídrica, incentivada por las fuertes pendientes, que se manifiesta por el predominio de las unidades leptosólicas cuya tipología climática viene representada por los Leptosoles réndricos, conservados en las posiciones más resguardadas y húmedas.

Los suelos dominantes son calcáreos a fuertemente calcáreos y todos ellos presentan texturas entre francas y arenosas, que justifican la baja capacidad de almacenamiento de agua útil para las plantas, a diferencia de los réndricos que son más orgánicos, menos calcáricos y de texturas más finas.

**Unidad 4 . Leptosoles eútricos y líticos con inclusion de Leptosoles eútrico y Luvisoles lépticos.**

Ocupa parte de la superficie de sierra Gorda, Peña de los Enamorados, Tresmogotes, Gibalto, Arcos, etc, mostrando un paisaje de fuertes pendientes con numerosos arroyos y barrancos oradando los materiales calizo-dolomíticos que constituyen el basamento geológico.

Los suelos de la unidad se distribuyen en función de la topografía y son discontinuos, por causa de los numerosos afloramientos líticos, de manera que en las zonas mas rocosas, ripiosas y empinadas, desarrollan suelos esqueléticos, Leptosoles eútricos y líticos, apareciendo los Luvisoles y Leptosoles eutricos (ródicos) en las grietas de origen kárstico originadas por disolución de las calizas.

La vegetación existente es escasa y está epresentada por aulagas, esparto y tomillo con jaras, de porte y grado de colonización distintos según sea el potencial edáfico.

**Unidad 5 . Unidad de Leptosoles líticos y Regosoles cálcricos con inclusión de Cambisoles y Gleysoles calcáricos.**

Define diferentes manchas dentro del Trías, marcadas por el relieve y número de afloramientos líticos.

La unidad engloba una superficie cubierta de arcillas de las que emergen carniolas, lutitas, calizas y dolomías de facies Muschelkalk, alternando con bancos margosos de colores variados.

Esta composición litológica justifica por sí misma el dominio de los Regosoles calcáricos y Leptosoles líticos, integrados como eútricos, dentro de la unidad y el posible uso que se le dá a los suelos, reduciendo los cambisoles su presencia a los tramos afectados por eventos cársticos con colmatación de arcillas de colores rojizos,

donde se asocia a Gleysoles en aquellas situaciones con drenaje superficial dificultoso que favorece la existencia de periodos con inundación durante gran parte del año la mayoría de los años.

La vegetación que puebla la superficie es de encinas con jaras asociadas a pastizales o retamas en las zonas despobladas de arbolado, cultivándose con olivos, almendros y cereales en aquellas otras con mayor potencia de suelo y sin afloramiento rocoso.

### **Unidad 6. Unidad de Leptosoles líticos y Nitisoles ródicos con inclusión de Leptosoles eútricos.**

Se complementa con la unidad 4 conformando el paisaje karstico desarrollado sobre calizas jurásicas.

Ocupa amplios tramos de los sistemas montañosos cartografiados en la superficie de la hoja. Morfológicamente se diseña mediante procesos exocársticos que se plasman en el tallado de lapiaces y barranqueras fuertemente encajadas.

La unidad viene salpicada por sucesivos afloramientos rocosos que conservan en las diaclasas arcillas rojas de descalcificación, marcando el dominio puntual de los luvisoles ródicos.

Los Leptosoles líticos se asocian a las zonas mas descarnadas y escarpadas, mientras que las unidades eútricas (ródicas) se posicionan en lugares mas o menos planos (lapiaces), afectados por la karstificación o a pie de monte, hecho que posibilita la acumulación de material rubefactado, autóctono, desarrollando suelos con un epipedón ótrico, de potencia próxima a treinta centímetros, al que pueden subyacer horizontes de transición de tipo BC y un Bt, que denuncian el proceso evolutivo hacia lo que se conoce como terra rossa.

En las zonas más húmedas y donde la erosión es menor hay una población vegetal, variada e intensa, que posibilita el desarrollo circunstancial de horizontes móllicos, pero con un grado de dominio que no permite incluir suelos rendsicos dentro de la unidad cartográfica.

La vegetación en el resto de la superficie es escasa y de pequeño porte, con una composición florística a base de tomillo, aulagas y esparto.

**Unidad 7. Unidad de Leptosoles calcáricos y Regosoles calcáricos con inclusión de Cambisoles lépticos y Leptosoles líticos.**

Está situada en el vértice nororiental del mapa y penetra en las hojas de Montefrío (1008) y Loja (1041). También se ha cartografiado una pequeña mancha al sur de Archidona.

Se trata de un depósito pliocuaternario constituido por margas blanco-amarillentas alternando con calizas lacustres, marcando con su presencia la ordenación de los suelos que componen la unidad cartográfica.

Las zonas con materiales consolidados son netamente leptosólicas y están en fase rúdica, conservando una vegetación residual de tomillo y aulagas en los ambientes más esqueléticos (Leptosoles líticos) y forzándose el uso agrícola (almendros y olivos) donde el epipedón ócrico es poco potente (Leptosoles calcaricos y Regosoles lépticos (calcaricos)

Cuando emergen materiales blandos los suelos son muy potentes, arcillosos y calcáreos (Regosoles calcáricos), dedicándose en este caso al cultivo del olivo y se diferencia de los anteriores por el mayor desarrollo de arbolado y el rendimiento en aceituna.

Los Cambisoles están diseminados por toda el área de la unidad y tienden a concentrarse en los ambientes mas resguardados, destacando en el paisaje por sus tonalidades más rojizas y pueden incluir ciertas propiedades vérticas.

Los terrenos de la unidad, en algunos puntos, están parcialmente abancalados con el fin de disminuir las pérdidas por erosión hídrica, incentivadas por la alta erosibilidad edáfica de los Regosoles, las pendientes y el uso agrícola que se les da a los suelos más arcillosos.

**Unidad 8 .Unidad de Leptosoles calcáricos y Luvisoles crómicos asociada a Leptosoles réndricos.**

Unidad cartográfica que morfológicamente se aproxima a la vecina unidad 9, de la que difiere paisajísticamente por la población de encinas que la cubre y el grado de adhesamiento que posibilita el uso agropecuario. También aparecen, con una composición pedónica semejante, una serie de manchas situadas en el cuadrante suroccidental de la Hoja, dentro del Trías de Antequera.

La diferente composición pedónica se debe en parte a la mencionada cobertera vegetal y ala orientación, apareciendo los Leptosoles réndricos, en aquellos lugares de umbría donde las pérdidas erosivas disminuyen o bajo las vetustas encinas porque la acumulación orgánica está asegurada. Ambas situaciones permiten el desarrollo del epipedon móllico consustancial a la unidad descrita, cuyo espesor es alto en las zonas coluviales orientadas al norte, en cuya posición es el suelo modal y puede ser catalogado como intergrado entre Leptosol réndrico y Phaeozem calcárico, mientras que bajo las encinas el pedon fundamental estaría constituido por la conjunción de Leptosoles calcaricos y réndricos.

Los suelos dominantes son Leptosoles calcáricos y Luvisoles crómicos, mantienen una disposición espacial análoga a la que describimos en la unidad 9, siendo clara la dominancia de las unidades leptosólicas menos evolucionadas. En los dominios del Trías de Antequera el suelo más desarrollado es el Luvisol crómico, en general de poca potencia.

### **Unidad 9. Asociación de Leptosoles eútricos y Luvisoles ródicos.**

Conecta lateralmente con la unidad 8 y difiere de ella tanto en el modelado, que es más suave, como en su cobertura vegetal, menos densa y de inferior desarrollo, apareciendo especies arbustivas tales como chaparros asociados con diferentes especies de pinos o junto a tomillares, retamares y pastizales que posibilitan el uso agropecuario.

Las rocas que se identifican con el paisaje son calizas jurásicas oolíticas y pisolíticas, configurando un lapiaz de arroyada que conserva en los huecos las trípicas arcillas de decalcificación procedentes de los fenómenos cársticos habituales en la zona. La potencia de estas capas arcillosas es variable y a partir de ellas desarrolla un horizonte árgico, motivo por el que se incluyen Luvisoles crómicos dentro de la unidad cartográfica, si bien su expansión es netamente inferior a la de la unidad leptosólica, salvo en enclaves puntuales como sucede en el km. 11 de la carretera que va a Villanueva de Algaida.

Puntualmente y asociados a posiciones de umbría hay suelos con epipedon móllico, insuficientes por ello para generalizar su inclusión dentro de la unidad

### **Unidad 10. Unidad de Fluvisoles calcáricos y Regosoles calcáricos.**

Unidad homogénea en cuanto a la composición edáfica, coincidiendo con los tramos de vegas ligados a algunos arroyos y fundamentalmente con los ríos Guadalhorce y Frío.

Los Fluvisoles se dan en las zonas con aportes aluviales recientes, que son muy estrechas y para hacerlas cartografiables ampliamos sus dominios a las orillas donde imperan los Regosoles calcáricos, de forma que se definen todas las superficies ligadas al cauce de los ríos de alguna manera influenciadas por ellos.

Los suelos tienen una secuencia regular de horizontes con límite brusco y plano para Fluvisoles y gradual en el caso de los Regosoles. Estos últimos pueden tener horizonte

B, difícilmente catalogable como Cámbico ya que son ligeros los cambios estructurales-texturales y por ello no pueden ser considerados como Cambisoles.

Ambas unidades pueden presentar ciertas características vérticas e incluso podrían ser dados como Vertisoles; el color oscila entre pardo y rojo, mas o menos oscuros, dependiendo de la naturaleza de los materiales circundantes (litocromos). Son suelos fértiles que se dedican a cultivos principalmente de cereales, girasol y espárragos.

**Unidad 11. Unidad de Fluvisoles calcáricos y Vertisoles hipocalcicos con inclusión de Gleysoles calcáricos.**

Unidad de pequeña extensión ubicada al sur de la carretera que une Archidona con Antequera, entre los km. 171 y 173, coincidiendo con el curso del río Guadalhorce.

Son suelos muy plásticos, en su mayoría con propiedades vérticas y de gran espesor; concretándose los Fluvisoles en las zonas aluviales más próximas al cauce del río.

La poca permeabilidad del material aluvial provoca el desarrollo de fenómenos hidromórficos, en las zonas peor drenadas, razón por la que incluimos en la unidad Gleysoles calcáricos.

La mayoría de los suelos están en fase freática y a veces inúndica, motivos que limitan el uso que se reduce a cultivos típicos de huerta o herbáceos y en ningún caso plantaciones de porte arbóreo.

**Unidad 12. Unidad de Regosoles calcáricos y Vertisoles hipocalcicos con inclusión de Gipsisoles árzicos.**

Unidad bien representada en la Hoja. Ocupa los valles de arroyos secundarios, como el de la Negra, Fuente Fresno, etc., ubicada sobre materiales del Trías.

El paisaje es muy característico, enmarcándose en un terreno de topografía suave con claros contrastes cromáticos definidos mediante colores ocres mas o menos rojizos con distinta intensidad de oscurecimiento.

Los procesos erosivos, a pesar de tratarse superficies débilmente inclinadas, son bastantes intensos, permitiendo la acumulación de arcillas en las zonas mas hundidas que se corresponden con los ambientes netamente vertisólicos o marcados por procesos hidromórficos.

Los Regosoles constituyen intergrados entre Cambisoles y Vertisoles, presentándose en el entorno con colores de tonos más claros y pueden estar en fase lítica o pedregosa donde emergen las calizo dolomías, conservadas en forma de colinas testigo donde se construyen las cortijadas, como puede verse claramente en las Albaradas.

El uso actual es exclusivamente agrícola con cultivos de cereales (trigo, cebada y avena), leguminosas, (garbanzos y veza), y en menor extensión girasoles, viñedos, olivos y almendros.

### **Unidad 13. Unidad de Regosoles calcáricos o lépticos con inclusión de Leptosoles calcáricos.**

Se localiza en el sector suroeste, penetrando en las vecinas hojas de Ardales y de Colmenar. Hay otras manchas junto al río Guadalhorce o a la altura de Archidona.

Desde el punto de vista litológico los suelos se desarrollan sobre una serie triásicas compuesta de arcillas y carniolas junto a calizas y dolomías negras de Muschelkalk.

El terreno tiene fuertes pendientes a medias (10-45%) y esta disectado por numerosos arroyos. Hay huellas evidentes de erosión hídrica, manifiestas por la presencia de surcos y cárcavas, favorecida por la fragilidad del roquedo, erodibilidad edáfica, torrencialidad de las lluvias y el propio relieve.

La vegetación natural se circunscribe a las zonas más líticas e inclinadas (Leptosoles eútricos) y esta compuesta por un matorral-pastizal con especies de jaras, tomillo, romero y algunos chaparros.

Cuando el material inicial es blando los suelos son profundos (Regosoles calcáricos), cultivándose con olivos y a menor escala con almendros, siempre que la pendiente lo permita; también, en algunos casos, la pedregosidad dificulta las labores agrícolas, mermándose por esta causa la productividad de los cultivos en los enclaves recién roturados sin justificación alguna, por una mala planificación agrícola (dominio de los Leptosoles calcáricos y Regosoles lépticos (calcáricos)

#### **Unidad 14. Unidad de Regosoles calcáricos con inclusión de Regosoles gipsicos.**

Se encuentra localizada dentro del complejo geológico marcado por el IGME (1990) como Trías de Antequera.

La litología superficial la componen margas amarillentas e rojizas con abundantes intercalaciones de areniscas que aportan a los suelos gran cantidad de arenas cuarzosas, netamente diferenciales por el brillo natural. Solo de forma muy excepcional y aislada afloran yesos o margas yesíferas, imposibles de separar a la escala del mapa motivo por el que se da a los Regosoles gípsicos nivel de inclusión, aunque puntualmente pueden ser dominantes.

La vegetación es de encinas con sotobosque de ulex, tomillo, jaras o pastos en las zonas mas aclaradas, que preservan a los suelos de los procesos erosivos, intensos en toda el área, sobre todo en aquellas zonas roturadas con fines agrícolas: cultivo de cereales, olivos y almendros siendo muchas de ellas abandonadas por su bajo índice de productividad, tanto que de ellas se dice en el mapa de vegetación y usos del Ministerio de Agricultura (1978) se trata de tierras malas.

**Unidad 15. Unidad de Regosoles cálcáricos con inclusión de Cambisoles calcáricos y Fluvisoles calcáricos.**

Engloba el fondo del río Guadalhorce y algunos niveles de terraza ligados a él.. La parte superior de la formación aluvial la constituyen limos y arenas decantadas en el lecho de inundación, mientras que el nivel sedimentario inferior lo componen gravas redondeadas y arenas con matriz arcillosa. La naturaleza de los cantos varía con la situación en la cuenca y se relaciona con los materiales circundantes: ofitas, carniolas, calizas, dolomías, calcarenitas, etc.

Las terrazas y otros tramos colindantes son arcillosas y en ellas predominan Regosoles y Cambisoles calcáricos, a veces con ciertas propiedades vérticas.

La superficie de la unidad se riega eventualmente en pozos y aguas del río Guadalhorce. El riego se hace por aspersión y su incidencia en la producción es muy importante dada la intensidad de los períodos secos. Los cultivos principales son: trigo, remolacha, alfalfa y patata, junto a otros productos hortícolas de subsistencia.

**Unidad 16. Unidad compleja compuesta de Regosoles cálcáricos y lépticos e inclusión de Leptosoles líticos y Solonchaks nátricos.**

Los suelos se desarrollan sobre tobas calcáreas, constituidas por un complejo entramado de tallos estrechamente relacionados con los manantiales salinos existentes en la zona o también a partir de otros sistemas litológicos dispersos por la superficie: margas y conglomerados.

El ambiente netamente salino que presenta parte del área de la unidad se pone de manifiesto tanto por la presencia de una vegetación rala, compuesta de retamas y plantas halofitas, como por las eflorescencias blancas y acumulación de cristales de NaCl.

Se localiza al noroeste de la estructura circular de Fuente Camacho y está compuesta de Solonchaks con elevado porcentaje de sodio en el complejo de cambio y Leptosoles líticos asociados a los afloramientos consolidados.

Discrecionalmente y de forma bastante amplia se cartografían otros suelos como son Regosoles calcáricos lepticos (calcáricos) siempre sobre margas y conglomerados, que tienen menor conductividad eléctrica y mayor potencia de solum, permitiendo por dichas causas una explotación agrícola con clara vocación oleícola y cerealista.

**Unidad 17. Unidad de Regosoles calcáricos y gipsicos con las inclusiones de Gypsisoles háplicos y Leptosoles eútricos.**

Unidad ubicada en el cuadrante suroccidental, en la zona más quebrada, donde se encajan el río Guadalhorce y los arroyos de Angostura, Chozas y María. También hay una mancha de relieve más contrastado al oeste de la Sierra de Gibalto, elevada entre los arroyos de Luna y de la Fuente Fresno.

El terreno viene definido por un relieve de laderas empinadas asociado con superficies que tienen distintos grados de desnivel, donde son evidentes los signos erosivos debidos al relieve y fragilidad del roquedo, y es por ello que los procesos erosivos se han intensificado; los Regosoles representan las tipologías dominantes y tienen potencia variable, pudiendo estar en fase lítica (Regosoles calcáricos y gypsicicos); los Leptosoles coinciden con los afloramientos pétreos (alabastro, ofitas, calizas, etc.), mientras que los Gypsisoles se localizan en algunas dolinas, que gran parte del año aparecen cubiertas por las aguas de lluvia.

El uso actual es agropecuario, inducido por una tupida vegetación de encinas, chaparros, jaras, etc., que se ven desplazadas en las dolinas por la retama. Industrialmente son importantes las explotaciones de yesos y áridos.

**Unidad 18. Unidad de Regosoles calcáricos y Cambisoles vérticos con inclusión de Leptosoles calcáricos y Vertisoles hipocálicos.**

Se han cartografiado varias manchas con esta composición pedónica, siempre de poca extensión y muy dispersas por la superficie de la hoja. Esta asociado también a los dominios del Trías, dentro del cuadrante suroccidental.

Destaca del conjunto circundante por el color pardo-amarillento a gris oscuro de los suelos, las evidentes manifestaciones erosivas en forma de desprendimientos, cicatrices, etc. y los afloramientos de bloques areniscos. En las zonas del *Trías*, los suelos son pardos rojizos, arcillosos y fundamentalmente encasillados como Cambisoles vérticos o Regosoles calcáricos.

Estas manifestaciones permiten localizar la disposición de los suelos que componen la unidad: los Regosoles calcáricos, con netas propiedades vérticas, son los suelos dominantes y aparecen sobre cualquier material; los Vertisoles se localizan en las zonas más deprimidas y desarrollan a partir de materiales netamente arcillosos, plásticos y de color pardo más o menos oscuro; los Cambisoles vérticos aparecen en situaciones intermedias, mientras que los Leptosoles se sitúan en las zonas más consolidadas y muestran cierta tendencia a evolucionar a Cambisoles calcáricos.

**Unidad 19. Unidad de Regosoles calcáricos y Cambisoles vérticos con inclusión de Gleysoles calcáricos.**

Esta localizada en el sector suroccidental de la hoja y tiene un relieve suavemente ondulado, donde destacan pequeñas lagunas de origen cárstico (Caja, Viso...) resultantes posiblemente de la disolución del yeso basal.

Se incluye dentro del Trías de Antequera, destacando la acumulación de arcillas con tonos rojizos y una morfología cárstica que posibilita la acumulación temporal o constante de agua de lluvia en superficie, hecho que permite cartografiar, a nivel de

inclusion, suelos con propiedades hidromórficas (Gleysoles calcáricos) y cabe señalar la eventual presencia desigual o muy irregular de nodulaciones blancas.

Los suelos dominantes se pueden definir como un intergrado entre Regosoles calcáricos, de tonos rojos y plásticos, a Cambisoles vérticos de las vaguadas, allí donde las propiedades vérticas se intensifican circunstancialmente a causa de la acumulación de arcilla alóctonas sin que halla evidencias de hidromorfía.

Suele estar cultivada con olivos o cereales y solo se conservan restos de la vegetación natural en las zonas con mayor pendiente o próximas a las áreas de inundación.

**Unidad 20. Unidad de Calcisoles hipocálicos y Regosoles calcáricos con inclusiones de Cambisoles calcáricos y Regosoles gipsicos.**

Ocupa aquellos terrenos, en el ámbito de la hoja, asimilados a los dominios marcados por IGME (1990) como Trías de Antequera, indicando que no representa una formación sedimentaria si no tectónica, formación que fue ampliamente estudiada por Peyre (1974), Cruz Sanjulián(1974), etc.

Presente las clásicas inclusiones de areniscas y carniolas, muy alteradas, asociadas con yesos y margas, constituyendo el material original de los suelos que componen la unidad.

Dicha superficie muestra un paisaje contrastado, donde se constata un mar de dolinas, algunas de las cuales constituyen verdaderas lagunas (Gleysoles hiocálicos), junto a vaguadas rellenas por un material netamente arcilloso, de colorido variado y afloramiento margosos con o sin yeso.

En estos niveles de aplanamiento kárstico, la organización del polipedón que la define guarda estrecha relación con los relieves puntuales: En las posiciones donde la roca es

más superficial el suelo esta cubierto por un encinar-jaral, a veces bastante espeso, y el pedón base es una asociación de Regosoles gípsicos y calcáricos en fase lítica.

Sobre las areniscas, se sustentan materiales arcillosos que alternan lateralmente con margas de tonos rojizos, ocre, verdes o violáceos, que engloban abundantes masas de yesos canterables (yesera de la laguna), marcando el dominio de suelos yesíferos.

Como resumen de esta variada composición litológico-edáfica, establecemos la siguiente ordenación pedónica, definida a máximo nivel por suelos con yesos, acompañados a nivel de inclusión por otros de menor evolución, como son los Cambisoles y Regosoles calcáricos.

La vegetación colonizante es un chaparral-jaral que pasa a retamar en las zonas con dolinas, habiendo sido roturados aquellas superficies sin encharcamiento temporal, con suelos más potentes y contenido en yeso variado para cultivar almendros y cereales.

**Unidad 21. Unidad constituida por la asociación de Regosoles calcáricos y eútricos con Vertisoles eútricos.**

Se localiza en la parte norte de la depresión de Alfarnate y geomorfológicamente se trata de un polje semejante al descrito por Martínez et al. (1996) en Zafarraya. Su origen se relaciona con el hundimiento tectónico entre las formaciones calizas circundantes que permite el afloramiento en los bordes de materiales cretácicos ricos en manganeso. En el centro de la depresión emergen margas del Mioceno conformando una planicie de tonalidades parduscas con reacción calcárea.

La unidad está compuesta por Vertisoles eútricos que excepcionalmente pueden ser calcáricos, cuyas características vérticas están relacionadas con las arcillas acumuladas y el contenido en carbonatos es variado, oscilando de nulo a moderado. Los suelos de la zona receptora de arcillas de decalcificación a veces no reúne todos los requisitos

vérticos necesarios para encasillar los suelos como Vertisoles, en cuyo caso se clasifican como Regosoles eútricos o calcáricos y tiene tonos rojos a pardos más o menos oscuros.

El uso de los suelos que componen esta unidad está dirigido a cultivos agrícolas y cereales de riego.

### **Unidad 22. Calcisoles háplicos y pétricos con inclusión de Leptosoles calcáricos y Regosoles calcáricos.**

Constituye parte del pie de monte y los glacis que circundan los grandes macizos montañosos existentes en la Hoja de Archidona (1024).

Se trata de superficies inclinadas o suavemente inclinadas, cuya cobertera edáfica desarrolló sobre arcillas y arenas de colores pardo-rojizos a rojos, asociadas a cantos más o menos angulosos y redondeados procedentes del coluvio basal, cuya naturaleza está ligada a los componentes de los macizos calcáreos vecinos. También se ha cartografiado con esta composición pedónica dos pequeños relieves residuales al norte de Archidona.

Los suelos dominantes son Calcisoles, con un perfil característico marcado por la presencia de un epipedon ócrico y uno o más horizontes cálcicos o petrocálcicos; solo excepcionalmente hemos observado la presencia de un horizonte B, algo más rojizo, entre los mencionados horizontes de diagnóstico que puede estar puntualmente impregnado de caliza secundaria; excepcionalmente también puede existir un horizonte árgico, pero al igual que en el caso de suelos con horizonte cámbico su extensión es insuficiente para ser considerados en la unidad.

Cabe destacar el gradiente de carbonatos que tienen los suelos, oscilando entre nulo (Cortijo Blanco), calcáreos (en suelos de Hue 7,5YR a 5YR) y fuertemente calcáreos cuando los suelos son blancos o de tonos claros.

En ocasiones, sobre el coluvio basal sólo hay un horizonte ócrico y es entonces, dependiendo exclusivamente del porcentaje de tierra fina del material original, cuando diferenciamos dos tipos de unidades: Leptosoles y Regosoles calcáricos.

Se dedican los suelos de la unidad a cultivos arbóreos donde proliferan olivos y almendros, decántandose las plantas oleaginosas por los lugares donde el suelo es mas potente y arcilloso, con almendros donde es más esquelético o bien se mantiene u retamar- tomillar en las zonas sin roturar.

### **Unidad 23. Unidad de Calcisoles háplicos y Regosoles calcáricos**

Los suelos de la unidad desarrollan sobre las radiolaritas, calcarenitas con sílex, margas o margocalizas blancas del Terciario.

El relieve es fuertemente ondulado con pendientes de hasta el 10%; la erosión es fuerte laminar y en surcos, acelerada por las labores agrícolas dirigidas al cultivo del olivo, siendo las plantaciones de la variedad hojiblanca las dominantes, con amplios marcos de plantación, estando fuertemente aporcados como consecuencia de la elevada erosión.

Los suelos tienen una distribución irregular y la diferencia taxonómica más importante es la profundidad a que se presenta el horizonte cálcico o la práctica desaparición del mismo a causa de las labores de subsolado.

Los suelos son muy erosionables, tienen pedregosidad variable, están bien drenados y es débil su capacidad de almacenaje de agua útil, causas que limitan la capacidad de uso que sólo se podría justificar de forma marginal.

**Unidad 24. Unidad de Calcisoles háplicos con inclusión de Regosoles calcáricos y Vertisoles hipercálicos.**

Se localiza en el cuadrante nororiental de la hoja y en los alrededores de Villanueva del Trabuco, enmarcando terrenos ondulados a colinados con importantes matices cromáticos y poblada con olivos.

La heterogeneidad de los materiales cretácicos y pliocuaternarios que constituyen el basamento sobre el que se desarrollan los suelos que dan identidad a la unidad cartográfica, justifica tanto el modelado como el color y la dispersión edafológica existente en la zona, ocasionando puntuales alteraciones cuantitativas de las tipologías que componen la unidad, imposible de individualizar en subunidades dada la escala del mapa.

El suelo dominante es el Calcisol háplico, con diferencias texturales manifiestas que van entre arcillosas y francas, siendo todos ellos fuertemente calcáreos o calcáreos y con índices de pedregosidad.

Asociados a la unidad calcisólica están los Regosoles calcáricos, asimilables a los afloramientos margosos y con materiales conglomeráticos ligados a una matriz rojiza a pardo rojiza.

En las vaguadillas la colmatación con materiales finos faculta la presencia de intergrados entre Vertisoles hipercálicos y Cambisoles vérticos, difícilmente individualizables en sus componentes dadas las variaciones morfológicas y la litología circundante que condicionan, cuantitativamente, la composición textural en las depresiones motiva que se generalice el proceso en el área de la unidad incluyendo ambas tipologías indiscriminadamente, como Vertisoles cálicos por ser los de mayor relevancia.

**Unidad 25. Unidad de Calcisoles háplicos con inclusión de Cambisoles calcáricos y Luvisoles cálcicos.**

Unidad con desniveles variados que permiten conjugar superficies planas o suavemente inclinadas junto a otras de mayor pendiente, no separables a la escala del mapa pero netamente diferentes desde el punto de vista edafológico. Se ubica en la vertiente oeste de la sierra de Archidona.

Las superficies más llanas están representadas por suelos de colores rojizos y con ciertas propiedades vérticas, pudiendo presentar horizonte árgico o cámbico, de ahí que incluyamos en la unidad Cambisoles calcáricos y Luvisoles cálcicos (ródicos cutánicos) a nivel testimonial.

Cuando la unidad es mayor o sobre materiales cuaternarios los suelos dominantes son Calcisoles háplicos, fácilmente diferenciables por el color pálido que presentan y ser suelos pedregosos, con evidentes signos erosivos, dedicados exclusivamente al olivar.

La ordenación cuantitativa de los componentes taxonómicos varía puntualmente, pudiendo incluso invertirse la composición dependiendo del desarrollo geomorfológico.

**Unidad 26. Unidad de Calcisoles háplicos y Regosoles cálcicos con inclusión de Calcisoles pétricos y Cambisoles calcáricos.**

Unidad ampliamente difundida por el cuadrante nororiental y de forma más irregular por toda la Hoja.

Se trata de una unidad compleja en la litología y monótona en cuanto a su composición pedionica, ya que los materiales primarios, de naturaleza sedimentaria conducen en este ambiente semiárido a litosecuencias uniformes: Calcisoles háplicos como suelos dominantes, con rasgos estructurales y cromáticos heredados que matizan el uso que actualmente se le da a la unidad, si bien en estos momentos y a merced a los nuevos

sistemas de laboreo es el olivar el cultivo que tiende a monopolizar la explotación agrícola.

Las zonas de colores blanquecinos marcan el dominio de los Calcisoles, tipologías que se definen mediante perfiles compuestos de un epipedion ócrico poco orgánico y varios horizontes cálcicos o petrocálcicos respectivamente, de ahí que incluyamos en la definición de la unidad cartográfica dos modalidades de Calcisoles, háplico y pétrico, sin que se pueda establecer una ordenación sistemática en cuanto a la distribución de ambas tipologías. Los Regosoles se asocian a materiales margosos de tonos distintos más o menos oscuros, sin acumulaciones cálcicas o si las hay aparecen por debajo de la profundidad diagnóstica, son pues intergradados con los Calcisoles háplicos dominantes; los Cambisoles hay que asimilarlos a posiciones de colores más pardos o rojizos y donde las evidencias erosivas son menores.

Estas zonas se dedican exclusivamente a olivar y el desarrollo de las plantas es muy dispar.

### **Unidad 27. Unidad de Calcisoles háplicos y Regosoles calcáricos con inclusión de Regosoles lépticos.**

Enmarca terrenos ondulados a suavemente ondulados con uso agrícola muy variado: alternan los cultivos de cereales, en régimen de barbecho semillado, con plantaciones menos importantes de almendros y olivos, cuyo marco de planta dominante es de 4x4 y 15x15 respectivamente, siempre con bajos rendimientos; junto a estas prácticas agrícolas hay que mencionar los viñedos, constituidos por plantaciones adultas con dominio de la variedad Pedro Ximenes y rendimientos medios próximos a los 2kg/cepa, hoy en fase regresiva.

Los suelos de la unidad se han desarrollado en un ambiente semiárido y sobre materiales cretácicos compuestos por margas y margocalizas de colores blanquecinos, que facultan

tanto el color de los suelos como el índice de pedregosidad y que estén o no en fase lítica.

Sobre este tipo de materiales el suelo dominante es el Calcisol háplico, que puede tener un encostramiento calcáreo de oca entidad y discontinuo; asociado con ellos están los Regosoles calcáricos y aparecen allí donde el horizonte cálcico está muy profundo o inexistente.

Los Cambisoles calcáricos desarrollan preferentemente sobre margocalizas rosadas y microbrechas o bien sobre materiales cuaternarios procedentes de los conos aluviales que buzan desde el noroeste hasta penetrar en los dominios de la unidad, destacando en el paisaje por el tono rojizo que imprimen los suelos, mientras que las unidades gleycas se localizan exclusivamente en los fondos de valle, son muy arcillosas y están en fase freática, pudiendo o no presentar horizonte cálcico, posibilidad que generalizamos aunando ambas tipologías en la más frecuente.

#### **Unidad 28. Unidad formada por la asociación de Calcisoles háplicos .**

Se localiza al sur de la hoja, entre el río Guadalfeo y sierra Gorda en el Manchón de la Dehesa, y al sur del alto de la Breña. Los suelos desarrollaron a partir de un complejo sistema litológico compuesto por sílex y margas de colores claros.

La dispersión geológica marca una relación edáfica variada, siempre ligada con la litología superficial. Los Regosoles calcáricos se asocian preferentemente con los Cambisoles, que en muchos casos tienen ciertas propiedades vérticas (porcentaje en arcilla y grietas). Los Cambisoles, más abundantes, desarrollan sobre margocalizas y a veces sobre margas, pudiendo llevar o no horizonte cálcico, aunque siempre son evidentes las movilizaciones de caliza secundaria en el horizonte C, en forma de nódulos o depositados en las caras inferiores de las gravas. Los Cambisoles son sustancialmente los suelos menos abundantes y tienen un horizonte Bw moderadamente definido.

### **Unidad 29. Unidad de Calcisoles háplicos y Vertisoles calcicos.**

Recoge los terrenos más deprimidos de la zona norte de Villanueva del Trabuco, atravesados por los tramos iniciales de la carretera que lleva desde este núcleo de población a Zafarraya, Loja y Archidona.

Son terrenos llanos a suavemente ondulados, disectados por arroyos de poca entidad que no afectan a la composición pedónica de la unidad cartográfica.

Al tratarse de zonas deprimidas y colmatadas por materiales arcillosos, procedentes de los terrenos colindantes, los suelos dominantes tienen características vérticas y en función de la potencia del solum se puede hablar de la existencia de Vertisoles cálcicos o Calcisoles háplicos.

El epipedon es de color oscuro y profundidad variable, descansando sobre un subhorizonte con abundantes pisolitos cálcicos. El drenaje es deficiente, hecho que requiere trabajos específicos para subsanar el encharcamiento temporal de la zona.

Su explotación actual se limita a cultivos de cereales y leguminosas, apareciendo cultivos arbóreos solo en las zonas drenadas artificialmente.

### **Unidad 30. Unidad de Calcisoles háplicos y Vertisoles cálcicos con las inclusiones de Leptosoles calcáricos y Regosoles calcáricos.**

Unidad ampliamente difundida por toda la mitad occidental del mapa, desarrollando los suelos a partir de materiales terciarios, paleógenos y jurásicos, compuestos de margocalizas, calizas, arcillas, conglomerados y microbrechas, de colores diversos, que oscilan entre grises, pardos y rojos, con distinto grado de oscurecimiento.

De acuerdo con la litología: composición, textura y grado de consolidación, los suelos se ordenan de forma irregular marcando litotoposecuencias.

Sobre los afloramientos conglomeráticos compuestos por calizas micríticas y oolíticas (Solís, Catellón, Condestable,...etc.), el suelo modal es el leptosol, mientras que en las vaguadas y sobre materiales arcillosos el suelo dominante se puede considerar un intergrado entre Vertisol cálcico y Cambisol vértico, hecho que interpretamos en la definición de unidad cartográfica con la tipología de los Vertisoles cálcicos.

Finalmente, con la presencia de Regosoles calcáricos se marca el grado de transición entre las unidades dominantes que por su morfología no pueden ser incluidos en cada una de ellas.

El uso es netamente agrícola, dedicándose a olivar las zonas menos vérticas o cereales y leguminosas los ambientes vertisólicos. Donde aflora la roca se conserva una vegetación de encinas y chaparros con distinto grado de desarrollo.

**Unidad 31. Unidad de Calcisoles háplicos y Vertisoles cálcicos con inclusión de Regosoles Calcáricos y Vertisoles pellicos.**

Define el largo y estrecho corredor por el que discurre la carretera nacional 321, encajado entre los macizos montañosos de Sierra Gorda por el este y las sierras de Gibalto y San Jorge por el oeste.

El suelo dominante es el Vertisol cálcico y de él derivan otras unidades taxonómicas que no pueden ser catalogadas dentro de la mencionada unidad por faltar algunos de los requerimientos exigidos en la definición de propiedades vérticas. En otros casos el horizonte k no se observa y es por ello que incluimos los Vertisoles pellicos.

Así, cuando el suelo le falta parte de los requerimientos vérticos, sobre todo en lo que hace referencia al espesor, las tipologías dominantes son intermedias entre Calcisoles háplicos y Regosoles calcáricos, muy plásticos ambos, con la exclusiva diferencia de presentar o no horizonte k. El mencionado horizonte de acumulación puede no existir,

en cuyo caso los suelos se encasillan como Reegsoles calcáricos y suelen ser muy profundos además de tener colores por valores y cromas bajos.

Otro dato importante a tener en cuenta, sobre todo en las proximidades de los sistemas calizos, es la presencia de nodulaciones secundarias de carbonato cálcico, con irregular manifestación y a profundidad variable, pudiendo ser o no catalogado el conjunto como horizonte cálcico; el que exista o no dicho horizonte de diagnóstico y la profundidad a la que se presenta nos lleva a acentuar la presencia de los Calcisoles háplicos dentro de la unidad cartográfica.

La explotación actual se limita a cereales, girasol y leguminosas, si bien se están plantando olivos en los que se deja sentir el mal drenaje y la plasticidad de los suelos.

**Unidad 32. Unidad constituida por Calcisoles háplicos y Vertisoles cálcicos con inclusión de Gipsisoles háplicos y Vertisoles gipsicos.**

Se halla encajada entre materiales del Trías y barren parte del mapa de nordeste a sudoeste apareciendo hundida respecto a ellos más de 200 m.

El que se cataloguen los suelos dominantes como Vertisoles o Calcisoles dependen exclusivamente de la potencia del solum, mostrando ambas tipologías una fuerte plasticidad en el epipedón.

La génesis de los suelos con yesos viene condicionada por el modelado geomorfológico del territorio que permite el desagüe de la zona elevada, Trías de Antequera, mediante un sistema de sumideros conectados por redes de drenaje subterráneas por donde evacuan aguas sulfatadas hasta la zona arcillosa aluvial, percolando a través de las arcillas para precipitar en los horizontes menos permeables (horizonte gypico), y al igual que sucede con los suelos dominantes, con matizaciones yesíferas, pueden ser incluidos como Gypisoles o Vertisoles gipsicos.

Se dan a nivel de inclusión porque su existencia queda limitada a los puntos de surgencia de las mencionadas aguas sulfatadas, mientras que las unidades cálcicas tienen una distribución más regular a lo largo del territorio de la unidad.

Todos los suelos pueden estar en fase freática y también se suelen inundar temporalmente en los períodos lluviosos (primavera y otoño), motivo que limita el uso que se les da, dedicándose a cultivos herbáceos de regadío y es manifiesta la ausencia de arbolado. Excepcionalmente pueden tener horizonte cálcico.

### **Unidad 33. Unidad de Calcisoles háplicos y Vertisoles cálcicos con inclusión de Luvisoles cálcicos.**

Terreno ondulado, con fuertes hondonadas, situado al sur de la A-92 siguiendo parte del trazado de la vía del tren en el tramo que discurre entre Salinas y Loja.

La litología es muy variada, dominando margas y materiales arcillosos de colores entre rojos y grises con tonos oscuros, hechos que son heredados por los suelos y motivan las propiedades vérticas que presentan así como el color.

Las zonas de mayor pendiente, más erosionadas y de tonos claros, marcan el dominio de los Calcisoles háplicos, mientras que los Luvisoles calcicos (ródicos cutánicos) se conservan dispersos por toda la superficie donde la erosión ha sido menos intensa.

Localmente, sobre todo en las zonas de vaguada y donde el drenaje es malo, los suelos tienen cierto grado de hidromorfia e incluso presentan fase freática, motivo por el que en su uso agrícola se desarrollan sistemas de drenaje artificial.

Se cultivan en estos terrenos productos hortícolas (tomates, melones, maíz, etc.) y últimamente, merced al acondicionamiento descrito, se tiende a colonizar con olivos.

**Unidad 34. Unidad de Calcisoles háplicos y Vertisoles hipocálcicos con inclusión de Cambisoles vérticos y Luvisoles cálcicos.**

Los dominios de esta unidad están marcados geomorfológicamente por lo que el IGME (1986) define como último sistema coalescente de conos aluviales, circunscritos a la orla que contornea el Trías de Antequera al este de Archidona, asociados con niveles de terrazas antiguos. Es una zona donde el drenaje se realiza mediante arroyos poco entallados dentro de la generación de glaciares y niveles de terrazas más antiguos.

Litológicamente hay que definir las zonas más hundidas como sedimentos arcillosos a limo-arenosos asociados, en los niveles inferiores, con cantos heterométricos procedentes del Trías vecino (ofitas, dolomías, calizas, etc). Donde los sedimentos arcillosos son profundos el suelo dominante puede encasillarse dentro de los Vertisoles, que tienen colores pardos oscuros y en general están de mal a moderadamente bien drenados, son bastantes plásticos, adherentes y sólo excepcionalmente presentan nodulaciones de carbonato cálcico secundario.

Sobre materiales menos finos, arcilloso a limo arenosos, el suelo modal es un intergrado entre Regosol calcárico y Vertisol hipocalcico, que incluimos en la unidad como Cambisol vértico.

En otros puntos la acumulación de materiales finos destaca por el color rojo de los mismos observando como se rellenan las posiciones más deprimidas (glaciares de vertiente), marcando así la policromía típica de la “Vega de Archidona”. Los suelos dominantes en esta posición son Luvisoles calcicos (rodicos-cutánicos) , asociados a Calcisoles háplicos o pétricos en los ambientes más erosionados por causa de la acción antrópica y fuerte terrificación del primitivo horizonte árgico.

Ambas subunidades litocromas, se diferencian netamente por el distinto paisaje que generan: donde los suelos tienen colores oscuros y mantiene características vérticas, la alternancia de cultivos la componen productos agrícolas, gramíneas y girasol, mientras

que donde hay suelos rojos el conjunto destaca tanto por el color como por la población de olivos que la coloniza de forma mayoritaria.

**Unidad 35. Unidad de Calcisoles háplicos y Calcisoles lúvicos e inclusión de Calcisoles pétricos.**

Unidad situada en el tramo occidental de la Hoja, principalmente al pie del escalón morfológico diseñado por el Trías de Antequera, coincidiendo con aquellos abanicos fluviales construidos por la alternancia de niveles brechoides, cementados por carbonato cálcico o en facies pisolítica, con un horizonte árgico superior de poca potencia, que frecuentemente aflora en superficie por causa de la erosión antrópica, al que subyace uno o varios horizontes petrocálcicos o cálcicos.

También hay conos aluviales no emparentados con el Trías como sucede, por ejemplo, al oeste de la sierra de Gibalto, donde la existencia del horizonte petrocálcico es más constante y los Luvisoles están bastante erosionados generando los Calcisoles lúvicos (ródicos hipercálcicos y petrocálcicos)

Donde la erosión antrópica se suman los efectos de la erosión hídrica, el perfil del suelo modal se ve truncado y en estas condiciones el suelo es un Calcisol en sus dos modalidades: háplico y pétrico, no descartándose formas de intergrados con Clacisoles lúvicos.

Esta cubierta de olivos que suelen ser de gran porte, con buenos rendimientos, sobre todo si se ha implantado el riego por goteo; de forma aislada hay terrenos netamente cerealistas pero cada vez son menos intensos a favor del arbolado oleaginoso.

**Unidad 36. Unidad de Calcisoles háplicos y Cambisoles calcáricos.**

Unidad de pequeña extensión ubicada en el contacto con la hoja de Antequera (1996), justo en el tramo central.

Se desarrollaron los suelos sobre un complejo sistema litológico compuesto por arenas areniscas, conglomerados o margas del Tortoniense superior, delineando un terreno colinado donde los Calcisoles ocupan las posiciones más afectadas por la erosión, mientras que los Cambisoles, con o sin nodulaciones secundarias de carbonato cálcico en los horizontes subyacentes al de alteración, se localizan en las zonas más resguardadas o de acumulación.

Se encuentra poblada con olivos cuyos rendimientos son medios a bajos, dependiendo de que estén en regadío; hay que tener en cuenta, además, que las labores están incentivando los procesos erosivos.

### **Unidad 37. Calcisoles háplicos y Cambisoles calcáricos con inclusión de Regosoles calcáricos.**

Se distribuyen irregularmente por todo el mapa y destacan por su extensión las manchas situadas en el cuadrante noroeste de la hoja, en los alrededores de Villanueva del Trabuco y en las proximidades de Sierra de los Arcos.

Se asocia geológica y edáficamente con las unidades 24 y 26 de las que se diferencian en el aumento sustancial de afloramientos arcillosos-margosos y microbrechas, que inciden en el paisaje por el color pardo a rojo que imprimen a los suelos y el grado de oscurecimiento.

Los suelos dominantes son intergradados entre Calcisoles y Cambisoles, muchos en fase rúdica y con ciertas características vérticas, mientras que los Regosoles coinciden con los afloramientos margosos.

El área de la unidad destaca del conjunto circundante por el uso olivarero que se le da y la frondosidad del arbolado.

**Unidad 38. Unidad de Calcisoles háplicos y Cambisoles calcáricos con inclusión de Calcisoles pétricos y Luvisoles ródicos.**

Se sitúa en el tramo de la A-92 que discurre entre los cerros Sierrecilla (873 m) y Beatas (758 m), incluyendo en sus dominios el aeródromo de Loja

Es un terreno ondulado a casi llano y está marcado por fuertes contrastes cromáticos que de alguna manera delimitan la ordenación edáfica de la unidad. Los suelos, de tonos claros, se caracterizan por tener un epipedión ócrico al que subyace un horizonte cálcico de desigual desarrollo y en determinadas situaciones puede llegar incluso a petrocálcico, de ahí que se de esta tipología a nivel de inclusión.

Los suelos rojizos son mayoritariamente Cambisoles calcáricos y se definen mediante un perfil compuesto por un epipedon ócrico y un horizonte de alteración que incorpora en su seno algunos pisolitos, descansando a su vez sobre un horizonte cálcico rico en gravas redondeadas asociadas a una matriz margosa.

Dispersos y erosionados por la acción antrópica se cartografían restos de suelos climácico, Luvisol ródico, que presenta un horizonte árgico delgado, a menudo perturbado por las labores agrícolas que lo suben a la superficie terrificándose.

La zona es eminentemente cerealista, si bien, como sucede en toda la hoja, el olivo tiende a monopolizar la forma de cultivo.

**Unidad 39. Unidad de Calcisoles pétricos.**

Unidad que se ubica en el centro del mapa, sector occidental, y penetra profundamente en la de Antequera (1996).

Los suelos, mayoritariamente calcisoles pétricos, desarrollaron sobre un complejo sistema litológico representado por arenisca, conglomerados y margas del Tortoniense o

también sobre recubrimientos cuaternarios, compuestos por cantos calcáreos asociados a una matriz marga arenosa y dispuestos en posición de glacis.

El perfil modal viene marcado por la presencia de un epipedon ócrico perturbado por las labores y contaminado con restos de los horizontes petrocálcicos subyacentes, horizontes éstos últimos que si no están alterados agrícolamente se ordenan laminarmente, mostrando un típico alabeamiento motivado por fenómenos neotectónicos.

El territorio definido por la unidad cartográfica se dedica en la actualidad al cultivo de cereales (cebadas fundamentalmente), si bien en los últimos años se va extendiendo paulatinamente el cultivo del olivo.

#### **Unidad 40.Unidad de Calcisoles pétricos con Cambisoles calcáricos.**

Superficie cartográfica próxima a la unidad 39, de la que se diferencia por el incremento de los recubrimientos cuaternarios dispuestos en grandes conos aluviales encostrados y donde la red hidrográfica ha comenzado a encajarse.

El desarrollo geomorfológico condiciona una composición pedónica dominada por Calcisoles pétricos, con un horizonte cálcico cementado desigual en su potencia y en la profundidad dentro del solum, que en determinadas posiciones está acompañado de un horizonte cámbico sobreyacente (Cambisoles calcáricos) y coincide con suelos netamente rojos a pardo rojizos. En otras situaciones, bien por la profundidad de la costra calcárea, bien por la existencia de afloramientos margocalizos, fundamentalmente cretácicos, los suelos son próximos a Regosoles y sus tonalidades claras, pero como presentan un horizonte B relativamente próximo a cámbico, los incluimos dentro de la unidad dominante.

Se trata de “tierras de calma” donde se siguen alternativas de cereal y en parte de leguminosas. Un 50% de la superficie así cuantificada sigue la primera alternativa,

cultivándose en el segundo caso habas, veza y garbanzos, junto con otras especies no leguminosas como el girasol y anís (Ministerio de Agricultura 1978).

**Unidad 41. Unidad de Calcisoles háplicos pétricos con inclusión de Cambisol calcárico.**

Unidad cartográfica situada al este de Cartaojal, en el extremo occidental del mapa, coincidiendo con niveles geomorfológicos asimilables a glaciares y conos aluviales antiguos encostrados.

Las cotas medias a que se encuentran estos depósitos oscilan entre los 50 y 108 m en altitudes referidas al nivel del cauce del río Guadalhorce. Su litología es a base de arenas, arcillas rojas y cantos calcáreos a veces fuertemente cementados, de edad pleistocena media a superior, con facies típicas de encostramientos horizontales que evidencian el alto grado de madurez del perfil modal, que se trata de un Cambisol calcárico (rodico) que da entidad al paisaje de olivos.

**Unidad 42. Unidad de Calcisoles pétricos y Cambisoles calcáricos con inclusión de Calcisoles háplicos.**

Unidad desarrollada sobre materiales pliocenos, con relieve alomado y pendientes próximas al 10%, de manera que en estas posiciones proliferan los Calcisoles con sus dos variantes, destacando en el conjunto del paisaje por el color claro que imprimen los suelos y el escaso porte del olivar que puebla el territorio, debido a las limitaciones de uso por la fragilidad de los epipedones.

Las zonas del relieve más suave están en contacto con el Trías, donde delimitan el dominio de los Cambisoles calcáricos (crómicos), que coinciden a su vez con suelos de color rojizo y están cubiertos por un olivar bien desarrollado, con rendimiento moderado, cuya existencia limita los procesos erosivos del entorno.

**Unidad 43. Unidad de Cambisoles calcáricos y Cambisoles vérticos con inclusión de Cambisoles gléycos y Calcisoles pétricos.**

Unidad compleja, asimilable a zonas deprimidas y mal drenadas conformadas por distintos niveles aluviales, compuestos de cantos y arenas con matriz fina de colores variados, entre pardo mas o menos oscuro y rojos con distinta intensidad.

En los fondos de valle dominan los suelos de granulometría fina y según su posición en la cuenca endorreica pueden estar inundados temporalmente, de ahí la matización a nivel de inclusión con unidades gleycas; a nivel de dominancia es el Cambisol calcárico el suelo que puede considerarse como climácico, si bien en muchos casos hay que interpretarlo como un intergrado a Regosol calcárico dado el desarrollo del horizonte Bw.

Conectados con los materiales cuaternarios de fondo de valle hay otras formaciones, conos aluviales, que pueden o no presentar encostramientos calcáreos dando origen, en el primer caso, a la presencia de Calcisoles pétricos con textura franca mas o menos fina, pedregosidad superficial moderadamente alta y matices cromáticos entre pardos y pardo rojizos.

El terreno se dedica al cultivo de cereales y leguminosas (habas y garbanzos), además de otras especies como el girasol.

**Unidad 44. Unidad de Leptosoles calcáricos con inclusión de Leptosoles eútricos.**

Unidad ampliamente extendida por el centro de la Hoja en el tramo más septentrional del Trías de Antequera.

Superficie monótona en la composición pediónica, pues los suelos desarrollan sobre una capa de arcillas, de colores pardos rojizos a ocre, que les confiere gran plasticidad y

declina su uso hacia cultivos de cereales y girasol, desapareciendo prácticamente las plantaciones arbóreas.

El suelo modal se encasilla entre los Cambisoles calcáricos y muestra ciertas características vérticas, que son más frecuentes en las vaguadas donde pueden, excepcionalmente presentarse en forma inúndica.

Los Leptosoles se circunscriben a un conjunto de naturaleza calizo dolomítica, emergentes de entre las arcillas y destacan en el paisaje por mantener la vegetación natural, compuesta de chaparros y encinas con denso sotobosque de jaras.

**Unidad 45. Unidad de Cambisoles calcárico y lepticos con inclusión de Regosoles calcáricos y lépticos.**

Se ubica al sur de la carretera que va al Tejar y se extiende a continuación de Antequera.(1023)

Engloba un territorio netamente olivarero con pendientes inclinadas a suavemente inclinadas, donde hay superposición de superficies de glacia, pedregosidad variable y erosión moderada de tipo laminar.

Los suelos han desarrollado principalmente sobre margas y margocalizas de colores variados, oscilando entre los tonos blancos, rosa y pardo rojizos más o menos oscuros, asimilables estos últimos a la tipología dominante de Cambisoles calcáricos, suelos que a menudo presentan nodulaciones cálcicas subyacentes al horizonte cámbico, sin llegar a penetrar en él.

Los Regosoles se integran en los materiales margosos, donde debido al contenido y naturaleza de las arcillas o bien por la posición fisiográfica, pueden presentar ciertas propiedades vérticas; se ubican en las zonas de mayor pendiente y coinciden con las

situación donde la erosión es más intensa. La tipología modal es lo que presenta mayor plasticidad y se posiciona en los fondos de valle.

**Unidad 46. Unidad de Luvisoles cálcicos con inclusión de Calcisoles háplicos.**

Unidad ligeramente ondulada y con pedregosidad variable, condicionada a la perturbación de los horizontes petrocálcicos por las prácticas agrícolas y su afloramiento en superficie.

Desarrollan los suelos sobre materiales cuaternarios, arcillosos y rojos, con encostramientos a profundidades diferentes.

El suelo mayoritario es el Luvisol calcico (ródico-cutánico) con horizonte cálcico o petrocálcico subyacentes a un horizonte árgico siempre bien desarrollado. En las zonas periféricas y allí donde la erosión es mayor el horizonte textural tiende a desaparecer o se muestra terrificado, siendo en estas posiciones límite donde se ubican los Calcisoles, mayoritariamente petrocálcicos, que se diferencian por el color blanquecino que tienen.

Está cultivada con olivos de corta a media edad y normalmente en regadío; también hay zonas dedicadas a cereales pero es clara la tendencia a su transformación en olivar.

**Unidad 47. Unidad de Cambisoles vérticos con inclusión de Luvisoles gléycos y cálcicos.**

Se halla enclavada al sur de la Loma del Yesar dentro de los dominios del Trías de Antequera. Es un terreno suavemente ondulado a ondulado muy afectado por eventos neotectónicos, de manera tal que el suelo climácico (Luvisol) está a menudo enterrado y a veces constituye un lecho de inundación temporal, motivo por el que puede tener ciertas propiedades gléycas.

La fisiografía del lugar y la naturaleza arcillosa del material geológico circundante, hace que los horizontes argílicos estén a veces enterrados por debajo de la profundidad de diagnóstico (50 cm.), siendo estos casos los de mayor dificultad para encasillar taxonómicamente los suelos, ya que el material nuevo sobreyacente se puede catalogar como intergrado entre Cambisol y Regosol, con propiedades vérticas más o menos marcadas.

En las vaguadas y relieves kársticos (dolinas) es donde las manifestaciones gleycas son más importantes y suelen definir suelos con acumulación de arcilla iluvial. El caso más generalizado es el del Luvisol con un horizonte árgico ródico-cutánico, que alterna en otras situaciones con Cambisoles vérticos, también de color rojo neto. El horizonte cálcico solo aparece en áreas puntuales y de forma discontinua, pudiendo a veces constituir verdadera costra.

En cuanto al uso, destacar la proliferación de nuevas plantaciones de olivar que se asocian a otras más antiguas y con algunos almendros.

#### **Unidad 48. Unidad de Nitisoles eútricos húmicos y ródicos con inclusión de Leptosoles calcáricos y líticos.**

Ocupa los poljés y dolinas de la zona alta y plana de los macizos de Sierra Gorda y Sierra de San Jorge, constituidos por calizas blancas del Lías inferior.

El material y el clima posibilitan el desarrollo de un relieve típicamente cárstico caracterizado por la poca circulación hídrica, hecho que favorece los procesos de disolución que generaron el desarrollo de formas exocársticas (lapiales, dolinas, uvalas, etc.) y endocársticas (simas, cavernas, etc.).

Donde aflora la caliza sin alterar son suelos esqueléticos y se integran en una unidad compleja de Leptosoles calcáricos y líticos de color rojo, con límite lateral interrumpido y no calcáreos.

Los suelos más llamativos presentan un horizonte ártico (nítico) de color rojo intenso, diferenciándose dos grupos según la localización específica: en las grietas del suelo Luvisol leptiródico, mientras que en las dolinas y uvalas son Nitisoles.

Actualmente se experimenta en los puntos concretos con suelos muy potentes la implantación de especies arbóreas como nogales, pinos y frutales, protegiendo las parcelas del ganado mediante alambradas.



