

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS EN TOPOGRAFÍA,
GEODESIA Y CARTOGRAFÍA
TITULACIÓN DE INGENIERO TÉCNICO EN TOPOGRAFÍA

PROYECTO FIN DE CARRERA

ESTUDIO DE LA EROSIÓN DEL SUELO MEDIANTE
IMÁGENES DE SATÉLITE. APLICACIÓN AL ÁREA DE
ORGAZ-LOS YÉBENES (TOLEDO).



Madrid, (Mayo, 2015)

Alumna: Leticia Olivares Lorenzo

Tutor: Santiago Ormeño Villajos

Cotutor: Rafael Espejo Serrano

Agradecimientos

A mis Padres por su cariño, confianza y comprensión. A Borja y Tatiana por sus consejos y apoyo constante.

Especialmente a mis tutores Santiago Ormeño y Rafael Espejo por sus horas de dedicación al proyecto, por todo lo que me han enseñado y todo lo que he aprendido de ellos.

Al Departamento de Edafología de la E.T.S.I de Agrónomos (Universidad Politécnica de Madrid) por permitirme el uso de su Laboratorio y toda la ayuda que allí me ofrecieron.

1. ANTECEDENTES	
1.1 Motivación del Proyecto.....	1
1.2 Descripción de la zona de estudio.....	4
1.2.1 Localización de la zona.....	4
1.2.2 Geología	5
1.2.2.1 Paleozoico.....	6
1.2.2.1.1 Cámbrico.....	8
1.2.2.1.2 Ordovícico.....	11
1.2.2.2 Terciario.....	11
1.2.2.2.1 Plioceno.....	12
1.2.2.3 Cuaternario.....	12
1.2.2.3.1 Pleistoceno.....	17
1.2.2.3.2 Holoceno.....	18
1.2.3 Fisiografía y Relieve.....	20
1.2.4 Clima.....	21
1.2.4.1 Datos climáticos.....	21
1.2.4.2 Características climatológicas.....	23
1.2.5 Edafología.....	25
1.2.5.1 El Suelo.....	28
1.2.5.2 Propiedades espectrales del suelo.....	30
1.2.5.3 La importancia de la erosión en España.....	33
1.2.5.4 Modelo USLE.....	36
1.2.5.5 Modelo CORINE de Riesgo de Erosión del Suelo.....	39
1.2.6 Hidrografía.....	40
1.2.7 Vegetación.....	42
1.2.7.1 Descripción de cultivos.....	44
2. CARACTERÍSTICAS DE LOS SENSORES	
2.1 Imagen multiespectral.....	46
2.2 LANDSAT.....	47
2.2.1 Plataformas y órbitas.....	48
2.2.2 Thematic Mapper.....	51
2.2.3 Landsat en la Actualidad.....	55
2.3 Otros Programas Espaciales.....	56
3. CONCEPTO DE IMAGEN	

3.1 Formación de Imágenes.....	58
3.2 Formato de Ficheros Gráficos.....	61
3.3 Modelos Ráster y Vectorial.....	63
3.4 Formato Ficheros Gráficos.....	65
4. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	
4.1 Obtención de las Imágenes	67
4.2 Procesamiento de Datos.....	68
4.2.1 Georreferenciación.....	68
4.2.2 Tratamiento Digital.....	71
4.2.2.1 Histograma.....	74
4.2.2.2 Curva de Valores Digitales de Clases Espectrales..	78
4.2.2.3 Estudio Espectroscópico.....	81
4.3 Trabajo de Campo.....	88.
4.4 Trabajo de Laboratorio.....	92
4.4.1 Preparación de la Muestra. Tamizado.....	92
4.4.2 Contenido de la Humedad en la Muestra.....	95
4.4.3 Determinación de los Carbonatos.....	97
4.4.4 Materia Orgánica.....	100
4.4.5 Determinación de la Textura.....	102
4.4.6 El Color.....	107
4.4.6.1 Tablas Munsell.....	107
4.4.6.2 Sistema CIELab.....	110
5. CONCLUSIONES.....	111
6. ANEJOS. FICHAS DE LAS MUESTRAS.....	117
7. BIBLIOGRAFIA	
7.1 Referencias Bibliográficas.....	148
7.2 Sitios Web Consultados.....	149
8. CD DE DATOS.....	151



1. ANTECEDENTES

1.1 Motivación del Proyecto

El presente Proyecto de Fin de Carrera viene motivado por el conocimiento de la existencia de fenómenos erosivos en la zona de Orgaz - Los Yébenes. El objetivo es el estudio de la distribución de procesos erosivos en el área citada y la relación de las zonas en que estos se producen, con las propiedades analíticas del suelo.

La pérdida de suelo por erosión inducida por el hombre, supera a la erosión natural en varios órdenes de magnitud, por lo que cabe considerarla como un grave problema ambiental que propicia la pérdida de fertilidad. Esto es debido a que en los ecosistemas agrarios, sobre todo en cultivos de secano, se han aplicado manejos que han acelerado las tasas de erosión naturales. En los cultivos de secano más extendidos, se ha eliminado toda la cubierta vegetal, se ha compactado el suelo y esquilmo la materia orgánica. Como consecuencia de estos manejos poco respetuosos con el suelo, las tasas de erosión son mayores a las tasas de formación y constituyen un poderoso factor de desertificación.

La respuesta erosiva de un determinado ambiente o uso del suelo suele ser bastante diferente según la época del año en la que se produzcan las lluvias, su intensidad y duración, el estado de la vegetación, el tiempo en el que el suelo permanece desnudo tras el levantamiento de la cosecha, etc....

Del uso y gestión que se haga del suelo y de la cubierta vegetal dependerá que, con el tiempo, la erosión potencial no se convierta en erosión actual.

La erosión del suelo es una de las más importantes causas de desertificación. Se trata de un conjunto de procesos que limita la capacidad productiva de los sistemas naturales, reduce la diversidad vegetal y los rendimientos de los cultivos y altera el funcionamiento hidrológico de laderas y cuencas.

Es un problema endémico y dinámico, en particular en las regiones más secas y tierras marginales, por presentar condiciones favorables para desencadenar crisis agudas.

El suelo es un recurso natural no renovable a escala temporal humana, imprescindible para satisfacer muchas necesidades vitales de las personas y



otros seres vivos. El ser humano puede favorecer que las tasas de erosión natural se incrementen hasta valores no sostenibles. Esta *erosión antrópica* aparece cuando se realiza un manejo y utilización inadecuados del suelo, agua y vegetación, provocando que se desordenen los flujos de materia y energía de ecosistemas y agrosistemas. Es decir, los factores socioeconómicos aceleran el proceso natural. La producción de sedimentos que provoca implica, también, importantes riesgos porque altera el sistema suelo-agua-vegetación, ocasiona la pérdida de calidad de las aguas, transfiere nutrientes y contaminantes al sistema fluvial y causa el aterramiento de embalses y otras secuelas lejanas al lugar en donde la erosión del suelo se ha producido. La degradación del suelo por erosión implica, pues, un problema social que relaciona la tierra con su uso actual y potencial.

Es importante, sin embargo, no confundir erosión con desertificación. Existe una *erosión natural* de los materiales de la superficie terrestre, que forma parte dinámica externa del planeta. La desertificación, por el contrario, implica la aceleración de los procesos de erosión por actividades humanas.

La tala de árboles y la roturación de tierras para cultivar o para la ganadería dejan al suelo desprotegido y expuesto al viento y al agua, lo que desencadena su erosión. Y, sin recursos naturales, sin tierras que cultivar, la gente emigra a territorios más fértiles, que suelen durar poco debido a las prácticas agrícolas inadecuadas, extendiendo el riesgo de desertificación.

En el clima mediterráneo la coincidencia entre la estación seca y la estación cálida obliga a la vegetación a una adaptación tanto más difícil, cuanto más intensos son el calor y la sequía. Las formaciones vegetales son, a menudo, abiertas y la cubierta vegetal, en conjunto, escasa, por lo que los suelos quedan expuestos a la erosión, en particular a la hídrica. Dos hechos son especialmente destacables: los cambios de uso para la extensión de la agricultura y los incendios, ambos son significativos efectos en la degradación del suelo cuando se practican de modo inadecuado.

Entre los factores que inciden en los procesos de erosión del suelo por agua, el más destacado es el volumen e intensidad de las precipitaciones (erosión hídrica) por su capacidad de remoción y transporte del suelo, sobre todo en los ambientes mediterráneos.

Representa una de las formas más completas de degradación, ya que engloba a la degradación física, química y biológica. Dada la dificultad de



obtener información sobre los múltiples procesos de degradación física, química y biológica la estimación sobre la evaluación de la degradación de los suelos en España solo está referida a la pérdida de suelo por erosión hídrica.

El modelo cualitativo de erosión-deposición para suelos cultivados (Gallardo, 1992), se apoya en el principio de que la erosión es más activa que la edafización, lo que provoca la desaparición de los horizontes superficiales del perfil en la parte alta de las laderas y su acumulación, al menos parcial, en la base.

De acuerdo con el modelo, en las tierras cultivadas la erosión se manifiesta en regueros y zonas de acumulación. Los rasgos erosivos no son permanentes, pues con la siguiente labor se anulan los efectos de la erosión por arroyada impidiendo la formación de regueros y cárcavas. El laboreo va mezclando los horizontes superficiales y profundos según van siendo erosionados los primeros y, como consecuencia, el proceso erosivo se traduce en una remoción superficial uniforme asimilable a la erosión laminar.

El efecto es el truncamiento de los suelos cultivados en la parte alta de la ladera y su acumulación, al menos parcial, en la base; siendo el proceso más acusado cuanto mayor es la pendiente. La evidencia de la misma aparece reflejada, incluso en zonas actualmente llanas, por un vistoso mosaico de colores. La generalización de las zonas no cultivadas es más difícil, se puede realizar considerando tanto la cobertura vegetal como las formas de erosión que puedan aparecer.

1.2 Descripción de la Zona de Estudio

1.2.1 Localización de la Zona

La zona de estudio del presente proyecto está situada al NE de los Montes de Toledo, y administrativamente pertenece a la provincia de Toledo. En esta zona los principales núcleos de población son Orgaz, en el extremo nororiental, y Los Yébenes.

Aunque la zona en la cual se realiza el estudio se encuentra entre los municipios de Orgaz y Los Yébenes, la zona donde se tomaron las muestras pertenece únicamente al término municipal de Orgaz.

El municipio de Orgaz se encuentra situado en una cañada al pie de la sierra de Los Yébenes, extendiéndose de Este a Oeste desde La Mancha hasta La Jara. Pertenece a la comarca de los Montes de Toledo y linda con los términos municipales de Chueca y Villaminaya al norte; Mascaraque, Mora y Manzaneque al este; Los Yébenes y Marjaliza al sur; Mazarambroz, Sonseca y Ajofrín al oeste, todos pertenecientes a la provincia de Toledo.

La ubicación de Orgaz (Figura 1.2.1) se encuentra a $39^{\circ} 38' 48''$ N $3^{\circ} 52' 38''$ W y una altitud de 744m. Tiene una superficie de 154.48 km^2 y dista de Toledo 33.8 km y de Ciudad Real 83.5 km.

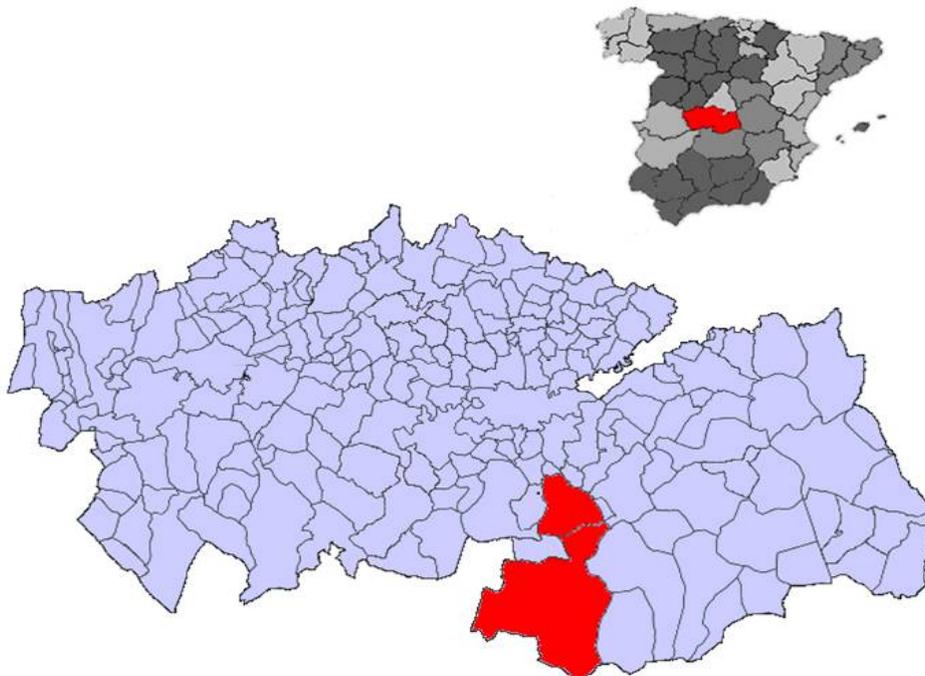


Figura 1.2.1. Municipios de Orgaz y Los Yébenes

Concretamente a la zona de estudio se accede por la carretera N-401 desde Orgaz con dirección Los Yébenes, tomando la desviación N-401 a (Figura 1.2.1b).

Las coordenadas donde se toman las muestras se encuentran repartidas homogéneamente sobre una zona que se extiende sobre un área de aproximadamente 119Ha.

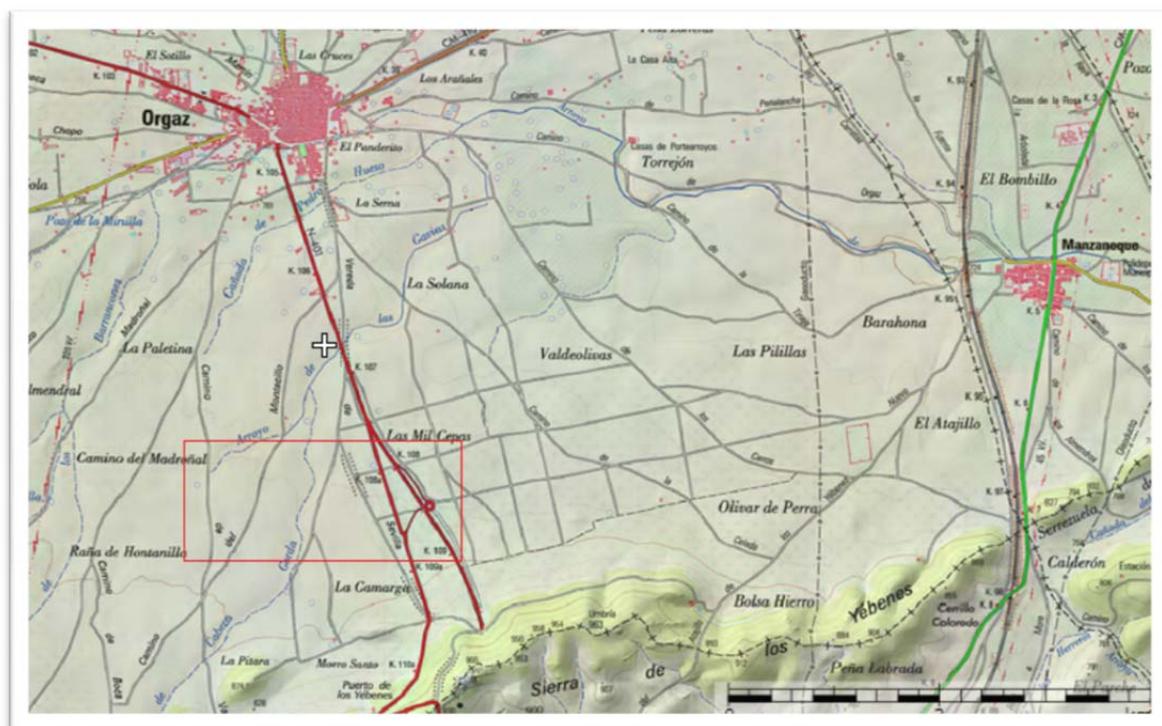


Figura 1.2.1b. Localización de la Zona del proyecto

1.2.2. Geología

Para el estudio geológico de la zona nos basamos en los datos proporcionados por el Instituto Tecnológico GeoMinero de España (1990), concretamente a la hoja 685 (18-27) a Escala 1:50000.



Geológicamente está incluida dentro de la zona Centro Ibérica (JULIVERT, 1977), presentando los rasgos petrológicos y estructurales propios de la misma.

La mitad septentrional está ocupada por parte del gran batolito granítico de Sonseca, por una banda de metamorfismo de contacto que afecta a los materiales cambro-ordovícicos. Los materiales más reciente son siempre de naturaleza silíceo y de texturas gruesas. Se adosan al pie de las sierras con morfología de piedemontes al igual que ocurre en el tercio meridional, que aparece casi cubierto en su totalidad por estos sedimentos de edad plioceno superior y cuaternario, fosilizando las pizarras, salvo algunos afloramientos aislados.

Los metasedimentos paleozoicos ocupan, por tanto, una extensión relativamente restringida, por lo que no se ha podido establecer una estratigrafía precisa para las diferentes formaciones, con excepción de Cuarcita Armoricana.

En cuanto al Terciario y al Cuaternario, los datos anteriores son mucho más escasos y en la mayoría de las ocasiones recogen informaciones puntuales o de carácter más regional.

La Hoja geológica de Los Yébenes (685) comprende tres conjuntos estratégicos separados por dos discordancias. El primero de ellos corresponde a los materiales del Cámbrico inferior, escasamente representados en afloramientos aislados. La discordancia Sárdica da paso a las series cuarcíticas y pizarrosas del Ordovícico inferior y medio. Por último la Raña y diversos recubrimientos cuaternarios se apoyan de forma discordante sobre todo lo anterior.

1.2.2.1 Paleozoico

1.2.2.1.1 **Cámbrico.** Calizas, dolomías y margocalizas del Cámbrico Inferior.

Dichos materiales aparecen en forma de afloramientos aislados y con escasa continuidad lateral. Los pequeños afloramientos calizos se sitúan, muy próximos o en contacto con las rocas graníticas, razón por la cual aparecen transformados en mármoles y calizas microcristalinas. De esta manera se han borrado la mayoría de las estructuras sedimentarias. Dichas circunstancias imposibilitan el estudio estratigráfico y sedimentológico de



esta formación. Su edad solamente es deducible mediante correlación con otras localidades de los Montes de Toledo, donde estas capas aparecen en una disposición estratigráfica similar.

1. **Cámbrico Inferior.** Pizarras y grauvacas

Por su situación entre las calizas y la discordancia de la base del Ordovícico pueden considerarse como un Cámbrico Inferior. Dichos tramos están poco representados en los Montes de Toledo, dado que la discordancia Sárdica profundiza de forma progresiva sobre dicha serie cámbrica, de norte a sur, de forma que al SO de Los Navalucillos falta ya la formación carbonatada e incluso los niveles más bajos del Cámbrico. Dicha circunstancia, junto con los extensos canchales que cubren casi siempre los tramos inferiores y próximos a las series del Ordovícico basal, hace que hasta la fecha no se haya realizado una estratigrafía detallada del tramo en cuestión.

Dentro de la Hoja, no se han encontrado restos fosilíferos que permitan confirmar su edad, la cual ha sido deducida en función de la posición estratigráfica que ocupa dichos niveles.

Por otro lado, la extensión y la calidad de sus afloramientos no permiten establecer una columna global de la serie. El afloramiento más relevante se sitúa en el paraje de La Rinconada, donde, bajo la pudinga de la base del Ordovícico inferior, afloran unos 100 metros de pizarra y grauváguica.

La sucesión consiste en un mínimo de 70 a 90 m de pizarras oscuras, de areniscas (cuarcitas) de grano fino y limolitas, ricas en fragmento de rocas y con algunos restos oxidados de pirita.

El muro de la sucesión no se observa, entre otras cosas, por estar muy cubierto, por lo que la potencia que se ofrece es la mínima visible que se extiende, por lo menos, 10 m por debajo de lo levantado.

El techo es un poco dudoso en este sector, pues el conglomerado basal del Ordovícico basal no aflora muy bien.

Para el conjunto total de la Hoja es prácticamente imposible conocer el espesor total del tramo en cuestión dada la escasez de afloramientos. Tan solo podría aventurarse una cifra en torno a los 500 a 600 m.

Concluyendo, aparece la presencia de una única discordancia en la base de las series clásticas, la cual, en este caso, aparece como una



paraconformidad, al menos en el paraje de la Rinconada, donde las capas superiores e inferiores de la discordancia presentan un marcado paralelismo.

1.2.2.1.2 Ordovícico

1. Conglomerados, microconglomerados y areniscas

Los mejores afloramientos aparecen en la Rinconada, donde aparecen unos 25 m de serie con areniscas cuarzosas de grano grueso, estratificados en bancos de hasta 1 m de espesor. Los niveles conglomeráticos se concentran preferentemente en dos horizontes situados en la base y en el techo del tramo en cuestión.

En la mitad oriental, pese a que los afloramientos son mucho más restringidos, se produce un cambio lateral de facies, en el que los niveles conglomeráticos pasan a capas y bancos de areniscas cuarzosas de color ocre.

Para el conjunto total de la Hoja, las capas conglomeráticas de la base del Ordovícico experimentan un cambio lateral de facies, pasando hacia el E a capas y bancos de areniscas ocreas.

2. Pizarras, areniscas y cuarcitas

La serie tiene un espesor de unos 700 u 800 m de espesor, pero es difícil precizarla por el estado del afloramiento.

Los puntos donde la visión es más fiable se sitúan al N de Los Yébenes y consiste en cortes parciales en la cota 953 y en el corte de la carretera de Orgaz a Los Yébenes.

El corte parcial permite observar las estructuras internas de los cuatro bancos cuarcíticos diferenciados.

El **banco 1**, está formado por cuerpos de areniscas (hoy cuarcita) que se apilan compensando las irregularidades producidas por su desigual desarrollo. Las superficies de *inter-set* son erosivas y escavan los sedimentos, rellenándose después las depresiones por nuevos cuerpos que migran a partir de estos relieves, produciendo una especie de superficie de reactivación.



Se interpreta como barras arenosas de plataforma siliciclástica bajo la acción del oleaje.

El **banco 2**, está formado por estratificación cruzada en la parte inferior y por la laminación paralela y cruzada de bajo ángulo. La primera se interpreta como apilamiento de *megaripples* que forman barras de mediana escala y el resto como barras arenosas en zonas de oleajes de alta energía en ambiente de plataforma.

El **banco 3**, corresponde a barras cuyas morfologías se compensan, formadas por oleajes de tormenta.

El **banco 4**, es el menos potente y más expuesto de todos. Consiste en 1,5 m de areniscas con estratificación cruzada en surco de pequeña a media escala. Se interpreta como un apilamiento de *megaripples* en la plataforma.

3. *Cuarcita Armoricana*

Estas capas constituyen el nivel guía más destacable del Macizo Hespérico y con una mayor incidencia en su morfología y paisaje. Se trata de una secesión de cuarcitas muy puras, estratificadas en gruesos bancos de 10 o 30 m, entre los cuales se intercalan tramos de capas finas, también cuarcíticas, normalmente cubiertas por derrubios y vegetación.

Su edad viene considerándose como Arenig, en base también a su contenido en icnofósiles.

La Cuarcita Armoricana presenta varios tramos cuarcíticos, algo de ellos bastante potente y de aspecto masivo, pero en general incluye intercalaciones pizarrosas o de areniscas de grano fino a muy fino.

Los niveles que separan los bancos cuarcíticos mayores están caracterizados sobre todo por areniscas de grano fino a muy fino y por mayores contenidos de pizarras, que llegan a formar facies heterolíticas e incluso intervalos de arcillas. En estos materiales dominan las estructuras generadas por el oleaje. Estos bancos se formaron por la acción del oleaje de tormentas en áreas de la plataforma no colonizadas directamente por las barras arenosas.



Por otra parte, en la trinchera de la carretera que une Orgaz con Los Yébenes, donde se corona el puerto de Los Yébenes (aproximadamente km 109,500), aflora una sucesión bien expuesta de unos 50m de espesor de la Cuarcita Armoricana. Consiste en una alternancia de bancos de cuarcita más o menos masivos, cuya estructura interna no se ha podido observar a causa de la recristalización y otros procesos post-sedimentarios, lo cual impide precisar adecuadamente la génesis.

Los niveles cuarcíticos más importantes están formados por tres tipos de bancos:

- Estratos que superan individualmente el metro de espesor
- Sucesiones de bancos amalgamados de espesor decimétrico que, probablemente, representan antiguos *sets* de estratificación cruzada.
- Sucesiones de bancos cuarcíticos con inter-niveles pizarrosos que originalmente correspondían a facies heterolíticas con predominio de fracción arenosa.

Por comparación con otras sucesiones de la Cuarcita Armoricana, puede pensarse en un medio marino somero, de plataforma siliciclástica, donde se acumulaban barras de arena. Estas barras corresponden actualmente a niveles de cuarcita de estructura interna irreconocible, pero probablemente compleja.

4. Alternancia de Cuarcitas y Pizarras

Puede considerarse como una mega secuencia positiva y progresivamente pizarrosa hacia el techo.

La alternancia de cuarcitas y pizarras presenta unas características diferentes a las anteriores, pues la proporción de lutitas y areniscas es mucho más elevada y el espesor de las capas de tamaño de grano de arenas es mucho menor. Desde el punto de vista de las estructuras sedimentarias primarias y de su organización es bastante parecida a los tramos infrayacentes interpretados como facies de interbarras y también a las alternancias de Ordovícico basal, por lo que se le supone una génesis parecida. Se trataría de depósitos de plataforma marina somera lutítica con llegadas esporádicas de arena traída por corrientes generadas por el oleaje de tormentas.



5. Pizarras Negras

Constituye un conjunto litológico muy homogéneo, cuya uniformidad solo aparece interrumpida por algunos niveles arenosos intercalados en la serie pizarrosa.

Las pizarras aparecen con una intensa paleoalteración, de más de 10m de espesor, la cual ha dado lugar a un material arcilloso de color rojo a violeta, difícil de distinguir de los sedimentos suprayacentes.

Los fósiles encontrados en la formación de pizarras nos dan una edad Llandeilo inferior que sitúa el yacimiento dentro de las “capas con Tristani”

1.2.2.2 Terciario

Se pueden encontrar reducidos afloramientos de materiales terciarios continentales, expuestos por la disección de los arroyos, de la margen derecha. Estos afloramientos son discontinuos, sin relación aparente entre ellos, de escaso espesor, de 10 a 15m como máximo, y están siempre cubiertos en su parte superior por los depósitos aluvionares gruesos del piedemonte de la Raña. Se apoyan sobre sustrato pizarroso del Llandeilo, el cual puede estar alterado en profundidades variables que no parecen sobrepasar los 2 o 3m. La superficie de contacto es irregular, detonando un meso relieve de erosión previo a su fosilización por estos materiales.

Su edad es dudosa, aunque deben representar episodios finales de la sedimentación terciaria antes de la rotura bioclimática y tectónica que da lugar a la Raña. Por eso se les ha asignado una cronología del Plioceno superior con mayores precisiones.

1.2.2.2.1 Plioceno

1. *Plioceno Superior*. Conglomerados cuarcíticos y pizarrosos alternando con fangos arenosos rojos

Como ya se ha comentado, los afloramientos son escasos y precarios, ya que estas facies están por lo general, tapadas con coluviones de ladera y suelos.



Los primeros términos de la sedimentación pueden ser conglomeráticos, ortoconglomerados, donde dominan las cuarcitas y los cuarzos, subangulosas y subredondeadas, sobre las pizarras que son de tamaños medios más pequeños 1-2 cm que los elementos primeros de 7-8 cm. Estos conglomerados de base, están mal estructurados, pero pueden presentar una estratificación horizontal y cantos imbricados, correspondería a una litofacies del tipo Gm. La secuencia a continuación es una alternancia de fangos arcillo-arenosos y gravas con estructuras internas algo mejor definidas, litofacies Gm y Gp, donde es posible reconocer estructuras sedimentarias de estratificación cruzada planar. Las arcillas son de naturaleza caolinítica con mica y esmectita como minerales secundarios. Procesos edafogénicos más tardíos afectan los metros superiores, cuando los materiales de la Raña están adelgazados por los procesos de erosión subsiguientes a su depósito.

La arquitectura de los elementos descritos señala un medio fluvial caracterizado por barras y facies de llanura de inundación fuertemente influenciadas por materiales de origen lateral.

Se puede intuir que los primeros momentos de la sedimentación la componente de transporte sería, más o menos, perpendicular a las sierras cuarcíticas del sinclinorio de Los Yébenes, para luego girar en dirección NO, lo que significó que las redes fluviales drenaran principalmente un sustrato pizarroso con posible desagüe hacia el E.

1.2.2.3. Cuaternario

1.2.2.3.1. Pleistoceno

Se considera en este apartado todos los materiales posteriores a los conglomerados cuarcíticos y pizarrosos del Plioceno superior, incluida la Raña. La posición en la escala geológica de la Raña es imprecisa, puede representar bien los últimos momentos del Neógeno superior o estar entre el Pleistoceno y Cuaternario. Lo que es indudable es que este piedemonte marca un nuevo cambio en la morfogénesis de la España interior.

El área de aporte de estas formaciones superficiales es casi siempre en las sierras de El Castañar y Los Yébenes. Parece obvio decir que el transporte es fluvial en la mayoría de los casos, a excepción de las pedrizas y otros



derrubios de ladera, que son por gravedad y a los suelos, que tienen su origen en procesos edáficos, a veces muy complicados.

1. ***Piedemonte de la Raña***. Ortoconglomerados silíceos con encostramientos y costras calizas locales.

Estas plataformas, en forma de mesas o largos planos disectados por la erosión, tienen sus raíces al pie de los relieves montañosos y están constituidas por elementos de petrología cuarcítica (más del 80%), cuarzos, pórfidos, aplitas y porcentajes significativos de pizarra en los tamaños menores de 2 – 3 cm. Su textura es variada, dependiendo de la posición del muestreo. Los cantos, rubefectados en superficie, se acumulan entre el 80 y 90 % en la fracción comprendida entre 2 y 12 cm, según el eje mayor, siendo sus tamaños medios de 6 a 12 cm. El centilo está siempre en la clase bloque, con ejes mayores medidos entre 35 y 70 cm. Los clastos van de subangulosos a subredondeados. Su espesor no debe sobrepasar en ningún caso los 8 – 10 m de potencia.

La Raña se apoya en un sustrato de alteración de que es particularmente profundo, 10 a 15 m, cuando la Raña se implanta sobre las facies graníticas del anticlinorio de Sonseca.

En la base un granito alterado, con más de 10 m de potencia, donde en los 3-4 m visibles de la parte superior está recorrido por carbonatos secundarios en forma de enrejados, con anchuras de hasta 15cm. Puede acompañar al carbonato una arcilla roja (10 R 4/8) rica en arenas. Erosionando al granito alterado, se disponen paleocanales rellenos por clastos de cuarcitas, cuarcitas arenosas, areniscas cuarcíferas, cuarzos, pórfidos, aplitas y pizarras, en tamaños que se acumulan en el 80 % entre 3 y 12 cm, y centilo de 40 cm, en cuarcita. La grano-selección es positiva; el espesor máximo alcanza los 4-5m. La parte superior de esta unidad fluvial está fuertemente cementada por carbonatos (45% de CaO) de morfología nodular y penetrada por arcilla roja (10 R 4/7) iluvial que es más potente en la parte media e inferior del perfil, pero aquí ya con características hidromorfas. Se trata de un horizonte Btg (5Y 6/2) que conserva todavía pápulas de arcilla roja (10 R 4/8) movilizadas de la parte superior del perfil y carbonatos pulverulentos blancos.

Encima, y en contacto irregular, una costra clástica roja, con estructura bien diferenciada laminar muy gruesa y muy dura, con contenidos de 50-55 % de CaCO₃. Puede englobar cantos de cuarcitas de 3-4cm, pero lo normal es



la presencia de detríticos de cuarzo, porcentajes del 1-2 %. Presenta estructuras de deformación y una importante actividad biológica con áreas de estructura perlítica.

El horizonte inmediatamente superior, con 1,40 de espesor, está compuesto por una arcilla roja (2.5YR) detrítica, inundada hacia arriba por carbonataciones con tendencia a estructuras laminares poco desarrolladas que se rompen fácilmente con la mano. Finalmente, en el techo, se encuentra una costra caliza laminar bandeada, con estructuras de deformación, alrededor de 50%. Su textura es micrítica, al igual que las acumulaciones de carbonato inferiores. Potencia, 60 cm. El perfil termina con 0,20 m de horizonte A que engloba restos de costra caliza inferior. Espesor total, alrededor de 6-7 m.

Es conveniente destacar que el carbonato se reparte zonalmente, se puede decir que aparece en su mitad oriental, aunque más espeso y con morfologías más evolucionadas y maduras.

2. *Abanicos y conos aluviales*. Ortoconglomerados y gravas síliceas con encostramientos y costras calizas locales.

Es la segunda de las formaciones superficiales por el desarrollo que alcanzan. Los abanicos aluviales que tienen sus cuencas de drenaje en el flanco meridional del sinclinorio de Los Yébenes.

Se han diferenciado cuatro generaciones de abanicos aluviales con edades comprendidas entre el Pleistoceno inferior y el Holoceno. Estas diferenciaciones son morfológicas y deriva de la posición y relaciones de encajamientos entre otros.

Están constituidos los tres más antiguos por materiales gruesos y con litologías parecidas a la Raña, ya que en parte provienen de ella o de las mismas áreas fuentes de las sierras. Los tamaños medios de los cantos oscilan entre los 6-8 cm, y el centilo muy a menudo está en la fracción bloque. Muchos de estos abanicos están desmantelados en superficie por la erosión hídrica y areolar que han desaparecido los horizontes edáficos superiores. En otras ocasiones conservan sus horizontes A o E que son espesos, observándose grandes proporciones de gravillas. Esto ocurre en los más antiguos y mejor conservados.



La carbonatación también es notable en las mismas zonas donde se han señalado para las Rañas. A techo, limos arenosos finos de color rosado (7,5 YR 8/2), en los cuales se ha desarrollado una carbonatación masiva y friable, que puede resolverse a techo en estructuras laminares. Las gravas aluviales están penetradas por arcilla iluvial a pseudogley (Btg) de color pardo amarillento (10 YR 6/8) y blanco, siendo estas últimas acumulaciones verticales, horizontales y o a favor de la laminación, con mineralogía caolítica y esmectítica.

Los conos holocenos son todos de modesto desarrollo y están impuestos a sopié de las laderas fluviales y en conexión con los fondos de valle. Su composición va a depender en mayor medida de la litología local de sus pequeñas cuencas de drenaje. Algunos están constituidos principalmente por arenas, con escasos clastos, por provenir de los productos de alteración (arenización) del granito. Los conos aluviales, independientemente de su posición geográfica, no presentan carbonatación alguna.

3. *Terrazas fluviales*. Gravas poligénicas con encostramientos y costras calizas locales.

Su conservación es mala por lo general y sus bordes están siempre redondeados y cubiertos por derrubios. A pesar de esto, y por los datos de superficie, se pueden establecer las siguientes precisiones.

La composición litológica es eminentemente cuarcítica, con tamaños más frecuentes para las terrazas más altas de 10-12 cm y centilos comprendidos entre los 40 y 70 cm. Las terrazas medias y bajas tienen tamaños medios menores (6-8cm) y el tamaño mayor no parece sobre pasar los 20-30 cm. El espesor de las terrazas no sobre pasa los 2 ó 3 m y las más altas, cuando el sustrato es granítico, tienen a su muro un perfil de alteración de 4 a 6 m.

Los suelos parecen ser rojos fersialíticos, sus horizontes argílicos, tienen una composición principal en la fracción menor a las dos micras de caolín-esmectita-mica.

La carbonatación es otro proceso en las terrazas, rodeado con finas camisas a los clastos. Estas cortezas de carbonato alcanzan espesores de 1cm en las terrazas más altas y la carbonatación llega a afectar al sustrato. La



distribución geográfica del carbonato es equivalente a la encontrada para la Raña y los abanicos aluviales.

4. **Formaciones de ladera.** Derrubios cuarcíticos, suelos rojos y encostramientos calizos locales.

Se disponen tapizando las laderas de la sierra de Los Yébenes en su sector oriental y los isleos residuales paleozoicos, que se encuentran al Norte de la sierra.

Estas formaciones de ladera son antiguas y están compuestas por derrubios cuarcíticos, con marcada heterometría, clastos angulosos a subangulosos. Los clastos pueden estar soportados por arcillas rojas edafizadas que han sido transportadas, en ocasiones, de posiciones topográficas más elevadas.

Los derrubios se disponen a veces en coladas no muy potentes, sin estructurar y de apariencia tubular en los cortes vistos de sección perpendicular a su dirección de transporte. En estas ocasiones es posible observar suelos rojos pedregosos enterrados donde faltan los horizontes A y se conservan los B y K.

Los suelos originales son suelos rojos fersáliticos con horizontes bien desarrollados con calcificaciones irregularmente distribuidas en sección, en horizontes del tipo K o BKg. Por lo general son suelos con horizontes pseudogley (Bg o Btg) de color gris verdoso claro (5Y 6/2), a los que se superponen horizontes argílicos (Bt), más o menos pedregosos, con cutanes de arcilla moderadamente espesos y continuos de color rojo (10R y 2,5YR). Los horizontes A o AE, superiores, son de texturas limoarenosas, con pedregosidad cuarcítica porcentualmente elevada 60-70 %, con colores pardos (10YR; 7,5 YR), pardo rojizos a rojo amarillentos (5YR). Cuando el horizonte C es visible las pizarras y cuarcitas tienen una acusada alteración, con colores de pizarra violáceos y grises, así como moteados rojos.

Los horizontes Bt, su fracción arcillosa, tienen como minerales principales la caolinita, esmectita, mica e illita.

Estas formaciones de ladera pueden alcanzar los 3 o más metros y por la evolución de sus suelos coetáneos.



1.2.2.3.2. Holoceno

1. *Fondos de Valle*. Fangos arenosos y gravas poligénicas.

Los fondos de valle, son, sin embargo, de escasa entidad en lo que se refiere a su potencia y representación areal.

Los arroyos que drenan hacia la mitad septentrional presenta fondos de valle estrechos con cargas gruesas de diferente litología: cuarcitas, pizarras, ambas más abundantes en sus partes altas, granitos, cuarzos, aplitas y pórfidos, con arenas que son dominantes cuando el área drenada es mayoritariamente granítica. La heterometría de estos materiales gruesos es acusada y los centilos pueden estar en los 50 cm o más. Las aplitas y pórfidos tienen un carácter más redondeado. En estas zonas no son infrecuentes afloramientos graníticos entre los depósitos aluvionares del fondo de valle. Los fangos arenosos de llanura, sobre las barras del canal, son poco importantes y potentes.

En la mitad meridional, los ríos Milagro y Algodor drenan cuencas cuarcítico-pizarrosas y los componentes litológicos son, lógicamente, cuarcitas y pizarras, con algún cuarzo. La llanura aluvial del río Algodor es amplia a partir del Vado de San Marcos y limos arenosos pardos, ricos en materia orgánica (raíces) poco transformada, cubren las barras aluvionares inferiores, con espesores de hasta 0,70 m.

2. *Coluviones y aluvial-coluvial*. Gravas y Arenas Cuarzo-Feldespáticas.

Son formaciones superficiales, principalmente de ladera. Tapizan con escaso espesor los relieves realizados por la erosión. Circundan los coluviones, las mesas y plataformas tendidas de la Raña y las terrazas. Sus materiales son los propios de esas superficies y los tamaños los disponibles. Estos coluviones contienen restos de suelos antiguos, de ladera, y los señalados para la Raña y las terrazas y productos arenosos de la alteración del granito, lo que les confiere un cierto carácter arcillo-arenosos y coloraciones típicamente rojas.

Los depósitos aluvionares-coluvionares tienen una génesis doble fluvial y de fluvio-gravedad. Su potencia no debe rebasar los 1 ó 2 m.



3. *Cantos y bloques cuarcíticos*. Pedrizas.

Los canchales o pedrizas están restringidos a las sierras de El Castañar y Los Yébenes, y su mayor desarrollo se encuentra en la primera. Son materiales desprovistos de matriz y constituidos exclusivamente por clastos de cuarcita angulosa, en tamaños que van desde la fracción grava a la clase de bloques. El centilo está siempre por encima del metro, de eje mayor, y los tamaños más frecuentes están comprendidos entre los 12 y 24 cm. La pedriza deriva de las crestas cuarcíticas culminantes, que son atacadas por la acción mecánica de la gelifracción, aprovechando los planos de estratificación y de diaclasado. Su descenso, a lo largo de la ladera, se produce por la acción de la gravedad, alimentando en estos momentos las cargas que transportan los arroyos que tienen sus cabeceras en estas partes de la sierra. El espesor de la pedriza no debe ser grande, 2 a 3 m como máximo, a no ser que rellene topografías hendidas de ladera.

Por último, indicar que se ha visto fosilizando potentes perfiles de alteración en las pizarras subyacentes.

4. *Fangos Arenosos*. Zonas de drenaje deficiente.

Tienen una representación muy limitada. Se trata bien de pequeños alveolos construidos sobre la superficie granítica de Orgaz o pequeñas depresiones aluviales mal conectadas con las líneas de drenaje de su valle. Sus fondos son arcillo-arenosos, lo que les confiere un cierto grado de impermeabilidad.

1.2.3. Fisiografía y Relieve

Orgaz se encuentra situado en las estribaciones de los Montes de Toledo, extendiéndose a su término por la Raña de la Ontanilla y la Meseta de los Montes, también conocida como comarca de “La Sisle”. En el pasado al sur de Toledo se extendía un gran bosque, conocido como “La Sisle”, que se extendía desde el Tajo hasta los Montes de Toledo, distinguiéndose dos zonas separadas por el río Guajaraz: La Sisle Mayor, entre Guajaraz y Algodor, donde se encuentra Orgaz, y La Sisle Menor, entre Guajaraz y Torcón.



Los Montes de Toledo forman una serranía de una longitud máxima de Este a Oeste de unos 350 km aproximadamente y una anchura máxima de unos 100 km, aunque la anchura media es de unos 50 km. Es una formación montañosa que separa la cuenca del Tajo de la del Guadiana, dividiendo así la submeseta meridional en dos partes. La extensión total de los Montes de Toledo es de 3.052,33 km² y está enmarcada por la Meseta Toledana, La Mancha, el Campo de Calatrava y la Llanura de la Jara.

La disposición de los relieves hace que ha estos montes no se les considere una cordillera como tal, sino más bien un conjunto de alturas separadas por amplias zonas llenas de interiores a modo de plataformas, muy disecadas por la red fluvial.

En su conjunto, los Montes de Toledo son el resultado de la acción diferencial de un largo proceso erosivo sobre la serie sedimentaria plegada durante el movimiento herciniano.

Es un sistema de escasa altitud, formado por numerosos y originales macizos, que presentan rasgos perfectamente definidos y un aspecto uniforme.

A efectos meramente didácticos, ya que las características geográficas y geológicas son las mismas para todo el sistema, se suele dividir los Montes de Toledo en cuatro grupos o alineaciones:

- La más extensa, que se encuentra aislada y que la forma la Sierra de Los Yébenes cuya altitud alcanza los 970m y sus prolongaciones son La Sierra del Castañar y del Vedado hasta la depresión del Milagro.
- La Sierra de la Becerra (con las cumbres de Lidiondo y Palomera), y el macizo montañoso de Las Guadalerzas. Abarca desde el paso del Congosto hasta el Molinillo.
- La Sierra de la Calderina, cumbre de Rondines y Sierra de la Higuera. Comienza en el Puerto de la Matanza y termina en el río Bullaque.
- La Sierra de Malagón.

Si bien las sierras son una parte del territorio y paisaje de Orgaz, la población se asienta en el valle, y su término municipal se extiende por la



Raña de la Ontanilla y la Meseta de los Montes, que son territorios más o menos llanos.

Entre la sierra de Yébenes y la población de Orgaz se extiende una característica formación de pie de monte, la Raña de la Ontanilla. Esta planicie es de constitución granítica, formada por gneises y granito normal muy fel despático. El suelo es fértil en muchas extensiones. También son frecuentes las Piedras Caballeras, que llaman la atención tanto por sus dimensiones como por sus caprichosas formas, como la Peña Levadura o la Peña del Huevo en Orgaz. La desintegración de estas rocas cubre el suelo y con el transcurrir de los siglos origina los suelos arenáceos tan característicos en esta zona. Son muy frecuentes los afloramientos de caliza y de granito (paisaje conocido como berrocal).

La complejidad orográfica de la provincia de Toledo condiciona la existencia de un medio natural caracterizado por una gran diversidad climatológica, botánica, hidrológica, edafológica y geológica que hacen de esta provincia un lugar con gran Patrimonio Natural.

1.2.4. Clima

La provincia de Toledo tiene un clima mediterráneo con tendencia continental, seco y extremado, presenta una temperatura media anual de 15° C, con máximas absolutas de 42°C y medias de 26°C en verano. Las temperaturas son frescas en invierno, con heladas frecuentes en algunas partes de la provincia, pero de menor magnitud que en otras zonas de España, mientras que los veranos son cálidos, es el clima que predomina en la mayor parte de la región Castellano-Manchega.

Otros factores característicos del tiempo meteorológico son la irregularidad de las lluvias, las fuertes oscilaciones de temperaturas, o la aridez en determinadas zonas de Castilla-La Mancha (Almazara, 2000). En Castilla-La Mancha en general, y en Toledo en particular, las temperaturas son extremas por el efecto de la continentalidad, o situación de la región en gran parte del centro geográfico de España.

Por otro lado, el clima eminentemente árido también es identificable en la región, debido a la combinación de la escasez de las precipitaciones junto con las altas temperaturas del verano.

Las precipitaciones son muy escasas y se concentran en primavera y a finales del otoño, con sequía estival acusada. Las precipitaciones, que se



mantiene entre 375-430 mm, llegan a 600-700 mm en los Montes de Toledo y sierra de San Vicente.

El clima de la comarca de Los Yébenes es en general similar al del resto de la provincia, matizando únicamente porque las mayores alturas suponen un descenso, aunque ligero, de las temperaturas. Por la misma razón las nieves son más frecuentes que en otras zonas de la provincia, pero poco duraderas. Los vientos dominantes son del sudeste; en primavera y en otoño también corren ponientes y en invierno los del norte (Carrión, 1995).

Para estudiar el clima de la zona donde se realizó el estudio, se ha tratado la información de la estación meteorológica más cercana a la zona en cuestión, que corresponde a “ORGAZ DEHESA VILLAVERDE” con una altitud de 740m y unas coordenadas geográficas (Latitud y Longitud) que corresponden a 39° 41´50” N y 3°56´37” W respectivamente.

Esta información viene proporcionada por el SIGA (Sistema de Información de Datos Agrarios) perteneciente al Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente; así como a al AEMET (Sistema Estatal de Meteorología) perteneciente también al mismo Ministerio.

1.2.4.1. Datos Climáticos

Aplicando los estudios en la clasificación climática de Thornthwaite. La clasificación de Thornthwaite (1949) ha sido asumida ampliamente dadas las aportaciones de su autor al edafoclima e hidrología, desde una perspectiva climática.

Basada en la consideración de la eficacia térmica, dada por la Evapotranspiración definida por el mismo autor, y la humedad disponible, expresada como índices de humedad y de aridez a partir del balance hídrico. El autor utiliza sus trabajos previos en la estimación de la Evapotranspiración y el balance de humedad del suelo. Supone un gran avance respecto a otras clasificaciones ya que parte del clima que afecta al suelo y a las plantas, es decir, la evaporación, la transpiración y el agua disponible en el suelo; en vez de medias mensuales de parámetros meteorológicos clásicos.



Esta clasificación define unos tipos según la humedad y su variación estacional, y otros tipos según su eficacia térmica y su concentración estival.

El tipo de humedad está basado en un índice de humedad global que combina dos índices, uno de humedad y otro de aridez. Para su definición es necesario realizar un balance hídrico mediante el método directo y con reserva máxima climática de 100mm. El índice de humedad se define como el conjunto de excesos de agua (Ex; según un balance hídrico directo con reserva de 100mm) en porcentaje respecto a la evapotranspiración anual. Los datos de dicho estudio se muestran a continuación, donde se encuentra la temperatura media mensual, pluviometría media mensual así como la evapotranspiración potencial media mensual entre otros datos.

CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE THORNTHWAITE

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Año
ETP	9,90	13,40	28,70	47,00	86,50	116,40	153,00	136,30	90,10	53,10	20,50	9,50	764,40
P	37,30	34,20	43,50	38,00	38,50	31,90	7,20	10,60	27,00	43,60	34,40	47,10	393,30
VR	27,4	20,8	0,3	-9	-48	-43	0	0	0	0	13,9	37,6	
R	78,9	99,7	100	91	43	0	0	0	0	0	13,9	51,5	
ETA	9,90	13,40	28,70	47,00	86,50	74,90	7,20	10,60	27,00	43,60	20,50	9,50	
F	0	0	0	0	0	41,50	145,80	125,70	63,10	9,50	0	0	385,60
EX	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15,00
T	4,90	6,10	8,90	11,90	16,80	20,50	24,50	23,80	19,50	14,30	8,20	4,90	13,70

ETP: Evapotranspiración potencial

T: Temperatura

ETA: Evapotranspiración actual

Ex: Exceso

P: Pluviometría

R: Reserva

V.R: Variación de la Reserva

F: Falta de agua



Tal y como se puede observar en la tabla climática la diferencia entre las temperaturas de verano e invierno difieren en casi 20°C. Los estíos son muy calurosos, aunque con una media de 22.9°C, mientras que en invierno las temperaturas medias son frías con una media de 4.9°C en enero y se han registrado mínimas de -3.8°C en el mismo mes.

Además se debe destacar que el 9 de abril es la primera helada y el 4 de noviembre la última, de media según el criterio de Papadakis (1980). Por tanto, la estación media libre de heladas es de 178 días.

En cuanto a las precipitaciones, la precipitación media anual que se da en la zona se encuentra en los 393mm, siendo el mes más lluvioso el de Diciembre que tiene la media más alta en 47.1mm. Los meses más lluviosos son los pertenecientes a las estaciones de primavera e invierno; el otoño puede ser considerado como estación intermedia, mientras que el verano es la época más seca.

Por lo que respecta a la pluviometría, se observa un valor medio anual de valor medio-bajo; no obstante, pese a la escasez de lluvias, éstas presentan una distribución regular a lo largo del año, con excepción del periodo estival, durante el cual éstas se ven reducidas a valores bajos. La evapotranspiración potencial es mayor en el mes de Julio.

1.2.4.2. Características Climatológicas

La precipitación que cae sobre un suelo, se almacena en el propio suelo hasta una cantidad que para Thornthwaite es constante para todo tipo de suelos y con un valor máximo de 100mm. Cuando en un suelo se supera la cantidad de la reserva máxima, se produce un exceso que se drena en profundidad. Cada mes, así mismo, se producen unas necesidades de agua consecuencia de la ETP, si estas necesidades no pueden ser cubiertas por la reserva disponible más las aportaciones, entonces se produce una falta de agua. Para cada vez se produce un balance hídrico considerando la reserva, la ETP y las precipitaciones.

Thornthwaite se basa en utilizar los parámetros de exceso y de falta de agua para caracterizar climatológicamente la zona a la que se refiere, utilizando un sistema de siglas y subíndices para la caracterización.



Estudiando esta clasificación podemos definir el clima de Orgaz (Toledo) como un clima semiárido, es decir, su índice de humedad está entre -20 y -40. Con un clima seco, el cual tiene muy poco o ningún exceso de agua en invierno. Su eficacia térmica se define como Mesotérmico y cuya necesidad de agua en verano corresponde a 53,07.

Con toda esta información podemos clasificar el clima del municipio de Orgaz según Thornthwaite como:

ORGAZ → DdB'2b'3

Se muestra también otras clasificaciones definidas por diferentes autores, las cuales se refieren a relaciones numéricas entre variables climáticas con el fin de caracterizar globalmente el clima y evaluar la influencia sobre determinados fenómenos como puede ser el desarrollo vegetal o la capacidad erosiva del mismo.

Índice de pluviosidad de Lang	28,7	Zona Árida
Índice de aridez de De Martonne	16,6	Estepas y países secos mediterráneos
Índice de termopluviométrico de Dantin Cereda y Revenga	3,48	Zonas Semiáridas
Índice de Fournier o de agresividad del clima	5,64	-

El diagrama ombrotérmico (Figura 1.2.4.2) o de Walter-Gausson se trata de un gráfico cartesiano en el cual se representa la precipitación mensual en mm (P) y el doble de la temperatura media mensual en °C, referido a los 12 meses del año. El periodo en el cual $P < 2T$ recibe el nombre de periodo de aridez.

En el caso de la zona de estudio el periodo de aridez es aproximadamente desde el 30 de Mayo al 1 de octubre. El número de días correspondiente al periodo xerotérmico o índice de Gausson es de 122 días.

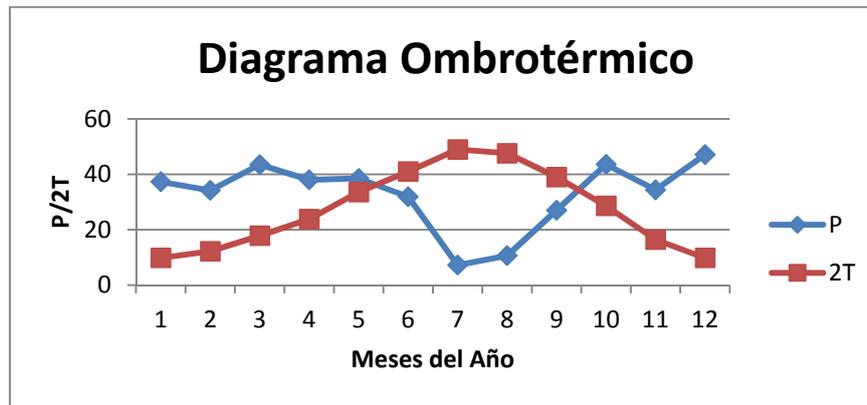


Figura 1.2.4.2 Detalle Diagrama Ombrotérmico “ORGAZ DEHESA VILLAVERDE”

1.2.5. Edafología

Desde el punto de vista científico el suelo constituye el objeto de estudio de la Edafología, la cual lo define como “ente natural organizado e independiente, con unos constituyentes, propiedades y génesis que son el resultado de la actuación de una serie de factores activos (clima, organismos, roca madre, relieve y tiempo)”.

Para poder realizar una determinación y clasificación de los suelos es necesario conocer la constitución del mismo desde su superficie hasta el material originario y para ello, se realiza cortes verticales del terreno, a los que se denomina perfiles. Al observar un perfil puede distinguirse una serie de capas que reciben el nombre de horizontes, dado que su disposición suele ser horizontal o subhorizontal. Cada uno de ellos suele tener características y propiedades diferentes en un mismo suelo, de ahí la importancia de su identificación para su descripción y muestreo.

Los horizontes se delimitan atendiendo a los siguientes pasos:

- Por las diferencias de color
- Por las diferencias en las propiedades morfológicas: textura, estructura, elementos gruesos
- Por diferentes propiedades asociadas: consistencia, compacidad, plasticidad adhesividad y dureza

La formación de dichos horizontes son debidos a la acción de diversos procesos edafogénicos (Figura 1.2.5, Upme, 1998). Las diferencias de unos suelos con otros se deben a diferentes condiciones ambientales, tanto



actuales como las habidas en el pasado. Ello explica las distintas morfologías en suelos de diferentes localizaciones en un territorio. No obstante, la variabilidad no es infinita y al existir suelos con horizontes semejantes resulta posible desarrollar un sistema de denominación general. Actualmente se designan con letras mayúsculas:

- **Horizonte O**, o capa superficial del horizonte A: es la parte más superficial del suelo, formada por hojas, ramas y restos vegetales.
- **Horizonte A**, o zona de lavado vertical: es el más superficial y en él enraíza la vegetación herbácea. Su color suele ser oscuro por la gran cantidad de materia orgánica descompuesta o humus elaborado, determinando el paso de agua arrastrándola hacia abajo.
- **Horizonte B**, o zona de precipitado: carece prácticamente de humus, por lo que su color es más claro (pardo o rojo), en él se depositan los materiales arrastrados desde arriba, principalmente los arcillosos, óxidos e hidróxidos...situándose en este nivel los encostramientos calcáreos áridos y las corazas lateríticas tropicales.
- **Horizonte C**, o subsuelo: está constituido por la parte más alta del material rocoso in situ, sobre el que se apoya el suelo, más o menos fragmentado por la alteración mecánica o química.
- **Horizonte R** o roca madre: es el material rocoso subyacente que no ha sufrido ninguna alteración química o física significativa.

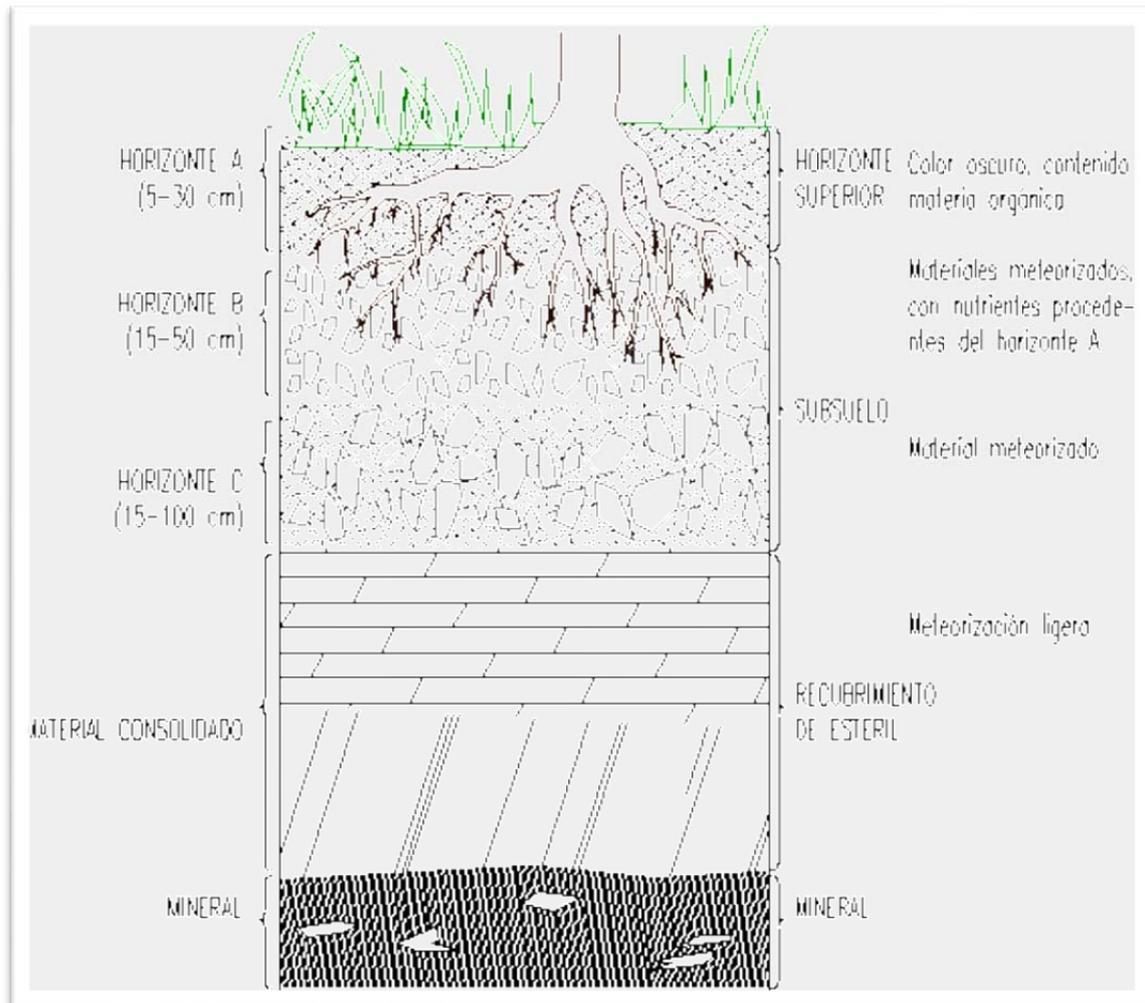


Figura 1.2.5. Esquema perfil de un suelo (Upme, 1998)

La definición de los horizontes genéticos es meramente cualitativa, lo que en algunos casos puede dificultar su empleo, es por esto que también se utilizan los horizontes de diagnóstico: que son horizontes definidos morfológicamente o al menos, con la mayor precisión posible, con datos de campo y laboratorio, para su utilización taxonómica.

Las propiedades de un suelo reflejan la intersección de varios procesos de formación que suceden de forma simultánea tras la acumulación del material primigenio. Se añaden al terreno algunas sustancias mientras que otras desaparecen, además la transferencia de materia entre horizontes es muy normal, incluso algunos materiales se transforman. Todos estos procesos se producen a velocidades diversas y en direcciones diferentes, por lo que aparecen suelos con distintos tipos de horizontes o con varios

aspectos dentro de un mismo horizonte (Porta, López-Acevedo y Roquero, 2003).

1.2.5.1. El Suelo

La formación del suelo (1.2.5.1, CENAMEC) es un proceso en el que las rocas se dividen en partículas menores mezclándose con materia orgánica en descomposición. El suelo es un agregado de minerales no consolidados y de partículas orgánicas producidas por la acción combinada del viento, el agua y los procesos de desintegración orgánica.

La composición química y la estructura física del suelo en un lugar dado están determinadas por el tipo de material geológico que se origina, por la cubierta vegetal, por la topografía y por los cambios artificiales resultantes de las actividades humanas.

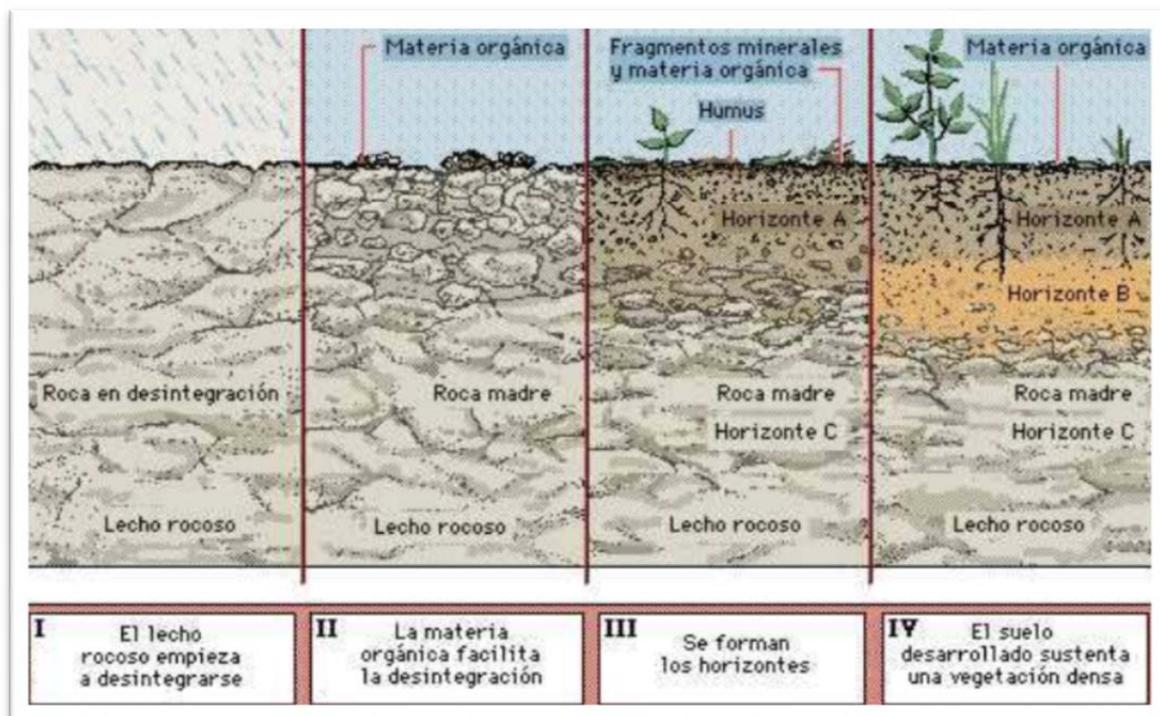


Figura 1.2.5.1 Formación del suelo (CENAMEC)

Los componentes primarios del suelo son **compuestos inorgánicos**, no disueltos, producidos por la meteorización y la descomposición de rocas superficiales; los compuestos solubles utilizados por las plantas; distintos tipos de **materia orgánica**, viva o muerta; **gases y aguas** requeridos por las plantas y por los organismos subterráneos.

El componente inorgánico contiene fundamentalmente minerales cristalinos, pero también cierta cantidad de sustancias no cristalinas. La



materia orgánica consta de raíces y restos vegetales y organismos vivos del suelo. Los espacios vacíos entre los materiales sólidos son ocupados por el aire y el agua. El agua del suelo, en realidad es una solución que contiene cierta cantidad de sustancias disueltas.

La naturaleza física del suelo está determinada por la proporción de partículas de varios tamaños. Las partículas inorgánicas tienen tamaños que varían entre los trozos distinguibles de piedra y grava hasta los menores. Las grandes partículas de suelo, como la arena y la grava, son en su mayor parte químicamente inactivas; pero las pequeñas partículas inorgánicas, componentes principalmente de las arcillas finas, sirven también como depósitos de los que las raíces de las plantas extraen nutrientes. La parte orgánica del suelo está formada por restos vegetales y restos animales, junto a cantidades variables de materia orgánica cuya descomposición forma una mezcla compleja y resistente de sustancias, amorfas y coloidales, de color marrón y marrón oscuro que recibe el nombre de humus. El humus constituye aproximadamente el 65% de la materia orgánica de los suelos minerales. El contenido de materia orgánica es variable y dependiente del tipo de suelo, muchos suelos no llegan a superar el 1% lo cual es frecuente en España.

El componente líquido de los suelos, es sobre todo agua con varias sustancias minerales en disolución, cantidades grandes de oxígeno y dióxido de carbono disueltos.

Los principales gases contenidos en el suelo son oxígeno, nitrógeno y dióxido de carbono.

Por otra parte, los suelos se clasifican según su textura o tamaño de la partícula de la siguiente forma:

Arena gruesa: 2-0.2 mm
Arena fina: 0.2-0.02 mm
Limo: 0.02-0.002 mm
Arcilla: < 0.002 mm

Tanto la arena como el limo están formados principalmente por minerales primarios, y normalmente por cuarzo, debido a la resistencia de este material a la alteración química.

La textura del suelo afecta en gran medida a su productividad; por ejemplo, los suelos que contienen una buena proporción de partículas pequeñas (arcillas y limos), son depósitos excelentes de agua, sin embargo, los suelos



muy arcillosos tienden a contener un exceso de agua lo que los hace resistentes al cultivo.

Por otro lado, el color es una de las formas más sencillas utilizadas para poder clasificar los suelos.

La reflectividad en el intervalo del visible, o color, es una característica diferencial para muchas clases.

Los espacios vacíos que quedan son ocupados por el aire y el agua en proporciones variables. El agua del suelo tiene una cierta concentración de sustancias solubles en equilibrio con la fase sólida. Mientras tanto, el aire del suelo tiene una composición que difiere de la atmosférica principalmente de anhídrido carbónico y en una menor concentración oxígeno.

Cuando el suelo se humedece, el agua ocupa todos los espacios vacíos, pero esta agua se va drenando en profundidad y abandonando los espacios de mayor diámetro, transcurrido un cierto tiempo solo los capilares se encuentran ocupados, a esto se le conoce como capacidad de campo. Esto es un aspecto fundamental para retener agua.

La fuerza de un suelo para tener agua se llama tensión de humedad, esta tensión puede cuantificarse como:

$$1 \text{ bar} = 10^6 \text{ din/cm}^2 \Leftrightarrow 0.98692 \text{ atmósferas}$$

Las plantas pueden absorber el agua del suelo cuando la misma es retenida con una tensión superior a cierta cantidad, el volumen correspondiente a ese nivel crítico es característico para cada tipo de suelo y recibe el nombre de punto de marchitez.

1.2.5.2. Propiedades Espectrales del Suelo

La energía incidente procede principalmente del sol y, en el margen de la parte visible y del infrarrojo próximo del espectro, es la proporción de la energía incidente reflejada por el “objeto” en la tierra. En cambio, si la energía percibida pertenece a la gama de las radiaciones térmicas, puede ser una emisión del objeto en la tierra -que a su vez es una función de la energía solar incidente que el objeto absorbe y luego emite como radiación térmica- o bien una fuente directa de energía térmica, como un incendio forestal. La energía solar incidente varía según la estación o la latitud (que influyen en el ángulo del sol), el tiempo durante el cual ha estado brillando

el sol y el ángulo del objeto en la tierra. Cuando se analizan los datos telepercibidos es importante tener en cuenta las fechas, el momento de la adquisición y el relieve de la tierra (Figura 1.2.5.2. Tomada de Curran, 1985)

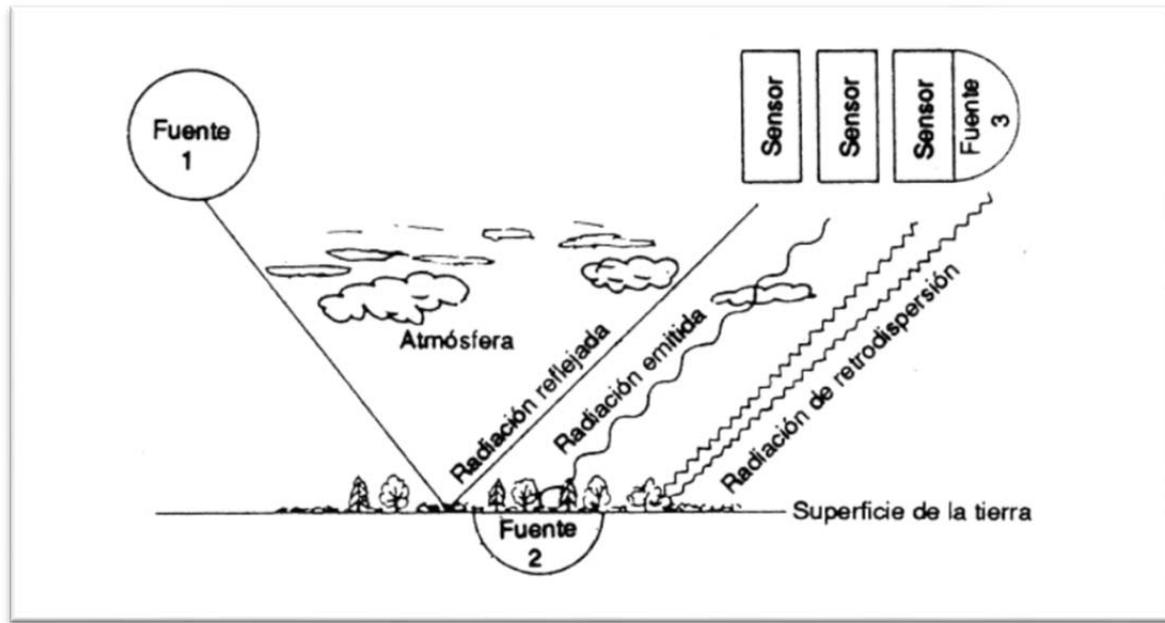


Figura 1.2.5.2 Interacción de Energía con la superficie Terrestre

El comportamiento teórico de cada uno de los objetos con la interacción con la energía, es lo que se llama FIRMAS ESPECTRALES, las cuales ayudan a identificar a cada uno de los objetos de la superficie de la tierra, por cuanto cada uno de los objetos tiene una respuesta espectral única.

Las firmas espectrales o curvas características (Figura 1.2.5.3. N°318 Roma, FAO, 1992) son entonces la representación de la energía reflejada en relación a las longitudes de onda, consideradas sin el efecto atmosférico de la trayectoria objeto-sensor, y medida en condiciones ideales de ángulo incidente.

La observación de la reflectividad en el visible y en los infrarrojos próximos y medio es importante, al menos por dos razones. En un caso, por la extensa existencia de suelo a lo largo de toda la superficie terrestre. Esta existencia de suelo se considera también la existente por debajo de las cubiertas vegetales, donde parte de la radiación incidente sobre cubiertas vegetales penetra hasta el suelo subyacente.

El suelo afecta a la reflectancia de la vegetación disminuyéndola o aumentándola según se trate de suelos de tonos claros u oscuros.



Una segunda razón, es la de tipo edafológico. La edafología, como se ha definido anteriormente, es el estudio de los suelos considerados como resultados de procesos de alteración y condicionados por el tipo de roca madre, así como por el clima, la geomorfología o la actividad biológica que en él se produce. Con todo ello podemos utilizar el color para poder clasificar los suelos.

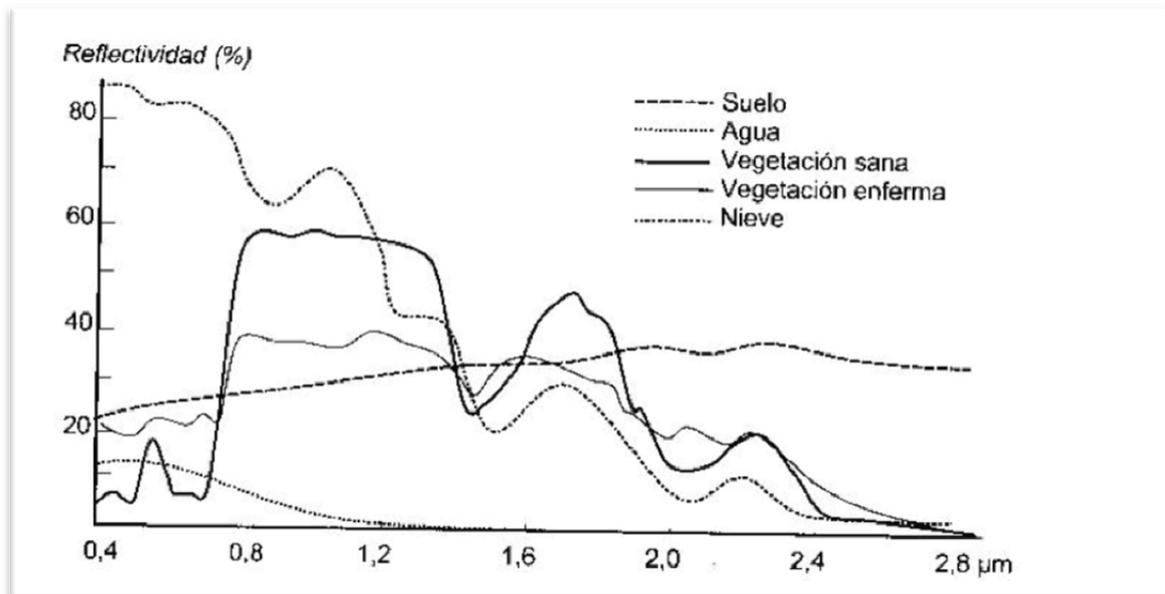


Figura 1.2.5.3 Firmas Espectrales de diferentes Coberturas(Nº318 Roma, FAO, 1992)

En la figura (1.2.5.3. Nº318 Roma, FAO, 1992) se aprecia las firmas espectrales de cada elemento y como difieren estas, así como las longitudes de onda. Esto refuerza la necesidad de contar con sensores lo suficientemente potentes para captar un número significativo de bandas espectrales. Se observa además, en que zonas del espectro se refleja mayor energía, dato de gran utilidad para la identificación mediante colores primarios a cada una de las bandas.

En la región de 0.7 a 0.9 micrómetros se muestra una marcada separación entre las curvas de vegetación, agua, suelo, y por tanto, puede tomarse esta región como básica.

Las firmas espectrales, son por tanto indicativas del comportamiento espectral de los distintos objetos en las diferentes bandas espectrales, por lo cual un conjunto de firmas, representativas de diferentes objetos indican en que bandas existe una mayor separabilidad espectral, haciendo más fácil su identificación en las imágenes y su respectiva clasificación.



Atendiendo a estas características, por ejemplo, los suelos secos (generalmente de colores claros) presentan una mayor reflectividad con la longitud de onda, especialmente en las regiones del espectro visible e infrarrojo próximo. Así, aunque la forma general de las curvas es la misma, hay un gran número de propiedades de los suelos interrelacionadas que son las que determinan las diferencias de amplitud entre las curvas.

La textura juega un gran papel en el comportamiento espectral de los suelos, debido tanto a su influencia sobre la capacidad de retener agua como a la influencia que el propio tamaño de las partículas tiene sobre la reflectividad.

Además de la textura y la humedad, existen otras características que modifican la reflectividad de los suelos. Entre ellas, el contenido de materia orgánica y óxido de hierro entre otros compuestos que modifican la reflectividad de los suelos en el visible, dándoles un color particular. El hecho de que el suelo sea liso o rugoso influye también en la reflectividad del mismo ya que sobre una superficie lisa las ondas se reflejan todas de la misma forma mientras que en suelo rugoso, los ángulos de reflexión varían y hay una parte de radiación que puede perderse para el sensor (Ormeño Villajos, 2006).

En resumen, se puede deducir que la influencia de la reflectividad en el suelo es bastante uniforme y aumenta ligeramente con la longitud de onda, esto se debe principalmente:

- Su composición química (calcáreos, blancos, arcillosos, rojizos...)
- Sus características físicas, mayor reflectividad en suelos finos y compactos, también se detecta una mayor reflectividad cuando el tamaño medio de las partículas es más gordo (la arena refleja más que la arcilla)
- El contenido de humedad disminuye la reflectividad debido a la absorción agua.
- El contenido de materia orgánica oscurece el suelo.

1.2.5.3 La Importancia de la Erosión en España

La erosión del suelo consiste en tres fases: arranque, transporte y sedimentación del material. No hay erosión si no se producen las tres fases. Habitualmente se confunde meteorización-rotura o desintegración de la



roca con la erosión. La meteorización prepara el material para ser erosionado pero no lo transporta.

La erosión entre regueros se debe al impacto de una gota de lluvia y al posterior transporte del suelo disgregado por un flujo superficial poco profundo y homogéneo. En una superficie prácticamente llana el transporte neto de partículas por el efecto de la salpicadura es nulo, en el caso de que hubiera pendiente una proporción del suelo removido por salpicadura será transportado hacia abajo, pero solo a una distancia muy corta. En ausencia de flujo superficial, sólo las partículas removidas por salpicadura cerca de los regueros serán transportadas fuera.

La salpicadura es especialmente efectiva cuando la cubierta vegetal es escasa. La arroyada superficial se genera cuando la lluvia supera la capacidad de infiltración del suelo o cuando este se satura, debido a esto el efecto de la gravedad hace que el agua se mueva pendiente abajo.

El volumen de suelo erosionado por este proceso es inferior al removido por la erosión en regueros (Margan, 1992). La erosión en regueros es más importante en los suelos cultivados, en consecuencia en los estudios realizados en parcelas de erosión se debe considerar este aspecto. La erosión en regueros se manifiesta cuando el agua no escurre uniformemente, sino que corre concentrada en corrientes de una potencia erosiva capaz de abrir pequeñas incisiones en el terreno.

La capacidad del flujo de escorrentía de transportar el suelo removido dependerá de la profundidad del flujo (convergencia de regueros), de la velocidad (pendiente) y de características del suelo y la superficie. El total de suelo removido en cada punto (sumando lo desprendido más el transportado hasta el punto) deberá ser comparado con la capacidad de transporte del fluido; el incremento actual de sedimentos producidos será el valor inferior. Se concluye que existirá deposición cuando la capacidad de transporte sea inferior al total de suelo removido.

Un factor fundamental de la erosión es el clima, del que destaca la lluvia por su capacidad de movilización. Otro factor es la erosionabilidad del suelo. Su resistencia ante la erosión, tanto al arranque como al transporte de partículas, determinará las tasas de erosión.

España es un país desarrollado con graves riesgos de desertificación, el más amenazado de toda Europa, especialmente sus ecosistemas mediterráneos,



que son los más vulnerables y los que pueden registrar los impactos más severos.

Las tierras españolas bajo condiciones climáticas secas son unos espacios sensibles en los que las interacciones clima-recursos naturales-humanos mantienen un delicado equilibrio. Casi un tercio de la superficie total presenta riesgo de desertificación, que se acentúa en los territorios que registran un grado de aridez más o menos acusado. En estos espacios el 70% de los paisajes están amenazados por procesos de desertificación moderados, mientras que el 30% restante está afectado más severamente.

En el Estado Español los principales problemas que se registran en la erosión del suelo se localizan en suelos agrícolas, por la utilización de prácticas inapropiadas, como la roturación de zonas marginales en áreas de piedemonte, sobre materiales sueltos y altas pendientes, donde se ha promovido la expansión de cultivos como el olivo y almendros en zonas totalmente inadecuadas.

El clima mediterráneo semiárido, de lluvias irregulares y de sequías estacionales, los terrenos de pendientes escarpadas y los suelos blandos y desnudos crean condiciones favorables para la erosión y la desertificación. En general, la erosión hidráulica y eólica representa una amenaza seria para las actividades agrícolas y forestales, así como para el medio ambiente de la cuenca mediterránea.

Como se ha hecho referencia anteriormente, el cultivo del olivo, puede originar pérdidas de suelo por erosión. La degradación del suelo tiene un efecto mucho más importante en el cultivo del olivo que para otro tipo de cultivos como pueden ser los cereales, el girasol o los pastos. Según datos oficiales, en los olivares Andaluces se pierden más de 80 toneladas de suelo por hectárea cada año. Estas pérdidas sobrepasan la capacidad de regeneración del suelo.

El sistema tradicional de arar la tierra, uno de los más utilizados en agricultura, es el que genera mayor parte de pérdidas de suelo. En las regiones secas, tras la operación del arado se forma una capa superficial dura sobre el suelo. La estructura del suelo se descompone cuando esta capa dura se desquebraja y agrieta, formando numerosas fisuras que es por donde se infiltra el agua, sin ser retenida por la tierra arcillosa (Cerdá, 2001).



Entre las soluciones posibles para frenar la existente erosión del suelo serían prácticas agrícolas que frenen la degradación favoreciendo la infiltración de aguas y reduzcan su velocidad de deslizamiento sobre el terreno.

Es necesario promocionar una explotación de las tierras agrícolas que se integre en el desarrollo sostenible y sea compatible con la gestión de los recursos naturales, la protección del paisaje y la conservación de la diversidad genética. El cultivo del olivo con el empleo de una cubierta vegetal ofrece numerosas ventajas en este campo.

1.2.5.4 Modelo USLE

El modelo de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo fue propuesto en 1960 por Wischmeier y Smith, y después de un gran esfuerzo investigador sobre la misma a lo largo de los años, ha llegado a ser el principal método de cálculo de las pérdidas que se producen en el suelo por erosión laminar y en regueros. El modelo se expresa mediante:

$$A = R.K.S.L.C.P$$

Siendo:

A: Pérdidas del suelo en tn/ha

R: Factor lluvia, índice de erosión pluvial, en ($Jm^{-2}.cm \text{ hora}^{-1}$)

K: Factor de erosibilidad del suelo en ($tn.m^2.hora.ha^{-1}.J^{-1}.cm$)

L: Factor longitud de pendiente en m

S: Factor pendiente en %

C: Factor cultivo, adimensional.

P: Factor prácticas de cultivo, adimensional

El índice de erosión pluvial R se calcula mediante:

$$R = \frac{1}{100} \sum_{j=1}^n [210,2 + 89 \log_{30} I_j] [I_j T_j] I_{30}$$

Siendo:

R: Índice de erosión pluvial ($Jm^{-2}.cm.hora^{-1}$)

I_j: Intensidad de la lluvia en el periodo considerado en $cm.hora^{-1}$



T_j: Periodos de tiempo en horas para intervalos homogéneos de lluvia durante el aguacero.

I₃₀: Máxima intensidad de lluvia durante 30 minutos de aguacero.

J: Intervalos homogéneos de aguacero

n: número de intervalos

El valor de R correspondiente a un año, será la suma de los valores de R de cada una de las lluvias registradas en ese tiempo. Para obtener un valor representativos de R es necesario calcular, un ciclo de al menos 10 años. El cálculo de R correspondiente a un año, será la suma de los valores de R de cada una de las lluvias registradas en ese tiempo. Para obtener un valor representativo de R es necesario calcular, un ciclo de al menos 10 años. El cálculo de R exige disponer de pluviógrafo en cada una de las estaciones donde se quiere realizar su cálculo, disponibilidad que existe en un número limitado de estaciones de la red del INM de España. Por ello, se han ensayado métodos de cálculo basados en la correlación con otras variables pluviométricas. De esta forma se estableció por ICONA-Intecsa en 1981la siguiente ecuación que presenta un coeficiente de correlación de 0.93.

$$R = 2,56 \left(\frac{p^2}{P} \right)^{1,065} \cdot 0,56^{Z2} \cdot 1,66^{Z4}$$

Siendo:

- p (mm), precipitación del mes más lluvioso del año
- P (mm), precipitación de ese año
- Z1 vale 1 en puntos próximos Grazalema, 0 en caso contrario
- Z4 vale 1 en puntos próximos al Pirineo Oriental, 0 en caso contrario

El índice de erosionabilidad del suelo se calcula mediante la siguiente ecuación de regresión:

$$100K = 10^{-4} 2,71M^{1,14} (12-a) + 4,20 (b-2) + 3,23 (c-3)$$

Siendo:

M: factor representativo de la textura, se calcula mediante,

$$M = (100 - \% \text{ arcilla}) [\% (\text{limo} + \text{arena fina})$$

a: % materia orgánica

b: número correspondiente a la estructura del suelo según la siguiente codificación

1, granulo muy fino y grumo muy fino (< 1mm)



- 2, granulo fino y grumo fino (1-2 mm)
- 3, granulo y grumo medio (2-5 mm) y granulo grueso (5-10 mm)
- 4, granulo liso, prismático, columnar y muy grueso (> 10 mm)

c: clase de permeabilidad del perfil, según la siguiente codificación USDA Soil Survey Manual

- 1, rápida a muy rápida
- 2, medianamente rápida
- 3, moderada
- 4, moderadamente lenta
- 5, lenta
- 6, muy lenta

Los valores de textura, materia orgánica y estructura se refieren a los 15-20 cm. Superiores del suelo y los de permeabilidad a todo su perfil.

Respecto a los factores L y S, Wischmeier propuso en 1982, las ecuaciones siguientes, en las cuales s es la pendiente en % y λ es la longitud de la ladera en metros.

Para pendientes menores del 9%:

$$L.S = \left[\frac{\lambda}{22,1} \right]^{0,3} \cdot \left[\frac{0,43 + 0,30s + 0,043s^2}{6,613} \right]$$

Para pendientes iguales o mayores del 9%:

$$L.S = \left[\frac{\lambda}{22,1} \right]^{0,3} \cdot \left[\frac{s}{9} \right]^{1,4}$$

La intervención del factor C en la ecuación USLE es de gran importancia, pero su determinación numérica debe de basarse en resultados experimentales, por lo que la obtención de los correspondientes valores requiere una atención específica al tema, lo que es bastante laborioso y precisa de un tiempo relativamente largo en la experimentación (Ormeño Villajos, 2004).



1.2.5.5. Modelo CORINE de Riesgo de Erosión del Suelo

La metodología Corine representa una considerable reducción respecto de la propuesta por Wischmeier, particularmente, el factor R, de difícil cálculo, el cual se sustituye por índices de Gaussen y modificados de Fournier. No se considera la longitud de ladera ni las prácticas culturales. En primer lugar se evalúa el clima, que conduce al establecimiento del llamado índice de erosividad.

Reclasificación del índice modificado de Fournier conforme a los siguientes intervalos:

1. ≤ 60
2. 60-90
3. 91-120
4. 121-160
5. >160

Reclasificación del índice de Gaussen conforme a los siguientes intervalos:

1. 0
2. 0.001-50
3. 51-130
4. >130

Se realiza un producto de los documentos reclasificados anteriores y el resultado se denomina índice de erosividad el cual se reclasifica como:

1. < 4
2. 4-8
3. >8

También se consideran las propiedades del suelo, especialmente la textura, la profundidad y la pedregosidad para obtener el llamado índice de erodibilidad.

Según la textura se clasifican los suelos en 3 clases, considerando la clasificación del triángulo de texturas establecidas por el Soil Survey del USDA y genéricamente aceptado para describir tal cualidad del suelo:

1. Baja erodibilidad. Arcilloso, Arcillo-Limoso y arcillo-arenoso
2. Media erodibilidad. Franco-arcilloso-arenoso, franco-arcilloso, franco-arcillo-limoso, arenoso, arenoso-franco
3. Alta erodibilidad. Franco-arenoso, franco, franco-limoso, limoso.

Según la profundidad se clasifican los suelos en tres clases:



1. Ligeramente vulnerable. Espesor superior a 75cm
2. Moderadamente vulnerable. Espesor entre 25 y 75cm
3. Extremadamente vulnerable. Espesor menor a 25cm

Según la pedregosidad se clasifican en dos clases:

1. Protegido. Cobertura de piedras superior al 10%
2. No protegido. Cobertura de piedras inferior al 10%

Para obtener el índice de erodibilidad, se multiplican textura, profundidad y pedregosidad, el resultado se reclasifica de acuerdo a los siguientes intervalos:

1. 1-3
2. 4-6
3. 7-18

A continuación se considera la pendiente en %, con arreglo a los siguientes intervalos:

1. Muy bajo riesgo de erosión. Pendiente menor del 5%
2. Riesgo moderado de erosión. Pendiente entre el 5 y 15%
3. Riesgo alto de erosión. Pendiente entre el 16 y 30%
4. Riesgo muy alto de erosión. Pendiente superior al 30%

El Riesgo Potencial de Erosión (PSER) se calcula mediante producto, de la siguiente forma:

$PSER = \text{clase de erosividad (3)} * \text{clases de erodibilidad (3)} * \text{clases de pendiente (4)}$

El Riesgo Actual de Erosión (ASER) se obtiene considerando, por una parte el PSER y por otra dos posibles clases de cobertura vegetal (cubierto o no cubierto).

Las combinaciones de PSER (3clases) y cobertura se reclasifican, de acuerdo a la siguiente escala, para dar lugar a tres clases de ASER:

1. PSER = 1 Cubierto, PSER=2 Cubierto
2. PSER = 1 No Cubierto, PSER = 2 Cubierto
3. PSER = 1 No Cubierto, PSER = 3 No Cubierto

1.2.6 Hidrografía

En la zona de Orgaz, se observa que la comarca carece de grandes ríos, si bien tiene algunos pequeños ríos y arroyos que nacen en las montañas, tal como se muestra en la Figura 1.2.6. En la zona, los manantiales son escasos



y las aguas poco abundantes, secándose casi todas las vertientes durante la estación veraniega, época de máxima sequía donde el clima es más severo si cabe.

Esta falta de agua, se puede deber, entre otras circunstancias, al hecho de encontrarse en la Meseta de los Montes asentada en suelos cristalinos y silurianos.

El río Algodor, nace en el término de Los Yébenes, y vierte sus aguas a la izquierda del río Tajo, después de un recorrido de 101km.

El arroyo Riansares, el cual nace en la sierra de la Marjaliza, cruza el término municipal de Orgaz y vierte sus aguas en Algodor. Característico es, que este arroyo provocó en el pasado grandes riadas.

Existen otros arroyos que junto al de Riansares, forman la red fluvial de la comarca y pasan por el término municipal de Orgaz. Todos nacen en las estribaciones de la sierra, tales como Arroyo Guazalete, su nacimiento tiene lugar en la ladera norte de la sierra de Los Yébenes, y recibe diferentes nombres en los distintos tramos de su curso, por ejemplo, en su nacimiento éste recibe el nombre de Arroyo de la Solanilla, dirigiéndose enseguida hacia el Este y pasando por el término municipal de Arisgotas, en el cual en este punto, vuelve a cambiar el nombre por el de Arroyo de Arisgotas. A la salida del pueblo se dirige hacia el norte, paralelo durante un par de kilómetros a la Cañada de las Merinas y, a partir de aquí, recibe el nombre de Arroyo de la Dehesa de Villaverde, para tomar su nombre definitivo de Guazalete cerca ya del pueblo de Villaminaya, antes de desembocar en el río Tajo, con el nombre de Arroyo de Monchares, a unos 11km al Este de Toledo (Gil, 2001).

El Arroyo de los Barrancones, que nace igualmente en la sierra de la Marjaliza y baja hacia el arroyo de Riansares entre el Camino de los Rañles y el Camino de la Marjaliza.

Los arroyos son complementados por barrancos y cañadas, tales como Cañada Honda, el Barranco de las Merinas, Valhondo, La Cuesta, etc....

En las zonas secas se observan abundantes pozos que abastecían de agua a la población y servían para el riego de las huertas, como son algunos ejemplos: Pozo de la Minilla, Pozo de la Nieve, Pozo de la Ontanilla, Pozo Nuevo, etc.... (Gil, 2001)

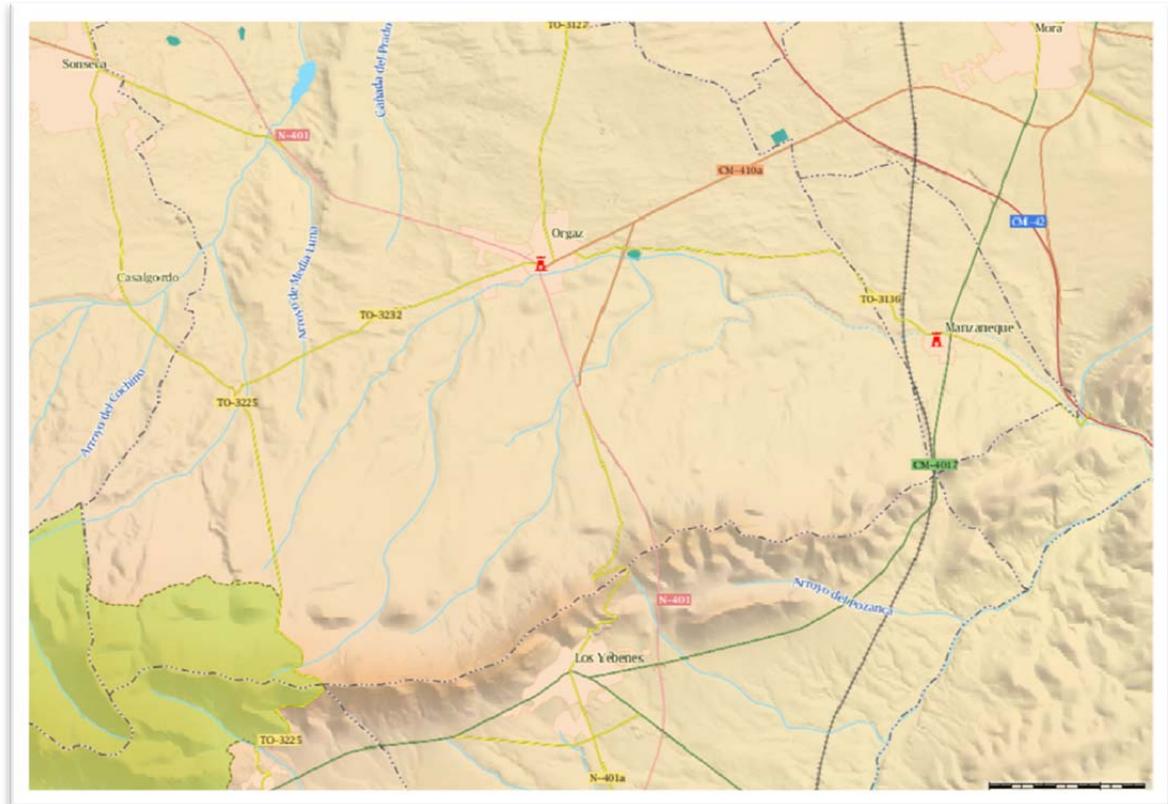


Figura 1.2.6 Red Fluvial del Municipio de Orgaz (Toledo)

1.2.7 Vegetación

Toda la información proporcionada sobre la vegetación viene referida de el libro “*Vegetación y Flora de los Montes de Toledo*” (Perea y Perea, 2008).

El contraste entre la meseta y las montañas dan a la provincia de Toledo una gran variedad ecológica.

En algunas zonas ha sido intensamente explotada, lo que ha provocado la deforestación de buena parte de las mismas. Existe un gran predominio de la agricultura, aunque existen zonas menos explotadas, vinculadas a las montañas o a las grandes propiedades que se explotan como cotos de cazas.

La población de Orgaz está situada en una llanura a los pies de la cara norte de la Sierra de Los Yébenes y su anejo a los pies de la sierra de Marjaliza, extendiéndose su término municipal por estos montes.

En las sierras abunda el bosque mediterráneo, existiendo especies vegetales que se adaptan fácilmente a las duras condiciones climáticas de la zona.



Ya que predomina el bosque mediterráneo podemos encontrar: Encina (*Quercus ilex ssp ballota*), Sabinas (*Juniperus communis ssp nana*), Fresnos (*Fraxinus angustifolia*) y Alcornoques (*Quercus suber*), también podemos encontrar Acebo (*Ilex Aquifolium*) y Quejigo (*Quercus faginea*). Por otro lado, el Pino (*Pinus Pinea*) se distribuye por todas las montañas, aunque en su mayoría se trate de un pino de repoblación. En las montañas, en un piso más bajo que el pino, aparece el Roble (*Quercus robus*). La vegetación natural que se da en las riberas, son bosques formados por Álamos (*Populus nigra*), Fresnos (*Fraxinus angustifolia*) u Olmos (*Ulmus minor*), además de las zonas con mayor humedad predominan los Sauces y los Tarayes (*Tamarix sp.pl*), y ya en zonas encharcadas con aguas poco móviles aparecen los cañaverales.

En el piso basal aparecen el bosque mediterráneo con la Encina (*Quercus ilex ssp ballota*) como especie dominante.

El piso montano está dominado por el Roble (*Quercus robus*) y las Encinas (*Quercus ilex ssp ballota*) en las cumbres calizas. También aparece melojo (*Quercus pirenaica*), que da paso al piso subalpino en el que aparece el pino albar (*Pinus sylvestris*).

El bosque de ribera es importantísimo, sobre todo en el centro de la región. Encontramos Olmos (*Ulmus minor*), chopos (*Populus ssp*) y fresnos (*Fraxinus angustifolia*), pero ha sufrido muy intensamente la presión antrópica y prácticamente ha desaparecido, sustituido por explotaciones madereras de crecimiento rápido, como son los chopos de repoblación. Las zonas pantanosas y encharcadas de vegetación hidrófila, como son las jaras (*Cistus ladanifer*) que dominan el paisaje.

Como se comentaba anteriormente, se ha dado una sustitución del bosque por especies productivas que ha transformado totalmente el paisaje y hoy aparece desarbolado, o bien con grandes extensiones de olivo (*Olea europea*) alineadas. Este es un punto importante a tratar ya que la zona de estudio en su mayoría está ocupada por olivos.

En las grandes propiedades el bosque aparece adeshado. Aparece, así, el estrato arbóreo, con encinas (*Quercus ilex ssp ballota*) y alcornoques (*Quercus suber*), y el prado, con hierba para que pascen el ganado.

También en el paisaje se intercalan explotaciones agrícolas. Por otro lado, en las zonas más degradadas predomina el matorral.

En lo que a la vegetación se refiere la zona de estudio varía según se trate de zonas de monte o de llanura.



En el monte alto, como ya se ha citado, ha sufrido un desgaste debido a las talas sucesivas, que ha dejado paso al matorral y al monte bajo. El matorral esta mayoritariamente formado por coscoja (*Quercus coccifera*), Enebro (*Juniperus communis*), Retama (*Retama sphaerocarpa L.*), Jara (*Cistus albidus L.*) y romero (*Rosmarinus officinalis*).

A medida que pasamos de la cima a la media ladera, seguimos encontrando matorrales además de encinas (*Quercus ilex ssp ballota*) y alcornoques (*Quercus suber*), Cornicabras (*Pistacia terebinthus*), Acebos (*Ilex aquifolium*), Madroños (*Arbutus unedo*) y quejicos (*Quercus faginea spp. Broteroi*).

En las laderas con exposición norte o en las zonas más húmedas como los fondos de los valles, se instalan Melojos (*Quercus pyrenaica*) y algunas jaras o estepas de montaña (*Cistus laurifolius*).

Se puede observar que el paso de media ladera, gracias a la aparición de los olivares (*Olea europea*) hace que sea aún más notable el cambio de posición fisiográfica.

En las zonas de monte bajo o pie de ladera, además de zonas cultivadas con los olivos (*Olea europea*), son muy característicos los inmensos jarales de Jara pringosa (*Cistus ladanifer*), algunos brezales (*Erica sp.*), la aulaga (*Genista sp.*), de nuevo la retama (*Retama sphaerocarpa L.*), el torvisco (*Daphne gnidium*) y diversas especies de encina (*Quercus ilex*) formando rodales. Además, también se encuentra en este tramo cultivos abandonados y zonas de pastizal para el alimento del ganado.

En la zona de llano se encuentra en gran parte áreas de cultivos tanto de herbáceos como de leñosos, como es el caso de la zona de estudio. Predominan los viñedos (*Vitis vinífera*), el Olivar (*Olea europea*) y los cereales, destacando entre otros cereales la cebada (*Hordeum vulgare*).

Toda esta cubierta vegetal sirve de refugio a innumerables especies animales.

1.2.7.1 Descripción de Cultivos

Como se ha mencionado anteriormente el clima que predomina en la zona es mediterráneo con tendencia continental, seco y extremado. Este factor es fundamental en lo referente al tipo de cultivo a tratar.



La pluviometría anual se concentra fundamentalmente desde el otoño a la primavera, con veranos secos y calurosos, el riego se convierte en el principal factor de producción de los cultivos que tienen actividad en éste periodo. Esto ha supuesto una autentica revolución en cultivos tradicionales como el viñedo y sobre todo el olivar, en los que el riego ha venido acompañado en muchos casos en un cambio total del sistema de cultivo tradicional, hacia formas más intensivas.

En estas condiciones las necesidades hídricas de los cultivos, no sólo no superan a la pluviometría anual, sino que además no coincide la “oferta” con la “demanda” ya que los meses con mayor demanda hídrica o Evapotranspiración potencial son los meses en la que existe una menor pluviometría. Además, hay que tener en cuenta que del agua de lluvia sólo una parte quedará a disposición de los cultivos, y en el caso de no coincidir el ciclo de cultivo con el de lluvia, será como máximo el que sea capaz de almacenar el suelo en la zona ocupada por las raíces.

Por otra parte, el agua, cada vez más, es considerada como un recurso escaso, actualmente resulta insuficiente al considerar la relación oferta/demanda. La agricultura de regadío es la primera consumidora de los recursos regulados, compitiendo con otros como la industria y las poblaciones.

Informe de municipio por tipo de uso y sobrecarga en el periodo 2000-2010 (SIGA)

USO Y SOBRECARGA	SUPERFICIE (Ha)
Agua (masas de agua, embalses...)	52.04
Chopo y Álamo	7.71
Coníferas	316.35
Coníferas con otras frondosas	1193.74
Cultivos herbáceos	412.60
Frutales de Secano	74.21
Huerta o cultivos forzados	3.28
Improductivo	279.92
Labor asociada con frondosas	420.11
Labor en secano	5261.92
Matorral	1529.26
Matorral asociado con coníferas y frondosas	166.62
Matorral con frondosas	16.80
Olivar en secano	2155.96
Otras frondosas	86.06



Pastizal	122.66
Pastizal asociado con frondosas	17.08
Pastizal-Matorral	315.84
Viñedo asociado a Olivar en Secano	75.74
Viñedo en Regadío	164.48
Viñedo en Secano	2641.07
SUPERFICIE TOTAL	15313.45

2. Características del Sensor

1.1 Imagen Multiespectral

Para muchas aplicaciones de Teledetección, como es el caso del presente Proyecto Fin de Carrera, es necesario registrar una escena con imágenes multiespectrales, es decir, imágenes obtenidas en diferentes bandas espectrales. Una imagen multiespectral es un modelo de la realidad construido con base en una respuesta espectral de los elementos que componen una escena y las cuales son captadas por detectores sensibles a un rango de longitudes de onda del espectro electromagnético.

Los intervalos del espectro electromagnético no están exactamente determinados por cuanto no se puede establecer donde termina una franja y donde empieza otra, sin embargo, a nivel experimental, se han asociado algunas regiones para producir y detectar ondas de cierto tipo.

En la actualidad todas las imágenes multiespectrales se obtienen mediante un sistema de escáner. Los escáneres de tipo transversal utilizan un espectrómetro para dispersar la energía incidente y dirigirla hacia los correspondientes detectores. El Landsat Thematic Mapper es un escáner multiespectral de tipo transversal que registra siete bandas de datos (tres en el visible, tres en el IR reflejado y una en el IR térmico). Un escáner multiespectral de tipo longitudinal utiliza múltiples filas de detectores, cada una de las filas registrando una banda espectral. El satélite Spot, en su sensor RBV utiliza un sistema de este tipo, al igual que en caso anterior, se utiliza un espectrómetro para dispersar la radiación electromagnética hacia la correspondiente fila de detectores.

Los escáneres presentan las siguientes ventajas sobre las cámaras multiespectrales:



- Las imágenes de escáner se adquieren con un solo sistema óptico, por lo que quedan perfectamente registradas la una con respecto a la otra.
- Los detectores de escáner pueden registrar longitudes de onda en un mayor intervalo del espectro electromagnético (desde el visible hasta el IR térmico), al tiempo que permite registrar bandas de muy estrecho intervalo espectral.
- Las imágenes a partir de escáner son fácilmente calibradas y adaptadas para un tratamiento digital.

Algunas desventajas que presenta son su complejidad, que son caros y requieren equipos informáticos para producir imágenes. Las cámaras son simples de operar y la película solo requiere un procesado químico.

2.2 Landsat

El sistema no tripulado Landsat (1972-actualidad) se denominó ERTS (Earth Resources Technology Satellite). El sistema fue operado hasta 1983 por la NASA, a partir de ese año, la responsabilidad de la operación del sistema fue transferida a la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), en 1985 la citada responsabilidad pasó a la compañía privada EOSAT.

El sistema opera en el dominio público internacional, esto quiere decir:

- Las imágenes pueden ser adquiridas por cualquier persona, sin ningún permiso previo por parte del gobierno de EEUU.
- Eros Data Center archiva todas las imágenes.

Los satélites Landsat se han puesto en órbita utilizando cohetes Delta, desde la base Vandenberg en la costa de California.

Landsat lo forman 8 satélites de los cuales sólo se encuentran activos el 5 y el 8. Su mantenimiento y operación está a cargo de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA) y en tanto que la producción y comercialización de las imágenes depende del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).



2.2.1. Plataformas y órbitas

Los Landsat 1, 2 y 3 pertenecen a una misma generación, se lanzaron, respectivamente en 1972, en 1975 y en 1978, todos ellos han cesado su actividad pero han dejado multitud de fotografías validas. La plataforma era una modificación de la de los satélites meteorológicos Nimbus. Los sistemas formadores de imágenes de esta primera generación fueron el escáner multispectral MSS y las cámaras RBV. La segunda generación de Landsat consta de los satélites 4 y 5, lanzados respectivamente en 1982 y en 1984, el segundo de ellos se encuentra operativo en la actualidad. La plataforma de los satélites 4 y 5 son más grandes y más complejas que las de sus predecesores. Respecto a los sistemas formadores, poseen un MSS y un nuevo sensor denominado Thematic Mapper.

Los Landsat siguen una órbita casi polar con una altitud de 705km. Para cubrir la superficie terrestre los Landsat 4 y 5 necesitan 16 días y 233órbitas, las únicas regiones no cubiertas por los Landsat son las regiones polares con una altitud superior a los 81 grados Norte y Sur. El solape de las imágenes en el ecuador es del 7,6 %, y cruza dicho círculo máximo a las 10:30 AM.

Los sistemas formadores que equipaban eran dos, el MSS, usado anteriormente, y el nuevo sensor denominado Thematic Mapper (TM). Solo algunas de las estaciones receptoras terrestres poseen equipos de registros adecuados para manejar el alto volumen de datos generados en Thematic Mapper.

La segunda generación recibe una actualización con el lanzamiento del satélite Landsat 7 el 15 de abril de 1999, anteriormente a ello hubo problemas para poner en órbita el que hubiera sido Landsat 6. El Landsat 7 fue construido por la compañía Lockheed Martin Missiles & Space Company Inc. En Valley Forge, Pennsylvania (EEUU). Se lanzó desde Western Test Range, en la base de Air Force en Vandenberg, California (EEUU), a bordo el vehículo de lanzamiento DELTA II, de 4.3 m de largo y 2.8 de diámetro. El satélite pesa aproximadamente 2200kg (Ormeño Villar, 2006).

Landsat 7 está equipado con el sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper plus), el cual podemos observar en la Figura 2.2.1 (J.Wiley & Sons, 2003)



aporta datos tomados desde una altura nominal de 705 km, siguiendo una órbita casi polar, casi circular, con una inclinación de 98.2 grados, recorriendo las mismas franjas de 183 km a lo largo de la superficie terrestre cada 16 días.

El modelo orbital es de 233 ciclos orbitales con un solape lateral de las franjas que varía desde aproximadamente el 7% en el ecuador hasta cerca del 84% en latitudes de 81 grados Norte o Sur. Los tiempos de paso por el ecuador son los mismos que tenían los anteriores satélites 4 y 5 ya que la órbita heliosíncrona de las misiones Landsat hacen que pasen por el mismo meridiano cada día a la misma hora local.

El satélite Landsat 7 comparte configuración original con el satélite TERRA que pertenece al proyecto EOS (Sistema de Observación Terrestre) de la NASA. El plan establece que ambos satélites están situados en órbitas idénticas, separados 15 minutos, uno del otro, con el satélite TERRA siguiendo la órbita del Landsat 7. El objetivo es la adquisición de imágenes de la misma zona separadas por muy poco tiempo una de la otra permitiendo así hacer estudios combinados con ambas tomas ya que las condiciones fisiológicas de la vegetación serán las mismas para ambas tomas. Las escenas de Landsat están registradas siguiendo un sistema de notación global llamado WRS (Worldwide Reference System) registrando el centro nominal de las escenas y asignando un número de trayectoria y fila a cada uno de ellos en un gráfico que se elabora a partir de todos los centros nominales de las escenas tomadas.

En la actualidad Landsat se encuentra en su octava versión denominada: *Landsat Data Continuity Mission* (LDCM), éste continuará el legado de archivos de los anteriores satélites. Convirtiéndose de esta manera en el futuro de los satélites de observación de la tierra de mediana resolución con más historia. Este programa amplía y mejora el registro de imágenes multiespectrales, manteniendo la misma calidad que los anteriores.

La plataforma LDCM, fue construida por la empresa Orbital Sciences Corporation en Gilbert, Arizona, tiene una vida útil de 5 años, pero lleva combustible suficiente para 10 años. La nave orbitará de norte a sur durante el día, cruzando el ecuador a las 10 a.m, hora local, con una órbita aproximada de unas 438 millas (705 km) por encima de la tierra (USGS, 2013)



Figura 2.1 Componentes Sensor ETM+ (J.Wiley & Sons, 2003)

El satélite Landsat 8 incorpora dos instrumentos de barrido: Operational Land Imager (OLI), y un sensor térmico infrarrojo llamado Thermal Infrared Sensor (TIRS).

Las bandas del sensor OLI son muy similares al sensor ETM+, pero proporciona una mejora con respecto a ésta ya que incorpora dos bandas nuevas espectrales: un canal profundo en el azul visible (banda 1), diseñado específicamente para recursos hídricos e investigación en zonas costeras, y un nuevo canal infrarrojo (banda 9) para detección de nubes cirrus. Adicionalmente una nueva banda de control de calidad se incluye con cada producto de datos generado. Esto proporciona más información detallada sobre la presencia de características tales como nubes, agua o nieve.

Por otra parte el sensor TIRS recoge dos bandas espectrales en longitud de onda incluidas por la misma banda en los anteriores sensores TM y ETM+.



2.2.2 Thematic Mapper

Los sensores Thematic Mapper y Enhanced Thematic Mapper Plus, alojados en las plataformas Landsat 4 y 5 y Landsat 7 respectivamente son capaces de captar radiación en 7 bandas espectrales (azul, verde, rojo, 3 en el infrarrojo cercano y 1 en el infrarrojo térmico) agregándose el pancromático al ETM+ en el visible.

La plataforma Landsat 7 a diferencia de la plataforma Landsat 5 presenta una banda pancromática con resolución espacial de 15m, con un perfeccionamiento del sistema de calibración radiométrica de los sensores y perfeccionamiento de la geometría de la captura.

Si atendemos de forma más precisa a las características de Thematic Mapper frente a MSS aumenta el número de detectores de 24 a 100, reduce el IFOV, se aumenta el nivel de codificación y realiza el barrido en las dos direcciones. Esto permite mejorar la resolución espacial de 79 a 30m, lo que supone un IFOV de 0.043mrad, excepto en la banda 6 donde la unidad de resolución en campo es de 120 x 120m (IFOV de 0.17 mrad). También permite mejorar la resolución radiométrica de 6 a 8 bits.

En el Thematic Mapper cada oscilación de espejo supone 16 líneas de barrido, frente a 6 en el MSS. De esta forma se precisan 16 detectores por cada banda, salvo para la banda térmica debido que a la menor resolución espacial sólo requiere 4 detectores.

El incremento de la resolución espacial y espectral que ofrece Thematic Mapper, facilita una mayor precisión de la cartografía temática, permite ampliar el rango de aplicaciones operativas a partir de sensores espaciales.

El Thematic Mapper incorpora información de cuatro bandas del espectro que no se incluían en el MSS (azul, dos en el infrarrojo medio y una en el térmico) y sustituye las bandas 3 y 4 del MSS por una sola banda sin perder información sustancial.

El tamaño de la imagen es de 185x170 km. El número de píxeles de cada banda es de 39 millones.



LANDSAT TM (Características técnicas)							
Bandas	1	2	3	4	5	6 Térmica	7
Resolución espacial	30 m	30 m	30 m	30m	30 m	120 m	30 m
Resolución espectral (nm)	450	530	630	780	1550	10400	2080
	520	610	690	900	1750	12500	2350
	BLUE	GREEN	RED	NIR	MIR		
Resolución radiométrica	8 bits/píxel						
Ancho de barrido (<i>Swath Width</i>)	180 Km						
Off-NADIR	98,2°						
Tamaño de escena	Pedido mínimo 1 escena (~180 x 172 Km)						
Pares estéreo	No						
Revisita	16 días						
Programable	No						
Altitud	705 Km						
Formato de entrega	GeoTIFF o TIFF						
Lanzamiento	1 Marzo 1984						

Por otro lado, el satélite Landsat 7 equipa al sensor ETM+ (Figura 2.3. NASA, 2013), que es una versión mejorada, como se ha dicho anteriormente, del sensor Thematic Mapper que equipaba a las anteriores misiones de Landsat 4 y 5. Es más parecido al sensor ETM que se perdió en el accidentado lanzamiento de la que iba a ser la misión de Landsat 6.

Este nuevo sensor mejorado incluye una banda pancromática, un aumento de la resolución espacial en la banda térmica y la presencia de dos nuevos calibradores solares. El sensor está preparado para recoger, filtrar y detectar radiaciones procedentes de la superficie terrestre en franjas de 183 km. Esta provisto de un escáner con un movimiento de rastreo transversal ya que el movimiento orbital del vehículo proporciona el movimiento necesario para el escaneado en sentido longitudinal.

Los datos diurnos se recogen cuando el satélite esta en modo descendente mientras que los datos nocturnos se recogen cuando el satélite está en modo ascendente.

Este sensor detecta radiaciones filtradas espectralmente, de diversas particiones del espectro electromagnético mientras orbita sobre la tierra a 705 km. La distancia nominal del terreno muestreado por cada pixel es de



30m para todas las bandas menos para la del infrarrojo térmico que es de 60m y para la pancromática que es de 15m.

El sensor ETM+ está diseñado para crear un conjunto de datos para cada escena equivalente a 3.8 Gigabytes. Tiene capacidad de escaneado en trayectorias cruzadas, de Este a Oeste y de Norte a Sur, siendo éste último consecuencia del movimiento de la plataforma por su órbita.

Los intervalos de longitud de onda presentados por ETM+ no presenta importantes cambios respecto a Thematic Mapper. Las bandas 1, 3, 5 y 6 presentan idénticos anchos de bandas, mientras que las bandas 2,4 y 7 presentan pequeños ajustes. La banda 8 es exclusiva de ETM+.

El sensor Thematic Mapper tuvo problemas con los filtros que equipaban, ya que provocaron pequeños cambios espectrales en los extremos de las bandas. El sensor ETM+ es más resistente a éste tipo de fenómenos y ha mostrado un perfeccionamiento considerable de las respuestas de dichos extremos.

LANDSAT ETM+ (Características técnicas)								
Bandas	1	2	3	4	5	6 Térmica	7	8 Pan
Resolución espacial	30 m	30 m	30 m	30 m	30 m	60 m	30 m	15 m
Resolución espectral (nm)	450	530	630	780	1550	10400	2080	520
	520	610	690	900	1750	12500	2350	900
	BLUE	GREEN	RED	NIR	MIR			
Resolución radiométrica	8 bits/píxel							
Ancho de barrido (<i>Swath Width</i>)	183 Km							
Off-NADIR	98,2°							
Tamaño de escena	180 x 180 Km							
Pares estéreo	No							
Revisita	16 días							
Programable	No							
Altitud	705 Km							
Formato de entrega	GeoTIFF o TIFF							
Lanzamiento	15 Abril 1999							

El sensor ETM+ es un sensor de visión nadiral provisto de un escáner radiométrico multispectral de ocho bandas, capaz de proporcionar imágenes de alta resolución de la superficie terrestre.

La energía reflejada desde la superficie terrestre pasa a través de diferentes subsistemas del sensor ETM+ antes de ser recogidas por los detectores del plano focal.

El espejo del escáner bidireccional rastrea los detectores de línea de la escena en direcciones cruzadas.

Un telescopio “Ritchey-Chretien” concentra la energía en dos espejos compensadores del movimiento donde la energía es redirigida a los planos focales. El corrector de las líneas de escaneado es necesario porque hay significativas superposiciones y falta de cobertura del suelo entre dos exploraciones sucesivas, produciendo un efecto de movimiento transversal y longitudinal.

Después se alinea la energía concentrándose en el plano focal principal, donde están ubicados los detectores de silicio para las bandas 1, 4 y 8. Parte de dicha energía se redirige mediante una estación óptica desde el plano focal principal hacia el plano focal frío donde están ubicados los detectores para las bandas 5 y 7, la temperatura de dicho plano focal frío está regulada por un refrigerador de radiaciones. Los filtros espectrales de cada banda están situados en frente de sus respectivos detectores.

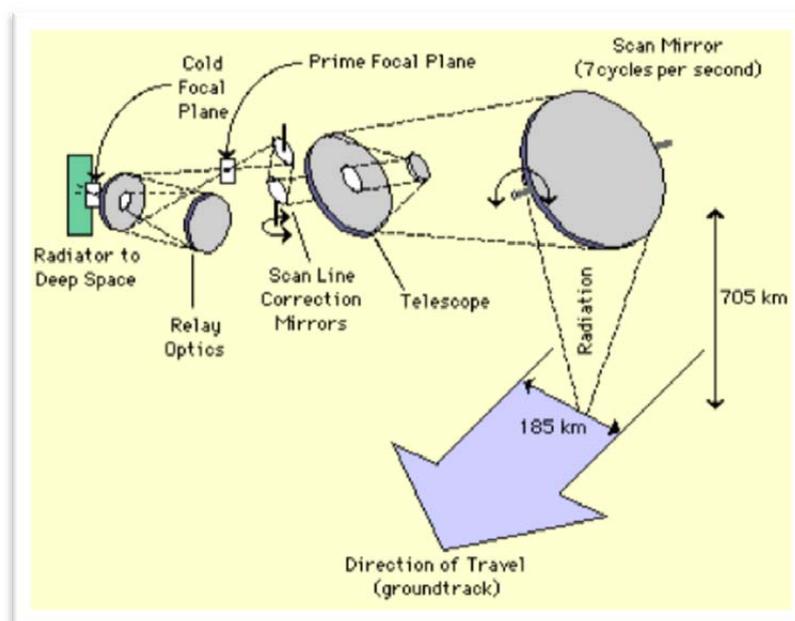


Figura 2.3 Camino óptico del ETM+ (NASA, 2013)



2.2.3 Landsat en la Actualidad

Como se ha definido anteriormente, el sistema Landsat, ésta en su octava versión actualmente.

El nuevo programa de la plataforma LDCM tiene fundamentalmente tres objetivos:

- Recopilar y archivar datos de bandas multiespectrales y térmicas de la superficie de la tierra, cada temporada de cada año en una resolución que puede distinguir un área del tamaño de un campo de beisbol.
- Asegurar de que los datos de LDCM sean consistentes con los datos de las misiones Landsat anteriores, en términos de la geometría de la adquisición, calibración, características de cobertura, características espacial y espectral, calidad del producto, la producción y la disponibilidad de los datos para permitir estudios de cobertura de la tierra y uso de la tierra los cuales cambian en periodos multitemporales.
- Distribuir productos de datos LDCM estándar sobre una base no discriminatoria y sin costo a los usuarios.

Los dos instrumentos a bordo de LDCM, OLI y el sensor térmico infrarrojo TIRS, representan avances evolutivos en la tecnología de sensores remotos y en su rendimiento. OLI y TIRS miden la superficie terrestre en el visible, en el infrarrojo de onda corta, e infrarrojo térmico con una resolución moderada de 15 y 100m dependiendo de la longitud de onda espectral. La distribución de la energía observada en estas longitudes de onda revela información sobre la reflexión y emisión de las superficies.

Para hacer posible que los científicos comparen las nuevas imágenes Landsat con las anteriores, los ingenieros tuvieron que diseñar el satélite LDCM con parámetros que permitieran medir más o menos las mismas bandas espectrales al igual que los satélites Landsat anteriores. Además, el OLI proporciona dos nuevas bandas espectrales, una especialmente dedicada a las nubes cirrus y la otra para observaciones de las zonas costeras. TIRS recoge datos de otras dos bandas espectrales en la región térmica, anteriormente cubierto por una única banda de ancho espectral en Landsat 4-7, midiendo la energía térmica de la superficie de la tierra, es decir, el calor.



El LDCM también está diseñado para entregar cerca de 400 escenas por día (150 escenas más que su antecesor Landsat 7) estas imágenes son cargadas en el servidor de datos del USGS, aumentando de esta manera la probabilidad de capturar y entregar escenas gratis de la cobertura terrestre (Alexander Ariza, 2013).

2.3 Otros Programas Espaciales

Entre ellos podemos citar, al sistema SPOT. En 1986, la agencia espacial francesa, lanzó e primer satélite SPOT (Système Probatoire d'Observation de la Terre), se llevó a cabo en la Guayana francesa y se utilizó para ello el cohete Ariane. A principios de 1990 se puso en órbita el SPOT 2. La altitud orbital de Spot es 832km y la órbita es muy similar a la de los Landsat, cruza el paralelo 40° N en dirección al Sur a las 10 horas solares y vuelve a pasar por la vertical del mismo lugar cada 26 días.

SPOT 1, 2 y 3 utiliza un sistema formador de imágenes denominado HRV, es longitudinal y posee un espejo fijo sobre el que incide la radiación procedente de la superficie terrestre, éste espejo refleja la energía hacia el sistema óptico que la dirige hacia batería de detectores (CCDs).

El sistema HRV puede operar en dos modos, o bien en modo pancromático (alta resolución) o bien en modo multiespectral. Para trabajar en modo multiespectral, utiliza una fila de 6000 CCDs, cada uno registrando la radiación de la longitud de onda comprendida entre 0,51 y 0,73 micras, y del que procede de un cuadrado sobre el terreno de 10x10 m (unidad de resolución de campo).

En modo multiespectral, utiliza tres filas de CCDs, cada una de 3000 detectores, en este caso se registran tres bandas espectrales con intervalos en micras de valores que se muestran a continuación y el tamaño de la unidad de la resolución de campo es de 20x20 m en el modelo multiespectral.

En ambos modos, la longitud de la línea de registro es de 60 km. SPOT 1, 2 y 3 utilizó dos sistemas HRV que adquirieron bandas paralelas de imágenes, el solape entre ambas era de 3km, por tanto la anchura total de las dos bandas era 117 km.

SPOT 4 llevó dos sensores HRVIR (High Resolution Visible and Infrared), con resolución en modo pancromático de 10 m y en multiespectral de 20 m.



Además de incorporar una banda más en el IR medio en el modelo multispectral.

Actualmente se encuentra operativo SPOT 5, presentado, respecto a la versión 4 con una resolución pancromática de 5x10 m (excepto la del IR medio). Para obtener estereoscopia, existe una toma anterior y otra posterior con una inclinación de 21°

También otro sistema destacado es el sistema ASTER. El satélite ASTER fue lanzado en la plataforma de TERRA en diciembre de 1999. Forma parte de una iniciativa del gobierno de Estados Unidos y Japón. Contiene 14 bandas.

La anchura de la toma de imágenes es de 60km obteniendo escenas que cubren un área de 60x60 km. Su resolución temporal es de 16 días. Las características de las imágenes ASTER las hacen adecuadas para estudios de amplia diversidad a una escala semidetallada de trabajo.

Ejemplo de aplicación de imágenes ASTER son mapas de temperatura y de reflectividad empleando su amplio rango espectral y datos de elevación a partir de las bandas 3B y 3N.

El sensor ASTER a bordo del satélite TERRA se planteó como una iniciativa de observación a la Tierra enfocada originalmente al sector científico y académico. Su aplicabilidad y sus satisfactorios resultados tras un periodo inicial, extendieron su ámbito de aplicación al sector comercial.

El sensor ASTER puede complementar a Landsat u otros satélites de observación terrestre como por ejemplo el norteamericano Earth Observing-1, el argentino SAC-C o el chino brasileño CBERS.

En 1992, el gobierno de los Estados Unidos aprobó un proceso para autorizar a compañías privadas el desarrollo, la propiedad, la operación y la venta de datos de alta resolución procedentes de satélites de observación de la Tierra. Dos años más tarde se autorizaron cuatro licencias y en 1999 se encontraba operativo el satélite Ikonos, el año 2002 comenzó a operar el QuickBird después de dos lanzamientos fallidos en 1997 y 2000.

El satélite Ikonos obtiene imágenes pancromáticas con 1 metro de resolución y multispectrales con 4 metros. Posee el sensor OSA (Optical Sensor Assembly) con un telescopio de 10m de longitud focal y con tecnología de escáner longitudinal (pushbroom). Las imágenes



pancromáticas y multiespectrales se obtienen simultáneamente. Orbita a 680km de forma síncrona con el sol, es decir, siempre pasa a la misma hora por cada punto que visita. Las bandas pancromática y multiespectral se obtienen respectivamente en:

Pancromática	Multiespectral
0.45 - 0.90 micras	0.45 - 0.52 micras
	0.53 - 0.59 micras
	0.63 - 0.69 micras
	0.77 - 0.90 micras

El satélite QuickBird posee las mismas bandas, con una mejor resolución geométrica en el pancromático 70cm, la posición espectral de las bandas se similar al Ikonos.

Ambos sistemas poseen estereoscopía a lo largo de la pasada lo que permite obtener MDE de precisión y la obtención de ortoimágenes con buena calidad geométrica.

Además de los ya citados pueden incluirse en este apartado los satélites indios de la clase IRS. El satélite IRS-1 se lanzó en diciembre de 1995 y el IRS-1D en septiembre de 1997 ofreciendo una resolución en pancromática de 5.8m. Esta serie de satélites tienen provisto ofrecer, próximamente, una resolución pancromática de 2.5m (Ormeño Villajos, 2006).

También podemos citar satélites del tipo ruso SPIN-2 (cámara KVR-1000), el OrbView y Eros (USA-Israel).

3. Concepto de Imagen

3.1 La imagen como Señal

Desde un punto de vista físico, la imagen es una distribución de energía electromagnética, independiente del sensor que se utilice para su detección, que solo tiene existencia como tal imagen en tanto que está iluminada por una fuente radiante.



Si consideramos una fuente radiante cuya distribución espectral de energía está dada por $c(\lambda)$, sin considerar la distribución espacial, y la hacemos incidir sobre un objeto de la reflectividad $r(\lambda)$, la energía devuelta sería:

$$c(\lambda).r(\lambda).d(\lambda)$$

En general, la reflectividad varía con la posición del punto en la escena que se considere, de manera que cada punto (x, y) tendremos una intensidad luminosa f . Llegando así a un modelo matemático de imagen continua. Desde un punto de vista matemático, una imagen monocroma fija es una función bidimensional de las coordenadas espaciales x e y , dada por $z = f(x, y)$ donde z representa la luminancia de la imagen en el punto (x, y) . Por tanto se representa la imagen como:

$$z = f(x, y) \text{ donde } x, y, z \text{ son valores numéricos reales}$$

Z es univaluada positiva y usualmente se normaliza de manera que $z = 0=1$, correspondiendo los valores extremos al negro y al blanco respectivamente. En este sentido, z representa el nivel de gris.

Para imágenes multibanda, podemos representar el conjunto de imágenes mediante $z = f(x, y)$ donde cada componente de $z = (z_1, z_2, \dots, z_L)$ representa una banda espectral.

La imagen discreta constituye un primer paso en el proceso de digitalización y está formada por un conjunto discreto de valores de la luminancia, obtenidos mediante muestreo equiespaciado de una imagen continua. Es decir:

$$z = f(m, n) \text{ donde } m, n \text{ son enteros } Z \text{ y } z \text{ son reales } R$$

Las coordenadas son discretas y la amplitud varía de forma continua. Es habitual considerar la variación de las coordenadas mediante:

$$\begin{aligned} 0 &= m = M-1 \\ 0 &= n = N-1 \end{aligned}$$

De modo que la imagen queda representada por una matriz $M \times N$ de números reales.



La imagen digital puede considerarse el último paso del proceso de digitalización y consiste en una cuantificación de los niveles de gris o amplitudes de imagen discreta. La expresión de la imagen digital puede ser:

$$l = f(m, n) \text{ con } l, m, n \text{ valores enteros } Z$$

Cada elemento discreto (m, n) de la imagen recibe el nombre de pixel. Puesto que la amplitud se codifica en el ordenador mediante un número discreto de bits igual a k el número de niveles de gris será $K = 2^k$, variando l entre 0 y $K-1$. Siendo en este caso la imagen multiespectral:

$$l = f(m, n) \\ l = (l_1, l_2, \dots, l_L)$$

El contraste de una imagen se encuentra relacionado con el rango de niveles de gris que posee; cuanto mayor es el rango, mayor es el contraste y viceversa. El “contraste” C puede definirse numéricamente de diferentes formas, por ejemplo:

$$C_1 = NG_{\text{máx}} / NG_{\text{mín}} \\ C_2 = NG_{\text{máx}} - NG_{\text{mín}} \\ C_3 = \sigma$$

Donde $NG_{\text{máx}}$ y $NG_{\text{mín}}$ representa a los niveles de gris máximo y mínimo, en tanto que σ es la desviación típica de los niveles de gris.

El contraste es una medida de calidad visual de la imagen. Por otra parte, dicho contraste puede utilizarse para medir el ratio señal-ruido de la imagen digital, por ejemplo, para una imagen contaminada por ruido uniforme aleatorio, dicho ratio, frecuentemente se denomina como la relación entre el contraste de la imagen libre de ruido y el contraste del ruido, representado dicho contraste como C_3 o C_3^2 .

El contraste percibido visualmente, de una imagen visualizada, no solamente depende de su rango de niveles de gris, sino también de valores psicofísicos, tales como los derivados de la estructura espacial dentro de la imagen y de la iluminación con que se visualice la imagen.



Otro parámetro que puede obtenerse de una imagen, y que esta relacionada con el contraste, es el denominado “modulación” M, la cual puede definirse como:

$$M = (NG_{\text{máx}} - NG_{\text{mín}}) / (NG_{\text{máx}} + NG_{\text{mín}})$$

Debido a que los niveles de gris son siempre positivos, ésta definición asegura que la modulación se encuentra entre cero y uno. La modulación se utiliza, más apropiadamente, para describir señales periódicas, pero, a veces se utiliza en señales no periódicas (Ormeño Villajos, 2006).

3.2 Formación de Imágenes

Un sistema formador de imágenes puede considerarse como una “caja negra” (con los dispositivos ópticos y/o electrónicos) que opera sobre una señal de entrada para producir una señal de salida. La señal de entrada es la radiancia de la escena y la señal de salida es la irradiancia de la imagen, ambas señales son funciones bidimensionales de coordenadas espaciales.

Representamos el sistema formador por un operador L. Si la entrada al sistema consiste en un impulso simple, la salida (impulso de respuesta) recibe el nombre de “función de dispersión puntual” (point spread function) o PSF y es la imagen bidimensional de una fuente puntual.

Si la señal de entrada consiste en dos o más impulsos y la señal de salida es la suma de las salidas correspondientes a cada impulso, el sistema se dice lineal. Además, si un desplazamiento espacial de la señal de entrada produce el correspondiente desplazamiento en salida pero ningún cambio en la PSF, el sistema se dice invariante en el desplazamiento. Podemos resumir matemáticamente estas condiciones de la siguiente forma:

$$g(x, y) = L[f(x, y)]$$



Linealidad:

$$g(x, y) = L[f_1(x, y) + f_2(x, y)] = L[f_1(x, y)] + L[f_2(x, y)] = g_1(x, y) + g_2(x, y)$$

Invariabilidad al desplazamiento:

$$g(x - x', y - y') = L[f(x - x', y - y')]$$

Siendo $f(x, y)$ la radiancia de la escena y $g(x, y)$ la irradiancia de la imagen. Si un sistema es lineal e invariante al desplazamiento, el operador L , puede describirse para cualquier señal de entrada como una “convolución” de la PSF con la señal de entrada, es decir:

$$g(x, y) = PSF(x, y) * f(x, y)$$

Donde $*$ representa la operación de convolución, siendo:

$$PSF = (x, y) * f(x, y) = \int \int PSF(x', y') f(x - x', y - y') dx' dy' = f(x', y') \int \int PSF(x - x', y - y') dx' dy'$$

El valor de la imagen de salida en cualquier punto (x, y) viene dado por la suma ponderada de la señal de entrada, la radiancia de la escena en la vecindad (x, y) , la ponderación viene determinada por PSF.

La última expresión es la ecuación fundamental del filtrado espacial. La imagen producida por la convolución entre la radiancia de la escena y la PSF es una representación suavizada de la citada escena. En otras palabras, la modulación de la radiancia de la escena queda reducida por el proceso de formación de la imagen. Esta reducción de modulación (suavizado) es característica de todos los sistemas formadores y se produce como resultado de la naturaleza positiva y no nula de la PSF de los instrumentos.



Para llegar a obtener una imagen digital se precisa discretizar el campo de variación de la función que describe la imagen y cuantificar aquella en niveles discretos.

3.3 Modelos Ráster y Vectorial

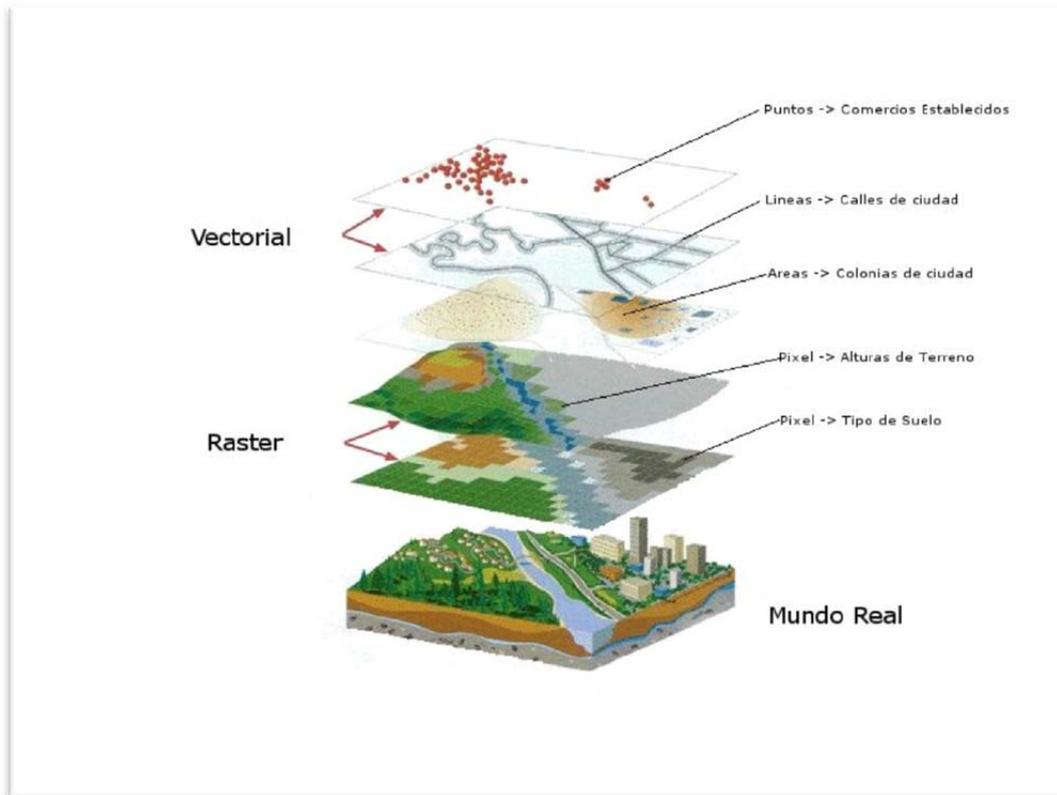
En la realidad geográfica se muestran propiedades o variables que pueden tener una naturaleza espacial discreta o continua. Por tanto será discreta la distribución superficial de tipos de roca y continua de la distribución de temperaturas.

Las dos propiedades citadas tienen carácter espacial. Por otra parte, las entidades de la realidad geográfica muestran atributos o propiedades diferentes de las de su posición, como por ejemplo las que tienen carácter temático.

El modelo ráster, se supone el espacio dividido en un conjunto de celdas distribuidas en un cierto número de filas y columnas. A cada celda le corresponde un valor digital donde se almacena el valor de la variable en el punto correspondiente.

El ráster, adecuado para variables geográficas que presentan continuidad espacial, permite la utilización de capas superponibles entre sí, cada una de ellas almacenando un valor digital.

Para representar los atributos espaciales de entidades que se presentan discontinuamente en el espacio, es más adecuado el modelo vector. En tal modelo se consideran tres tipos de entidades básicas: puntos, líneas y áreas (Ormeño Villajos, 2006).



Modelo Ráster y Vectorial (IGAC, 2009)

En el modelo ráster, la posición de cada celda en el espacio viene determinada por la fila y la columna a la cual pertenece, por el contrario en el modelo vector se almacenan las coordenadas correspondientes a cada uno de los puntos o los vértices de la entidad.

En el vector, además de las coordenadas del punto o de los puntos que forman la entidad, se almacena un valor numérico entero que permite identificar inequívocamente la entidad en cuestión.

Así pues en ambos formatos se almacenan coordenadas, de forma explícita en el vector y de forma implícita en el ráster. Además, en el ráster se almacena un valor digital que puede ser un identificador o el valor de la variable.

En ráster, se almacena el número de filas y columnas, además, para saber la posición o coordenadas de una celda sobre el terreno, no basta con saber la fila y columna sino también es necesario conocer las coordenadas extremas.

Tal circunstancia se produce cuando el documento ráster esta georreferenciado, conociéndose por tanto $X_{mín}$, $X_{máx}$, $Y_{mín}$ e $Y_{máx}$. Otro parámetro fundamental en ráster es la resolución o tamaño de la celda en campo que se obtiene como:



$$\frac{X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}}}{n_{\text{columnas}}}$$
$$\frac{Y_{\text{máx}} - Y_{\text{mín}}}{n_{\text{filas}}}$$

Los citados parámetros $X_{\text{máx}}$, $X_{\text{mín}}$, $Y_{\text{máx}}$, $Y_{\text{mín}}$, n_{filas} y n_{columnas} , además de otras que pudieran ser de interés como son el tipo de sensor, la fecha, el número de bandas o las capas se conocen como datos de cabecera.

Los propios valores digitales del ráster pueden almacenarse en el mismo fichero u otros (según sea el número de capas) separado, en este último caso debe almacenarse en la cabecera el nombre de los ficheros con los valores digitales.

En principio, asimilamos una imagen ráster con una fotografía escaneada. Desde la óptica del usuario está constituida por una matriz de unidades elementales (picture elements) o píxeles, a cada uno de los cuales le corresponde un nivel de gris o un color conforme a una determinada paleta. Una paleta es una correspondencia entre valor numérico y color. Desde la óptica del ordenador (sistema) una imagen es una matriz de valores digitales. Tales valores digitales pueden ser del tipo byte (0-255), o de tipo integer (enteros positivos y negativos) o de tipo real (valores decimales).

Una imagen ráster, por tanto, se caracteriza por la existencia de un cierto número de filas y columnas (el número de píxeles es el producto de número de filas por el número de columnas). Para calcular el espacio que ocupará en disco hay que multiplicar el número de píxeles por 1(bytes), 2(integer) y 4(real).

3.4 Formato Ficheros Gráficos

Los datos son valores concretos de los diferentes atributos de las entidades, cuando se cargan en la memoria del ordenador tales datos se almacenan en espacios cuya amplitud depende del tipo (byte, integer, real...) de la variable en la que almacena el dato.



Para que la información se conserve de forma permanente, los datos se guardan en ficheros de disco. La forma de almacenarse los diferentes tipos de ficheros se conoce con el nombre de formato y suele asociarse con una extensión (DWG, ORC, DXF...) característica de los ficheros.

Hay dos tipos básicos de ficheros, binarios y de texto (ascii). Los ficheros binarios almacenan uno tras otro los diferentes datos como una sucesión de ceros y unos, cuyo significado depende del programa o aplicación que gestione el fichero en cuestión, salvo que su estructura esta publicada, solo puede verse su contenido con la aplicación a la que correspondan. Los ficheros de texto o ascii almacenan los datos como caracteres los cuales se almacenan secuencialmente y su contenido puede verse con muchas aplicaciones estándar, como WordPad o de Window.

Los ficheros de texto suelen ocupar mucho menos espacio de disco que los binarios que tardan más en cargarse, grabarse y en acceder a ellos. Ejemplo de ficheros de vector binario son el DWG de AutoCad o DGN de MicroStation. Un fichero vector de texto muy utilizado es el DXF de AutoCad.

Los ficheros ráster suelen ser binarios, entre los monobanda se encuentra el BMP de Windows, el TIFF o GeoTIFF, GIF, JPEG... Muchos de estos formatos suelen utilizar algoritmos de compresión de los datos, para que el fichero ocupe poco espacio, estos algoritmos pueden ser con pérdidas de información o sin pérdidas. Por ejemplo JPEG suele utilizar compresión con pérdidas, hay que tener cuidado de no utilizar este tipo de ficheros cuando se hacen estudios de teledetección o cuando el valor del píxel tiene un significado concreto independientemente del color. Estos formatos sólo almacenan el valor del píxel interpretándolo como color del mismo y este atributo se suele almacenar en un byte (tipo paleta) o en 3 byte (true color) aunque hay otras posibilidades. En cualquier caso no sirven para almacenar valores de tipo integer o de tipo real (Ormeño Villajos, 2006).

4. Descripción del Trabajo

4.1 Obtención de Imágenes

El inicio del proyecto comienza con la adquisición de imágenes a partir de Earth Explorer, perteneciente a USGS a través de su portal de Internet: www.earthexplorer.usgs.gov.

Una vez dentro del interfaz seleccionamos la imagen en función de nuestras preferencias, en este caso a partir de las coordenadas geográficas de Orgaz, que como se ha indicado anteriormente son latitud 39° 38'48" N y longitud 3° 52'38" W.

Se selecciona una imagen perteneciente a Landsat 5 Thematic Mapper (Figura 4.1), con una fecha de adquisición a 16 de Octubre de 2011. La fecha de adquisición es importante ya que nos da una idea de cómo se encuentra la zona, por ejemplo, si es época de barbecho, de siembra o de recogida.

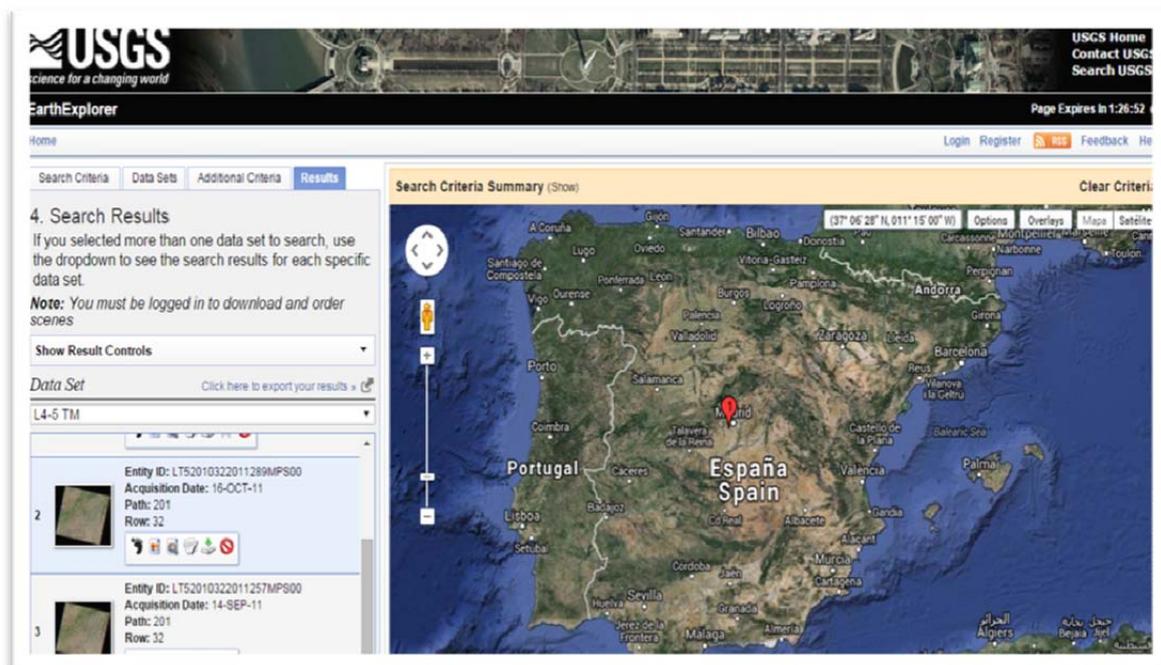


Figura 4.1 Interfaz Earth Explorer

Una vez se visualiza la imagen en la pantalla se procede a su descarga así como a la de los metadatos (Figura 4.2).

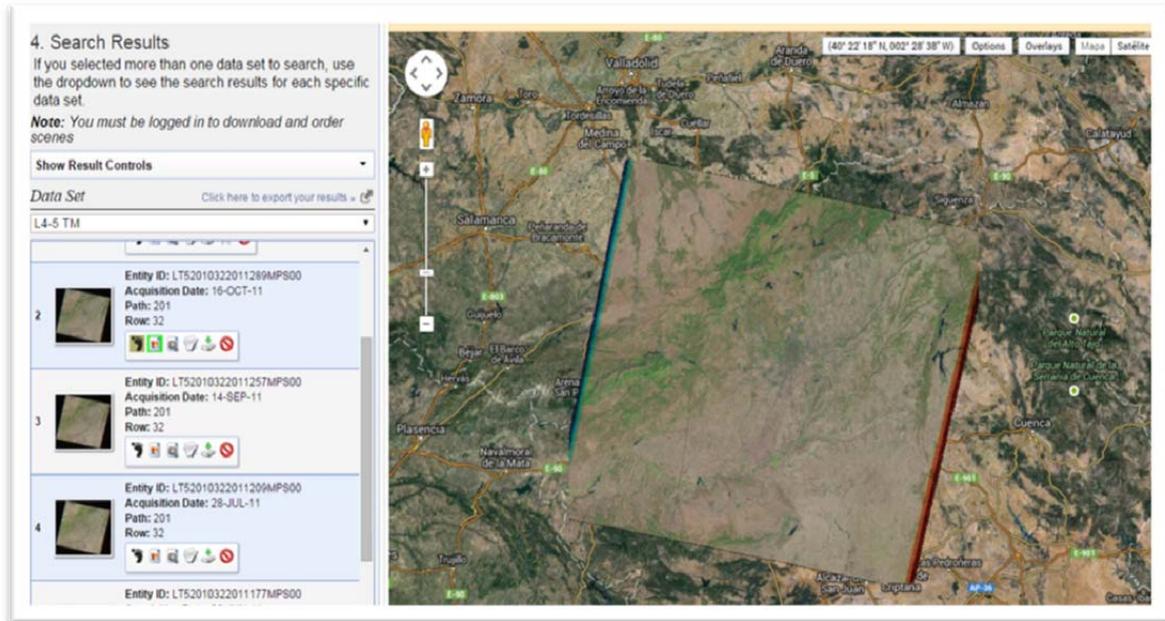


Figura 4.2 Visualización Imagen GEOTIFF

De esta forma se descargan 7 imágenes independientes correspondientes a cada una de las bandas espectrales en formato GEOTIFF así como el archivo de sus metadatos, aunque de las 7 imágenes solo utilizaremos 6 ya que eliminamos la banda correspondiente al térmico, como se especificará más adelante.

4.2 Procesamiento de Datos

4.2.1 Georreferenciación

Una vez descargadas las imágenes desde Earth Explorer, pasaremos a crear un único archivo multibanda con 6 de las 7 imágenes descargadas, ya que la correspondiente a la banda térmica es eliminada, y de esta forma conseguiremos trabajar mejor.

Todas ellas corresponden al espectro del visible e infrarrojo próximo (bandas de la 1 a la 5 y banda 7). Todas las bandas poseen una resolución espacial de 30m a excepción de la térmica que tiene una resolución de 120m, pero como es eliminada no se tiene en cuenta.

Al descargar la imagen GEOTIFF, ésta ya la encontramos georreferenciada (Figura 4.2.1), pero no se conoce la precisión, por lo que se toma la imagen como aproximada.

La información que podemos encontrar en una imagen con formato GEOTIFF incluye la proyección, sistema de coordenadas, elipsoide y datum.

La principal aportación de GEOTIFF es la capacidad flexible de referenciar imágenes ráster sobre la Tierra mediante el uso de proyecciones cartográficas.

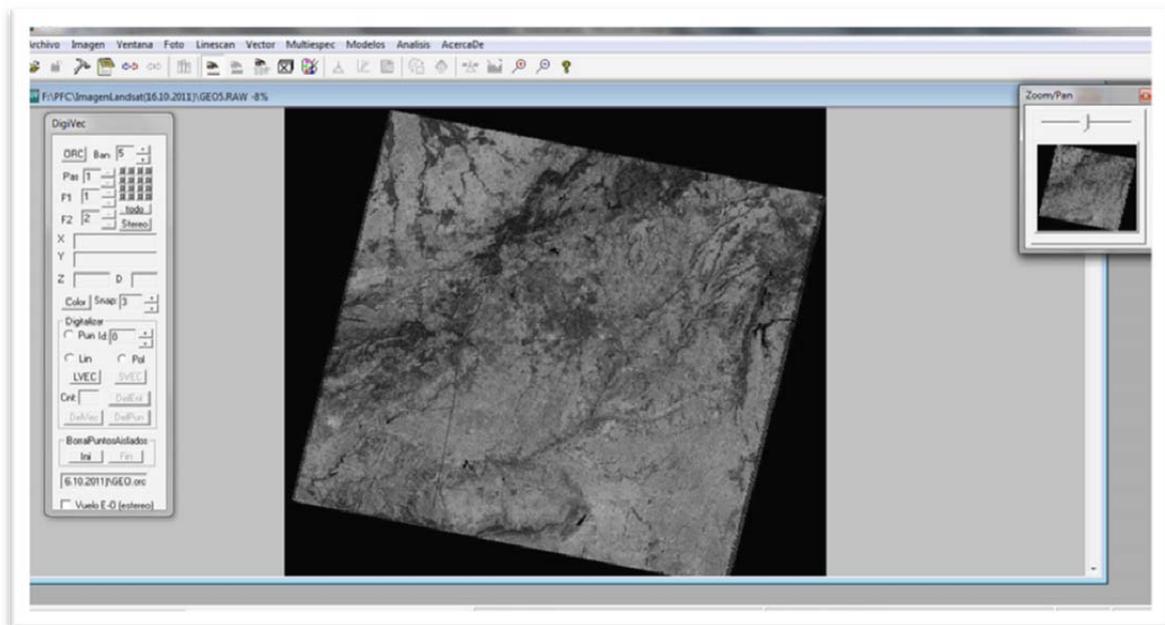


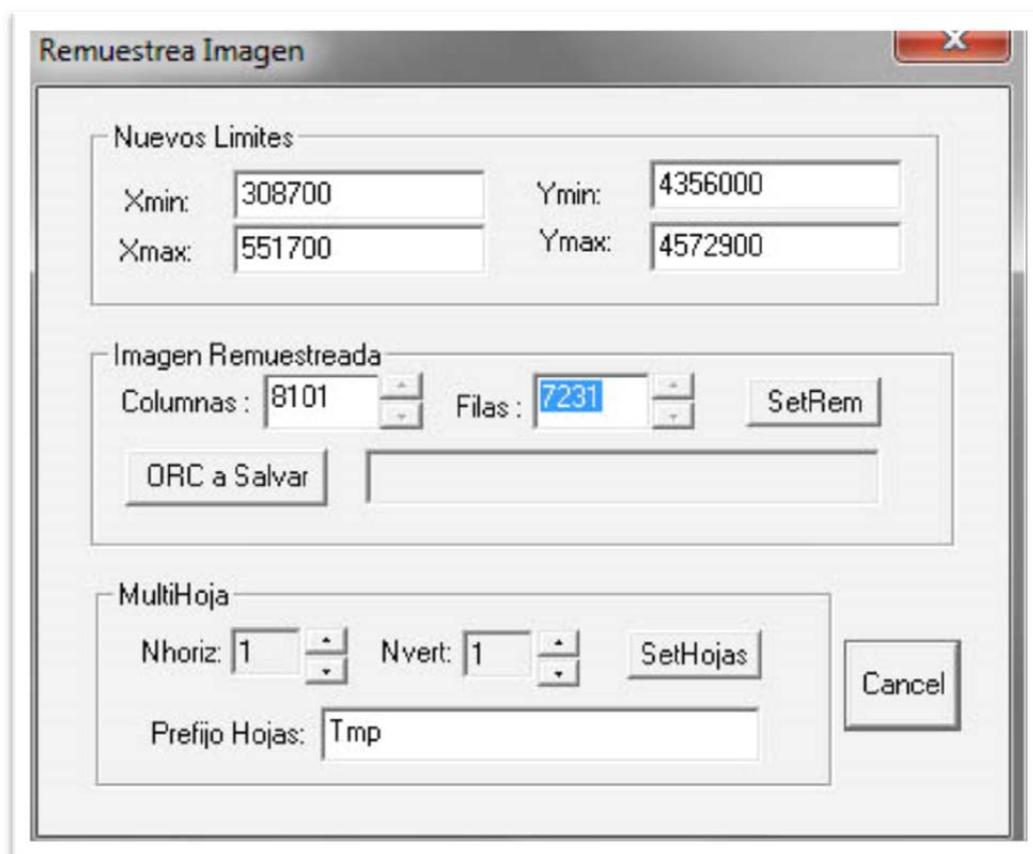
Figura 4.2.1 Visualización de la Imagen Multibanda

La georreferenciación consiste en establecer el espacio R (ráster) de partida y las transformaciones necesarias para llegar al espacio M (terrestre). Su principal uso consiste en establecer las relaciones entre imágenes ráster y vectoriales en un sistema de coordenadas. Además de determinar el lugar en el espacio de los elementos geográficos, permite establecer la correcta posición de una fotografía aérea en un mapa y determina la exacta ubicación de un punto en una fotografía o imagen (Ariza, Pinilla, Tovar, 1999).

Es decir, la georreferenciación es el proceso por el cual dotamos a un sistema de referencia (Coordenadas terreno) a una imagen digital que se encuentra en coordenadas píxel (filas y columnas).

Este proceso exige una búsqueda de puntos homólogos entre la imagen y el mapa final. El resultado es una transformación que supone un escalado, giro y deformación de la imagen original para adaptarse al mapa final. Su uso principal es la de poner imágenes ráster como referencia de datos vectoriales.

A partir de este momento ya podemos empezar a introducir puntos de control mediante la utilización del programa SOV.



Georreferenciación de la Imagen Multibanda

Una vez conocidos los datos de $X_{\text{máx}}$, $X_{\text{mín}}$, $Y_{\text{máx}}$ e $Y_{\text{mín}}$ podemos conocer el tamaño de la imagen en cuestión. Donde n_{columnas} es 8100 y n_{filas} 7230.

En una imagen ráster se almacenan filas y columnas (n_{filas} y n_{columnas}), además, para saber la posición o coordenada de una celda sobre el terreno, no basta con saber la fila y columna sino que es necesario conocer las coordenadas extremas.



Tal circunstancia se produce cuando el documento ráster esta georreferenciado, conociéndose por tanto $X_{m\acute{a}x}$, $X_{m\acute{i}n}$, $Y_{m\acute{a}x}$ e $Y_{m\acute{i}n}$, como hemos definido anteriormente.

4.2.2 Tratamiento Digital

Una vez se realizado todo el proceso de descarga y georreferenciación de la imagen multibanda el siguiente paso es el recorte de la zona de estudio dentro de la imagen obtenida.

La manera de proceder es muy similar a la anterior, sobre la imagen descargada al principio se realizaron dos cortes. Uno de estos cortes ocupa una parte del área de estudio mucho más extensa y general de la región de Orgaz, mientras que el otro corte es mucho más específico exclusivamente de la zona de estudio. Para trabajos posteriores, analizando muestras en laboratorio mediante estudios espectroscópicos se utilizará ésta última imagen recortada.

Cuyos datos corresponden a $X_{m\acute{i}n} = 419779,242$;
 $X_{m\acute{a}x} = 430311,836$; $Y_{m\acute{i}n} = 4382756,1227$; $Y_{m\acute{a}x} = 4388193,483$

Otro parámetro fundamental en las imágenes ráster es la resolución o tamaño de la celda en campo que se obtiene como $(X_{m\acute{a}x} - X_{m\acute{i}n} / n_{col})$ y de forma análoga para Y ($Y_{m\acute{a}x} - Y_{m\acute{i}n} / n_{filas}$).

Los citados parámetros nombrados anteriormente juntos con otra información que pudiera ser de interés, como por ejemplo, sensor, fecha, número de bandas...Se conocen como datos de cabecera.

El sistema SOV solo admite paletas de 256 colores. Por defecto, la paleta de SOV viene en escala de grises.

SOV es un sistema que obtiene o transforma información de tipo gráfico para introducirlas en los SIG.



Imagen correspondiente a zona de Orgaz – Los Yébenes



Imagen correspondiente al área de estudio en particular

Se decide realizar una combinación color sobre las imágenes expuestas anteriormente, de esta forma, al realizar la combinación color se producen una serie de contrastes que nos permiten ver y de esa forma estudiar mejor los puntos que nos interesan, es decir, las diferentes bandas espectrales captadas por los sensores pueden ser combinadas para generar imágenes que nos ayuden a visualizar mejor determinadas escenas.

El ojo humano puede ver muchos más detalles en las imágenes en color que en las imágenes en blanco y negro. Incluso se puede apreciar más detalles en una imagen de color falso que en otra equivalente en color natural o verdadero.

Una imagen en falso color es una representación artificial de una imagen multiespectral.

La codificación que se utiliza en las imágenes multibanda, se basa en la numeración de las bandas que integran dicha imagen, siguiendo el orden específico azul, verde y rojo. De esta manera, el caso que se muestra a continuación tiene una combinación color correspondiente a verde=4; azul= 3; rojo=5.



Imagen correspondiente a la zona Orgaz – Los Yébenes. Combinación color 345



Imagen correspondiente al área de estudio. Combinación color 345

De forma análoga al tratamiento digital y como se expondrá de forma más detallada en los siguientes apartados, se seleccionan los puntos donde se obtendrán las muestras para su posterior estudio.

Estos puntos, que denominamos perfiles serán cargados en la imagen recortada con el fin de realizar una serie de estudios tales como los valores digitales de las clases espectrales entre otros procesos.

4.2.2.1 Histograma

Una imagen está definida por su histograma, en el que representa la probabilidad de encontrar un determinado valor de ND en la imagen. El histograma de una imagen describe la distribución de los valores de los píxeles (los ND) de la imagen.

Un histograma indica el número de píxel para cada valor, es decir, el histograma contiene las frecuencias de los valores ND en una imagen. El histograma puede representarse de una manera tabular o gráficamente. La representación tabular normalmente consta de 5 columnas:

ND: Nivel Digital, en el rango [0...255]

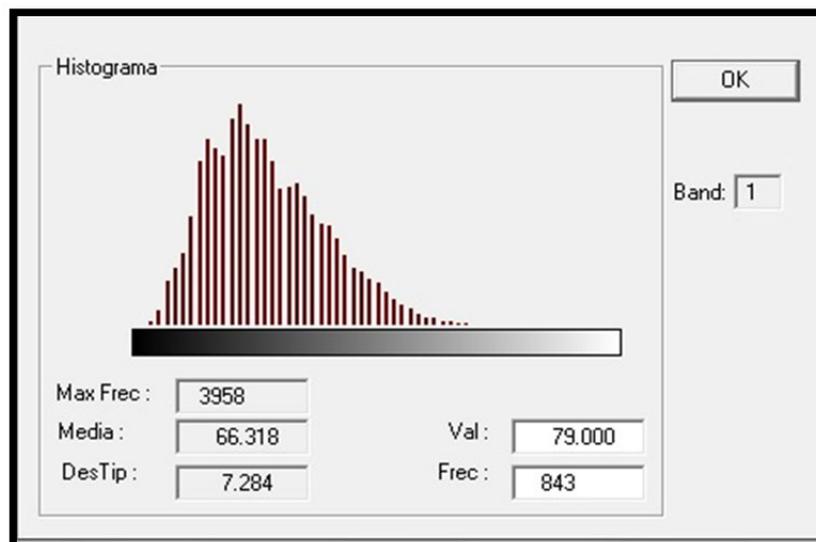
- Npix: número de píxeles de la imagen con este ND
- Perc: frecuencia como porcentaje del número total de píxeles de la imagen.

- CumNpix: número acumulado de píxeles en la imagen con valores menores o iguales a ese ND
- CumPerc: frecuencia acumulada como porcentaje del número total de píxeles de la imagen.

Los datos del histograma pueden ser posteriormente resumidos mediante algunas estadísticas como: media, desviación estándar, mínimo y máximo. Los valores 1% y 99% pueden ser usados para definir un rango óptimo para la visualización (Santé Riveira, 2010).

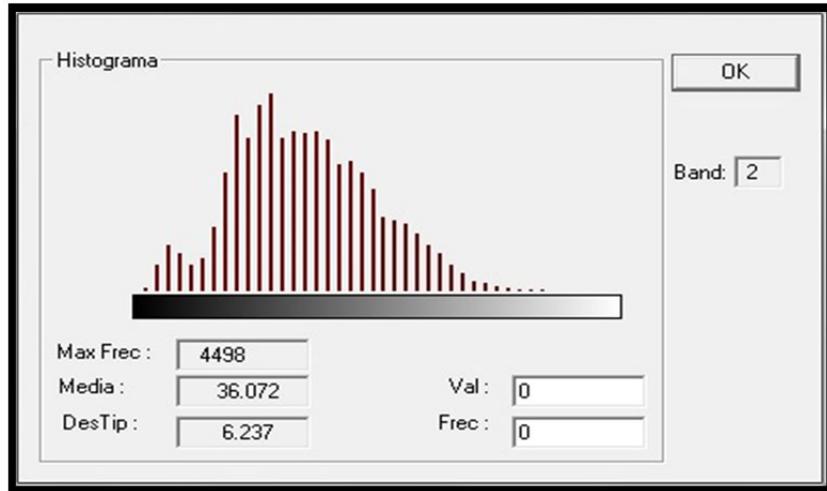
Para la visualización del histograma se realizará sobre cada una de las bandas correspondientes a la imagen multispectral, tal y como se muestra a continuación.

Banda 1

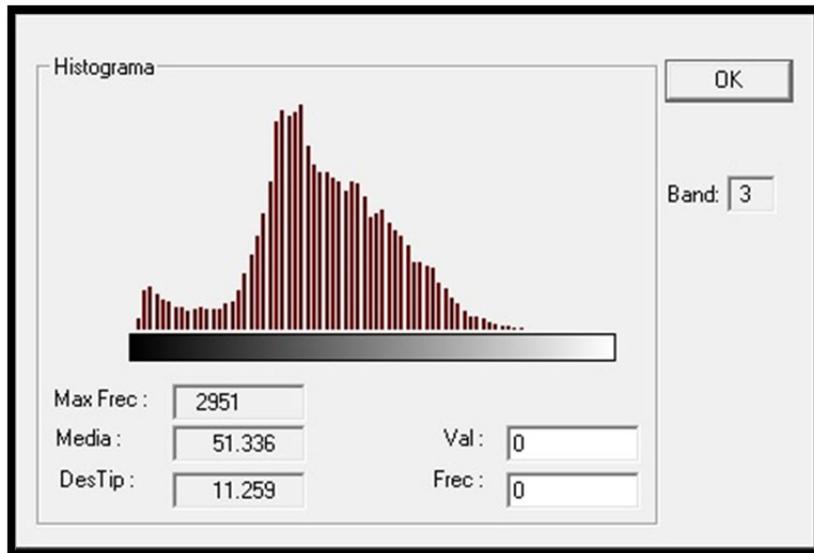




Banda 2

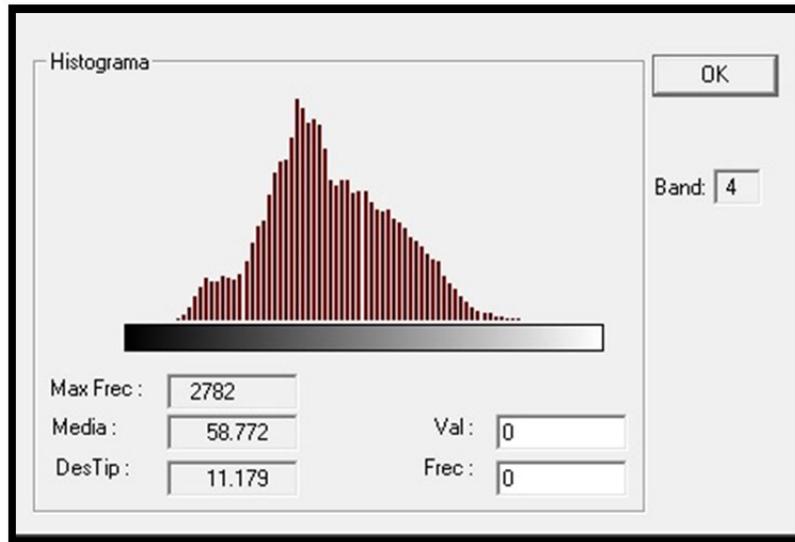


Banda 3

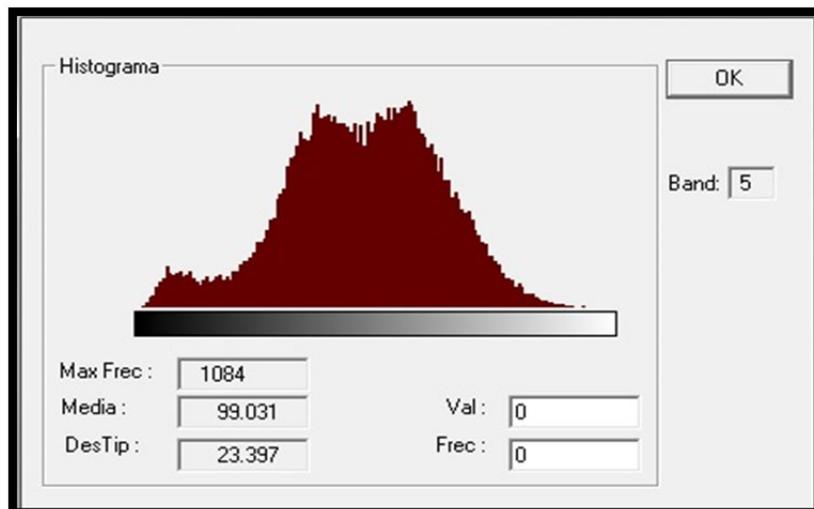




Banda 4

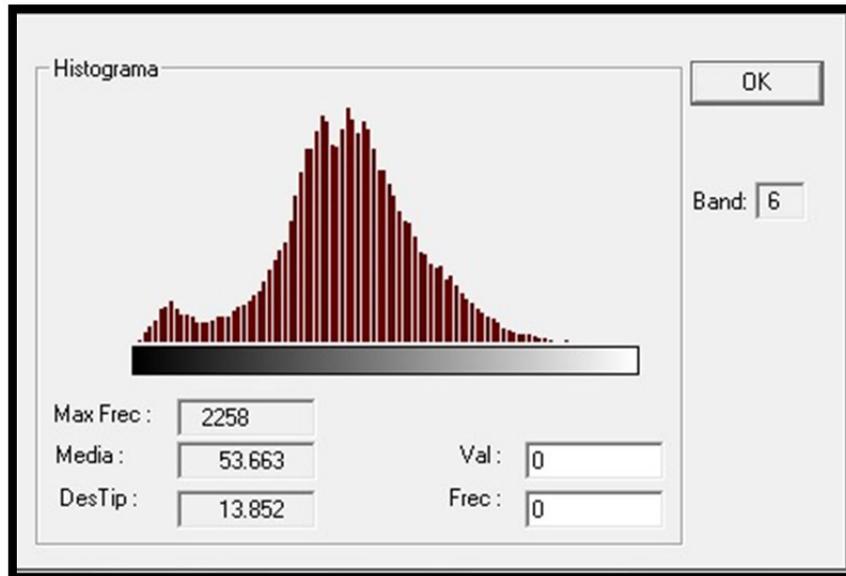


Banda 5





Banda 6



4.2.2.2 Curva de Valores Digitales de Clases Espectrales

En un primer lugar se realizará la visualización de las coordenadas en la imagen recortada expuesta anteriormente. En dicha imagen se carga un fichero *.dbv, este fichero contiene las coordenadas de los perfiles donde se tomaron las muestras (Figura 4.2.2.2).

Los ficheros *.dbv son de tipo vectorial y almacenan líneas, puntos o polígonos en paquetes.

Existe una diferencia sustancial entre realce y clasificación de la imagen. En el primer caso pretendemos obtener una imagen transformada que nos permita una mejor interpretación visual, mientras que en el segundo caso, el propio ordenador realiza una distribución en clases de todas las unidades elementales contenidas en la imagen.



Figura 4.2.2.2 Visualización de las coordenadas sobre la zona de estudio

La clasificación de imágenes es esencialmente un proceso de toma de decisiones con datos que presentan una considerable variabilidad estadística, por ello, hemos de considerar las soluciones que proporciona, al respecto, la teoría estadística de la decisión. La asignación de un pixel a una clase determinada lleva asociada, desde el punto de vista estadístico, una probabilidad de error. Consecuentemente es lógico exigir, en la asignación de cada pixel, que se minimice algún criterio de error en la superficie clasificada, para ello se considera un cierto número de pixeles individuales cuya clase de pertenencia es conocida previamente.

El resultado de la clasificación es el proceso más importante en la teledetección. Es un documento temático de carácter cualitativo, se trata de un documento de ocupación (cultivo, barbecho...)

Las clases espectrales de ocupación del suelo, se tratan de un conjunto de pixeles tales que sus propiedades espectrales son muy parecidas entre sí, es decir, cuando su curva de valores digitales se parece más a un tipo de clase que a otra.

Estas clases idealmente deberían de ser gaussianas y se caracterizan por la media y la desviación típica.

Las clases se agrupan formando grupos de pixeles, estas se distribuyen formando elipses dado que su orientación viene dada por los autovalores.

Uno de los primeros estudios para cuantificar la reflectividad de los suelos y establecer las características espectrales diferenciales fue realizado por Condit (1970,1972), efectuando medidas sobre 160 muestras en el intervalo visible y en el IR próximo.

El comportamiento espectral del suelo desnudo es mucho más uniforme que el de la vegetación, mostrando una curva plana de carácter ascendente. Los principales factores que intervienen en este caso son la composición química del suelo, su textura y estructura y el contenido en humedad, entre otros. Por ejemplo, un suelo de tipo calcáreo tiende al color blanco tal y como se definirá más adelante, indicando alta reflectividad en todas las bandas visibles, mientras que los arcillosos ofrecen una mayor reflectividad en el rojo, como consecuencia en su contenido en óxido de hierro. La reflectividad espectral presenta mayores valores en suelos con texturas gruesas, apelmazados, secos y sin materia orgánica.

A continuación se muestra la curva de valores digitales (Figura 4.2.2.2b) de clases espectrales correspondientes a cada punto donde se tomaron las muestras.

Es necesario indicar que tanto las muestras 4 como 7 no aparecen en la gráfica. Esto es debido a que estas muestras corresponden a los horizontes Bt y Ck respectivamente, las cuales fueron tomadas de un talud de carretera, es decir, no fueron tomadas en superficie.

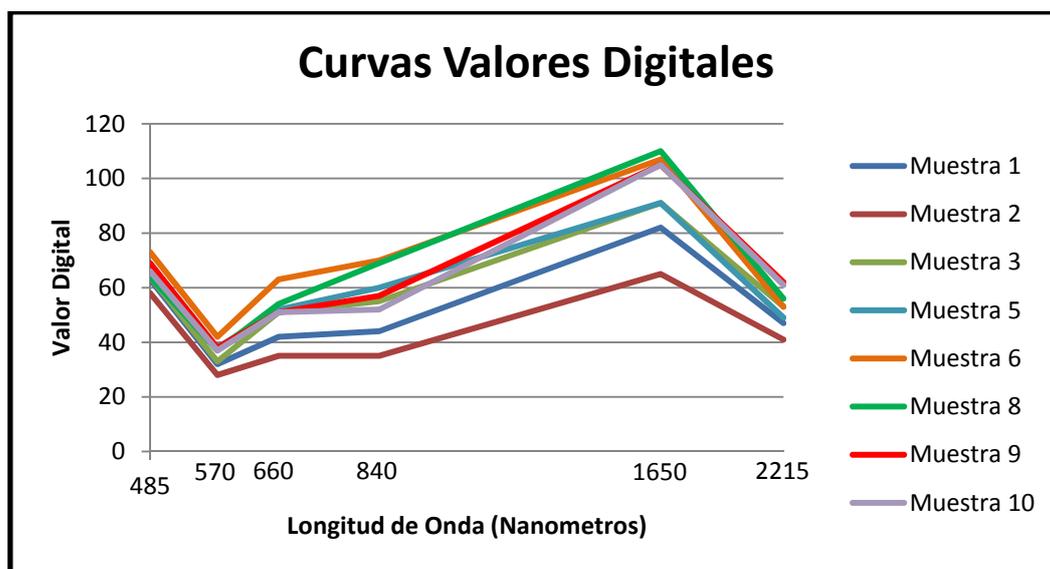


Figura 4.2.2.2b. Representación valores digitales de las clases espectrales

Las curvas de los valores digitales correspondientes a las clases espectrales pertenecen exclusivamente a puntos situados sobre la cubierta del suelo. De ahí que estas muestras indicadas anteriormente no puedan definirse su curva de valores digitales.

Como se ha indicado anteriormente las graficas de cada muestra siguen una tendencia muy parecida de tipo ascendente.

4.2.2.3 Estudios Espectroscópicos

Con el fin de llegar a una clasificación de alta fiabilidad, realizaremos un análisis visual y digital, de esta forma se conseguirá contrastar los resultados obtenidos en el apartado anterior, correspondiente a las curvas digitales de clases espectrales, con el estudio espectral así como los análisis propios de laboratorio.

Para realizar este estudio se dispondrá de un espectrómetro, exactamente el modelo USB2000+ (Figura 4.2.2.3).



Figura 4.2.2.3 Espectrómetro fibra óptica USB+2000 y muestras para su estudio



Un espectrómetro es un instrumento óptico que se usa para medir las propiedades de la luz sobre una porción específica del espectro electromagnético. Una de sus principales utilidades es la realización de análisis espectrales para la identificación de materiales.

La variable medida es en general la intensidad de la luz, aunque podría establecerse otra, como por ejemplo, el estado de polarización. La variable independiente es, por lo general, la longitud de onda de la luz, expresada en fracción de metro.

Un espectrómetro se usa para producir líneas espectrales y medir sus longitudes de onda e intensidades. Estos instrumentos funcionan en una amplia variedad de longitudes de onda. Se restringen a determinadas bandas del espectro debido a las diferentes técnicas que se necesitan para medir cada una de ellas (E. Azcue, S.Rojas, 2013).

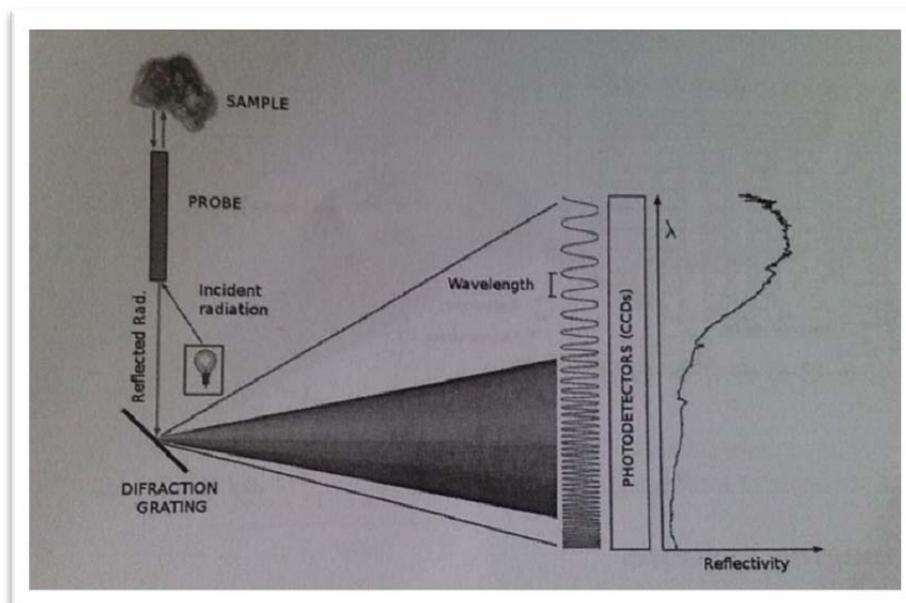


Figura 4.2.2.3b. Esquema funcionamiento de un Espectrómetro (Ormeño Villajos, 2012)

Mediante el espectrómetro de fibra óptica USB+2000 se registra información sobre cada una de las muestras, tal como, la reflectancia y el color (éste se proporciona en el sistema CIELab) en las bandas del ultra violeta y el visible.

El espectrómetro USB+2000 se trata de un modelo compacto, configurado especialmente para registrar cientos de variaciones entre 200-1100nm. El usuario puede configurar los parámetros de medida deseados, como la resolución óptica o la longitud de onda que más se adapte a su aplicación



especifica. Dispone de un sistema de fibra óptica que permite llevar el espectrómetro a la muestra. Para trabajar con este instrumento es preciso contar con el software de la casa OceanView, el cual permite el registro y visualización de los datos tomados.

A continuación, para más información, se muestra la tabla de especificaciones técnicas del espectrómetro:

Engineering Specifications	USB2000+
PHYSICAL	
Dimensions:	89.1 mm x 63.3 mm x 34.4 mm
Weight:	190 g
DETECTOR	
Detector:	Sony ILX511B (2048-element linear silicon CCD array)
Detector range:	200-1100 nm
Pixels:	2048 pixels
Pixel size:	14 μm x 200 μm
Pixel well depth:	~62,500 electrons
SPECTROSCOPIC	
Optical resolution:	~0.1-10.0 nm FWHM (configuration dependent)
Signal-to-noise ratio:	250:1 (full signal)
A/D resolution:	16 bit
Dark noise:	50 RMS counts
Dynamic range:	8.5×10^7 (system); 1300:1 for a single acquisition
Integration time:	1 ms – 65 seconds
Stray light:	<0.05% at 600 nm; <0.10% at 435 nm
Corrected linearity:	>99%



ELECTRONICS	
Power consumption:	250 mA @ 5 VDC
Inputs/Outputs:	Yes. Onboard digital user programmable GPIOs
Trigger modes:	4 modes
Strobe functions:	Yes
Gated delay feature:	Yes
Connector:	22-pin connector

Para la realización de la medida de la reflectancia se seguiría el siguiente procedimiento: desde el software de la casa OceanView, se abriría el programa SpectraSuite (Figura 4.2.2.3c) una vez dentro se configurarían todos los parámetros tales como el tiempo de integración, exploraciones al promedio o la anchura (nº de píxeles), entre otras.

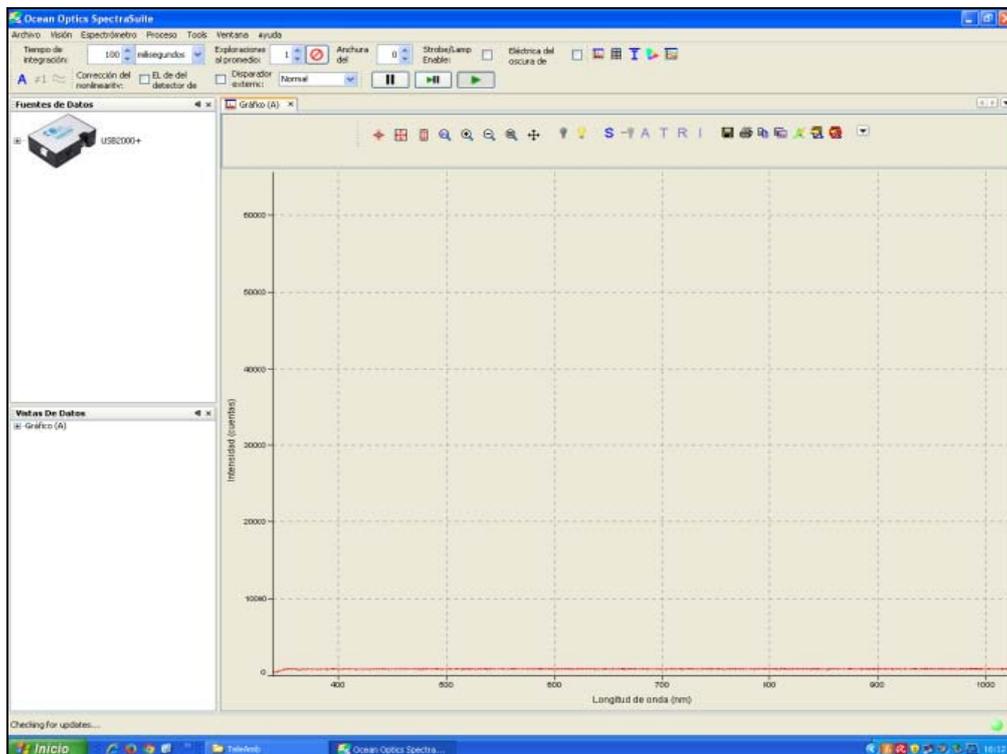
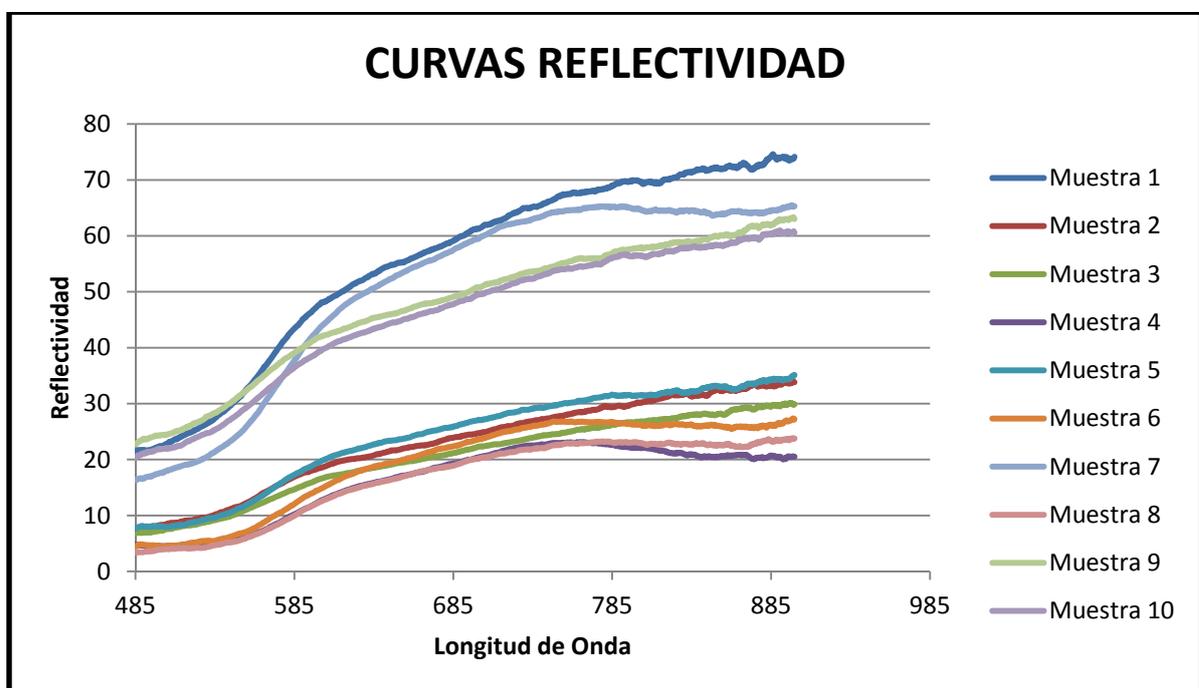


Figura 4.2.2.3c. Visualización Software SpectraSuite para medida Reflectancia

Los datos obtenidos referentes a la reflectividad serán volcados a un archivo de Excell, y de ahí se realizará las graficas que se adjuntaran en las fichas de cada muestra, especificados en el apartado ANEJOS.

En este caso a diferencia del apartado anterior, que no se tenían en cuenta las muestras 4 y 7, ya que éstas no se encontraban sobre la superficie, en el estudio espectroscópico se valorarán los resultados de todas las muestras. Como se definirá más detalladamente en los siguientes apartados, se puede diferenciar dos grupos de curvas (Figura 4.2.2.3d), un grupo perteneciente a la alta reflectividad y otro perteneciente a la baja reflectividad.



4.2.2.3d Resultado Estudio Espectroscópico del Conjunto de Muestras

Una vez se configuran todos los parámetros y previamente antes de realizar la medida de la reflectividad se realizará una primera medida sobre un blanco y un negro de referencia, de esta forma calibramos el espectrómetro. Posteriormente se realiza la medida de la reflectividad (Figura 4.2.2.3e) sobre cada una de las muestras, una vez que ya se tiene el espectrómetro configurado.

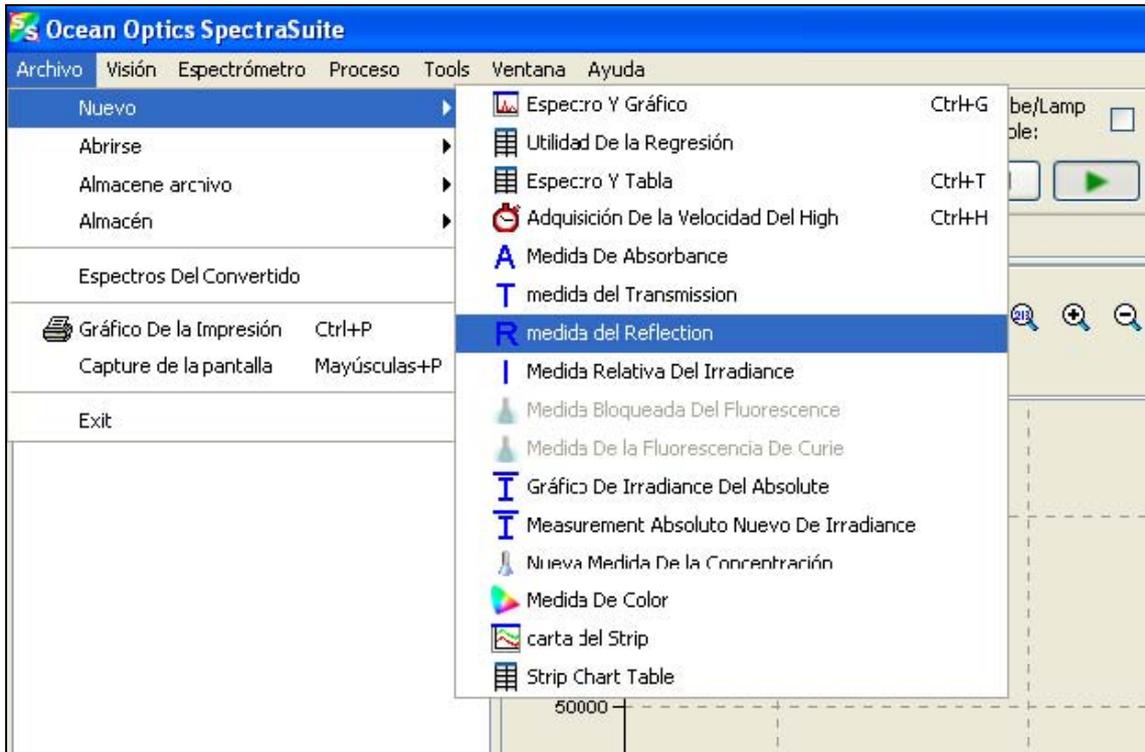


Figura 4.2.2.3e Medida de la Reflexión mediante SpectraSuite



Obtención Reflectividad de las muestras en campo



4.3 Trabajo de Campo

Para seleccionar la zona donde se realizaran las calicatas y tomar las muestras para el presente proyecto, inicialmente se realiza un estudio previo de la zona.

Para ello se dispone del Mapa Topográfico de Orgaz a 1:25000 y 1:50000 del Instituto Geográfico Nacional (1996) así como las fotografías aéreas de la zona. También se dispone del Mapa Geológico de la zona de Los Yébenes (685) a 1:50000, el cual incluye la zona de estudio en cuestión.

El proceso de selección de las calicatas consiste en la elección de los puntos de la forma más homogénea posible sobre una amplia extensión, seleccionando las muestras de estudio en función de los diferentes horizontes encontrados que representan cada una de las unidades morfológicas.

Además se realizan visitas “in situ” para estudiar cómo es la zona y realizar un análisis visual.

Uno de los primeros pasos en el estudio del suelo es su descripción. Normalmente para llevarlo a cabo, se recurre a rasgos morfológicos, porque son fácilmente observables y reflejan la acción de los procesos formadores del suelo.

El proceso morfológico puede describirse en campo directamente por medio de la vista y el tacto (macro morfología). La descripción y la interpretación de propiedades macro morfológicas nos permite proporcionar una metodología con mayor rapidez y facilidad a la hora de obtener información acerca del suelo.

Se realiza una breve descripción de cada horizonte donde se encuentran los perfiles, por ejemplo, si el terreno tuviera uso agrario se debe indicar la naturaleza de su uso, si se trata de tierras de labranza se indicará la alternativa de cultivos.

Para realizar el estudio morfológico en campo, es necesaria la apertura de una calicata, que consiste en una excavación de pequeña profundidad. La calicata debe tener tres paredes verticales bien diferenciadas para poder observar bien el perfil y el horizonte.

Al realizar el estudio se limpia cuidadosamente la zona donde se va a proceder a realizar la calicata con un cuchillo de monte o con alguna herramienta de similares características.



Se anotarán las coordenadas donde se realizó cada calicata así como su descripción siguiendo criterios estándar y una identificación para cada una de ellas.

Las muestras se guardan en bolsas de plástico debidamente identificadas con el número de perfil.

Nota: *Coordenadas UTM en huso 30 referidas al Elipsoide de Referencia WGS84*

MUESTRA 1

Horizonte Ck, en el cual se observan trazas de costra caliza desprendidas.

X = 424962m
Y = 4385296m
Altitud = 782 m

MUESTRA 2

Horizonte Ap (cultivo de viña) en el cual se observa cuarcita en un 40% de la superficie estudiada. También se tomó muestra de piedras.

X = 425061m
Y = 4385125m
Altitud = 783 m

MUESTRA 3

Horizonte A sobre un horizonte Bt

X = 424917m
Y = 4385302m
Altitud = 782m



MUESTRA 4

Horizonte Bt tomado en un mismo punto sobre un talud de carretera en la que se distinguen tres horizontes perfectamente diferenciados.

X= 425953m
Y = 4385238m
Altitud = 785m

MUESTRA 5

Horizonte Ap tomado en un mismo punto sobre un talud de carretera en la que se distinguen tres horizontes perfectamente diferenciados.

X = 425953m
Y = 4385238m
Altitud = 785m

MUESTRA 6

Horizonte Bt en el cual se observa una parte del horizonte Ck

X = 425299m
Y = 4385356m
Altitud = 781m

MUESTRA 7

Horizonte Ck tomado en un mismo punto sobre un talud de carretera en la que se distinguen tres horizontes perfectamente diferenciados.

X = 425953m
Y = 4385238m
Altitud = 785m



MUESTRA 8

Horizonte Bt en el cual se observan partes de piedra cuarcita así como partes de costra caliza.

X = 424626m
Y = 4385558m
Altitud = 782m

MUESTRA 9

Horizonte Ck en el que se observa costra caliza en superficie sobre un horizonte A

X = 425010m
Y = 4384874m
Altitud = 786m

MUESTRA 10

Horizonte Ap en el que se observa parte del horizonte Ck

X = 425097m
Y = 4385811m
Altitud = 776m

MUESTRA 11

Muestra de piedras tomadas sobre un horizonte Ap (olivos)

X = 425948m
Y = 4385234m
Altitud = 786m

MUESTRA 12

Muestra de piedras



X = 425509m
Y = 4385583m
Altitud = 780m

MUESTRA 13

Muestra de piedras sobre superficie cubierta en un 90% de costra caliza y en un 10% de cuarcita.

X = 425232m
Y = 4385821m
Altitud = 776m

4.4 Trabajo de Laboratorio

Los trabajos de Laboratorio así como el procesado de las muestras fueron realizados en el Laboratorio perteneciente al Departamento de Edafología en la E.T.S.I Agrónomos (Universidad Politécnica de Madrid).

4.4.1 Preparación de la Muestra. Tamizado

Cuando las muestras de suelo llegan al laboratorio tiene que ser dispuestas en unas condiciones específicas para su posterior tratado siguiendo cada una de las muestras los mismos estándares.

El primer paso será la preparación de la muestra el mismo día de su obtención, el cual consiste en la extensión de la muestra sobre bandejas de plástico en una capa de poco espesor y revolviéndola con una espátula con el fin de que paulatinamente toda ella quede en la parte superior de la misma.

Una vez realizado el paso anterior se dejará secar cada una de las muestras al aire en un espacio lo suficientemente bien ventilado para que la humedad de las muestras se equilibre con la humedad existente en el ambiente. Posteriormente se esperará un tiempo adecuado para que las muestras tengan las condiciones ideales para proceder con el tamizado.

El tamizado consiste el hacer pasar la totalidad de la muestra, una vez que ya se ha secado al aire, por un tamiz metálico de 2mm, de esta forma obtendremos los **elementos gruesos**, que no pasan por el tamiz de 2mm, y



por otro lado obtenemos las **tierra finas**, que son las que se obtiene una vez tamizada la muestra.

De cada muestra se anota el peso de los elementos gruesos así como el peso de la tierra finas. Una vez realizadas dichas anotaciones se vuelve a introducir las muestras obtenidas del tamizado en bolsas de plástico cerradas y debidamente identificadas con el nombre del perfil.

Esta operación nos permite abordar la mayoría de los análisis físicos y químicos de laboratorio que se realizan con la tierra fina obtenida, que es la parte más reactiva del suelo.

Para realizar el tamizado es necesario tener una serie de precauciones. Para evitar que pasen los elementos gruesos agregados difíciles de deshacer, es necesario utilizar una serie de herramientas como son rodillos de madera, mazas o tacos de goma, de esta forma se podrá romper suavemente los agregados, siempre teniendo mucha precaución de no romper los elementos gruesos ni los nódulos calizos porque falsearían la muestra. También es importante limpiar el material utilizado entre muestra y muestra para que estas no se contaminen.

La existencia de elementos gruesos puede favorecer las propiedades físicas del mismo, por ejemplo, si tiene un alto porcentaje de arcilla en la tierra fina. Por otro lado, un porcentaje elevado de elementos gruesos puede dificultar el laboreo del suelo y hacer perder valor agrícola a éste suelo. En algunos casos incluso se hace necesario recurrir a un despedregado.

MUESTRA 1

Se observan grandes y abundantes nódulos calizos.

- Elemento grueso: 337.43gr
- Tierra Fina: 331.77gr

MUESTRA 2

Se observan muy pocos nódulos de carbonato cálcico.

- Elemento grueso: 155.62gr
- Tierra Fina: 340gr



MUESTRA 3

Se observan nódulos de carbonato cálcico en la muestra.

- Elemento grueso: 267gr
- Tierra Fina: 360gr

MUESTRA 4

Se observa alguna cuarcita en horizonte Bt argilico. En la muestra se aprecia mucha arcilla, con presencia abundante de goethita.

- Elemento grueso: 231.83gr
- Tierra Fina: 228.25gr

MUESTRA 5

La existencia de nódulos calizos es casi nula

- Elemento grueso: 387.37gr
- Tierra Fina: 255.90gr

MUESTRA 6

La presencia de nódulos calizos es muy escasa, no existe apenas

- Elemento grueso: 61gr
- Tierra Fina: 373gr

MUESTRA 7

Abundantes elementos de nódulos calizos

- Elemento grueso: 185.44gr
- Tierra Fina: 428.97gr

MUESTRA 8

Se puede observar la presencia de nódulos calizos aunque no es muy abundante



- Elemento grueso: 66.98gr
- Tierra Fina: 688.24gr

MUESTRA 9

Se puede observar la presencia de materia orgánica en la muestra. También aparecen abundantes cuarcitas

- Elemento grueso: 297.75gr
- Tierra Fina: 365.58gr

MUESTRA 10

Abundante presencia de nódulos calizos en la totalidad de la muestra.

Horizonte A típico erosionado

- Elemento grueso: 257.02gr
- Tierra Fina: 291.81gr

4.4.2 Contenido de Humedad en la Muestra

Los análisis se realizan sobre la muestra seca al aire, para evitar transformaciones de la muestra si se somete a un secado más drástico.

El método se basa en eliminar la humedad contenida de la muestra seca al aire, mediante la desecación utilizando una estufa a una temperatura de 105°C durante un periodo que oscila entre las 24-48 horas, hasta obtener con ello un peso constante.

Tras secar la muestra en la estufa se deja enfriar en un desecador (Figura 4.4.2) y se pesa cada una de las muestras. Por diferencia se calcula el porcentaje de la humedad gravimétrica (masa de agua por masa de suelo).

En cada muestra se pesará también el recipiente utilizado y se deposita en él entre 5-10 gr de la muestra.



Figura 4.4.2 Desecador empleado en el tratamiento de las Muestras

Nº MUESTRA	Peso Recipiente	Recipiente + Muestra	Peso seco a 105°C	Humedad
1	2,49	18,8	18,39	2,57%
2	2,49	21,27	20,84	2,34%
3	2,51	19,75	19,35	2,37%
4	2,48	22,14	19,93	12,66%
5	2,5	21,25	20,97	1,51%
6	2,48	20,24	19,38	5,08%
7	2,77	18,45	17,52	6,30%
8	2,75	19,49	18,8	4,30%
9	2,75	18,08	17,82	1,72%
10	2,75	16,73	16,5	1,67%

4.4.3 Determinación de los Carbonatos

El primer paso para la determinación de los Carbonatos será llevar a cabo el Test del Clorhídrico.

Para ello se utiliza ácido clorhídrico (HCl) al 11%, se verterán unas gotas sobre la muestra en una placa de porcelana y se observa su efervescencia y a partir de esto podemos clasificarlo.



Si la efervescencia resulta positiva se procedera a calcular los carbonatos, por el contrario si la muestra sale negativa se omitirá esta prueba.

Esta prueba previa nos indica tanto la presencia de carbonatos como la cantidad que hay: a mayor efervescencia mayor cantidad de carbonatos.

MUESTRA	TEST CLOHIDRICO
1	Muy Positivo
2	Positivo
3	Positivo
4	Negativo
5	Negativo
6	Positivo (Puntual)
7	Muy Positivo
8	Positivo (Puntual)
9	Muy Positivo
10	Muy Positivo



El test del Clorhídrico es un examen rápido y eficaz que nos permite conocer el comportamiento del suelo, ya que de esta manera ahorramos tener que realizar la prueba de los carbonatos en muestras negativas.

Para poder determinar la cantidad de CaCO_3 en cada muestra, nos basamos en la reacción CaCO_3 con el HCl que produce CO_2 . El volumen de gas desprendido puede ser medido y comparado con los volúmenes desprendidos por cantidades conocidas de CaCO_3 puro.

Se pesara entre 0.50 y 1 gr de la muestra de suelo con una precisión de 2 decimales, es decir, el peso escogido depende de la cantidad de carbonatos que se estime que hay en la muestra: a mayor cantidad mayor peso.

Para llevar a cabo esta determinación se utiliza un instrumento denominado Calcímetro de Bernard o calcímetro volumétrico (Figura 4.4.3), que está formado por una columna graduada llena de una solución coloreada, que se une a un depósito móvil por una parte y a un erlenmeyer por la otra. La metodología a seguir es la siguiente: se pesa la muestra de suelo, se introduce la pesada en un erlenmeyer y se mete en él un tubito de plástico, el cual contiene HCl al 50% con mucho cuidado; después se enrasa el calcímetro, se ajusta en él el erlenmeyer y se vuelca el HCl mientras se agita, rápidamente se enrasa de nuevo el nivel del depósito móvil con el valor que marca la columna. Finalmente se anota el resultado.



Figura 4.4.3. Calcímetro de Bernard

Previamente se realiza un “blanco” de prueba, es decir, introducimos 0,1 gr de CaCO₃ puro en el erlenmeyer, con ello obtenemos 28cc³ de CO₂ que se desprende, de esta forma obtenemos un patrón para el cálculo posterior de CO₂ desprendido de cada muestra.



MUESTRA	CO ₂ desprendido	% CaCO ₃
1	63 cc ³	40,17 %
2	12 cc ³	3,66 %
3	24 cc ³	8,49 %
4	-	-
5	-	-
6	10 cc ³	3,27 %
7	54 cc ³	48,2 %



8	1 cc ³	0,36 %
9	49 cc ³	35,71 %
10	67 cc ³	45,15 %

4.4.4 Materia Orgánica

El carbono orgánico proviene de los seres vivos. Lo podemos encontrar formando distintos compuestos en el suelo que se pueden agrupar según su grado de transformación.

- Materia orgánica fresca (**MOF**); la componen constituyentes de bajo, medio y elevado peso molecular, desde los polisacáridos a la celulosa o la lignina.
- Materia orgánica del suelo o Humus (**MOS**); se refiere a la MOF pero en estado evolucionado y en equilibrio con los factores ecológicos del medio.

Esta materia orgánica del suelo (MOS) puede estar a su vez constituida por la materia orgánica humificada (MOH) y materia orgánica no humificada (MONH), esta última sería los restos de MOF que no han sido plenamente transformados por los organismos y todavía no han sido completamente incorporados.

Básicamente se distinguen dos métodos en la determinación de carbono en el suelo.

Los que se fundamentan en reacciones redox, oxidando por vía húmeda el carbono orgánico y los que se basan en la combustión seca, valorando después el dióxido de carbono liberado o la pérdida de peso de la muestra.

Mediante el método WALKLEY-BLACK (Carbono orgánico fácilmente oxidable), se trata de un método clásico para la determinación de la materia orgánica oxidable. Se basa en la oxidación del Carbono con exceso de dicromato potásico en presencia de ácido sulfúrico, con calentamiento espontaneo por dilución sulfúrico, valorando el exceso de dicromato por exceso de sal ferrosa.

Una vez obtenido el carbono orgánico, mediante el factor de conversión de Van Bemmelen, se calcula el porcentaje de materia orgánica.

El procedimiento consiste en pesar de 1-2 gr de cada muestra (para suelos que tienen < 1% de materia orgánica) e introducir en un erlenmeyer, a

continuación se introduce 10ml (exactamente medidos) de dicromato potásico y se mezcla agitando suavemente.

A la disolución anterior se añade lentamente 20ml de ácido sulfúrico concentrado, se remueve lentamente para conseguir el contacto íntimo del reactivo con el suelo. Se deja reposar aproximadamente 30 minutos. Simultáneamente se realiza un ensayo en blanco, es decir, sin suelo; pero con los reactivos de dicromato y sulfúrico. Sirve para valorar la sal de Mhor.

Seguidamente, una vez que se ha enfriado, se introduce unos 150ml de agua destilada, se dejará enfriar. Se añade justo antes de la valoración unas 15 gotas de ortofenantrolina. Finalmente la disolución se valorará con sulfato ferroso amónico (Sal de Mhor).

Inicialmente el color suele ser anaranjado, dependiendo del contenido en carbono de la muestra, y se desplaza hacia verde, debido al Cr^{+3} que se forma a partir del dicromato, y se desplaza hacia verde más oscuro a medida que avanza la valoración. En el punto final este color cambia bruscamente a pardo-rojizo, dando el viraje con una gota.



Erlenmeyer durante la valoración con sal de Mohr (sal ferrosa) en la determinación de MO



Este procedimiento no fue realizado en todas las muestras solo en la que se encuentran en el horizonte A o mientras un análisis visual las muestras que contienen restos de materia orgánica.

Los contenidos de materia orgánica oxidable aproximados para algunos ecosistemas son, para el horizonte superficial:

- Suelos de Pradera: 5-8%
- Suelos de Turberas (histosoles) : >40%
- Suelos de Secano-semiáridos: 1-2%
- Suelos de Regadío: 2-4%
- Suelos de zona Templada húmeda: 6-8%

MUESTRA	% CARBONO	% MO
1	1,033	1,77 %
2	0,824	1,42 %
3	0,846	1,46 %
4	-	-
5	0,568	0,98 %
6	-	-
7	-	-
8	-	-
9	0,651	1,12 %
10	0,818	1,40 %

4.4.5 Determinación de la Textura

La textura de un suelo expresa el porcentaje en peso, de los varios rangos de tamaños, ya sea arcilla, limo o arena, inferiores a 2mm de las partículas de minerales que contiene la tierra fina.

Este método se basa en la Ley de Stokes, que dice que una partícula esférica sólida cae en el seno de un medio líquido de densidad menor con velocidad uniforme ya que las fuerzas que intervienen (gravedad y resistencia) se igualan y esta velocidad es función del tamaño de la partícula.

Por tanto, el análisis de sedimentación se basa en la relación que existe entre la velocidad de caída de la partícula y su diámetro. A un tiempo dado, las partículas de mayor tamaño se habrán sedimentado y solo quedarán en



suspensión las de menor tamaño. Como las partículas son de tamaño irregular definimos un tamaño efectivo: diámetro de la esfera, cuya densidad y velocidad de sedimentación en un fluido dado, es igual al de la partícula.

El método que se va a utilizar es el del densímetro de BOUYOUCOS. Dicho densímetro está calibrado para determinar la densidad de la suspensión (g/L), la cual es función de la cantidad de partículas que todavía no se han sedimentado.

El procedimiento para la determinación de la distribución de tamaños de las partículas conlleva dos procedimientos importantes:

- Dispersar los agregados del suelo hasta lograr una completa separación de las partículas individuales, sin agregar.
- Determinar el peso de las partículas que tienen rangos de tamaño determinados utilizando un densímetro.

La forma de operar es la siguiente, se pesan 40gr de muestra seca al aire en un vaso de precipitados de 250ml.

Se añaden 100ml de la solución dispersante (Hexametáfosfato sódico) y se deja que se empape durante toda la noche. Se añade agua hasta los 200ml y se bate durante 30 minutos aproximadamente (Figura 4.4.5)



Figura 4.4.5. Mezcla de la muestra con la solución dispersante.

A continuación se transfiere el contenido del vaso de precipitado a una probeta de 1L colocando en la probeta un tamiz de malla de 0.2mm para separar la arena de mayor tamaño.

Posteriormente, dicha arena retenida en el tamiz y tras haber pasado por el baño de arena durante 24 horas para eliminar agua, se pesa para determinar el peso de arena gruesa ISSS (2000 μ m-200 μ m).

El volumen en suspensión se enrasa con agua hasta la marca de un litro. Análogamente se prepara un blanco en otra probeta que consiste en 100ml de la solución dispersante y llevado a la marca de 1L con agua. Se anotará la temperatura de cada probeta.

El contenido de la probeta, se enrasa, se agita y mediante un densímetro ASTM 152H con la escala Bouyoucos en g/L (Figura 4.4.5b), se toman distintas lecturas cada determinados tiempos (0.5, 1, 3, 10, 30, 90, 360, 480 y 600 minutos).



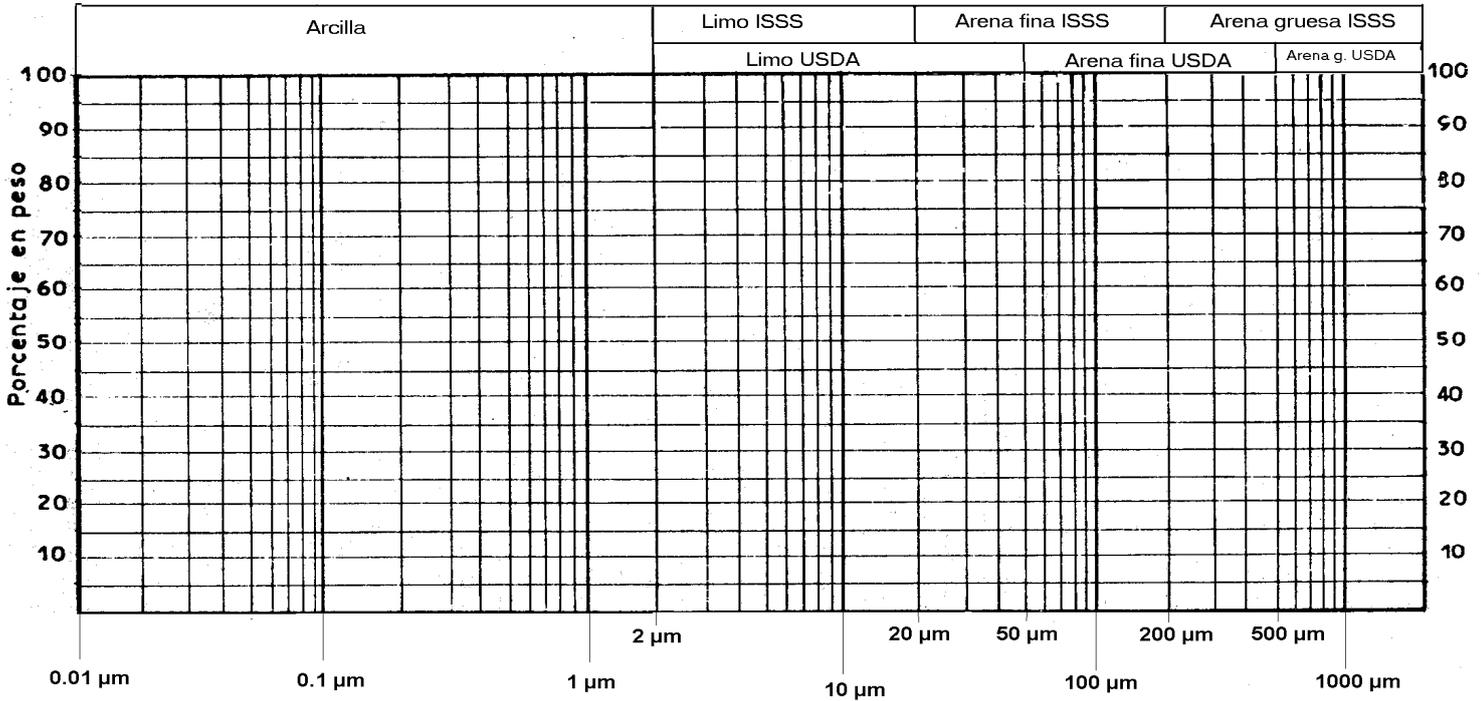
Figura 4.4.5b. Medida de la densidad cada cierto tiempo con escala de Bouyoucos

Después se representa gráficamente estos valores en papel semilogarítmico, y mediante la curva resultante se hallan los porcentajes de las fracciones de arena, limo y arcilla, según el sistema USDA. También mediante una representación triangular se determina la clase textural.

De esta forma una vez calculados los porcentajes correspondientes a las arenas (gruesas y finas), limos y arcillas tanto en ISSS como en sistema USDA, se podrá clasificar la muestra como tipo de clase textural, pero en este caso se realizará solo por el sistema USDA.

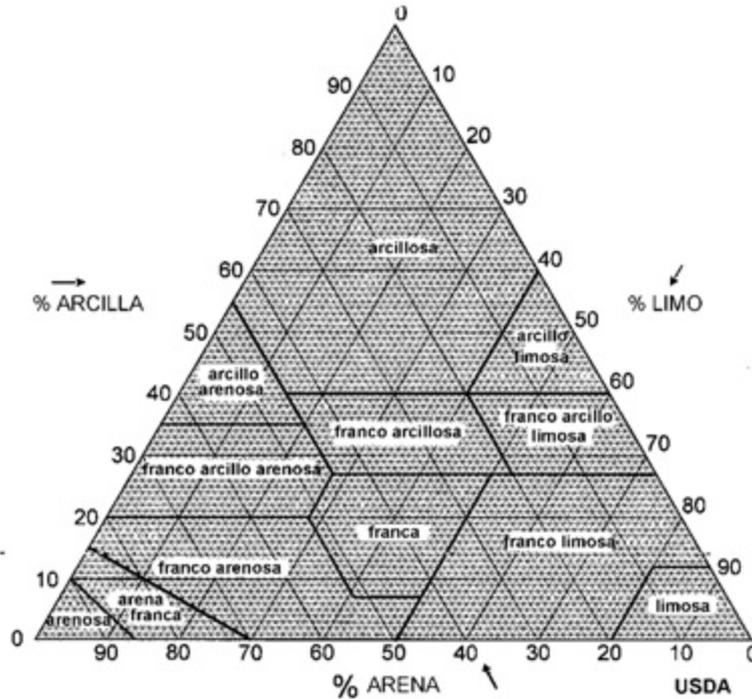


DIAGRAMA SEMILOGARÍTMICO



() Porcentaje en peso de partícula de diámetro menor o igual (μm)

CLASES TEXTURALES (USDA)





MUESTRA	CLASE TEXTURAL (USDA)
1	Franca
2	Franca
3	Franca
4	Arcillosa
5	Franco Arenosa
6	Arcillosa
7	Franco Arcillosa
8	Arcillosa
9	Franca
10	Franca

4.4.6 El Color

El color del suelo es una de las características morfológicas más importantes, es la más obvia y más fácil de determinar, permite identificar diferentes tipos de suelo, y además, es el atributo más relevante utilizado en la separación de horizontes y tiene una estrecha relación con los principales componentes sólidos de este recurso.

Los factores que influyen en la apreciación del color son la calidad y la intensidad de la luz, la rugosidad de la superficie reflectora y la humedad de la muestra.

El color es la expresión de diferentes procesos químicos, como puede ser, la meteorización de los materiales geológicos, los procesos de oxidoreducción básicamente sobre Fe y Mn, y la descomposición de la materia orgánica.

También influyen sobre la intensidad y condiciones bajo las cuales éstas reacciones químicas ocurren, como son, el clima, el medio biofísico y la geología.

La verdadera importancia del color radica en que, el suelo tiene atributos que de alguna forma se relacionan con el color, siendo éste diferente entre horizontes y entre distintas clases de suelo.

4.4.6.1 Tablas Munsell

La determinación del color del suelo, se realiza mediante la comparación de éste con los diferentes patrones de color establecidos en las tablas

Munsell. Las tablas Munsell son un sistema de notación de color basado en una serie de parámetros que nos permiten obtener una gama de colores que varían en función del matiz, brillo y croma.

Rojo, marrón, negro o gris, son algunos de los colores más característicos y descriptivos del suelo, pero no son exactos. Debido a esto, la comunidad científica decidió establecer como patrón de medición del color del suelo el sistema de notaciones de Color Munsell (Figura 4.4.6).



Figura 4.4.6. Paleta de Colores Munsell (H.Moreno, J.M Blanquer, S.Ibáñez Asensio, 2010)

El sistema de notación del color se basa en la determinación de 3 parámetros, como se indicó anteriormente:

- **Matiz:** Representa el color espectral puro correspondiente a una determinada longitud de onda, es decir, expresa la longitud de onda dominante en la radiación reflejada. Se consideran 5 colores principales y 5 complementarios (Figura 4.4.6b), que se representan por las iniciales de su nombre en inglés. Cada color se le asigna una graduación del 0 al 10, que corresponde a la banda del arco iris.

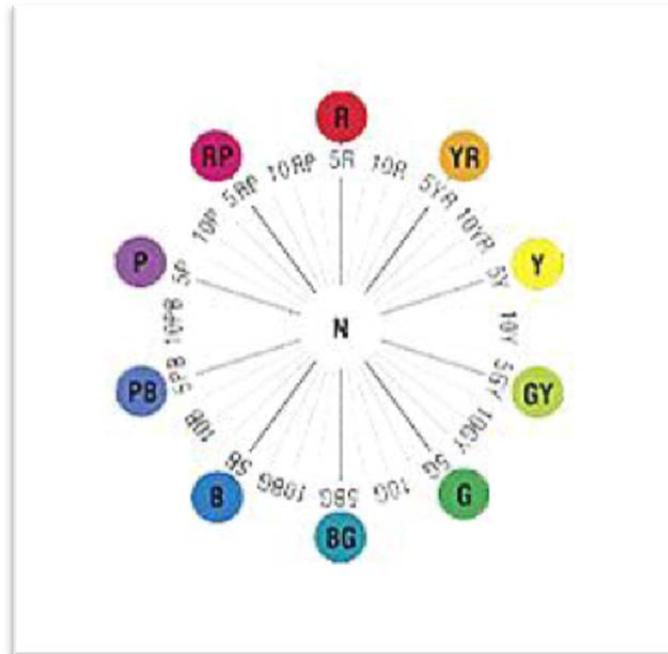


Figura 4.4.6b Iniciales de colores Principales y Complementarios (H.Moreno, J.M. Blanquer, S.Ibáñez Asensio, 2010)

- **Croma o Pureza:** Expresa la pureza relativa del color del matiz de que se trate. La pureza 0 correspondería al color gris, de modo que si la pureza se anula el matiz carece de importancia porque no existe.
- **Intensidad o brillo:** Expresa la proporción de luz reflejada y representa la amplitud de la radiación midiendo al fin y al cabo el grado de claridad u oscuridad. La pureza 0 representa el negro y el 10 el blanco.

El color se representará por tanto mediante éstos parámetros, tanto en seco como en húmedo, apoyándonos en las tablas de notaciones de color Munsell (Figura 4.4.6c).

Si observamos el suelo después de una lluvia, notaremos que aparece más oscuro que cuando está seco, el agua absorbe más cantidad de radiación que el aire al ser atravesada por la luz reflejada por el suelo. Además, los coloides, arcilla y materia orgánica, cambian de volumen al hidratarse y modifican también su absorción luminosa, razón por la cual no todos los suelos oscurecen de la misma forma (H. Moreno, J.M. Blanquer, S. Ibáñez Asensio, 2010).



Figura 4.4.6c. Tablas Munsell (Dto. Edafología, Ugr, 2010)

4.4.6.2 Sistema CIELab

Por otro lado, se midió también en laboratorio mediante el espectrómetro USB+2000, el color en el sistema CIE, que como se comentó anteriormente además de proporcionar los valores de la reflectividad, nos proporciona los parámetros del color.

El sistema CIELab (Figura 4.4.6.2), fue establecido por la Comisión Internacional de L'Éclairage (1978), se definen las magnitudes colorimétricas que se derivan matemáticamente de los valores triestímulo y pueden considerarse una respuesta de los observadores reales, estas respuestas se hacen depender del tipo de estímulo y del blanco de referencia.

Como blanco de referencia se toma el difusor perfecto cuyos valores triestímulo son los del iluminante utilizado y se designan X_n , Y_n , Z_n . Las ecuaciones que describen la dinámica del color a lo largo de las tres coordenadas, para cada uno de los puntos de cromaticidad antes mencionados son:

$$L^* = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 6 \text{ si } (Y/Y_n) > 0.008856$$

$$903.3 (Y/Y_n) \text{ si } (Y/Y_n) < 0.008856$$

$$a^* = 500 [(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}]$$

$$b^* = 200 [(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}]$$

La coordenada L^* recibe el nombre de claridad y puede tomar valores entre 0 y 100, para estímulos independientes toma siempre el valor de 100 y no sirve para su especificación.

Las coordenadas colorimétricas a^* y b^* forman un plano perpendicular a la claridad. La coordenada a^* define la desviación del punto acromático correspondiente a la claridad, hacia el rojo si $a^* > 0$.

Análogamente, la coordenada b^* define la desviación hacia el amarillo si $b^* > 0$, hacia el azul si $b^* < 0$ (J.M. Domínguez Soto, A. Román Gutiérrez, 2007).

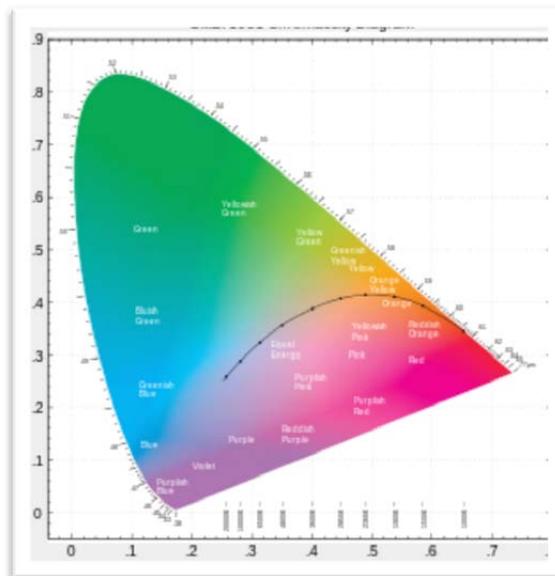


Figura 4.4.6.2. Representación Sistema CIELab (J. M. Domínguez Soto, A. Román Gutiérrez, 2007)

Este sistema se basa en las características de la reflectancia espectral del objeto y las características de respuesta espectral de la herramienta utilizada para el color.

5. CONCLUSIONES

Las conclusiones se basan en los procesos nombrados anteriormente, tanto en campo, laboratorio o mediante técnicas de teledetección, estas



operaciones, se han ido apoyando unas en otras hasta obtener los siguientes resultados.

El procesado de datos e imágenes de satélite es una herramienta útil para el estudio de la degradación de suelos.

La degradación de suelos representa un grave problema medioambiental y debe ser abordado mediante información espacial actualizada. Por degradación se entiende la pérdida total o parcial de la productividad, cuantitativa o cualitativamente, como consecuencia de procesos de erosión, contaminación o pérdida de nutrientes (FAO, 1984)

Para llegar a un análisis de alta fiabilidad y de esta manera conseguir una clasificación 100% fiable y contrastada, se comparará los resultados obtenidos de los valores digitales de las clases espectrales con los resultados obtenidos de la reflectividad mediante el espectrómetro USB+2000 así como una comparación con los procesos físicos y químicos de laboratorio.

Atendiendo a la siguiente gráfica (Figura 5) que engloba la totalidad de las muestras, se puede definir lo siguiente:

El comportamiento espectral del suelo es mucho más uniforme mostrando una curva espectral casi plana de carácter ascendente. La reflectividad espectral presenta mayores valores en los suelos de textura gruesa y sin materia orgánica. Los principales factores que influyen en la reflectividad son el color y el contenido de humedad. El suelo calcáreo indica una alta reflectividad en todas las bandas del visible (muestra colores claros), si nos fijamos en la gráfica es lo que ocurre con **Muestras** como la **9** y la **10**.

Las propiedades espectrales del suelo son relativamente simples, toda la energía se absorbe o refleja. Hay una cierta dependencia entre la reflectividad y el contenido en agua en suelo, cuanto mayor es el segundo mayor es el primero. Este aumento se ve interrumpido en aquellas regiones en las que el agua absorbe energía, por tanto cuanto mayor sea el contenido de agua en suelo, mayor va a ser la disminución en reflectividad en estas regiones.

Otros factores que afectan a la respuesta espectral del suelo son la textura, es decir, aumenta la reflectividad al aumentar el tamaño medio de las partículas, es el caso de los suelos arenosos ya que estos se ven más claros que los arcillosos.

El problema es que la textura afecta al contenido de humedad del suelo por lo que no resulta fácil diferenciar mediante imágenes satélite entre ambos factores. Es lo que ocurre si nos fijamos en la gráfica con las **Muestras 6 y 8**, aparecen con una alta reflectividad, pero sabemos por operaciones de laboratorio que se trata de muestras arcillosas. Los minerales de la arcilla tienen una caída, en reflectividad entorno a 2.2μ que no tienen las arenas.

De estas conclusiones se han excluido las **Muestras 4 y 7** ya que éstas no se encuentran sobre la superficie y por tanto no se puede definir el comportamiento espectral mediante imágenes satélite.

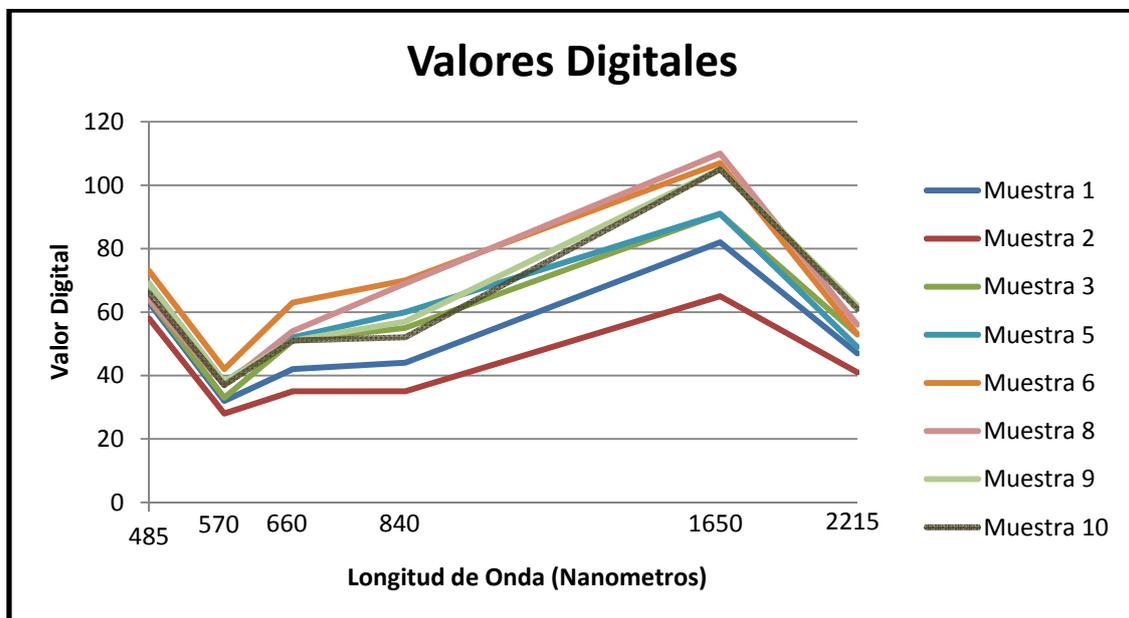


Figura 5. Representación Curva Digital de Valores Espectrales

Se debe indicar que la imagen utilizada fue tomada a mediados de Octubre, época en la que ha finalizado el verano y la suavización de la aridez climática, puede haber uniformado las condiciones de humedad, son argumentos que pueden enmascarar los caracteres de la humedad de los suelos.

La fuerte correlación que existe entre muchos de los factores que afectan a la respuesta espectral del suelo, imposibilita el que pueda sacarse conclusiones claras del análisis de una imagen de una zona cuyas características edáficas se desconocen. Aunque se puede comprobar que las

áreas de suelo desnudo de una misma imagen siguen una serie de pautas reconocibles.

Por tanto, **el estudio de imágenes satélite** nos sirve para comparar los resultados obtenidos en laboratorio y, de esta forma, confirmar y mejorar los resultados obtenidos por otras fuentes.

Seguidamente nos centramos en los resultados obtenidos de la Curva de la Reflectividad (Figura 5.1) correspondiente a la fracción fina, es decir, aquella porción de muestra que es inferior a 2mm.

La curva de la reflectividad se obtiene mediante el espectrómetro citado anteriormente USB+2000. Todas las muestras fueron medidas en las mismas condiciones ambientales así como luminosas.

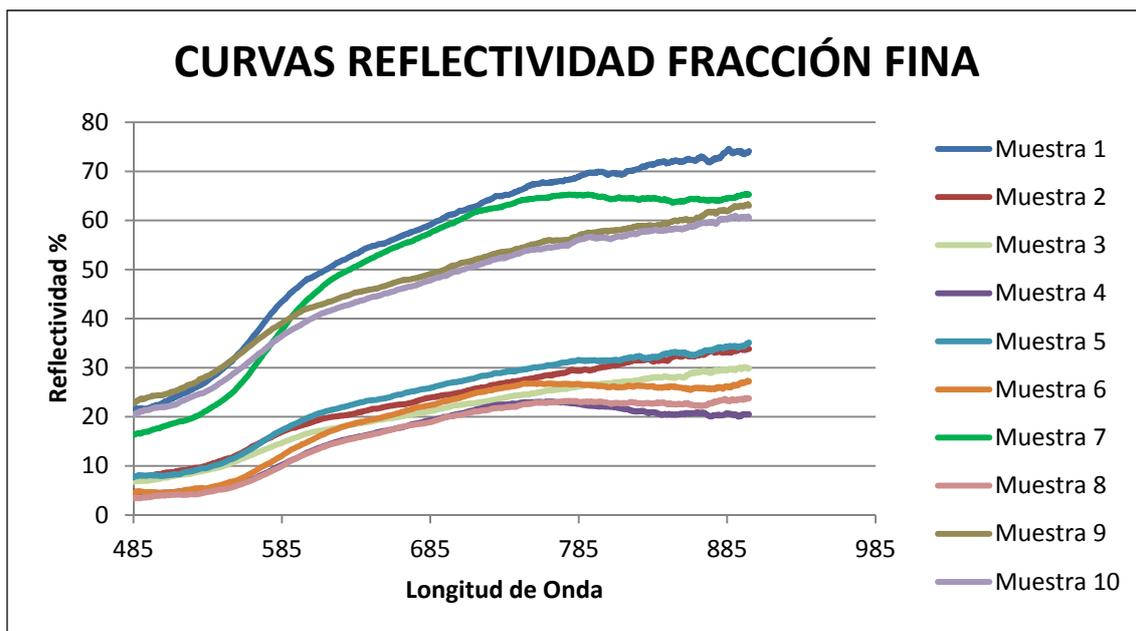


Figura 5.1. Curvas Reflectividad correspondiente a la Fracción Fina

A la vista de la grafica (Figura 5.1), observamos dos grupos de curvas claramente diferenciables, estos grupos son los correspondientes a la Alta Reflectividad y a la Baja Reflectividad.



Alta Reflectividad

El grupo de Alta Reflectividad está formado por cuatro muestras perfectamente definidas, éstas, se encuentran en una horquilla de reflectividad que va desde 15 a 75 % aproximadamente, estas muestras son 1, 7, 9 y 10.

- **Muestra 1:** Tiene una Alta Reflectividad, en él se encuentra poca materia orgánica así como un bajo contenido en hierro. Estos indicativos nos hacen pensar en que previsiblemente existe poca arcilla. Concluyendo que se trata de un suelo erosionado.
- **Muestra 7:** Tiene una Alta Reflectividad, en esta muestra se aprecia poca arcilla aunque contiene una cantidad de hierro a considerar. Se trata de un horizonte Ck.
- **Muestra 9:** Tiene una reflectividad menor que las dos muestras anteriores. Tiene poca arcilla y poco hierro. Aunque se puede concluir que tiene cierta erosión, ésta es menor que las dos muestras anteriores.
- **Muestra 10:** Análoga a la muestra 9, de hecho es muy similar. Tiene poca arcilla y carece de hierro. Tiene una ligera erosión.

Baja Reflectividad

El grupo de Baja Reflectividad está formado por un número de seis muestras, el rango de reflectividad para este grupo está comprendido entre 5 y 35 % aproximadamente. En él encontramos las muestras 2, 3, 4, 5, 6 y 8.

- **Muestra 2:** Presenta una baja reflectividad debido a la materia orgánica que en él encontramos. La materia orgánica oscurece la muestra y nos da esos valores de reflectividad. Además existe poco hierro así como poca arcilla.
- **Muestra 3:** Presenta una baja reflectividad, la oscuridad de la muestra no se debe a la existencia de arcilla sino a la presencia de



- materia orgánica (1, 46%), de hecho es una de las muestras que más cantidad de materia orgánica presenta.
- **Muestra 4:** Muestra con una baja reflectividad. Presenta un alto contenido en arcilla, tanto como un 75%. Si observamos la grafica podemos apreciar “el hombro” característico de este tipo de suelos arcillosos.
 - **Muestra 5:** Presenta baja reflectividad debido a la existencia de la materia orgánica que en él se encuentra. Muestra con bajo contenido de hierro y arcilla.
 - **Muestra 6:** Presenta una baja reflectividad ya que en él se encuentra una cantidad considerable de hierro así como bastante arcilla 61%, hecho por el cual oscurece la muestra. Se encuentra poco erosionado.
 - **Muestra 8:** Muestra muy similar a la anterior (Muestra 6), con un contenido de arcilla significativo superior al 50% se considera una muestra arcillosa.

Influencia del Carbonato Cálcico (CaCO₃)

Si nos fijamos en el primer grupo correspondiente a la alta reflectividad, como son las muestras 1, 7, 9 y 10, podemos concluir que esto es debido a su alto contenido en carbonato cálcico.

A mayor concentración de carbonato cálcico existe una mayor reflectividad. No se puede asegurar que este hecho siempre sea así ya que hay que considerar la concentración o contenido en arcilla, hierro o materia orgánica.

Partimos de considerar que a mayor concentración de carbonato cálcico existe una mayor erosión, y esto es debido a la pérdida del horizonte A en el cual se concentra la mayor parte de materia orgánica y parcialmente a la pérdida de horizonte B rico en arcilla.

En el primer grupo perteneciente a la alta reflectividad comprobamos que existe una media de concentración de 42,30% en carbonato cálcico, mientras que en segundo grupo perteneciente a la baja reflectividad la media de concentración en carbonato cálcico desciende a 2,63%. Esto nos demuestra que existe una diferencia de casi 40%, diferencia más que considerable para tener en cuenta en el estudio.



Todos aquellos suelos que tengan concentraciones elevadas de carbonato cálcico podemos suponer que son suelos erosionados o suelos en los que se entiende que se ha perdido parte del horizonte A o incluso del B.

Influencia del Hierro

En este caso la influencia del hierro está presente en las graficas de la curva de la reflectividad que se muestran por “un hombro” que aparece en un máximo de 670 nanómetros y un mínimo de 900 nanómetros aproximadamente de longitud de onda. La banda espectral del rojo corresponde a esta franja.

Este “hombro” se puede apreciar en muestras como la 4, 6, 8 o incluso la 7 que aunque tiene una elevada concentración de carbonato cálcico también tiene una concentración importante de hierro.

El contenido en hierro suele estar asociado a un alto contenido en arcilla y por tanto una baja erosión así como una baja reflectividad, por ello la muestra 7 es una excepción.

La presencia de hierro nos indica una alta meteorización de las rocas, baja fertilidad o incluso la presencia de pH ácidos.

Influencia de Materia Orgánica

La cantidad de materia orgánica va asociada a una baja reflectividad o en cualquier caso la disminuye.

La materia orgánica da al suelo ese color “negro” característico ya que el humus se descompone y proporciona esa coloración. Se trata de una buena estructuración del suelo y por tanto una disminución en los procesos erosivos.

Por ejemplo muestras como la 2, 3 o 5 que tienen una baja reflectividad en parte es por el alto contenido en materia orgánica, ya que estas muestras presentan las mayores concentraciones. Además su contenido en carbonato cálcico es mínimo.

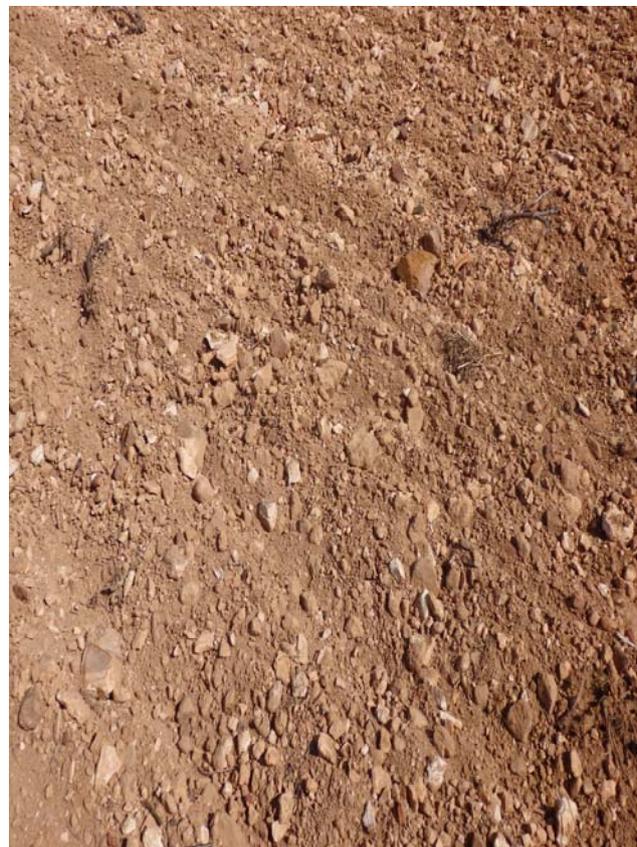
Por tanto la influencia de materia orgánica oscurece las muestras y por tanto nos proporciona una baja reflectividad.

6. ANEJOS. FICHAS DE LAS MUESTRA

MUESTRA 1

Breve Descripción: Horizonte Ck, abundantes trazas de costra caliza desprendidas. Gran presencia de nódulos calizos
 Fecha: 17/03/2014

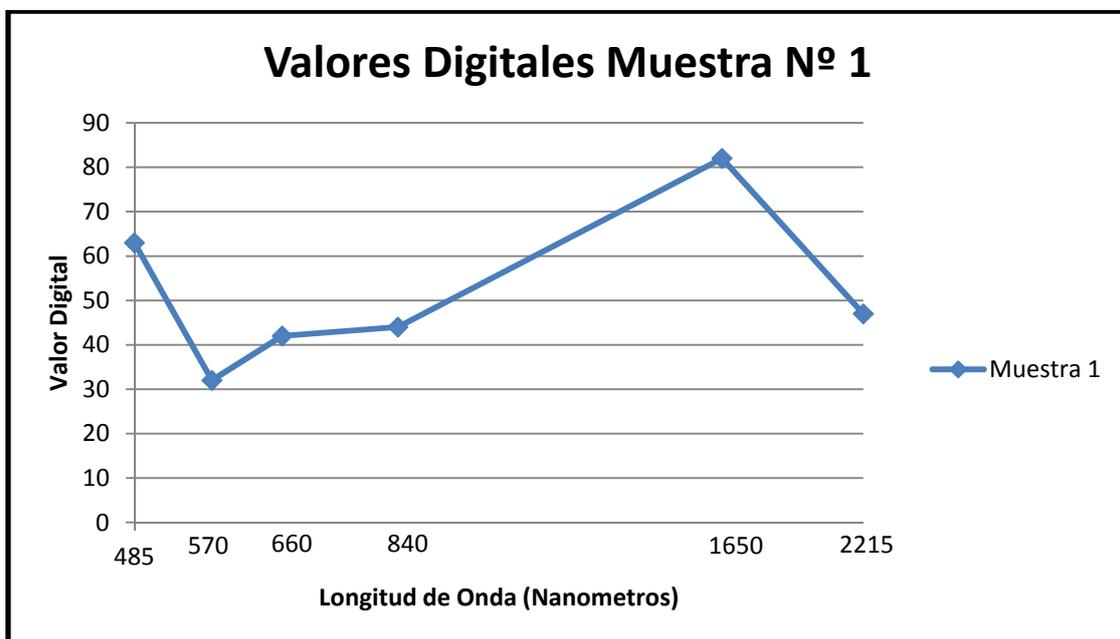
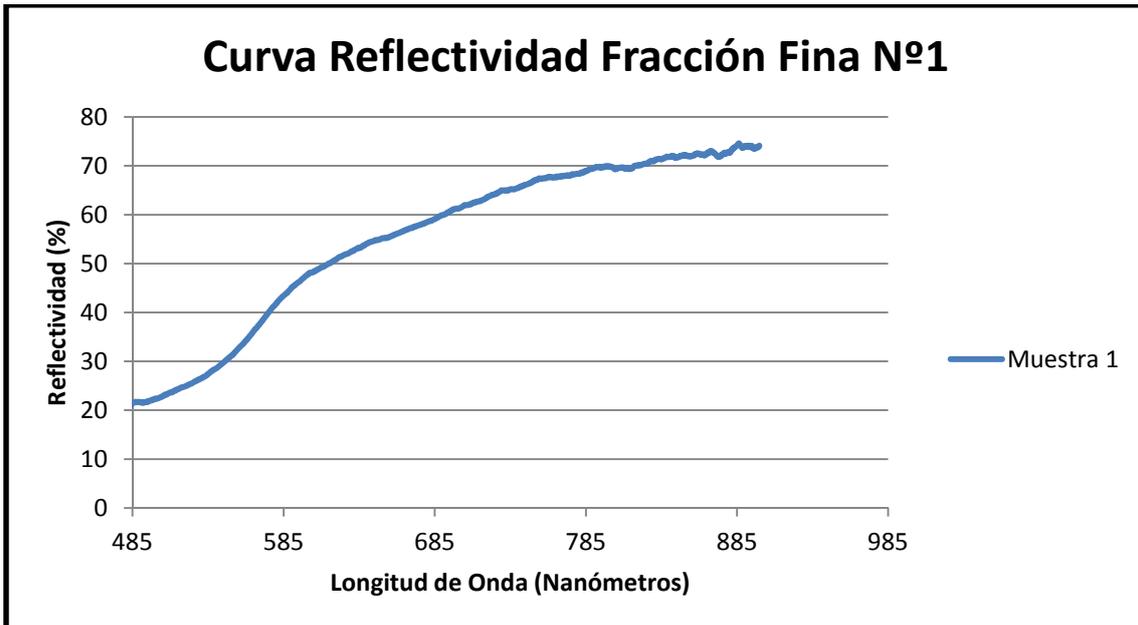
COORDENADAS	X	Y	ALTITUD
		424962 m	4385296 m



COLOR	MUNSELL		CIE		
	Húmedo	Seco	L*	a*	b*
	Marrón Oscuro 7,5 YR 3,5/4	Marrón Fuerte 7,5 YR 5/5	58,7	17,4	26,0



DETERMINACIONES			
FÍSICAS	Tamizado		
	Elementos Grosos	Fracción Fina	
	337,43 gr	331,77 gr	
	Humedad		
	2,56%		
	Textura		
		ISSS	USDA
	Arena Gruesa	(0,2 - 2 mm) 25%	(0,2 - 2 mm) 14%
	Arena Fina	(0,02 - 0,2 mm) 37%	(0,05 - 0,2 mm) 31%
	Limo	(0,002 - 0,02 mm) 19%	(0,002 - 0,05 mm) 36%
	Arcilla	(< 0,002 mm) 19%	(< 0,002 mm) 19%
	Clase Textural (USDA)	Franca	
	QUÍMICAS	Carbonatos	
		CaCO_3 (gr)	CaCO_3 (%)
0,225		40,17	
Materia Orgánica			
1,77%			



PERFIL 2

Breve Descripción: Encontramos un horizonte Ap localizado en viñedos, con presencia de cuarcita en un 40%. Existe presencia de Materia orgánica en la muestra.

Fecha: 17/03/2014

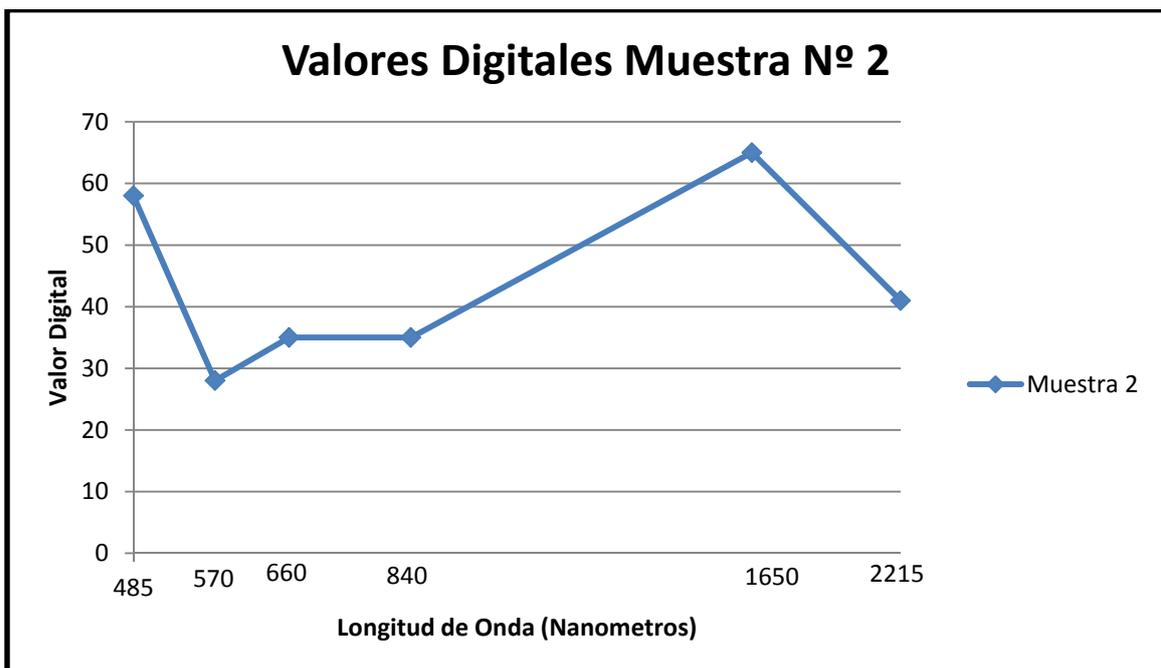
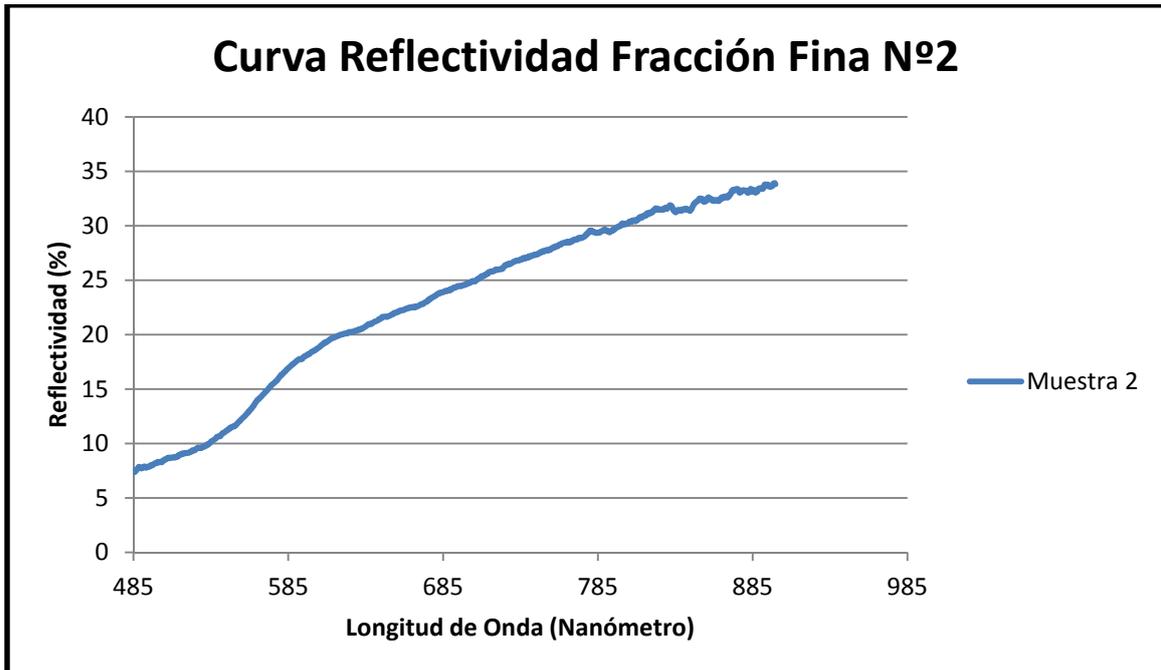
COORDENADAS	X	Y	ALTITUD
		425061 m	4385125 m



COLOR	MUNSELL		CIE		
	Húmedo	Seco	L*	a*	b*
	Pardo Oscuro 7,5 YR 3,5/2	Marrón Fuerte 7,5 YR 4/5	48,1	15,6	23,1



DETERMINACIONES			
FÍSICAS	Tamizado		
	Elementos Grosos	Fracción Fina	
	155,62 gr	340 gr	
	Humedad		
	2,34%		
	Textura		
		ISSS	USDA
	Arena Gruesa	(0,2 - 2 mm) 12,90%	(0,2 - 2 mm) 11%
	Arena Fina	(0,02 - 0,2 mm) 46%	(0,05 - 0,2 mm) 34%
	Limo	(0,002 - 0,02 mm) 22%	(0,002 - 0,05 mm) 36%
	Arcilla	(< 0,002 mm) 19%	(< 0,002 mm) 19%
	Clase Textural (USDA)	Franca	
	QUÍMICAS	Carbonatos	
CaCO_3 (gr)		CaCO_3 (%)	
0,0428		3,66	
Materia Orgánica			
1,42%			



PERFIL 3

Breve Descripción: Se trata de un horizonte Ah sobre un horizonte Bt. Se aprecian nódulos calizos en la muestra.

Fecha: 17/03/2014

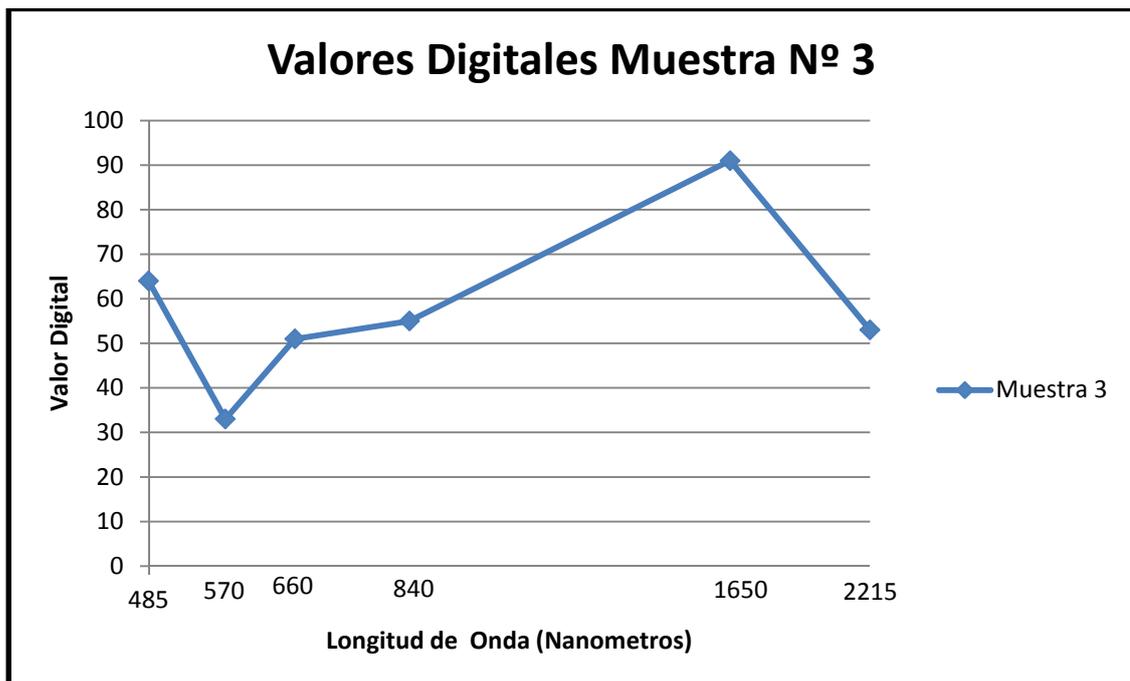
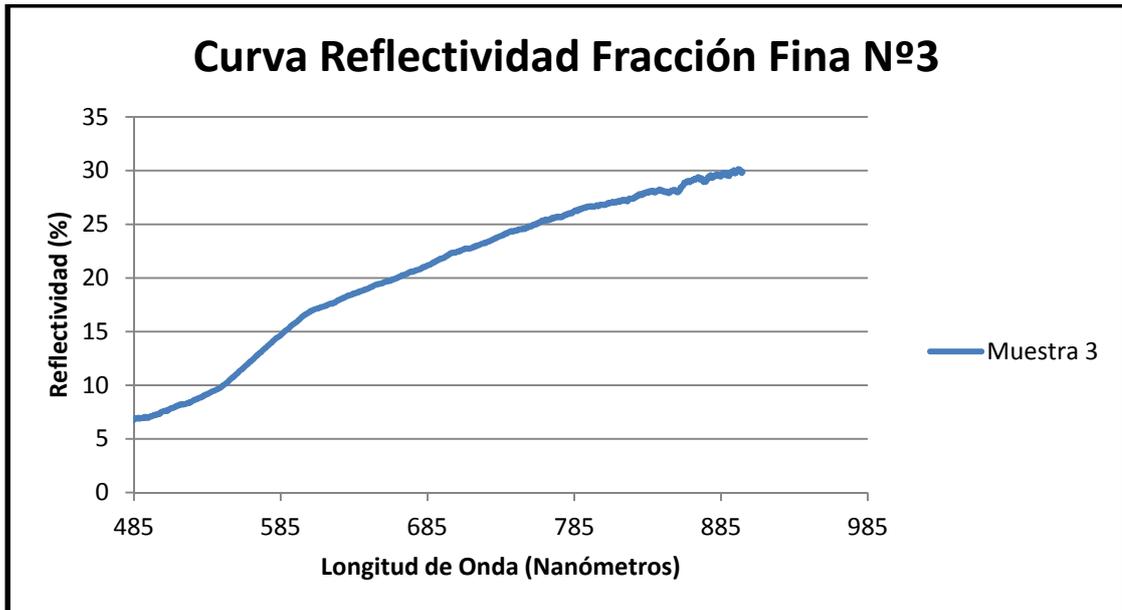
COORDENADAS	X	Y	ALTITUD
		424917 m	4385302 m



COLOR	MUNSELL		CIE		
	Húmedo	Seco	L*	a*	b*
	Marrón Oscuro	Marrón	43,1	13,7	21,6
	7,5 YR 3/3	7,5 YR 4,5/5			



DETERMINACIONES			
FÍSICAS	Tamizado		
	Elementos Gruesos	Fracción Fina	
	267 gr	360 gr	
	Humedad		
	2,37%		
	Textura		
		ISSS	USDA
	Arena Gruesa	(0,2 - 2 mm) 13%	(0,2 - 2 mm) 6%
	Arena Fina	(0,02 - 0,2 mm) 53%	(0,05 - 0,2 mm) 42%
	Limo	(0,002 - 0,02 mm) 18%	(0,002 - 0,05 mm) 36%
	Arcilla	(< 0,002 mm) 16%	(< 0,002 mm) 16%
	Clase Textural (USDA)	Franca	
	QUÍMICAS	Carbonatos	
CaCO_3 (gr)		CaCO_3 (%)	
0,0857		8,49	
Materia Orgánica			
1,46%			



PERFIL 4

Breve Descripción: Se trata de un horizonte Bt argílico con gran contenido de arcilla, en la cual encontramos algunas cuarcitas.

Fecha: 17/03/2014

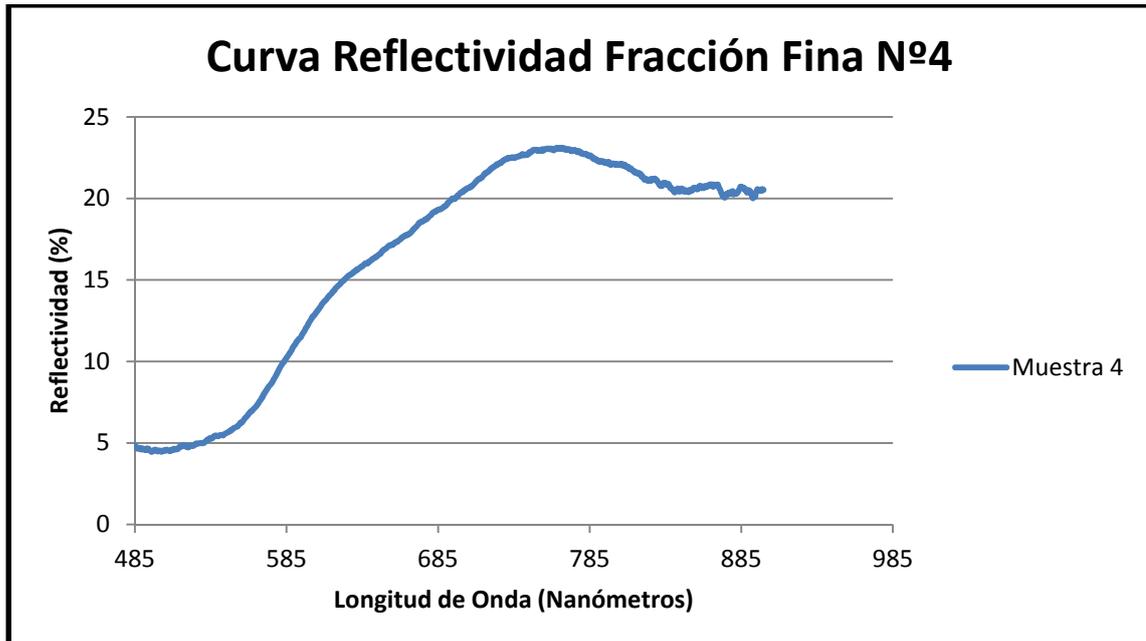
COORDENADAS	X	Y	ALTITUD
	425953 m	4385238 m	785 m



COLOR	MUNSELL		CIE		
	Húmedo	Seco	L*	a*	b*
	Rojo Intenso	Rojizo	36,3	22,4	25,8
	2,5 YR 3,5/6	2,5 YR 4/6			



DETERMINACIONES			
FÍSICAS	Tamizado		
	Elementos Guesos	Fracción Fina	
	231,83 gr	228,25 gr	
	Humedad		
	12,66%		
	Textura		
		ISSS	USDA
	Arena Gruesa	(0,2 - 2 mm) 2,8%	(0,2 - 2 mm) 2%
	Arena Fina	(0,02 - 0,2 mm) 18,2%	(0,05 - 0,2 mm) 14%
	Limo	(0,002 - 0,02 mm) 4%	(0,002 - 0,05 mm) 8%
	Arcilla	(< 0,002 mm) 76%	(< 0,002 mm) 76%
	Clase Textural (USDA)	Arcillosa	
	QUÍMICAS	Carbonatos	
		CaCO_3 (gr)	CaCO_3 (%)
Negativo		Negativo	
Materia Orgánica			
Negativo			



Nota: No se incluye valores Digitales de las Clases Espectrales ya que como se muestra en la fotografía, se trata de una muestra correspondiente a un talud de carretera y no fue tomada en superficie, luego no es posible su análisis mediante imágenes de satélite.

PERFIL 5

Breve Descripción: Se trata de un horizonte Ap, en la cual no se aprecia existencia de nódulos de Carbonato Cálcico.

Fecha: 17/03/2014

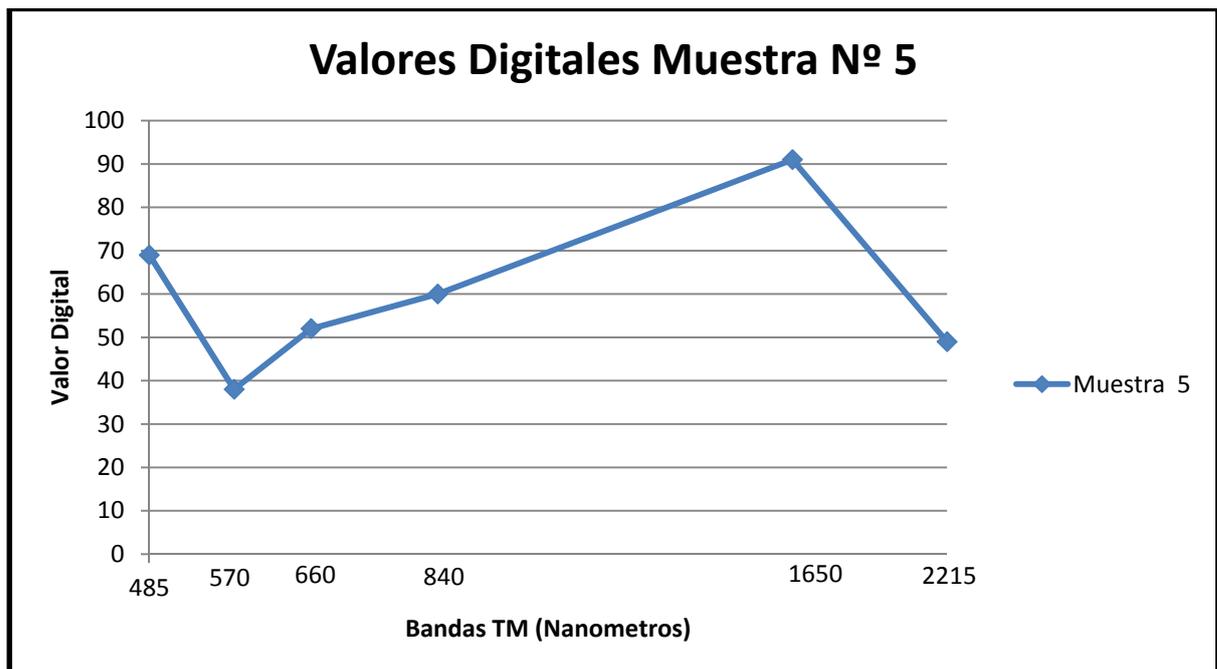
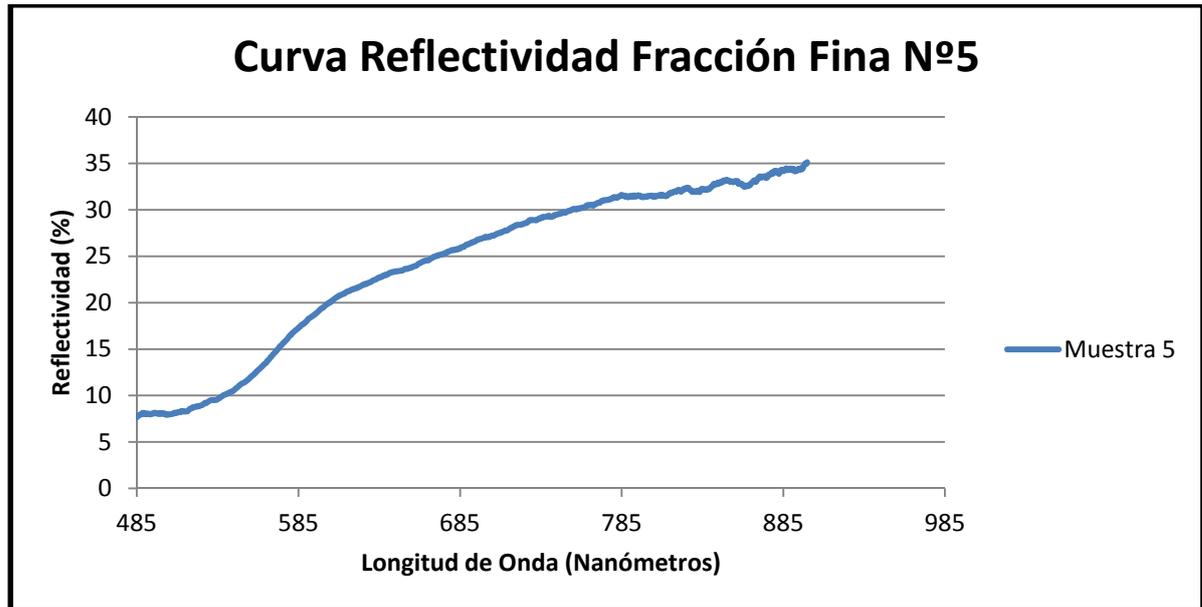
COORDENADAS	X	Y	ALTITUD
	425953 m	4385238 m	785 m



COLOR	MUNSELL		CIE		
	Húmedo	Seco	L*	a*	b*
	Marrón Rojizo	Rojizo Brillante	34,0	14,1	24,9
	5 YR 3,5/4	5 YR 5/7			



DETERMINACIONES			
FÍSICAS	Tamizado		
	Elementos Gruesos	Fracción Fina	
	387,37 gr	255,90 gr	
	Humedad		
	1,51%		
	Textura		
		ISSS	USDA
	Arena Gruesa	(0,2 - 2 mm) 9,7%	(0,2 - 2 mm) 5%
	Arena Fina	(0,02 - 0,2 mm) 57,3%	(0,05 - 0,2 mm) 51%
	Limo	(0,002 - 0,02 mm) 17%	(0,002 - 0,05 mm) 28%
	Arcilla	(<0,002 mm) 16%	(<0,002 mm) 16%
	Clase Textural (USDA)	Franco Arenosa	
	QUÍMICAS	Carbonatos	
		CaCO_3 (gr)	CaCO_3 (%)
Negativo		Negativo	
Materia Orgánica			
0,98%			



PERFIL 6

Breve Descripción: En esta muestra encontramos un horizonte Bt con parte de horizonte Ck, a la vista se observan pocos nódulos de Carbonato Cálculo.

Fecha: 17/03/2014

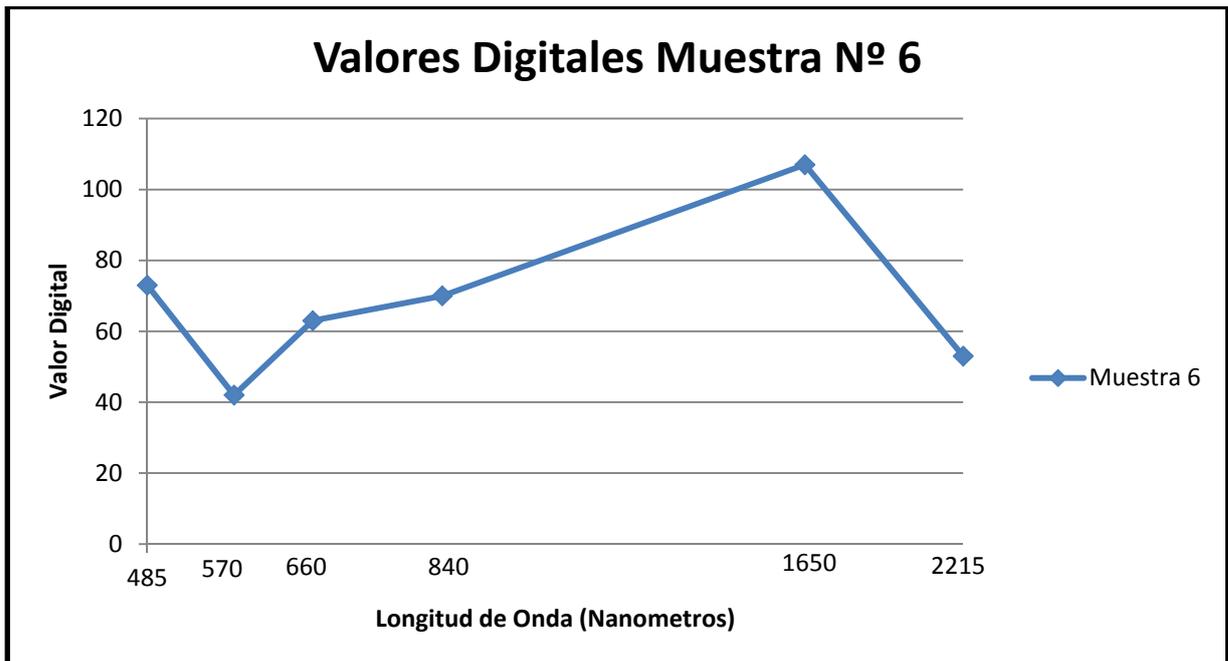
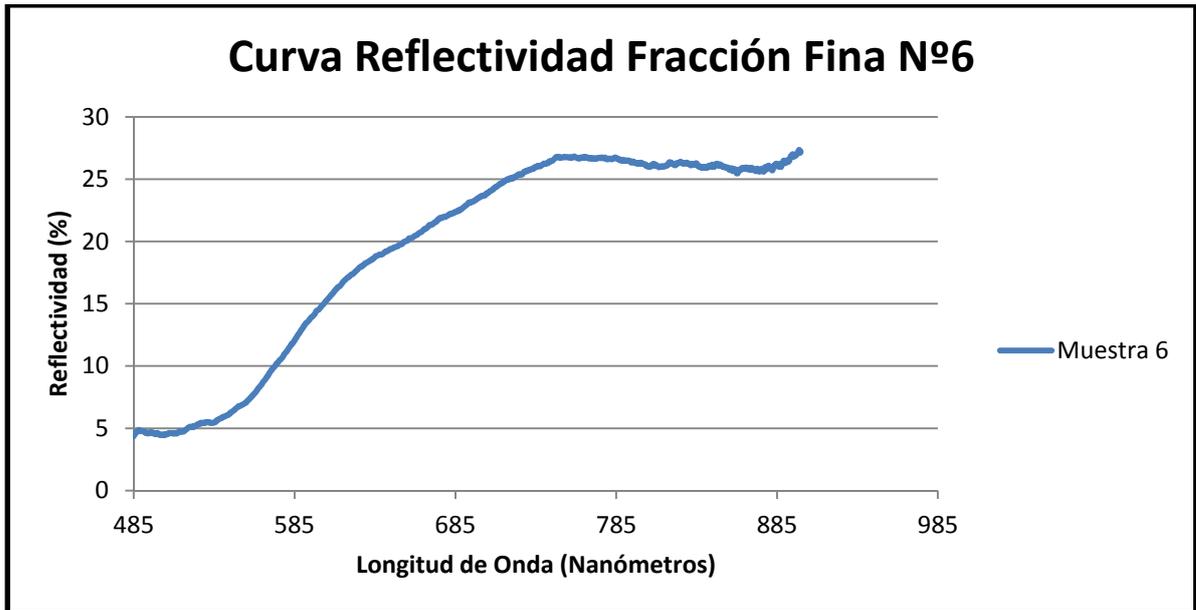
COORDENADAS	X	Y	ALTITUD
	425299 m	4385356 m	781 m



COLOR	MUNSELL		CIE		
	Húmedo	Seco	L*	a*	b*
	Rojizo Oscuro	Rojizo	34,4	19,7	28,4
2,5 YR 3,5/6	2,5 YR 4,5/6				



DETERMINACIONES			
FÍSICAS	Tamizado		
	Elementos Grosos	Fracción Fina	
	61 gr	373 gr	
	Humedad		
	5,08%		
	Textura		
		ISSS	USDA
	Arena Gruesa	(0,2 - 2 mm) 7,1%	(0,2 - 2 mm) 4%
	Arena Fina	(0,02 - 0,2 mm) 23,9%	(0,05 - 0,2 mm) 20%
	Limo	(0,002 - 0,02 mm) 8%	(0,002 - 0,05 mm) 15%
	Arcilla	(< 0,002 mm) 61%	(< 0,002 mm) 61%
	Clase Textural (USDA)	Arcillosa	
	QUÍMICAS	Carbonatos	
		CaCO_3 (gr)	CaCO_3 (%)
0,0357		3,27	
Materia Orgánica			
Negativo			



PERFIL 7

Breve Descripción: Encontramos un horizonte Ck, el cual tiene abundantes nódulos de Carbonato Cálculo.

Fecha: 17/03/2014

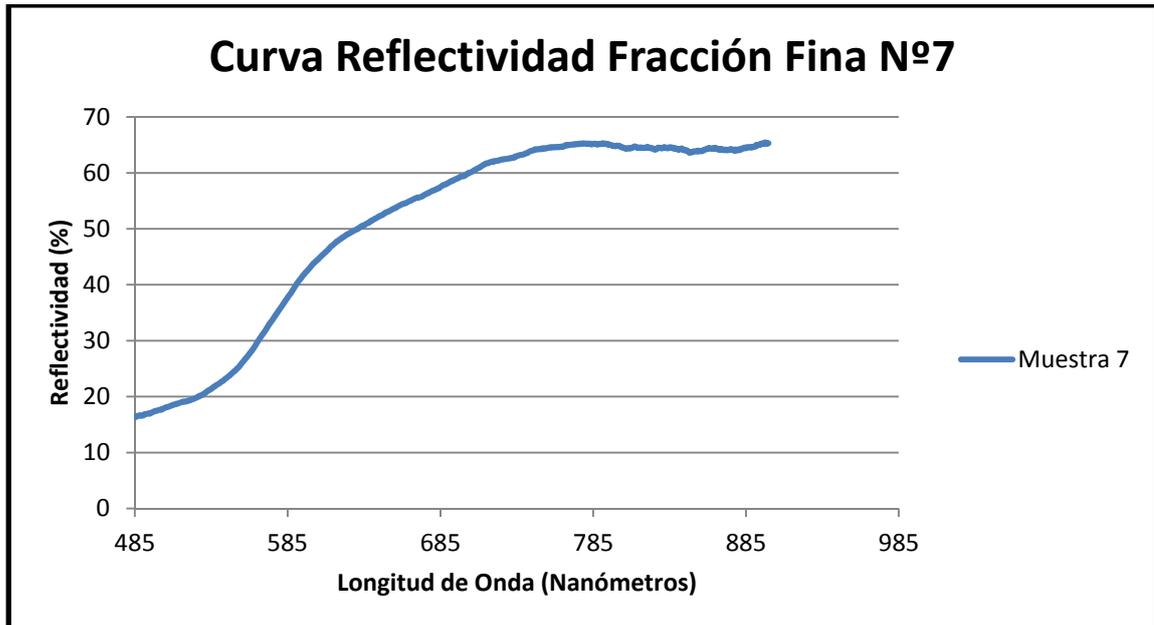
COORDENADAS	X	Y	ALTITUD
	425953 m	4385238 m	785 m



COLOR	MUNSELL		CIE		
	Húmedo	Seco	L*	a*	b*
	Marrón	Anaranjado	59,5	19,4	29,2
	2,5 YR 4,5/8	5YR 6,5/6			



DETERMINACIONES			
FÍSICAS	Tamizado		
	Elementos Gruesos	Fracción Fina	
	185,44 gr	428,97 gr	
	Humedad		
	6,30%		
	Textura		
		ISSS	USDA
	Arena Gruesa	(0,2 - 2 mm) 8%	(0,2 - 2 mm) 3%
	Arena Fina	(0,02 - 0,2 mm) 19%	(0,05 - 0,2 mm) 18%
	Limo	(0,002 - 0,02 mm) 34%	(0,002 - 0,05 mm) 40%
	Arcilla	(< 0,002 mm) 39%	(< 0,002 mm) 39%
	Clase Textural (USDA)	Franco Arcillosa	
	QUÍMICAS	Carbonatos	
		CaCO_3 (gr)	CaCO_3 (%)
0,1928		48,2	
Materia Orgánica			
Negativo			



Nota: No se incluye valores Digitales de las Clases Espectrales ya que como se muestra en la fotografía, se trata de una muestra correspondiente a un talud de carretera y no fue tomada en superficie, luego no es posible su análisis mediante imágenes de satélite.



PERFIL 8

Breve Descripción: En esta muestra encontramos un horizonte Bt con abundante cuarcita y costra caliza desprendida. Se observa algo de nódulos de Carbonato Cálcico.

Fecha: 17/03/2014

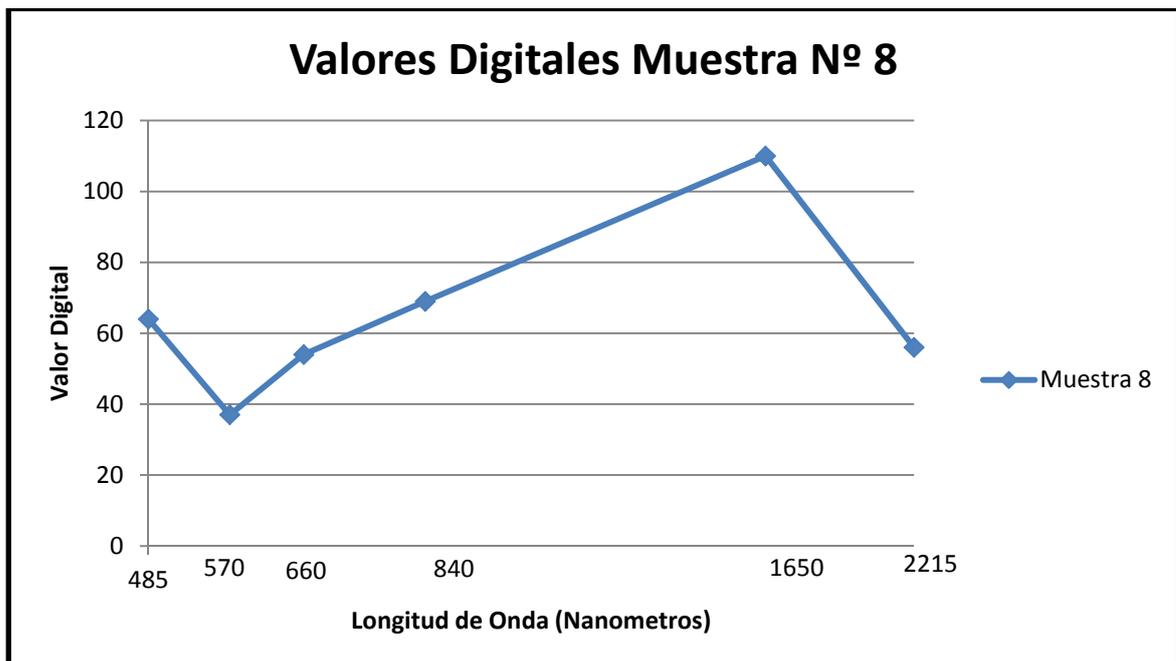
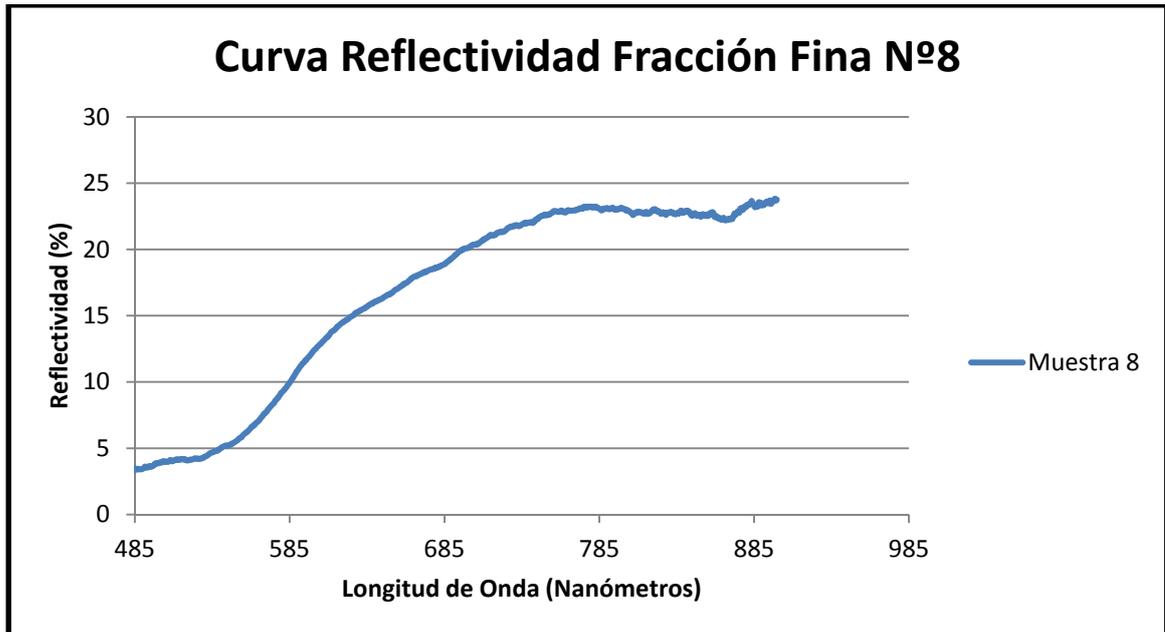
COORDENADAS	X	Y	ALTITUD
	424626 m	4385558 m	782 m



COLOR	MUNSELL		CIE		
	Húmedo	Seco	L*	a*	b*
	Marrón Oscuro 2,5 YR 3,5/6	Marrón Rojizo 2,5 YR 4,5/8	31,4	19,6	31,1



DETERMINACIONES			
FÍSICAS	Tamizado		
	Elementos Grosos	Fracción Fina	
	66,98 gr	688,24 gr	
	Humedad		
	4,30%		
	Textura		
		ISSS	USDA
	Arena Gruesa	(0,2 - 2 mm) 4,6%	(0,2 - 2 mm) 2%
	Arena Fina	(0,02 - 0,2 mm) 31,4%	(0,05 - 0,2 mm) 29%
	Limo	(0,002 - 0,02 mm) 15%	(0,002 - 0,05 mm) 15%
	Arcilla	(< 0,002 mm) 49%	(< 0,002 mm) 49%
	Clase Textural (USDA)	Arcillosa	
	QUÍMICAS	Carbonatos	
		CaCO_3 (gr)	CaCO_3 (%)
0,00357		0,36	
Materia Orgánica			
Negativo			



PERFIL 9

Breve Descripción: Encontramos un horizonte Ck en superposición sobre un horizonte Ap. Se observa tanto materia orgánica como abundantes cuarcitas.

Fecha: 17/03/2014

COORDENADAS

X
425010 m

Y
4384874 m

ALTITUD
786 m



COLOR

MUNSELL

CIE

Húmedo

Seco

L*

a*

b*

Marrón Oscuro

Marrón Amarillento

51,1

9,8

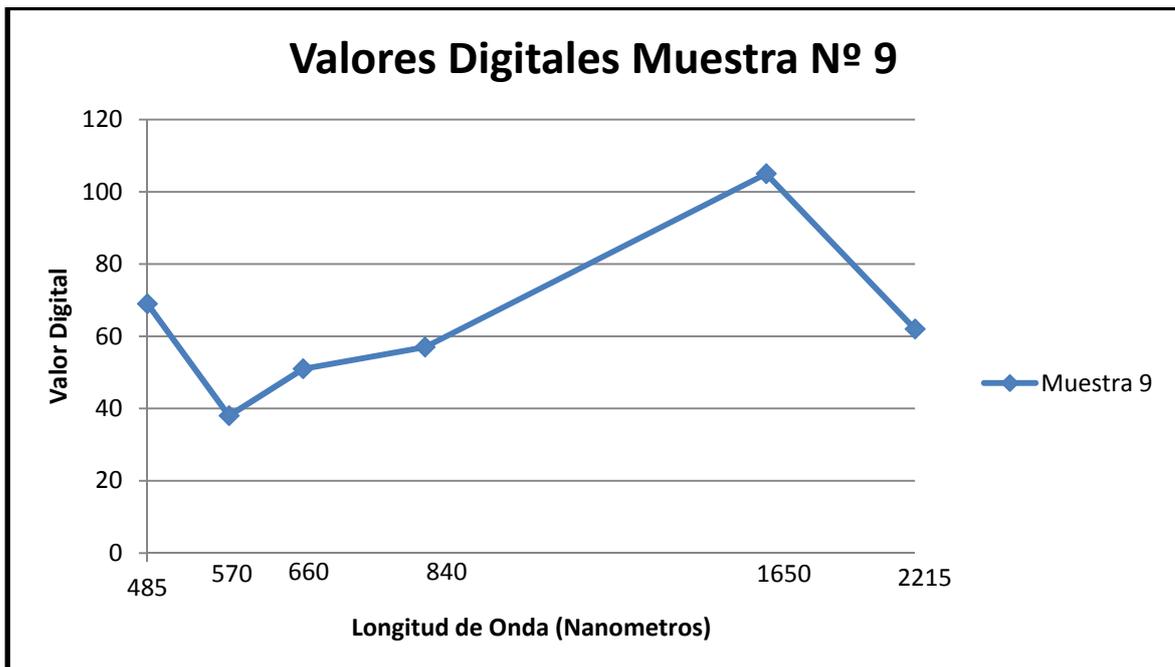
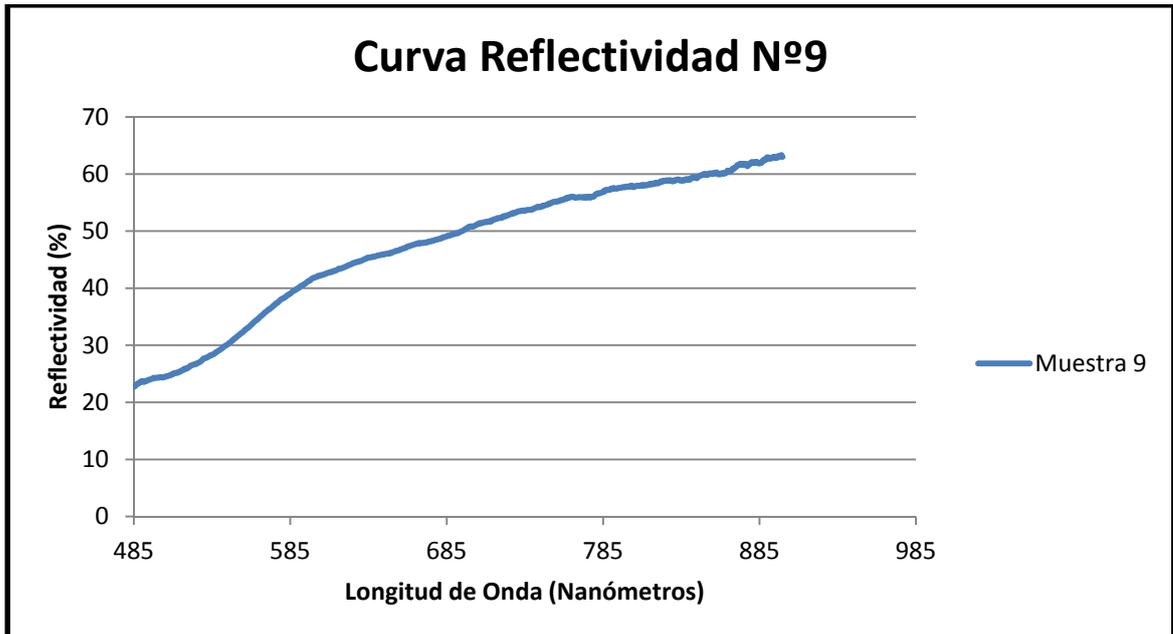
21,3

7,5 YR 4,5/4

10 YR 5,5/4



DETERMINACIONES			
FÍSICAS	Tamizado		
	Elementos Gruesos	Fracción Fina	
	297,75 gr	365,58 gr	
	Humedad		
	1,72%		
	Textura		
		ISSS	USDA
	Arena Gruesa	(0,2 - 2 mm) 17,7%	(0,2 - 2 mm) 7%
	Arena Fina	(0,02 - 0,2 mm) 46,3%	(0,05 - 0,2 mm) 40%
	Limo	(0,002 - 0,02 mm) 15%	(0,002 - 0,05 mm) 32%
	Arcilla	(< 0,002 mm) 21%	(< 0,002 mm) 21%
	Clase Textural (USDA)	Franca	
	QUÍMICAS	Carbonatos	
CaCO_3 (gr)		CaCO_3 (%)	
0,175		35,71	
Materia Orgánica			
1,12%			



PERFIL 10

Breve Descripción: Encontramos un horizonte Ap erosionado, donde se encuentra gran cantidad de nódulos de Carbonato Cálcico.

Fecha: 17/03/2014

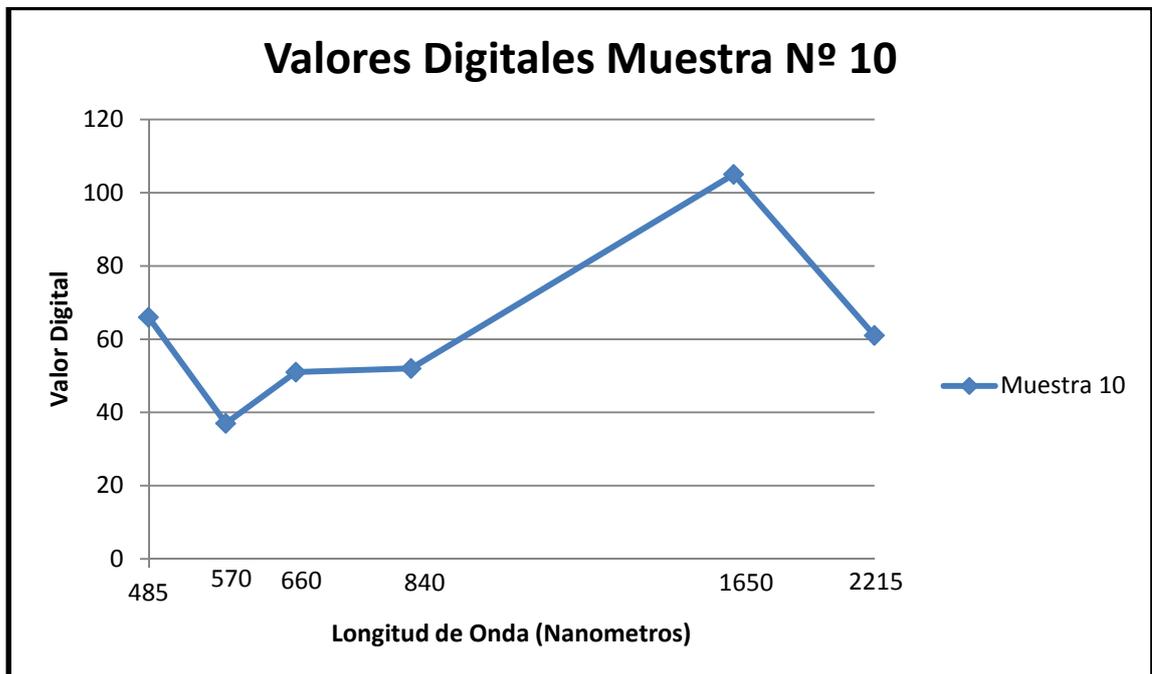
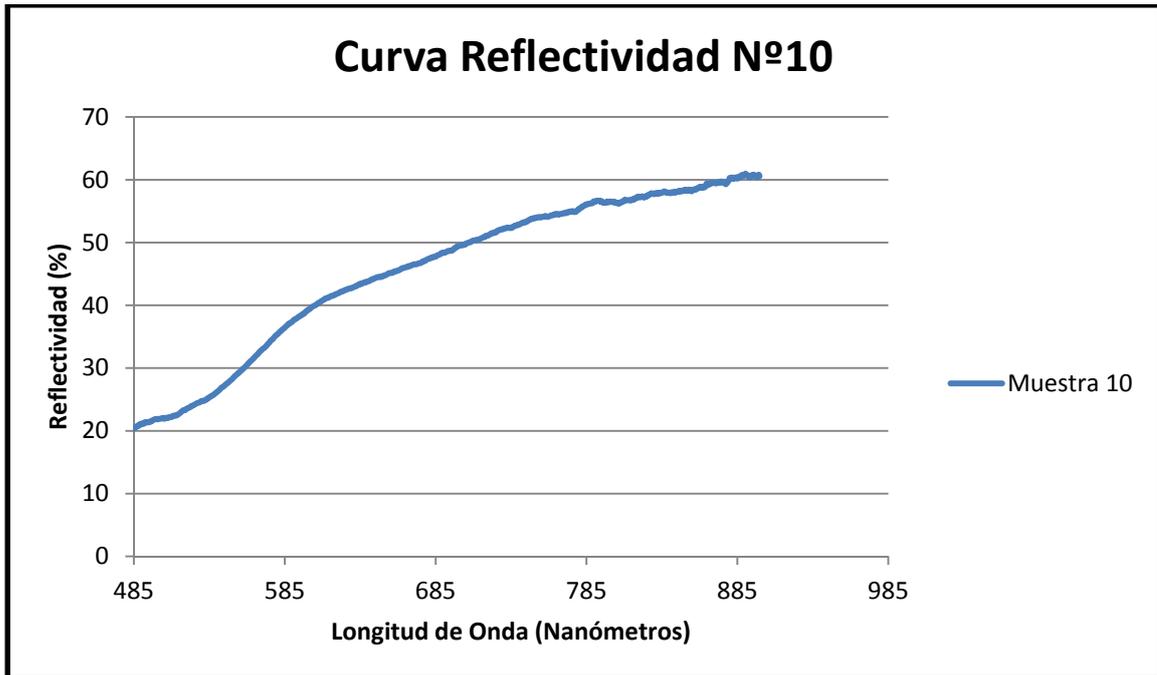
COORDENADAS	X	Y	ALTITUD
		425097 m	4385811 m



COLOR	MUNSELL		CIE		
	Húmedo	Seco	L*	a*	b*
	Marrón Oscuro 7,5 YR 4/5	Amarillo Grisáceo 10 YR 6,5/3	49,6	9,6	20,6



DETERMINACIONES			
FÍSICAS	Tamizado		
	Elementos Gruesos	Fracción Fina	
	257,02 gr	291,81 gr	
	Humedad		
	1,67%		
	Textura		
		ISSS	USDA
	Arena Gruesa	(0,2 - 2 mm) 22,8%	(0,2 - 2 mm) 12%
	Arena Fina	(0,02 - 0,2 mm) 43,2%	(0,05 - 0,2 mm) 33%
	Limo	(0,002 - 0,02 mm) 18%	(0,002 - 0,05 mm) 39%
	Arcilla	(< 0,002 mm) 16%	(< 0,002 mm) 16%
	Clase Textural (USDA)	Franca	
	QUÍMICAS	Carbonatos	
		CaCO_3 (gr)	CaCO_3 (%)
0,2393		45,15	
Materia Orgánica			
1,40%			





7. Bibliografía

7.1 Referencias Bibliográficas.

Almazara, C (2000). Valores normales de precipitación y temperatura de la red climatológica, 1961-1990. Instituto Nacional de Meteorología (Ministerio de Medio Ambiente)

Almox, J; De Antoni, R y Saa, A. Cruz Díaz, M^a. Gascó, J.M^a (1994). *Métodos de la Estimación Hídrica*. Editorial Agrícola Española S.A

Azcue Infazón, E y Rojas Unda, S (2013). *Espectroscopia de la Superficie Terrestre*

Chavez, S.P (1989). *Radiometric calibration of Landsat Thematic Mapper Multispectral images. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.*

Chuvieco, E (1996). *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Rialp

FAO (1992). N° 318 Roma:FAO

FAO (2006). *World Reference Base for Soils Resources. World Soil Resources reports*. Roma: FAO.

Instituto de Edafología y Biología vegetal (CSIC). (1984). *Estudio agrobiológico de la provincia de Toledo*. Toledo: Instituto provincial de Investigaciones y estudios toledanos.

Instituto Geográfico Nacional. (1996). *Mapa Topográfico de Orgaz 1:25.000 y 1:50.000*. Madrid: Instituto Geográfico Nacional.

Instituto Geológico y Geominero de España. (1990). *Mapa geológico de LosYébenes 1:50.000*. Madrid: Instituto Geográfico Nacional.

López Bermúdez, F (2008). *Desertificación: Preguntas y respuestas a un desafío económico, social y ambiental*. Fundación Biodiversidad (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino)



Moreno, R; Gisbert, H; Blanquer, J.M y Ibañez Asensio, S. *El Color del Suelo*. ETSI Agrónomos. Dto. Producción Vegetal. Universidad Politécnica de Madrid.

Ormeño Villajos, S (2004). *Cartografía Temática: Modelización, Clasificaciones y Aplicaciones Ambientales*. Dto. Ingeniería Topográfica y Cartográfica. Universidad Politécnica de Madrid.

Ormeño Villajos, S (2006). *Teledetección Fundamental*. Servicio de publicaciones ETSITGC

Ormeño Villajos, S (2012). *Introduction to the Physics of Remote Sensing*

Perea, D y Perea, R. (2008). *Vegetación y Flora de los Montes de Toledo*. Toledo: Covarrubias.

Pérez, J (2013). *Prácticas Edafología*. ETSI Agrónomos. Dto. Edafología. Universidad Politécnica de Madrid.

Porta Casanellas, J; López-Acevedo Reguerin, M y Roquero de Laburu, C (2003). *Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente*. Mundi-prensa S.A

Vera, J.A (2004). *Geología de España*. Ministerio de Educación y Ciencia.

7.2 Sitios Web Consultados

Consulta y visualización de mapas. /www.ign.es/

Página dedicada a la Agricultura. /www.infoagro.com/

Página USGS (United States Geographical Survey). /[www.Usgs.gov /](http://www.Usgs.gov/)

Revista Científica y Medio Ambiente (Ecosistemas). Artículo: La erosión del suelo y sus tasas en España. / www.revistaecosistemas.net/

