

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍAS AGRARIAS
PALENCIA

TRABAJO FIN DE CARRERA

TÍTULO:

**APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN
HIPERESPECTRAL EN VIÑEDO FERTILIZADO CON EXTRACTO
DE ALGAS.**

SECCIÓN: INGENIERÍA TÉCNICA AGRÍCOLA
ESPECIALIDAD: EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS
OCTUBRE 2004

ALUMNA: BERTA GIL PÉREZ.

DIRECTORES: JESÚS MARTÍN GIL Y PABLO J. ZARCO TEJADA.

A mis padres.

A aquellas personas como Jesús Martín, Pablo Zarco, y Alberto Berjón que me han brindado su amabilidad, haciendo que este trabajo haya merecido la pena por algo más que por motivos académicos.

AGRADECIMIENTOS

Quiero dar las gracias a Pablo Zarco Tejada y a Jesús Martín Gil por haberme dado la oportunidad de realizar este trabajo y por compartir conmigo su tiempo y sus conocimientos.

Gracias a mis padres y hermanos porque son el apoyo incondicional ante cualquier proyecto, por estar a mi lado tanto en los buenos como en los malos momentos.

Agradecer a Jesús Velloso por su ayuda y su esfuerzo para que el estudio saliera adelante.

Gracias a Fernando González Herrero, Pedro Martín Peña y María del Álamo Sanza por haber puesto a mi disposición el material que he necesitado para este trabajo.

También agradecer a Alberto Berjón, Ana Becoechea y Susana por haberme ayudado y haber hecho tan agradable el tiempo que hemos pasado juntos durante el estudio.

ÍNDICE

1-RESUMEN.....	13
2-ANTECEDENTES	15
2.1- Características de la comarca vitícola del medio Duero.....	15
2.1.1- Situación.....	15
2.1.2- Clima.....	15
2.1.3- Características del suelo.....	16
2.1.4- Variedades.....	17
2.1.5- Tipo de plantación.....	18
2.2- Nutrición y fertilización del viñedo.....	19
2.2.1- Los elementos fertilizantes minerales	19
2.2.2- Factores que influyen en la fertilización del viñedo.....	28
2.2.3- Clorosis	30
2.3- Las algas y su aplicación.....	33
2.3.1- Introducción.....	33
2.3.2- Aplicación de las algas en la agricultura.....	33
2.4- Actividad fotosintética.....	37
2.4.1- Pigmentos fotosintéticos.....	37
2.4.2- Factores que regulan la fotosíntesis.....	39
2.4.3- Fotoquímica de la clorofila.....	41
2.5- Teledetección en la agricultura.....	41
2.5.1- Introducción a la teledetección.	41
2.5.2- Radiación solar.....	43
2.5.3- Radiación en la planta.....	43
2.5.4- Distribución de la radiación en cubiertas vegetales.....	43
2.5.5- Interacción de la radiación solar con las superficies naturales.....	43
2.5.6- Respuesta espectral de la vegetación.....	46
2.5.7- Índices de vegetación.	49
3- OBJETIVOS INICIALES.....	53
4-MATERIAL Y MÉTODOS.....	54
4.1- Localización del estudio.....	54
4.2- Descripción del viñedo.....	57
4.3 Caracterización del extracto de algas	58
4.4- Diseño experimental.....	65
4.5- Obtención de las muestras.....	66

4.5.1- Muestreo foliar.....	66
4.5.2- Muestreo de suelo.....	68
4.5.3- Muestreo de la uva.....	69
4.6- Obtención de imágenes multiespectrales.....	69
4.7- Índices de vegetación empleados.....	71
4.8- Métodos de análisis.....	75
4.8.1- Análisis de suelos.....	75
4.8.1.1- Preparación de la muestra.....	75
4.8.1.2- pH	76
4.8.1.3- Conductividad.....	77
4.8.1.4- Carbonatos.....	77
4.8.1.5- Caliza activa.....	78
4.8.1.6- Fósforo soluble en bicarbonato sódico.	79
4.8.1.7- Nitrógeno total.....	80
4.8.1.8- Capacidad de intercambio catiónico.....	81
4.8.1.9- Materia orgánica fácilmente oxidable.....	81
4.8.1.10- Textura.....	82
4.8.1.11- Sodio, Potasio, Magnesio, Calcio.....	83
4.8.1.12- Hierro.....	83
4.8.2- Análisis foliar.....	84
4.8.2.1- Determinación de clorofila.....	85
4.8.2.2- Determinación de nutrientes.....	86
4.8.3- Análisis del mosto.....	88
3.8.3.1- Producción de cosecha	88
3.8.3.1- Preparación de la muestra.....	88
3.8.3.2- Determinación de azúcares y grado alcohólico probable.....	88
3.8.3.3- Acidez total (valorable).....	90
3.8.3.4- pH.....	91
4.8.4- Imágenes multiespectrales.....	91
4.8.4.1- Obtención de espectros.....	91
4.8.4.2- Aplicación de índices de vegetación.....	92
5-OBJETIVOS FINALES.....	93

6- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	95
6.1- Correlación entre índices de vegetación y parámetros foliares.....	95
6.1.1-Relación entre índices y concentración de elementos minerales.....	95
6.1.2-Relación entre índices y contenido de clorofila a+b.....	97
6.2- Correlación entre contenido clorofílico y concentración de elementos minerales.....	98
6.3- Efectos de la fertilización con algas.....	99
6.3.1- Efectos en la composición mineral foliar.....	99
6.3.2- Efectos en la concentración clorofílica foliar.....	100
6.3.2- Estudio de los índices en los diferentes tratamientos de fertilización.....	101
7- CONSIDERACIONES.....	104
8- CONCLUSIONES.....	105
9- OBJETIVOS DE FUTURO.....	106
10- BIBLIOGRAFÍA.....	107
11- ANEJOS.....	116
11.1- ANEJO 1: Resultados de los análisis.....	116
11.2- ANEJO 2: Datos de reflectancia.....	122
11.3- ANEJO 3: Índices de vegetación empleados.....	123
11.4- ANEJO 4: Valores obtenidos para los índices de vegetación en las subparcelas de estudio.....	123
11.5- ANEJO 5: Variación de los índices de vegetación en función del tratamiento de fertilización.	126
11.6- ANEJO 6: Datos climáticos.....	129

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1- Fotografía de la parcela de estudio en Roturas (Valladolid).....	15
- Figura 2- Altitudes y composiciones medias del suelo en la Ribera del Duero.....	17
- Figura 3- Hoja del viñedo afectada por clorosis, donde se observan los síntomas de ésta enfermedad.	31
- Figura 4- <i>Ascophyllum nodosum</i>	35
- Figura 5- Estructura de la clorofila a (a). Estructura de clorofila a y b (b).....	37
- Figura 6- Espectro de absorción de pigmentos fotosintéticos	38
- Figura 7- Espectro de absorción de la clorofila a y b, y espectro de acción de la fotosíntesis.....	39
- Figura 8- Espectro electromagnético.....	44
- Figura 9- Signaturas espectrales de nieve (a), suelo (b), y dos tipos de vegetación: caducifolia y conífera (c).....	45
- Figura 10- Factores de la reflectividad de la vegetación sana en el espectro óptico.....	47
- Figura 11- Curvas de reflectancia espectral de dos tipos de vegetación sana: alfalfa y arce.	51
- Figura 12- Localización del término municipal de Roturas, dentro de la zona vitivinícola de la Ribera del Duero.....	54
- Figura 13- Plano de localización de las parcelas de la empresa vitivinícola TRUS en la zona de Ribera de Duero.....	55
- Figura 14- Plano de localización de la parcela de estudio dentro del término municipal de Roturas.....	56
- Figura.15- Distancia entre hileras de la parcela de estudio.....	57
- Figura 16- Esquema de la aplicación de los tratamientos con extracto de algas.	62
- Figura 17- Imagen del sensor hiperespectral CASI correspondiente a la parcela de ensayo con las cuatro zonas de estudio.....	63
- Figura.18- Hardy aplicando el fertilizante vía foliar en la parcela de ensayo.....	65
- Figura 19- Proceso de secado de las muestras foliares antes de su análisis.....	68

- Figura 20- Imagen obtenida sobre el viñedo estudiado (Roturas, Valladolid) por el sensor hiperespectral aerotransportado CASI en el modo de operación de ocho bandas y 1m de resolución espacial.....	70
- Figura 21- Tamiz de 2 mm de luz, y rodillo para la preparación del suelo antes de su análisis.....	76
- Figura 22- Determinación de carbonatos totales mediante el calcímetro de Bernard.....	78
- Figura 23- Lectura de la absorbancia en el Espectrofómetro SPECTRONIC 20 GENESYS para la determinación del fósforo asimilable.....	79
- Figura 24- Digestor BLOC DIGEST 12 (a) de la marca comercial SELECTA, y destilador TECATOR modelo KJELTEC SYSTEM 1026 (b).....	80
- Figura 25- Espectrofotómetro de absorción atómica ANALIST 100 de PERKIN ELMER.....	83
- Figura 26- Espectrofotómetro donde se realizó la determinación de la clorofila.....	85
- Figura 27- Molino y horno mufla para el procesamiento de muestras foliares.....	87
- Figura 28- Refractómetro para la determinación de grados Brix en mostos.....	89
- Figura 29- Determinación de la acidez total en las muestras de mosto de las subparcelas de estudio.....	90
- Figura 30- Perfiles espectrales extraídos de la imagen multiespectral del sensor CASI correspondientes a reflectancia de: vegetación pura (a), agregado de suelo, sombra y vegetación (b), y suelo desnudo (c). Las líneas rojas, verde y azules corresponden a las bandas con que se ha visualizado la imagen (RGB).....	92
- Figura 31- Valores obtenidos del índice ZTM en las cuatro zonas de estudio, utilizando todos los datos de cada zona (píxeles puros, y píxeles mezcla de suelo, sombra y vegetación) (a), e incluyendo únicamente los datos que superan el umbral calculado para cubierta de vegetación b).....	93
- Figura 32- Concentración del nitrógeno y del fósforo en las diferentes zonas de estudio.....	99

- Figura 33- Concentración del potasio y del calcio en las diferentes zonas de estudio.....	100
- Figura 34- Concentración del magnesio y del hierro en las diferentes zonas de estudio.....	100
- Figura 35- Contenido de clorofila en las zonas de estudio.....	101
- Figura 36- Valores de los índices G y MCARI en cada zona de estudio.....	102
- Figura 37- Valores del índice ZTM en cada zona de estudio.....	102
- Figura 38- Valores de los índices MTVI2 y MCARI1 en las cuatro zonas de estudio.....	102
- Figura 39- Valores del índice RDVI en las diferentes zonas de estudio.....	103
- Figura 40- Valores de los índices MCARI (TCARI/OSAVI) y NDVI (TCARI/OSAVI) en las cuatro zonas de estudio.....	103
- Figura 41- Variación de los índices estructurales en las zonas de estudio para los diferentes tratamientos de fertilización.....	125
- Figura 42- Variación de los índices de clorofila en las zonas de estudio para los diferentes tratamientos de fertilización.....	126
- Figura 43- Variación de los índices combinados (combinación de índices de clorofila y estructurales) en las zonas de estudio para los diferentes tratamientos de fertilización.....	127

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1- Clasificación para el <i>Ascophyllum nodosum</i>	58
- Tabla 2- Composición media de BIO ALGEEN.....	59
- Tabla 3- Composición media de BIO ALGEEN en minerales.....	59
- Tabla 4- Composición media de BIO ALGEEN en aminoácidos esenciales.....	60
- Tabla 5- Composición media de BIO ALGEEN en vitaminas.....	60
- Tabla 6- Parámetros estructurales medidos en cada subparcela de estudio.....	66
- Tabla 7- Valores del centro y ancho de las bandas correspondientes a la imagen multiespectral utilizada.....	71
- Tabla 8- Coeficientes de correlación entre índices de clorofila y elementos minerales foliares.....	95
- Tabla 9- Coeficientes de correlación entre índices estructurales y elementos minerales foliares.....	96
- Tabla 10- Coeficientes de correlación entre índices combinados y elementos minerales foliares.....	97
- Tabla 11- Coeficientes de correlación (r) entre índices y contenido clorofílico.....	98
- Tabla 12- Coeficientes de correlación (r) entre concentración de nutrientes y contenido clorofílico.....	98
- Tabla 13- Resultados de los análisis del contenido foliar de elementos minerales.....	116
- Tabla 14- Resultados de los análisis del contenido foliar de clorofila.....	116
- Tabla 15- Resultados de los parámetros de producción.....	121
- Tabla 16- Reflectancia media de los datos de vegetación considerando el umbral $NDVI \geq 0.15$. Extraídas de la imagen multiespectral del sensor CASI.....	122
- Tabla 17- Índices de vegetación para la estimación de parámetros estructurales y clorofílicos calculados a partir de imágenes hiperespectrales y multiespectrales.....	123
- Tabla 18- Valores obtenidos para los índices estructurales en cada subparcela.....	124

- Tabla 19 - Valores obtenidos para los índices de clorofila en cada subparcela.....	124
- Tabla 20 - Valores obtenidos para los índices combinados en cada subparcela.....	125

1-RESUMEN.

Este trabajo presenta el estudio realizado sobre algunas aplicaciones de la teledetección hiperespectral en viñedo, mostrando el interés de estas técnicas en el campo vitivinícola debido a su potencial como indicadores de rendimiento y calidad.

Pese a la importancia y extensión en la UE de cultivos como *Vitis vinifera L.* la aplicación de métodos de teledetección en éstos no se encuentra en estado avanzado, demostrándolo las pocas publicaciones existentes al respecto. Hasta el momento las investigaciones llevadas a cabo con técnicas de este tipo, se han realizado a través de sensores digitales con un limitado número de bandas anchas. Los progresos conseguidos en teledetección de viñedo son escasos, debido principalmente a la dificultad de adquisición de imágenes con las características específicas que necesita este tipo de cultivo, con geometría en hileras, requiriendo sensores de alta resolución y de banda estrecha.

Las imágenes utilizadas en este estudio han sido adquiridas dentro del proyecto AGL2002-04407-C03 financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología donde se están investigando métodos de estimación de parámetros biofísicos en cultivos de olivar y vid mediante sensores hiperespectrales aerotransportados, y que está coordinado entre Universidad de Valladolid (GOA-UVA), Instituto de Agricultura Sostenible (IAS-CSIC), e Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA). Las imágenes fueron captadas por el sensor hiperespectral CASI de York University (Canadá), obteniendo una resolución espacial de 1 metro.

Por otra parte, el viñedo objeto de estudio ha sido fertilizado con diferentes tratamientos que contienen extracto de *Ascophyllum nodosum*, el alga marina más aplicada al sector agrícola por sus demostrados beneficios sobre diversos cultivos. Se trata de una fuente natural y orgánica de nutrientes y promotores del crecimiento con numerosos efectos positivos sobre la calidad y el rendimiento de las plantas, entre los que se encuentra el aumento del contenido de clorofila y de la actividad fotosintética.

En este trabajo se ha pretendido estudiar la capacidad de determinados índices hiperespectrales, calculados a partir de imágenes del sensor aerotransportado CASI, de alta resolución espacial, para extraer información sobre parámetros bioquímicos y estructurales de *Vitis vinifera L.*, obteniendo correlaciones entre estos índices ópticos y las variables N, P, K, Ca, Fe, Mg y clorofila a+b. También se han investigado las posibles variaciones relacionadas con estos parámetros debido a los diferentes

tratamientos de fertilización aplicados al viñedo, por medio de los índices hiperespectrales y del análisis foliar.

Los datos obtenidos muestran que los índices de banda estrecha establecen relaciones significativas con algunas de las variables estudiadas, detectando además variaciones en algunos parámetros y mostrando que estos índices cuentan con la sensibilidad necesaria para captar diferencias de su contenido foliar en el viñedo.

2-ANTECEDENTES.

2.1-CARACTERÍSTICAS DE LA COMARCA VITÍCOLA DEL MEDIO DUERO.

2.1.1-SITUACIÓN.

El presente estudio se ubica en Roturas, pueblo asentado en una de las comarcas productoras de vino de más alta calidad: la Ribera del Duero.

El río Duero es el eje que une más de 100 pueblos extendidos a lo largo de una franja vitícola de unos 115 kilómetros de longitud y 35 de anchura. Los vinos de esta zona gozan de un gran reconocimiento en toda España. Se ha experimentado un considerable aumento tanto en número de hectáreas cultivadas como en la progresión de las ventas.

Fig.1-Fotografía de la parcela de estudio en Roturas (Valladolid).



2.1.2-CLIMA.

El clima, es de carácter continental, y la pluviometría oscila entre 430 y 550 litros/metros cuadrados, los veranos son secos con temperaturas máximas de 42 °C y mínimas de -20° C, siendo la temperatura media de 11°C, con unos 182 días de período medio de vegetación (cero vegetativo de la vid, 10°C) y un periodo libre de heladas de 115 días. Son unas condiciones de clima tan extremas que obligan a buscar microclimas específicos con el fin de evitar los daños de heladas (laderas orientales al mediodía, masas forestales, tipo de suelo, vaguadas cerca del río, etc). El número de horas de sol al año es de 2.300. Este clima también implica que la

planta tenga una temporada de desarrollo y crecimiento relativamente corta, pero que se consigan unos vinos de altísima calidad. Parece ser que las extremas temperaturas se combinan a la perfección con los vientos de las montañas, para que la variedad de uva tempranillo de esta zona adquiriera más niveles de acidez que sus homólogos en otras partes de España, logrando que los vinos resultantes tengan gran estructura y longevidad.

Los datos climáticos de temperatura y pluviometría de los años 2002 y 2003 correspondientes al observatorio climatológico más cercano a Roturas (Peñañiel), se recogen en el anejo 6. La información ha sido adquirida a través del Instituto Nacional de Meteorología.

2.1.3-CARACTERÍSTICAS DEL SUELO.

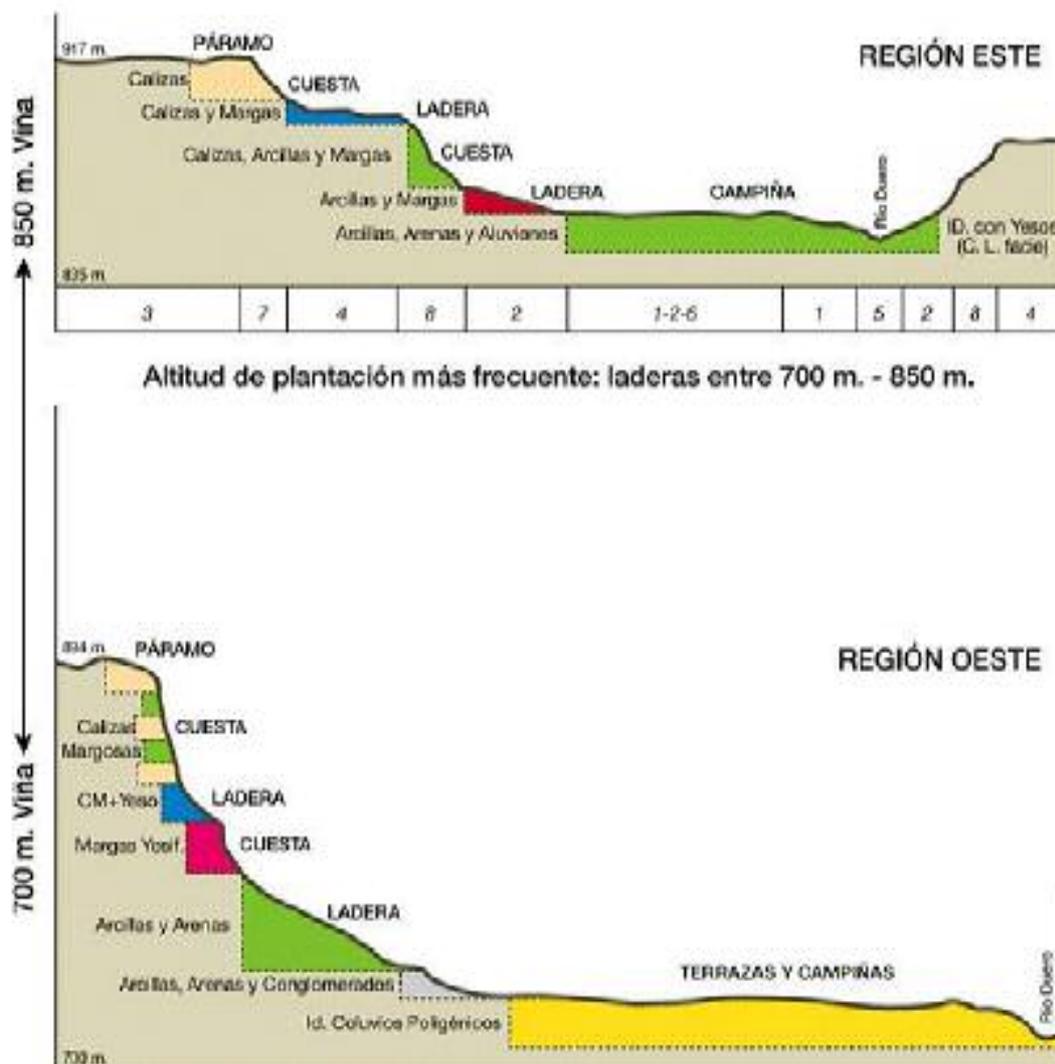
El valle del Duero se encuentra situado a una media de 850 metros sobre el nivel del mar, característica muy importante que se manifiesta en la variedad principal de viñedo, dando a sus vinos unas cualidades especiales de finura y longevidad. El río atraviesa la zona de este a oeste formando un valle que va extendiéndose progresivamente. Asimismo discurren por la zona los siguientes afluentes del Duero: Arandilla, Aranzuelo, Bañuelos, Gromejón, y Riaza.

La Ribera del Duero pertenece a la gran meseta Septentrional española, formada por un gran zócalo antiguo arrastrado y, en parte, recubierto por sedimentos terciarios.

El relieve de la cuenca ribereña, formada durante el mioceno, se caracteriza por la presencia de una franja central, flanqueada por terrenos más elevados de topografía muy variada, profusión de lomas, cerros y altozanos, generalmente poco abruptos de escasa altitud relativa. En las laderas de tales elevaciones es donde se sitúan con mayor frecuencia, las plantaciones de viñedo ya que la estricta ribera se dedica a cultivos de regadío, y los terrenos altos de paramera están cultivados de cereales y girasol, pues la viña se helaría con frecuencia o presentaría problemas de maduración (Barba, L.M., 2003). La disgregación de los materiales geológicos ha originado en la superficie suelos relativamente homogéneos pardo calizos, con afloramiento de margas en los cerros, cal abundante y pH entre 7 y 8,5, por lo que es importante elegir los portainjertos adecuados. Existen también suelos arenosos pobres que sustentan pinares y viñedos de fácil laboreo, pero de escasa producción.

La viña tiene que estar en suelos de buena textura, medianamente calizos, bajos en materia orgánica, ya que estos factores favorecen la calidad de la uva.

Fig.2-Altitudes y composiciones medias del suelo en la Ribera del Duero. Imagen Tomada de www.riberadelduero.es/esp/geologia.htm.



2.1.4-VARIEDADES.

Las variedades existentes en la Ribera del Duero son 32, siendo las más habituales: Albillo o Blanca del País, Garnacha, Cabernet Sauvignon, Malbec , y Tinta del País.

La uva mayoritaria en la zona objeto de estudio es la Tinta del país (tempranillo). Esta variedad, se ha adaptado a las extremas condiciones climáticas de la zona,

resultando en vinos opulentos con mucha fruta, cuerpo y color, sin necesidad de ser mezclada con otras variedades de complemento.

Es una cepa de porte erguido, vigorosa, siendo su producción óptima del orden de 5.000 kg/ha. Brotación tardía, por lo que las heladas primaverales le afectan poco y maduración temprana como su nombre indica. Sensible al oidium, a los ácaros y a la clorosis. Cepa que ofrece excelentes cualidades, tanto en elaboraciones monovarietales como en mezclas con otras. Al ser una variedad temprana hace que en los climas cálidos madure excesivamente, perdiendo calidad aromática. Su adecuada riqueza en taninos y la estabilidad en el color que le otorga su bajo contenido en oxidasas hacen que se adapte muy bien al proceso de crianza y envejecimiento en barrica y botella, obteniéndose vinos tintos de gran calidad, típicos de la Ribera del Duero.

2.1.5-TIPO DE PLANTACIÓN.

El conjunto de las técnicas escogidas por el viticultor para el establecimiento de la viña y el control de su desarrollo, son factores de gran importancia, por su directa influencia sobre la producción y la calidad. Estas resultantes vegetativas son funciones directas de la superficie foliar y de la utilización por la misma de la integral heliotérmica dentro de una misma variedad. A medida que aumenta la superficie foliar disminuye su coeficiente de utilización ya que las hojas no reciben con igual intensidad la energía solar, y cuanto más vigorosa es la planta, sus órganos verdes tienen una menor actividad fotosintética unitaria.

Referente la densidad de plantación, el espacio ocupado por cada cepa influye sobre las posibilidades de instalación del sistema radicular, del potencial de la planta y el desarrollo de la parte aérea.

Los viñedos que producen vinos de calidad tienen generalmente densidades comprendidas entre 2.000 y 3.000 plantas/ha. Estas densidades elevadas ralentizan los fenómenos fisiológicos de la vid favoreciendo la maduración y la producción de uvas de calidad. Por encima de estas densidades su potencial es más débil y su cultivo resulta más caro. Por debajo de 500 plantas/ha las cepas tienen un desarrollo individual importante pero insuficiente para colonizar todo el espacio puesto a su disposición, siendo el rendimiento por hectárea insuficiente.

En cuanto a los marcos de plantación la disposición de las plantas en una parcela está determinada por la separación de las líneas entre si y por la distancia existente entre dos cepas contiguas dentro de una fila.

La separación entre las filas no debe sobrepasar los 4 m, pues por encima de ella la densidad por hectárea es insuficiente para permitir un rendimiento satisfactorio. La separación óptima esta alrededor de lo 3 m según la experiencia adquirida.

El intervalo entre cepas a lo largo de la línea es generalmente de 1,20m a 2,0m. Si se acercan mas las cepas se agravan los fenómenos de competencia entre plantas para la explotación del suelo y la exposición de la vegetación.

La orientación de las filas también tiene una importancia destacada ya que influye en la insolación que reciben las diferentes partes de las plantas. Para elegir la orientación de las filas en una parcela se tienen en cuenta los siguientes elementos: la topografía del terreno, la insolación y la parcela.

2.2-NUTRICIÓN Y FERTILIZACIÓN DEL VIÑEDO.

2.2.1- LOS ELEMENTOS FERTILIZANTES MINERALES.

La vid extrae del suelo cantidades relativamente importantes de los denominados elementos mayores y muy pequeñas de elementos menores. La ausencia o déficit de un elemento da lugar a carencias en el desarrollo y producción de la planta, aunque hay situaciones en que el exceso puede producir toxicidades.

-Nitrógeno

El nitrógeno es el principal elemento rector del desarrollo y crecimiento de la vid, fundamentalmente madera y hojas, aun cuando también interviene en todos los demás tejidos vegetales, con una mayor proporción en los jóvenes, en vía de crecimiento. Constituye el eslabón fundamental de su metabolismo, elemento base de la multiplicación celular y del desarrollo de los órganos vegetativos, siendo necesario desde el primer momento, y durante todo el periodo del crecimiento activo, especialmente en la floración, desarrollo de los pámpanos y engruesamiento de los frutos.

La falta de nitrógeno trae como consecuencia un raquitismo general de la planta en todos sus órganos, disminución de la clorofila en órganos verdes, corrimiento por deficiente fecundación y merma de la cosecha.

Se admite que un exceso de nitrógeno da lugar a una vegetación excesiva, con notable mayor peligro para las enfermedades criptogámicas, agravándose la

tendencia al corrimiento, retraso del envero y de la maduración, con un difícil agostamiento de los pámpanos. La producción de la uva se incrementa, en cantidad y tamaño, pero la gravedad se ve gravemente comprometida, con un menor contenido de azúcar en el mosto, una mayor facilidad de desgrane, y una menor resistencia al transporte.

Este elemento no puede ser considerado independientemente de los demás en las necesidades globales del viñedo. Sus niveles pueden aparecer muy diferentes según la cuantía del fósforo y el potasio, no siendo utilizados más que cuando el nivel de nitrógeno en la alimentación es suficiente. Inversamente un exceso de nitrógeno puede dar lugar a una mala utilización de aquellos, haciendo aparecer síntomas de deficiencias de los mismos.

-Fósforo

Se ha discutido mucho el papel de fósforo en viticultura, debido a las relativamente pequeñas extracciones y a su casi insolubilidad en el suelo, exteriorizándose raramente su deficiencia, pues cuando lo hace raramente ya presenta una grave insuficiencia en la alimentación.

El fósforo como el nitrógeno, es un elemento constitutivo general de los tejidos vegetales aun cuando lo sea en proporción menos importante, interviniendo en funciones esenciales para la planta. Interviene en el metabolismo de los hidratos de carbono y su papel como transformador y proveedor de energía (ATP y ADT) es indispensable para el metabolismo celular. Es constituyente básico de sus núcleos (ARN) y tanto la multiplicación celular como el crecimiento de los tejidos meristemáticos no se pueden producir en caso de insuficiencia de este elemento.

Se ha determinado que una aportación de fósforo regular equilibrada, incrementa paulatinamente su contenido en la madera de poda, haciéndolo igualmente las materias amiláceas, que correlativamente da lugar a un aumento de los racimos en las yemas.

El fósforo favorece el desarrollo del sistema radicular, la fecundación, la floración y el cuajado de los frutos, así como también la maduración de los mismos, produciéndose eventualmente un aumento de glucosa en los mostos. Es fundamental para la fotosíntesis, y la transformación de los azúcares en almidón y de éste en azúcares, actuando también en la respiración. Un buen abastecimiento de fósforo permite a las estacas de vid una mejor lignificación y un aumento del enraizamiento.

La deficiencia del fósforo da lugar a una disminución del alargamiento y número de entrenudos en los pámpanos, con una débil fructificación, envero retardado y bayas pequeñas como principales consecuencias.

En síntesis se considera el fósforo como un elemento fertilizante que proporciona calidad, en tanto que el nitrógeno actúa fundamentalmente sobre la cantidad.

-Potasio

El potasio se encuentra en proporción elevada en los tejidos vegetales, conociéndose su importante papel en el metabolismo celular y en la elaboración de los azúcares. Existen múltiples funciones al respecto destacando las siguientes: acción sobre la asimilación de los aniones orgánicos por salificación; sobre la emigración de los glúcidos hacia los órganos de reserva y su condensación al estado de almidón. El potasio tiene una gran importancia sobre el régimen del agua en los tejidos, interviniendo sobre la presión osmótica celular, disminuyendo la transpiración y manteniendo su turgescencia.

El potasio favorece el desarrollo general de las cepas; provoca el aumento del tamaño de las hojas; incrementa el diámetro y peso de los sarmientos por unidad de longitud, asegurando un mejor agostamiento; aumenta el número de racimos creciendo la riqueza azucarada del mosto, para una cosecha comparable; favorece una correcta distribución de las reservas en las diferentes partes de la planta, dándole una mayor longevidad. Se admite que una buena previsión de potasio hace disminuir la sensibilidad de las plantas a las heladas y a ciertas enfermedades criptogámicas, como el mildiu.

La deficiencia de potasio produce una disminución del alargamiento de los entrenudos de los pámpanos, con agostamiento precoz de los sarmientos; la fructificación es deficiente, con bayas poco numerosas, racimos corridos y bayas pequeñas; envero muy tardío y baja graduación azucarada.

Cargas excesivas de poda, que provocan una disminución de la calidad, dan lugar a un empobrecimiento de las partes vivaces en almidón, haciendo a las hojas más sensibles a los excesos de la radiación solar. Correlativamente se produce un muy marcado empobrecimiento de potasio en todos los órganos de la planta, por su interdependencia con el almidón.

Las necesidades de potasio en la vid son muy importantes, notablemente en la floración y hasta el envero de las uvas. Es preciso un alto nivel de potasio en las hojas, debiéndose producir una intensa emigración de las hojas a los frutos, para que sea posible una maduración normal.

La nutrición potásica es compleja, debido a la interacción, tanto en el suelo como en la planta, entre los cationes potasio, sodio, calcio y magnesio. La carencia de

potasio puede ser inducida por un exceso de calcio o de magnesio, habiéndose llegado a establecer que la relación óptima K/Mg en el suelo se presenta de 2 a 7, con deficiencia para valores inferiores a 2 en muchas situaciones.

El aumento de calcio en el terreno hace disminuir el contenido de potasio en las hojas, y de hecho las hojas cloróticas jóvenes pueden llegar a inducir una demanda tan grande de potasio que ocasionan un arrastre de la provisión de potasio de las plantas, no tardando en manifestarse una carencia inmediata de dicho elemento, si no hay abundante provisión del mismo.

El potasio se presenta en el suelo en cuatro formas:

a) El que se encuentra en la solución del suelo, que es realmente el que aprovecha la planta.

b) Sobre las partículas de arcilla y humus existiendo un equilibrio entre el potasio de la solución del suelo y el que está fijado en la arcilla y el humus. Cuando la cepa extrae potasio de la solución del suelo para nutrirse, la arcilla y el humus liberan cationes potasio que pasan a la solución de manera de restablecer el equilibrio. Este tipo de potasio se denomina de cambio o asimilable.

c) En las partes internas de las laminas de arcilla, constituyendo un potasio difícilmente asimilable por la cepa. En este caso se dice que el potasio se ha retrogradado. Puede liberarse con mayor o menor facilidad cuando se producen alternancias de desecaciones y humedecimientos del suelo. Cuando se aplica un fertilizante potasio al suelo, pasará en parte a constituir esta forma retrogradada, forma que es virtualmente intercambiable. Cuando un suelo se enriquece con dosis elevadas de potasio, superiores a las que pueden extraer las cepas, se ha demostrado que solo una parte de este elemento se torna intercambiable, el resto se retrograda.

d) En la roca madre, en donde el potasio se halla en forma insoluble, por lo cual la planta no lo puede utilizar inmediatamente.

En los terrenos arenosos suele escasear el potasio, por drenaje del mismo, no sucediendo lo mismo en los franco-arcillosos o arcillo-limosos por su poder retentivo.

-Magnesio.

Sabemos que el magnesio es un elemento indispensable para la vida de todas las plantas, puesto que interviene como elemento constituyente de la clorofila, siendo esencial para el metabolismo de los glúcidos, y notable su acción como vehículo del fósforo. Actúa también en la formación de las grasas, proteínas y vitaminas,

contribuyendo al igual que el potasio al mantenimiento de la turgescencia de las células, y aumenta la resistencia de las plantas a la sequía y enfermedades. Entre el magnesio y el fósforo existe un sinergismo que eleva notoriamente la asimilación del fósforo y facilita su transporte a la planta.

Las necesidades del magnesio, con ser relativamente importantes, son inferiores a las del potasio, pero el problema fundamental es el establecimiento de una relación favorable entre ambos compuestos antagónicos, según ya indicamos al referirnos a dicho elemento, presentándose deficiencias de magnesio para valores superiores a 10 en la relación K/Mg.

La existencia de fuertes contenidos de caliza en el suelo puede inducir a deficiencias de magnesio, al igual que de potasio ya mencionado. El aumento de calcio en el suelo puede hacer bajar el contenido de magnesio en las hojas, más que el de potasio, y aumentando el magnesio se disminuye el calcio más que el potasio, mientras que aumentando el potasio se puede deprimir el calcio más que el magnesio, o pueden decrecer ambos.

La falta de magnesio, a veces también consecuencia de suelos ácidos y arenosos, se presenta como un debilitamiento general de la cepa, reducción del nacimiento de los pámpanos y sarmientos, lento desarrollo del tronco y limitación del sistema radicular, así como una reducción de la fructificación, todo ello consecuencia de estar profundamente afectada la función clorofílica. Contrariamente al caso del fósforo, el tamaño de las hojas se encuentra poco afectado.

El magnesio es el segundo elemento más abundante en el suelo, después del calcio, en forma intercambiable. Su fuente principal es la dolomita (carbonato cálcico magnésico), encontrándose en buena proporción en los terrenos alcalinos, y en menor cuantía en los livianos, ácidos y orgánicos.

-Calcio

Es un elemento esencial de la nutrición vegetal, con cantidades exigidas para el viñedo muy superiores a las del potasio, que ya por sí son muy importantes.

Contribuye el calcio, junto con los otros cationes, a asegurar el equilibrio necesario de los ácidos orgánicos y minerales en la savia. Satura las funciones ácidas de las pectinas de las paredes vegetales, y juega un papel antitóxico frente al exceso de potasio, sodio o magnesio. Ocupa también un lugar importante en los fenómenos esenciales de transporte en los tejidos conductores.

Pueden presentarse interacciones por insolubilización del boro, manganeso y cinc que pueden producirse por exceso de calcio, y las posibles toxicidades debidas al aluminio y manganeso por falta de dicho elemento, que acarrea una elevada acidez.

Un exceso de carbonato cálcico en el terreno, específicamente del denominado "calcio activo" fracción de aquel finamente disgregada, produce un gran debilitamiento de los viñedos no resistente, consecuencia de una acusada clorosis, que puede acarrear gravísimas consecuencias en la producción, extremo éste que ha de considerarse especialmente a la hora de elección del portainjerto para hacer la plantación. La carencia directa por falta de hierro libre en el suelo, o la inducida por la caliza del suelo, causa fundamental de la misma, es su consecuencia directa. En la carencia inducida, el hierro puede ser abundante en la planta, pero las cantidades que se encuentran en estado soluble en los jugos extraídos de los órganos verdes por presión, son bajas, lo que da lugar a las mismas consecuencia: obstaculización de la proteosíntesis, existencia de proteolisis y desorganización de los cloroplastos, con amarillamiento y decoloración de la planta. Pero ello se produce en diversas etapas.

En origen se encuentra la dificultad de absorción de hierro presente en el suelo por la planta, pero superada ésta, se centra fundamentalmente en la absorción de iones bicarbónicos, formados en los suelos calizos por la acción del ácido carbónico, proveniente del emitido por las raíces.

En un principio la acción fue atribuida a la absorción del Ca^{2+} que salifica el ácido oxálico, cuya penetración en gran cantidad acelera la síntesis de los ácidos orgánicos necesarios para el mantenimiento del equilibrio iónico interno. La hipótesis fue desechada, y actualmente la responsabilidad queda centrada en los iones CO_3H^- ; el CO_2 así absorbido por las raíces es transportado enzimáticamente siendo la causa directa de la clorosis: no pasa a los glúcidos, acelerando por el contrario su metabolismo por la formación de ácidos orgánicos, principalmente ácido málico.

-Hierro

El hierro es un elemento esencial en la formación de la clorofila, con las consecuencias ya enumeradas de su falta, pero también tiene un importante papel en el mecanismo los sistemas de óxido-reducción de la planta.

La carencia inducida de hierro por la caliza del suelo ya fue consignada al tratar este elemento, pero indicábamos que la clorosis podía también ser producida por una carencia directa de falta de hierro en el suelo, caso poco corriente. La falta de hierro en forma absorbible útil divalente, además de producir la clorosis obstaculiza la

respiración para la cual es indispensable, dando lugar a una abolición de la proteosíntesis una proteolisis y desorganización de los cloroplastos, que conduce a la decoloración de la planta, con todas sus consecuencias.

Es también de notar que un exceso de potasio en la alimentación de la cepa puede inducir a una insuficiente absorción de hierro, con la consiguiente deficiencia,

El hierro se encuentra muy difundido en la naturaleza, contenido en la estructura cristalina de la gran mayoría de los minerales.

-Azufre

El azufre al igual que el nitrógeno y fósforo es un componente esencial de la mayoría de las proteínas, estimula el desarrollo vegetativo de la vid, y al igual que el nitrógeno proporciona a las hojas un color verde intenso, lo que garantiza una óptima actividad clorofílica.

Ciertos microorganismos del suelo pueden transformar el azufre en ácido sulfúrico, lo que explica, por lo menos parcialmente, la movilización de elementos fertilizantes contenidos en forma inerte en el suelo, lo que ya de por sí tiene su importancia en tierras calizas.

En el suelo natural se encuentra principalmente en forma orgánica, que es previamente mineralizado por la flora microbiana del suelo para poder ser absorbido. En los suelos vitícolas las pulverizaciones y espolvoreos con este elemento para los tratamientos fitosanitarios dan un suplemento de gran interés.

-Boro

Es un elemento menor u oligoelemento indispensable en el transporte y utilización de los glúcidos, en la elaboración de las pectinas y en la movilización del calcio por la planta, actuando también como catalizador en la síntesis de los elementos que forman la pared celular. Tiene una acción importante en la división celular, favoreciendo la síntesis del ácido nucleico y el desarrollo vegetativo. El boro es responsable, al igual que el potasio y el calcio, de la estabilidad de las células vegetativas, y en la biología floral fomenta la fecundación e incrementa el poder germinativo del polen reduciendo los corrimientos.

La falta de boro da lugar a una acusada clorosis y raquitismo, con entrenudos cortos y gruesos, y a una reducción del poder germinativo del polen, con la

consiguiente ausencia de fructificación en los casos graves, caída de racimos florales, cuajado defectuoso y a la formación de frutos partenocárpicos, por no producirse la fertilización de los óvulos, con la consiguiente formación de bayas pequeñas.

El boro se encuentra en situación inversa respecto al calcio, potasio y magnesio. Un exceso de estos elementos en el suelo impide o dificulta la asimilación del boro, y el déficit facilita su absorción pudiendo llegar a producir toxicidad, es fácil en las correcciones la aparición de la sintomatología contraria.

En los suelos arenosos es fácil que aparezca carencia de boro, y en los calizos se produce su inmovilización.

-Molibdeno

Tiene una importante función en la activación de numerosos procesos del metabolismo nitrogenado, en la reducción de los nitratos a nitritos. Ocupa un lugar destacado en la síntesis de los pigmentos y notablemente de la clorofila, siendo indispensable para el crecimiento de las flores y en su fecundación, favoreciendo el incremento de la producción.

La deficiencia de molibdeno incide directamente sobre la fructificación, reduciéndola e incluso anulándola en casos extremos. Es el único elemento menor cuya carencia se acentúa con la acidez del suelo.

La mayor parte del molibdeno en el suelo se encuentra asociado con la materia orgánica.

-Manganeso

El manganeso junto con el molibdeno interviene en la reducción de los nitratos, continuando la acción de aquél, pasando de los nitratos a ácido hiponitroso y después a hidroxilamina. Actúa en diversas reacciones enzimáticas, y es destacable su particular interés en los procesos de germinación. Desempeña un papel de suma importancia en la fotosíntesis, pero el contenido de clorofila y la síntesis de la misma son solamente influidos en forma indirecta por el mismo. Interviene también en los procesos respiratorios.

En general los suelos calizos reducen fuertemente la absorción del manganeso por la planta, mientras que los de pH bajo la favorecen, pues cuanto es más ácido la solubilidad del mismo es mayor. En los suelos arcillosos es difícil la carencia de manganeso, lo que no sucede en los arenosos y húmicos.

-Cinc

Este elemento es indispensable para el crecimiento y la fructificación de la vid, interviniendo en el metabolismo de los glúcidos; está relacionado con la anhidrasa carbónica; es necesario para la formación de las auxinas de crecimiento celular, y desempeña un papel estimulador en la producción del ácido ascórbico. Es esencial para la síntesis de la clorofila y se le adjudica participación en el metabolismo proteico.

La escasez de cinc puede ser producida por un exceso de fosfatos o carbonatos que lo inmovilizan al pasar a fosfato o carbonato de cinc insolubles. Un exceso de potasio puede dar lugar a una deficiente absorción de cinc, en todo caso inductora de una clorosis específica. Suelos con pH decrecientes provocan un aumento de la absorción del cinc por la vid.

-Cobre

Desempeña un papel importante en la nutrición de las plantas ya que es integrante de numerosas enzimas, por lo que su acción mas destacada la ejerce en los procesos de asimilación. Si falta cobre la clorofila se degrada con rapidez, decayendo el rendimiento del viñedo.

La deficiencia de cobre en el suelo natural se suele presentar en los arenosos y excesivamente humíferos, disminuyendo sus disponibilidades a medida que el pH aumenta, llegando a ser muy baja en los suelos calizos. En los suelos vitícolas las pulverizaciones con este elemento para tratamientos fitosanitarios dan un contenido de gran interés.

Puede aparecer una toxicidad de cobre con acción deprimente para la cepa, consecuencia de un marcado efecto residual, que es preciso controlar, sobre todo en los terrenos ácidos, con pH inferior a 6, no revistiendo general gravedad en los más alcalinos, con un elevado contenido de caliza.

-Sodio

Es absorbido y utilizado en cantidades importantes por la vid, jugando un papel destacado en el balance fisiológico de aniones y cationes, al ser puesto a disposición del viñedo, bien de un modo natural, como componente del suelo o aportado como elemento complementario de abonos y pesticidas.

-Cloro

Es muy móvil en los suelos bajo la forma de cloruros, siendo muy fácilmente absorbido por las cepas. Sin embargo este elemento preocupa más al viticultor por su exceso que por su carencia, debiendo tomar especiales precauciones sobre el mismo a la hora de elegir un portainjerto al hacer una nueva plantación. (Hidalgo,L.,1999).

2.2.2-FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FERTILIZACIÓN DEL VIÑEDO.

Los siguientes factores son los más importantes en la nutrición de la vid.

-Clima

La absorción de los elementos fertilizantes por la planta depende de la temperatura, régimen de lluvias, luminosidad, etc., que inciden directamente sobre el ritmo de asimilación de los elementos nutritivos y de su transformación de los elementos orgánicos para el desarrollo de las cepas, en sus procesos de disolución e insolubilización, en la lixiviación, en los procesos de nitrificación, etc. Un exceso de agua en el suelo puede dar lugar a una importante pérdida de nitrógeno en climas lluviosos y suelos sueltos, arenosos, y una falta por sequía puede ocasionar la absorción escasa de otros elementos nutritivos.

-Suelo

Tiene una importancia decisiva porque su estructura y fertilidad depende fundamentalmente la nutrición del viñedo. Terrenos sueltos con elevados contenidos de arena y grava, con escaso poder retentivo, facilitan las pérdidas por percolación o arrastre del nitrógeno, calcio, magnesio, etc., mientras que los arcillosos retienen intensamente el fósforo y la potasa, además de proporcionar a las cepas una humedad plenamente satisfactoria.

La naturaleza del terreno influye mucho en el coeficiente de utilización de los elementos minerales. Se considera que el nitrógeno es aprovechado por la vid en un 80 por 100, pero en suelos arenosos y pedregosos disminuye al 30 por 100. El lavado puede dar lugar a pérdidas de 30 a más de 80 kg de nitrógeno por hectárea y año. La utilización del fósforo varía del 30 al 50 por 100 en suelos pobres a fértiles humíferos, disminuyendo por debajo del 30 por 100 en los pedregosos calizos. Asimismo se

considera que la viña utiliza el 60 por 100 del potasio agregado en la fertilización, reduciéndose su utilización hasta el 6 por 100 en algunos suelos arcillosos.

El contenido de carbonato cálcico en los suelos es de importante consideración, no solamente a la hora de elección del portainjerto, por sus diferentes resistencias a la caliza activa, sino porque su exceso o falta provoca la carencia de magnesio por arrastre (falta de calcio) y antagonismo (exceso de calcio), observándose también la carencia de boro y manganeso por su insolubilización debida a un elevado contenido del mismo.

Se considera que los terrenos con un contenido elevado de caliza dan excelentes vinos de gran calidad, máximo en los tintos destinados a la crianza. Lo mismo acontece con los suelos ricos en potasio.

La importancia del pH del suelo tiene una gran incidencia en la nutrición del viñedo. El nitrógeno es mas fácilmente absorbido a un pH neutro; fósforo, potasio, calcio, azufre y magnesio son mejor absorbidos en terrenos medianamente alcalinos; el hierro, manganeso, boro, cobre y zinc son fácilmente absorbidos en un pH ácido, y el primero por insolubilización puede provocar la clorosis férrica a pH superiores a 8,5. Para obtener una mayor solubilidad de los microelementos es más importante el pH del suelo que el contenido total de los mismos. Los suelos con pH menos a 5 causan en el viñedo un suministro deficiente de Ca, P, y Mg e incluso pueden producir toxicidades de Al, Mn o Cu, mientras que pH muy bajos, inferiores a 5, son en general nocivos, estimándose que en los terrenos arenosos no debieran bajar de 6, en tanto que los compactos arcillosos deberían ser superiores a 6,5.

-Movilidad de los elementos minerales.

De la movilidad de los elementos minerales depende su penetración en los suelos y consecuentemente la forma y época de aplicación de los fertilizantes. Hay elementos sumamente móviles como los nitratos, y otros de escasa movilidad, como el fósforo, potasio, calcio y magnesio que obligan a hacer aplicaciones tempranas localizadas, pero que permiten su utilización en abonados de fondo.

-Variedades de vid y portainjerto.

Depende fundamentalmente de las necesidades de elementos fertilizantes. La absorción de los mismos está condicionada por la naturaleza del portainjerto, variando

con su capacidad de intercambio catiónico y de la profundidad, expansión y ramificación de su sistema radicular.

-Edad del viñedo.

En general, las necesidades de elementos fertilizantes aumentan con la edad de las cepas, pero además lo hacen de una forma selectiva. En las fases de juventud y vejez las necesidades de nitrógeno son superiores a las de mediana edad, mientras que en la fase de plena productividad las exigencias de potasio son mayores que cuando la plantación es joven. (Hidalgo, L., 1999).

2.2.3-CLOROSIS.

La clorosis es una enfermedad fisiológica caracterizada por la carencia de hierro utilizable en el sistema foliar, que se traduce en una deficiencia de clorofila más o menos grave.

Según afirma Cibriain, F., *et al.*, (1994) las plantaciones de *Vitis vinifera L.* poseen una elevada resistencia a la clorosis, siendo poco frecuentes en los antiguos viñedos francos de pie, pero las vides de origen americano o en cuya ascendencia intervienen especies americanas utilizadas para portainjerto, se ven afectadas en mayor o en menor grado.

- Sintomatología:

Los viñedos afectados por clorosis manifiestan los primeros síntomas en primavera, cuando se produce el desarrollo más activo de la vegetación.

La manifestación externa principal es una decoloración general de los órganos verdes (fig.3), acompañado de raquitismo, fundamentalmente de las extremidades de los pámpanos, como consecuencia de la falta de clorofila y desorganización de los cloroplastos. En los casos más graves la disminución de vigor aparecidos ya antes de la floración, la producción de fruto se ve seriamente afectada, el cuajado del mismo es muy irregular, consecuencia del corrimiento de la flor, la maduración se dificulta o no se produce, y la cosecha es escasísima, pudiendo llegar a anularse, si la enfermedad avanza hasta los últimos estadios.

Fig. 3- Hoja del viñedo afectada por clorosis, donde se observan los síntomas de esta enfermedad.



Paralelamente se produce una desaparición total o parcial del almidón de las partes vivaces, con agotamiento de las reservas, que se traduce en una brotación tardía al año siguiente, con aparición más precoz de la clorosis, y un crecimiento más débil.

Simultáneamente, las raíces mueren a medida que se acentúan las fases de la clorosis, secándose las más finas y superficiales, con lo que el vigor de la cepa se resiente, la vegetación se raquílica y pobre, pudiendo llegar a morir.

La clorosis acarrea modificaciones importantes en la composición de los tejidos y de la savia. Las relaciones K/Ca y P/Fe son más elevadas en hojas cloróticas.

- Tipos

La falta de hierro útil necesario para la existencia de clorofila en los órganos verdes de la planta, se debe a dos causas, que conducen a acciones diferentes:

- *Carencia directa* por falta de hierro, consecuencia de insuficiencia de hierro libre en el suelo. La falta de hierro divalente en la planta, obstaculiza la respiración para la cual es indispensable, dando lugar a una abolición de la proteosíntesis, una proteólisis y desorganización de los cloroplastos, que conduce a la decoloración de la planta, con todas sus consecuencias.

- *Carencia inducida* por la caliza del suelo, que conteniendo hierro es absorbido por la planta, encontrándose en la misma en concentraciones normales e incluso a veces elevadas, pero las cantidades que se encuentran en estado soluble en los jugos extraídos de los órganos verdes por presión, son bajas, lo que da lugar a las mismas consecuencias: obstaculización de la proteosíntesis, existencia de proteolisis, y desorganización de los cloroplastos, con amarilleamiento y decoloración de la planta.

Este último caso es el más generalizado, y se la denomina clorosis caliza, aún cuando el efecto se trata también de una clorosis férrica, por insolubilización del hierro

- Causas

Las causas que propician la clorosis de la vid son varias:

- Las disponibilidades de hierro en el suelo de forma asimilable.

La absorción del hierro por las raíces se realiza en forma ferrosa (Fe^{++}), lo que supone la reducción previa de hierro férrico (Fe^{+++}). Las raíces sintetizan una serie de sustancias que segregan al suelo, las cuales aseguran la reducción del hierro así como su absorción.

La carencia de glúcidos a nivel radicular disminuye el crecimiento de las raíces jóvenes y disminuye la absorción de elementos minerales.

- El comportamiento de la planta frente al mismo :
 - Las exigencias en hierro del sistema foliar para la síntesis de clorofila.
 - La aptitud del sistema radicular para satisfacer las necesidades en hierro del sistema foliar.
 - La movilización y transporte de hierro en la planta entre el sistema radicular y el sistema foliar.

- La caliza activa del suelo.

En la savia de la vid, se ha constatado que el hierro emigra bajo la forma de citrato de hierro. Las raíces sintetizan ácido cítrico a partir de los glúcidos, formándose así el complejo hierro-ácido cítrico, y emigran seguidamente a las partes aéreas. La caliza del suelo neutraliza éste ácido formado y da lugar a la insolubilización del hierro en la planta, impidiendo la formación del complejo o destruyendo los ya existentes.

El contenido en glúcidos del sistema radicular tiene gran importancia para la alimentación en hierro de la planta. Si su cantidad es débil, la síntesis de ácido cítrico será reducida y la emigración del hierro a las partes aéreas insuficiente.

2.3-LAS ALGAS Y SU APLICACIÓN.

2.3.1-INTRODUCCIÓN.

Los pueblos costeros han usado las algas marinas durante siglos. Las han utilizado como abono, en medicina y como alimento. Productos diarios como los helados, pasta de dientes, cerveza, jabones faciales, mermeladas, y cremas faciales tienen una cosa en común, todos pueden contener productos algicos.

Estando dos tercios de la superficie de la tierra cubiertos de agua, no es sorprendente que las algas marinas comprendan la mayor parte de la vegetación y suplan la mayor cantidad de oxígeno del planeta. Y mientras que el número de especies diferentes de algas marinas encontradas por todo el mundo es incalculable, solamente unas pocas especies se cosechan para usos comerciales. Varias industrias claves mundiales son usuarias significativas de plantas marinas e incluyen los sectores alimentarios (humano y animal), cosméticos, farmacéuticos, agrícolas y hortícolas (www.terralia.com/revista14/pagina40-htm).

2.3.2-APLICACIÓN DE LAS ALGAS EN LA AGRICULTURA.

Las algas marinas son parte integral de la ecología y contorno costero. Durante siglos, las zonas agrícolas cercanas a estas áreas costeras fueron abonadas con algas marinas por ser fuente valiosa de materia orgánica para diversos tipos de suelo y para diferentes cultivos de frutales y hortícolas.

Aunque el uso de algas marinas en los cultivos se remonta a la antigüedad, el desarrollo de los nutrientes químicos o sintéticos a finales del siglo XIX hizo menos popular el uso de productos naturales y orgánicos (Senn, 1987). En años recientes, se ha invertido esta tendencia puesto que las fuentes naturales de nutrientes de plantas y los promotores naturales del crecimiento de las mismas han recuperado su respeto en muchas aplicaciones por medio de una investigación intensiva y programas de desarrollo.

El número de especies de algas marinas que se encuentran ahora en el mercado es considerable y pertenecen a los géneros *Macrocystis*, *Eklonia*, *Sargassum*, *Durvillia*, *Porphyra*, *Fucus* y *Ascophyllum*. La mayoría de las algas marinas usadas como fertilizante y como agentes condicionantes del suelo corresponden a especies de algas pardas. Entre todas las algas marinas y los extractos que se encuentran ahora en el mercado, *Ascophyllum nodosum* es la especie más investigada con fines agrícolas, ya que se ha demostrado que los extractos de ésta son los más activos biológicamente de todos los productos algicos comerciales, siendo también la más utilizada en Europa y en el Norte de América (Blunden, 1991)

Las algas son reconocidas como una excelente fuente de reguladores de crecimiento naturales con actividad demostrada (Crouch, 1990; Crouch, Van Staden, 1993; Jameson, 1993). Minerales y carbohidratos son también ingredientes activos de los extractos de algas (Senn, 1987). Uno de los componentes de productos con *Ascophyllum nodosum* es una familia de hormonas vegetales llamadas citoquininas (Blunden, 1977). Se conocen las citoquininas por la estimulación del crecimiento y por su interacción con otras hormonas de las plantas que regulan numerosas funciones específicas de sus células. Otros compuestos que se han identificado como hormonas de crecimiento en productos obtenidos de *Ascophyllum nodosum* son las auxinas (Sanderson et al., 1978), betaínas (Whapham et al., 1993), y giberelinas (Wildgoose et al., 1978). Estos iniciadores también abastecen el terreno de carbohidratos para el uso en los procesos de fijación de nitrógeno que son tan vitales en la sanidad del suelo productivo, a la vez que promueven la estructura migajosa y aumentan los microorganismos benéficos.

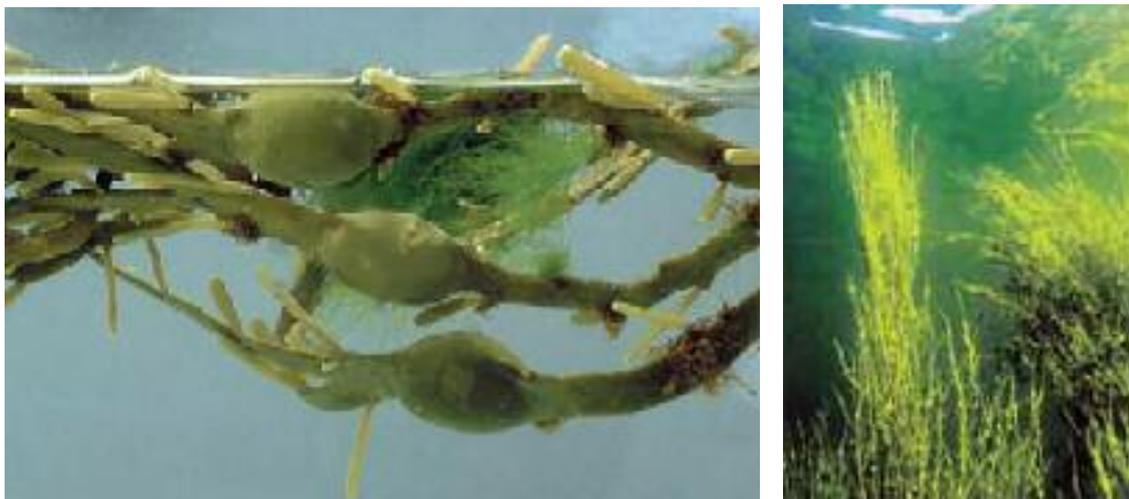
Mientras las algas por si solas no contribuyen al alimento total del suelo, sí son parte del cuadro completo del acondicionamiento del suelo ya que las trazas minerales presentes en los extractos de algas actúan como acondicionadores por estimulación de microorganismos en el suelo. Estos organismos a su vez estimulan los procesos enzimáticos y necesarios para la salud del suelo y ayudan a los procesos de aireación.

Además de la gran importancia de que el uso de algas puede modificar la tendencia actual de degradación del suelo que los agentes químicos causan, se trata de un fertilizante orgánico renovable, aspecto importante a considerar con respecto a las actividades agrícolas sostenibles con el medio ambiente.

Los extractos de alga también ayudan a resistir daños por enfermedad, insectos o condiciones de estrés, así como incrementar la producción, la resistencia a la escarcha, la absorción de nutrientes del suelo y la germinación de las semillas (Abetz, 1980; Meeting et al., 1990; Blunden, 1991; Verkleij, 1992; Abetz, 1980). Otros estudios han demostrado que el contenido de clorofila y la capacidad fotosintética son más altos en plantas tratadas con el extracto, dando así una ventaja definitiva a las plantas tratadas sobre las no tratadas.

El tipo de algas más frecuentemente utilizadas como acondicionador de suelo proviene de cultivares en las aguas de Noruega y de Islandia, donde se desarrollan bajo condiciones ambientales desfavorables e inusuales. Las aguas calientes del golfo y las temperaturas árticas combinadas dan lugar a un lento crecimiento de las algas, que provoca altas concentraciones de hormonas promotoras del crecimiento y micronutrientes.

Fig.4-*Ascophyllum nodosum* L. Imágenes tomadas de <http://owen.nhm.ac.uk/piclib/www/image.php>.



Las dosis y tiempos de aplicación de varios extractos de algas marinas han demostrado ser específicos para los diferentes cultivos y pueden producir resultados variados en los mismos. Sin embargo, las dosis varían entre 0,2 y 1,5 kilogramos de alga sólida por hectárea por aplicación. En muchos casos, la aplicación temprana de los extractos es muy eficaz para preparar las plantas contra las primeras altas temperaturas y para resistir enfermedades al mismo tiempo que ayudan a conseguir un rendimiento máximo. La aplicación tardía se usa mucho para retrasar la caída de la

fruta, mejorar la calidad después de la cosecha y mejorar el contenido de azúcar en la fruta. Otros beneficios obtenidos incluyen mejoras en el color de la fruta y en el tiempo de almacenaje.

Expertos en algas llevan años de investigaciones en los E.E.U.U., Europa y Sudamérica, en los niveles de agricultura comercial y de investigación universitaria habiendo realizado numerosas pruebas de campo y proyectos de investigación básica. También están trabajando con instituciones privadas de investigación para identificar los aspectos más beneficiosos en los diversos cultivos de importancia económica y para investigar la eficacia del producto. Cuando es posible, se incorporan los productos en programas regulares de cultivo para examinar la compatibilidad y la interacción con otros productos usados regularmente en cultivos.

Según la revista Terralia (www.terralia.com/revista15/pagina28-htm), las pruebas con las uvas sin semillas de Flame y Thompson demostraron los rendimientos mejorados. Las pruebas adicionales en Europa, con diferentes variedades de uvas para vino, mostraron mejoras en la acidez total y también en los azúcares totales de las uvas. Actualmente se están investigando las variables de calidad, de almacenaje y otras características del vino a un nivel más detallado que en los rendimientos de las pruebas de campo. Otras pruebas demostraron incrementos en el rendimiento de las uvas del 25 al 60%, y una mejora significativa en la calidad del mosto.

Las pruebas en los tomates de campo y de invernaderos han mostrado consistentemente mejor rendimiento en comparación con los terrenos de control no tratados con este extracto al aumentar un 20% las producciones (Booth, 1966). Con las sandías de Calsweet y Nova demostraron un incremento significativo en el número y el peso de las frutas lo que supuso un incremento promedio del 37% en los beneficios económicos.

Los rendimientos en las zanahorias Bolero, Nanda y Maestro obtuvieron un aumento del 1,9, 7,2, y 20% respectivamente en las pruebas en Europa, así como mejoras en el largo y el diámetro de las zanahorias.

Al aplicar vía foliar extractos de algas en vid, Senn y Kingman (1977) verificaron un aumento de los sólidos solubles en las uvas al compararlas con las plantas testigo.

2.4-ACTIVIDAD FOTOSINTÉTICA.

En las partes verdes de las plantas expuestas a la luz, y en las algas, existen células con cloroplastos, que son los orgánulos especializados en realizar la fotosíntesis.

La captación de los fotones de la radiación luminosa solar por los vegetales se debe a los pigmentos fotosintéticos localizados en los tilacoides de los cloroplastos.

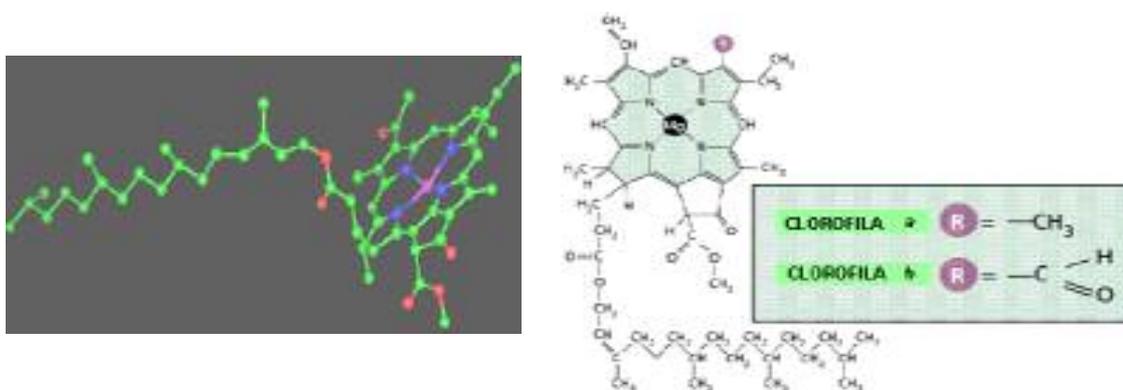
2.4.1-PIGMENTOS FOTOSINTÉTICOS.

Los pigmentos fotosintéticos se pueden agrupar en tres tipos: clorofilas, carotenoides y ficobilinas. Los dos últimos son llamados pigmentos fotosintéticos accesorios, ya que los cuantos absorbidos por éstos, pueden ser transferidos a la clorofila.

Las clorofilas son los pigmentos característicos del reino vegetal que dan el color verde a los órganos fotosintéticos. Existen varios tipos de moléculas de clorofilas. La clorofila a se encuentra en todos los organismos fotosintéticos que desprenden O_2 . La clorofila b se encuentra (aproximadamente una tercera parte del contenido en clorofila a) en las hojas de las plantas superiores y de las algas verdes.

En las bacterias existe la bacterioclorofila a. En las algas existen otros tipos de clorofila (c y d), pero siempre existe conjuntamente la clorofila a, por lo que parece ser que este pigmento juega un papel fundamental en la fotosíntesis de los vegetales.

Fig. 5-Estructura de la clorofila a (a). Estructura de clorofila a y b (b). Imágenes tomadas de <http://www.nyu.edu/pages/mathmol/library/photo> y <http://gened.emc.maricopa.edu/Bio/BIO181/BIOBK/BioBookTOC.html> respectivamente.



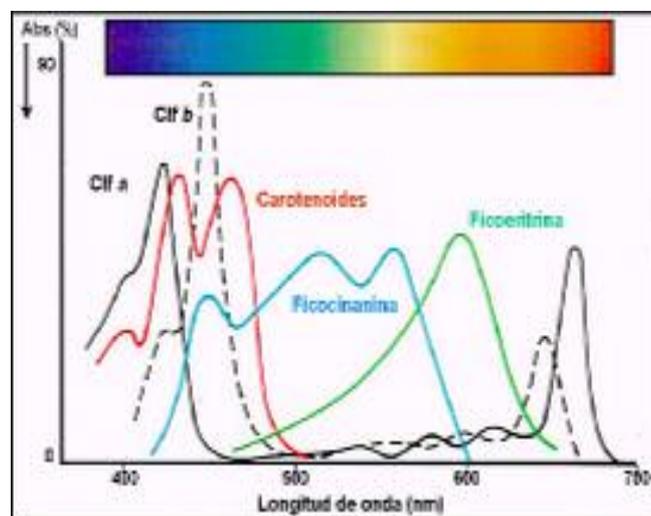
(a)

(b)

La molécula de clorofila (figura 5) contiene una porfirina a modo de cabeza y un fitol a modo de cola. El núcleo porfirínico polar (soluble en agua) está formado por un anillo tetrapirrólico y un átomo de magnesio. La cola está formada por un alcohol de veinte átomos de carbono que produce la insolubilidad en agua de la molécula de clorofila y le hace soluble en disolventes orgánicos. Todos los tipos de clorofilas se diferencian entre sí por pequeñas sustituciones de los radicales.

Los diversos pigmentos fotosintéticos tienen unos espectros de absorción específicos con respecto a la radiación solar. Los carotenoides presentan varios máximos de absorción para las longitudes de onda comprendidas entre 420 y 490 nm, y las ficobilinas varían entre los 570 y 630 nm. Las clorofilas presentan dos picos de absorción: uno para el azul (de 420 a 450 nm) y otro para la roja (de 625 a 690 nm). La clorofila a es verde azulada, y la clorofila b es verde amarillenta, situándose los picos de absorción extraídas en acetona en 663 y 645 nm respectivamente.

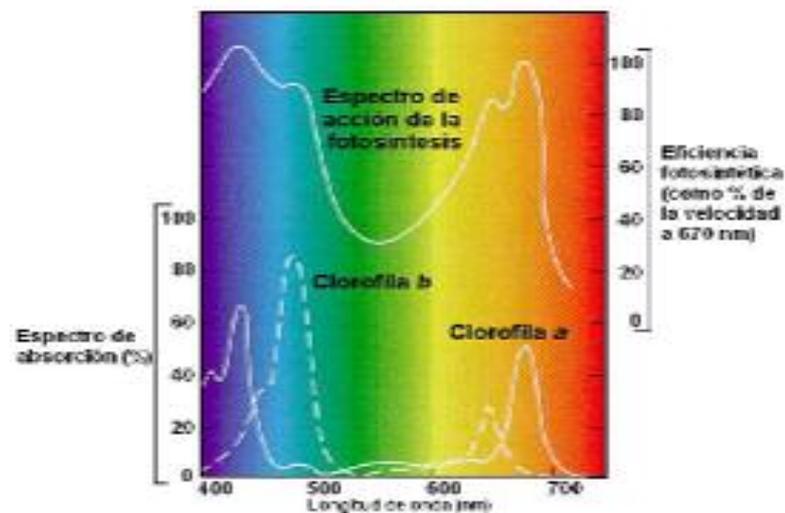
Fig.6- Espectro de absorción de pigmentos fotosintéticos. (Martínez de Toda, F., 1991)



La energía absorbida por los diferentes pigmentos puede ser transferida a la clorofila a por medio de procesos fotoquímicos. Así, las plantas superiores y las algas, en el transcurso de la evolución, han sintetizado distintos pigmentos para captar lo más eficientemente la radiación solar que les llega y para realizar la fotosíntesis.

La relación entre la fotosíntesis y la presencia de estos pigmentos queda claramente de manifiesto cuando se compara el espectro de acción de la fotosíntesis (eficiencia fotosintética frente a longitud de onda), con los espectros de absorción de la clorofila. Como se puede apreciar en la figura 7, las longitudes de onda de máxima absorción coinciden con las de máxima eficiencia fotosintética.

Fig.7- Espectro de absorción de la clorofila a y b, y espectro de acción de la fotosíntesis (García, F., Roselló, J., Santamarina, P., 2001).



2.4.2- FACTORES QUE REGULAN LA FOTOSÍNTESIS.

Dentro del conjunto de factores que influyen sobre la reacción fotosintética se pueden considerar dos grupos: los inherentes a la planta y los procedentes del medio ambiente.

- Factores internos

- Contenido en clorofila.

Para que se lleve a cabo la fotosíntesis tiene que haber clorofila. Sin embargo, el contenido de la clorofila no afecta mas que en condiciones limitantes (hojas amarillas, etioladas, etc.) pues la clorofila, cuando existe en un tejido, se suele encontrar en dosis excedentarias.

- Edad de la hoja.

La capacidad de fotosíntesis en una hoja aumenta al ir desarrollándose la nueva hoja hasta que llega un momento, cuando ésta alcanza la madurez o incluso un poco antes, en que la tasa de fotosíntesis comienza a disminuir. Naturalmente, las hojas viejas pierden su clorofila, y por ello, la capacidad de fotosíntesis.

- Traslocación de hidratos de carbono.

La tasa con que se movilizan los productos de la fotosíntesis también puede ser un mecanismo de control interno. Se ha comprobado que al eliminar alguno de los sumideros de la planta (p.e. los frutos) se detecta una inhibición de la fotosíntesis en las hojas próximas. Las especies que tienen una tasa fotosintética elevada, también tienen una tasa elevada de traslocación. Cuando la relación sumidero/fuente aumenta, tiende a aumentar la fotosíntesis y viceversa.

-Factores externos

- Iluminación.

Un parámetro importante a considerar es el punto de compensación para la luz, que se define como el nivel de iluminación al que le corresponde una fotosíntesis neta nula. Por debajo del punto de compensación la desasimilación es mayor que la asimilación y el organismo vive de sus reservas, necesariamente limitadas. Los niveles óptimos de iluminación se dan en el intervalo de 35.000 hasta 50.000 lux.

Existen especies que tienen tasas fotosintéticas muy bajas en iluminación intensa, en comparación con otras que aumentan considerablemente la fotosíntesis al aumentar la intensidad luminosa. Las primeras tienen el punto de compensación más pequeño y tasas fotosintéticas más altas a bajas iluminaciones.

Esta situación se da también dentro de una misma planta, las hojas situadas en la zona más umbrófila suelen tener más superficie, son más delgadas y presentan mayor contenido en clorofila por unidad de peso que las más expuestas al sol.

- Concentración de CO₂.

Salvo para muy débiles iluminaciones (menos de 1000 lx) o bajas temperaturas (menos de 5°C), el contenido de la atmósfera en CO₂ (320 ppm) es fuertemente limitante, situándose el óptimo de concentración hacia las 1000 ppm. Sin embargo, el punto de compensación para el CO₂ es extremadamente bajo (del orden de 50 ppm), ya que las plantas presentan una gran aptitud para captar dosis muy pequeñas.

- Temperatura.

La intensidad de la fotosíntesis depende de la temperatura, ya que tiene gran influencia en las reacciones fotoquímicas y bioquímicas de este proceso. La temperatura óptima para la vida, está entre 25 y 30°C. Con temperaturas muy bajas (10 – 15°C), la fotosíntesis es muy limitada, si es superior a 30°C se produce disminución de la actividad fotosintética.

2.4.3-FOTOQUÍMICA DE LA CLOROFILA.

La clorofila es la molécula principal de los pigmentos fotosintéticos ya que en última instancia ella es la responsable de la transferencia de la energía luminosa a un electrón de la molécula que alcanza un estado tal de excitación que le permite abandonarla y reducir otros sistemas oxidantes que al final van a reducir al CO₂ atmosférico.

La iluminación de clorofila con luz, da lugar a la excitación de la molécula, y determina el paso de un electrón de su última capa electrónica ocupada (estado normal o fundamental), a otra capa electrónica de un nivel energético mayor. Dependiendo de la longitud de onda de la luz incidente, se alcanzan distintos niveles. El nivel 3 es el más estable, lo suficiente como para dar tiempo a la interacción de la molécula de clorofila excitada con otras moléculas.

Por la estructura de la clorofila, las cabezas tetrapirrólicas se asocian muy próximas y la excitación de una puede ser captada por la siguiente. A este fenómeno se le llama Resonancia molecular. La excitación se transmite en casi un 100% y parece que no hay apenas pérdida de energía. Por ejemplo, en el caso de los carotenoides los rendimientos de esta transmisión de excitación son del orden del 40-50 %.

2.5- TELEDETECCIÓN EN LA AGRICULTURA.

2.5.1- INTRODUCCIÓN A LA TELEDETECCIÓN.

El vocablo teledetección deriva del francés “télédétection”, traducción dada en 1967 al término anglosajón “remote sensing” o percepción remota. Definir el concepto

de teledetección no es sencillo ya que no existe una definición única universalmente aceptada. En su más amplio sentido se entiende por percepción remota “la adquisición de información sobre un objeto a distancia, esto es, sin que exista contacto material entre el objeto o sistema observado y el observador”.

La teledetección parte del principio físico de la existencia de una perturbación (energía electromagnética, campos gravitacionales, ondas sísmicas...) que el sistema observado produce en el medio, la cual se transmite al sistema receptor para ser registrada, almacenada y posteriormente, interpretada. La transferencia de radiación electromagnética es la interacción física más estudiada en la teledetección.

Todos los cuerpos reflejan o emiten los flujos energéticos bajo forma de radiación. La variación relativa de la energía reflejada o emitida en función de la longitud de onda, constituye lo que se denomina su signature espectral. Cada superficie tiene una curva de emisividad y reflectividad espectral característica. La teledetección tiene por objeto la determinación de los materiales y los fenómenos que tienen lugar en la superficie terrestre, a través de su signature espectral. Estudia las variaciones espectrales, espaciales y temporales de la superficie terrestre (Chuvienco, E., 2000).

2.5.2- RADIACIÓN SOLAR.

Toda forma de vida en la tierra es mantenida por el flujo de energía radiante que siendo emitido por el sol, entra en la biosfera, y a través de la fotosíntesis, es fijada por las plantas en forma de energía química latente, a partir de la cual deriva la energía necesaria para llevar a cabo todos los procesos vitales en los vínculos de la cadena alimentaria. Así la radiación, es la primera fuente de energía para la síntesis de la materia orgánica.

Para las plantas, sin embargo, la radiación solar no es solo una fuente de energía, es también un estímulo para procesos de desarrollo y en ocasiones un factor de estrés (efectos de fotodestrucción o fotoinhibición). Cada uno de estos efectos es desencadenado por la captación de cuantos de luz, y cada proceso es mediado por fotorreceptores altamente específicos, cuyo espectro de absorción corresponde al espectro de acción del respectivo suceso fotobiológico. La época, duración, dirección de incidencia y composición espectral, son importantes factores que influyen en la radiación captada (Larcher, W., 2003).

2.5.3- RADIACIÓN EN LA PLANTA.

Las zonas superiores de las plantas reciben radiación de diferentes tipos: luz solar directa, luz dispersa, radiación difusa (en días nublados), y radiación reflejada del suelo.

Generalmente las plantas orientan sus superficies de asimilación de tal manera que el número más alto posible de hojas están continuamente expuestas a la radiación solar directa, aunque la mayor parte de las hojas están en semi-sombra, recibiendo mayoritariamente luz difusa. Tal y como afirma Walter Larcher (2003) algunas de las plantas han desarrollado un tipo de hoja (hojas erguidas, en posición de perfil, con superficies curvadas) de tal manera que captan la radiación incidente con un ángulo inclinado, así consiguen evitar daños provocados por una fuerte radiación o el excesivo calor.

En la copa de los árboles o arbustos solitarios, el gradiente de luz se desarrolla desde los márgenes de la copa hacia su interior. La disminución de la radiación en la copa depende del tipo y estado de las hojas, de las características de la arquitectura, de la etapa de desarrollo en que se encuentra y de la edad de la planta.

2.5.4- DISTRIBUCIÓN DE LA RADIACIÓN EN CUBIERTAS VEGETALES.

La estructura de las cubiertas vegetales suele contar con varias capas, las plantas forman un complejo sistema de asimilación que consiste en sucesivas capas de hojas que parcialmente se solapan y se dan sombra unas a otras. En este tipo de cubiertas la mayoría de la luz incidente es utilizada eficientemente al ser absorbida progresivamente por todas las capas. La radiación incidente llega a lugares del interior de la planta por varios caminos. En primer lugar la luz puede entrar como radiación directa a través de huecos en la cubierta o desde los márgenes, también como luz dispersa tras la reflexión en las hojas y en la superficie del suelo, y finalmente mediante transmisión de luz a través de las hojas. La atenuación de la radiación en las diferentes partes de la planta depende principalmente del área foliar, de la organización de las hojas, y de la inclinación de éstas para captar la radiación.

2.5.5- INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR CON LAS SUPERFICIES NATURALES.

La superficie de nuestro planeta está formada por diferentes tipos de cubierta y cada uno de ellos refleja un comportamiento específico frente a la radiación solar.

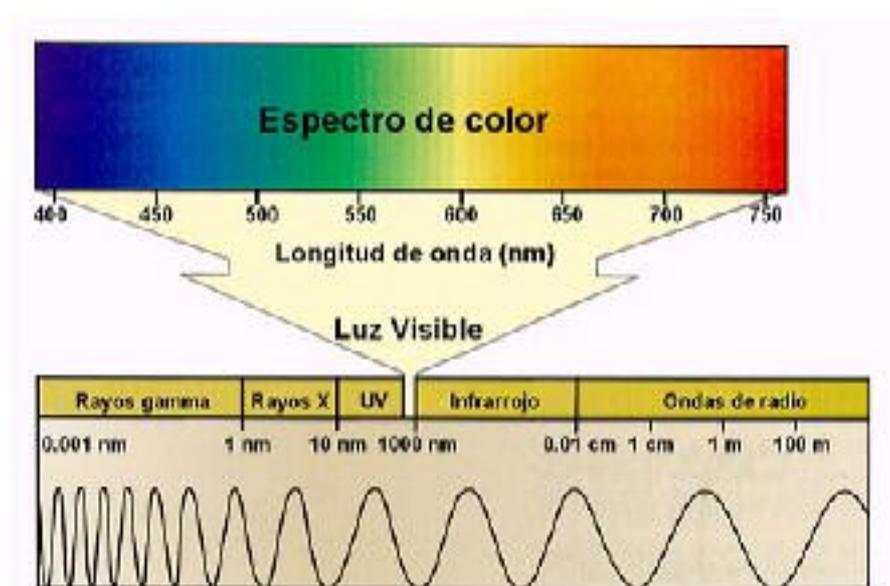
Para estudiar las características de la interacción solar con las diferentes superficies naturales es fundamental conocer los procesos físicos básicos que se producen durante la interacción. Al incidir la radiación solar sobre cualquier tipo de superficie, una parte se refleja en la misma, otra parte se absorbe y el resto se transmite a través de ella.

La relación matemática que ilustra este hecho es:

$$I_{\lambda} = R_{\lambda} + A_{\lambda} + T_{\lambda}$$

donde I_{λ} representa la energía incidente, R_{λ} la energía reflejada, A_{λ} la energía absorbida, y T_{λ} la energía transmitida.

Fig.8- Espectro electromagnético.

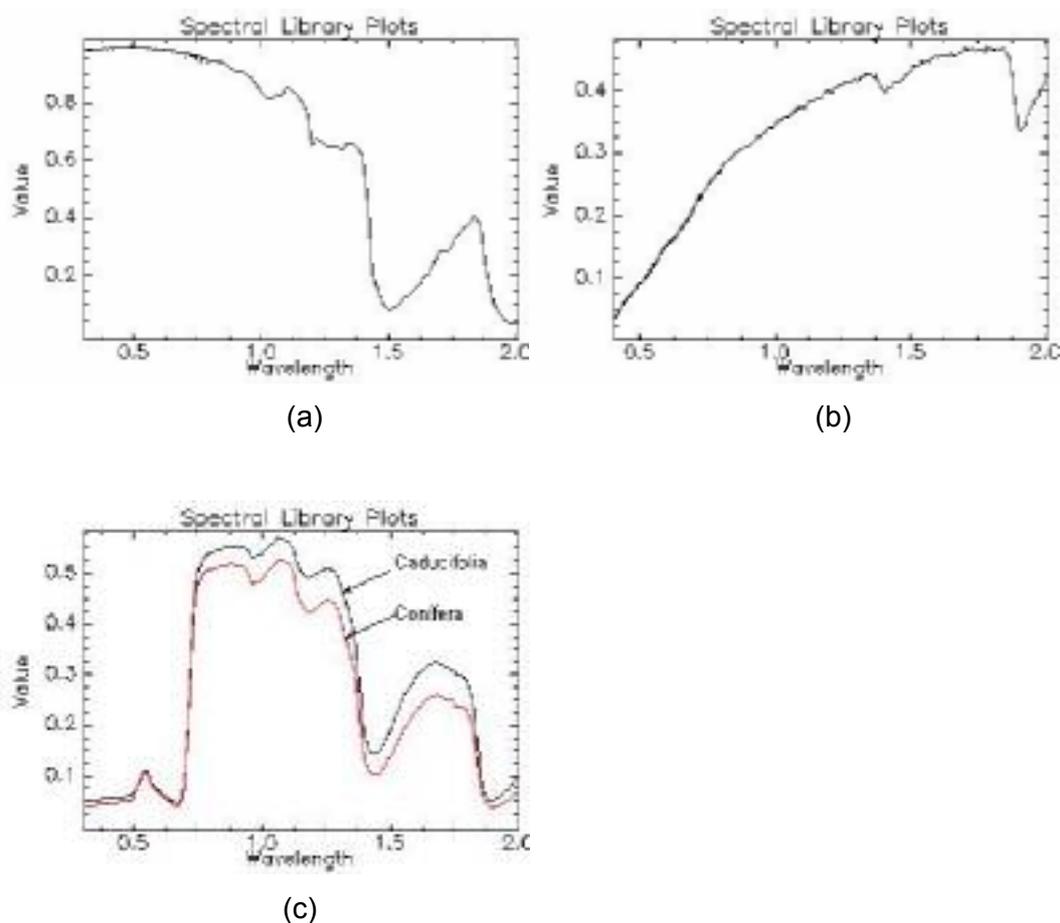


La proporción de flujo incidente que es reflejado, absorbido y transmitido depende de las características de la superficie que se observa y de la longitud de onda a la que sea observado. Para poder caracterizar una determinada cubierta, resulta muy interesante conocer su comportamiento en las diferentes longitudes de onda, ya que ésto permitirá determinar mejor sus diferencias con respecto a cubiertas espectralmente similares.

En el caso del espectro visible ese comportamiento de los objetos a distintas longitudes de onda se manifiesta en lo que llamamos color: un objeto es azul si refleja intensamente la energía en esa banda del espectro y poco en el resto (dicho de otro

modo, si absorbe o transmite poca energía incidente solo en el azul, siendo mayor en el resto), mientras que será verde si su reflectividad se centra en esa banda y es baja en otras.

Fig. 9- Signaturas espectrales de nieve (a), suelo (b), y dos tipos de vegetación: caducifolia y conífera (c). Extraídas de la biblioteca espectral de ENVI 4.0.



Las superficies naturales que cubren nuestro planeta puede dividirse en tres tipos: vegetación, suelo, y agua. Algunas tienden a presentar una respuesta uniforme en distintas longitudes de onda, mientras otras ofrecen un comportamiento mucho más selectivo. La nieve (fig.9-a) presenta una reflectividad alta, pues refleja la mayor parte de la energía incidente a distintas longitudes de onda. Por el contrario, el agua absorbe la mayor parte de la energía que recibe, tanto más según nos situamos en longitudes de onda mayores. Por su parte, la vegetación (figura 9-c) presenta un comportamiento muy cromático, con bajos valores de reflectividad en el espectro visible, más elevados en el infrarrojo cercano y menores en el medio.

Es importante considerar que el flujo de energía recibido por el sensor no solo depende de la reflectividad de la cubierta, sino también de otros factores externos. Los más importantes son: las condiciones atmosféricas, las variaciones medioambientales de la cubierta, la geometría de la observación, y el sustrato edafológico o litológico (especialmente influyente cuando la cubierta observada presenta una densidad media). Estos factores expresan la complejidad que puede entrañar la caracterización de un tipo de cubierta a partir de sensores remotos. En consecuencia, las distintas cubiertas de la superficie terrestre no tienen un comportamiento espectral único y permanente, que coincida con su signatura espectral característica y permita reconocerlas sin confusión frente a otras superficies.

Pese a estas dificultades, las curvas de reflectividad son muy útiles para interpretar la imagen, por cuanto relacionan los valores adquiridos por el sensor con las medidas de laboratorio. A la vez, estas gráficas permiten seleccionar las bandas más convenientes para la detección de las cubiertas terrestres bajo estudio.

2.5.6- RESPUESTA ESPECTRAL DE LA VEGETACIÓN.

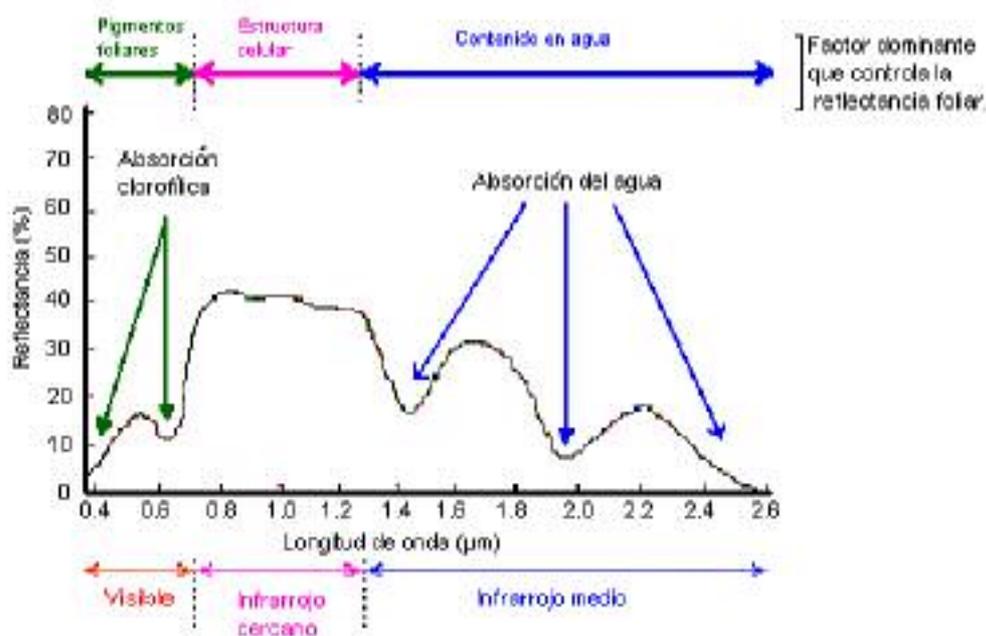
La caracterización espectral de las masas vegetales constituye una de las tareas más interesantes de la teledetección. Pese a su gran importancia, aún ofrece grandes dificultades como consecuencia de los múltiples factores que influyen en la radiancia final detectada por el sensor. En primera instancia, ha de considerarse la propia reflectividad de la hoja, en función de su estado fenológico, forma y contenido de humedad. Además es preciso tener en cuenta las características morfológicas de la planta: su altura, perfil, grado de cobertura del suelo, etc., que provocan una notable modificación de su comportamiento reflectivo. Un tercer grupo de factores son los derivados de la situación geográfica de la planta: pendiente, orientación, asociación con otras especies, geometría de plantación, etc.

De acuerdo con varios estudios teóricos (Gates et al., 1965; Kniplin, 1970; Colwell, 1974; Curran, 1980; Jensen, 1983; Lusch, 1989), y con una serie de curvas espectrales obtenidas en mediciones de laboratorio, el comportamiento típico de la vegetación vigorosa muestra una reducida reflectividad, reduciéndose paulatinamente hacia el infrarrojo medio (figura 10).

Estas características espectrales se desarrollan, primordialmente, con la acción de los pigmentos fotosintéticos y del agua que almacenan las hojas. En concreto la baja reflectividad en la porción visible del espectro se debe al efecto absorbente de los pigmentos de la hoja, principalmente la clorofila, xantofila y caroteno (65, 29, y 6%, respectivamente, aunque la proporción puede variar mucho) (Gates et al. 1965). Todos

ellos absorben en la banda del espectro situada entorno a los 0.445 μm , mientras la clorofila presenta una segunda banda de absorción en torno a los 0.645 μm . Entre ambas porciones del espectro, aparece una banda intermedia, alrededor de los 0.55 μm , donde el efecto absorbente es menor. Por esta causa aparece un pico relativo de reflectividad que coincide con la banda verde del espectro visible, y causa el color con el que nuestros ojos perciben la vegetación vigorosa.

Fig. 10 – Factores de la reflectividad de la vegetación sana en el espectro óptico.



Cuando se aproxima la caída otoñal de las hojas, la clorofila ejerce una menor influencia, lo que explica su mayor reflectividad en la banda roja y, en definitiva, su color amarillento (verde + rojo). En algunas especies resulta destacada la acción de otro pigmento, la antocianina, buen reflector de la porción roja del espectro, que causa ese color en épocas de senescencia.

En cuanto a la elevada reflectividad del infrarrojo cercano, parece deberse a la estructura celular interna de la hoja. En concreto, ejerce un papel protagonista la caja esponjosa del mesófilo, con sus cavidades de aire internas, al difundir y dispersar la mayor parte de la radiación incidente en esta banda del espectro (Harris, 1987). Por ello, la hoja sana ofrece una alta reflectividad en el infrarrojo cercano, en claro contraste con su baja reflectividad en el espectro visible, especialmente con la banda roja. Puesto que la estructura de la hoja es muy variada según especies, esta banda

también resulta idónea para discriminar plantas, incluso entre aquellas que no podrían separarse en el espectro visible.

A partir de $1,4 \mu\text{m}$ el efecto absorbente del agua es muy claro, por lo que la reflectividad de la vegetación sana se reduce drásticamente en el infrarrojo medio. Las medidas de laboratorio muestran una notable diferencia en esta región del espectro entre las hojas secas y las infiltradas con agua (Knipling, 1970; Curran, 1985), especialmente en las longitudes de onda próximas a $1,45 \mu\text{m}$, $1,92 \mu\text{m}$ y $2,7 \mu\text{m}$ (Lusch, 1989). En experimentos con hojas de higuera, la reflectividad de la hoja seca alcanzó hasta cuatro veces el valor de la hoja húmeda, para la banda situada en torno a $1,9 \mu\text{m}$ (Short, 1982). Entre estas bandas, donde la absorción del agua es más clara, se sitúan dos picos relativos de reflectividad, en torno a $1,6 \mu\text{m}$ y $2,2 \mu\text{m}$. Queda patente, pues, que la observación en esta región del espectro es de gran interés para conocer el estado hídrico de la hoja.

Estas curvas de reflectividad pueden modificarse en función de la morfología de la hoja. Asimismo, el sensor no mide hojas aisladas sino agrupaciones de hojas formando masas de vegetación, por lo que intervienen otros elementos adicionales que complican el esquema previo. Alguno de ellos son: el ángulo de elevación solar, directamente relacionado con la proporción de sombras que detecta el sensor; el índice de área foliar (LAI), especialmente sensible cuando la vegetación no cubre totalmente el suelo; las características del suelo que sustenta la vegetación; la geometría de la cubierta vegetal; su estado fenológico, etc.

Pese a la complejidad final, es evidente que estas ideas sirven para centrar el estudio científico de la vegetación a partir de sensores espaciales. De ellas, resulta evidente que el contraste más nítido en la reflectividad espectral de la vegetación sana se produce entre las bandas visibles, especialmente el rojo (en torno a $0,645 \mu\text{m}$), y el infrarrojo cercano ($0,7$ a $1,3 \mu\text{m}$). De ahí se puede enunciar, como principio genérico, que cuanto mayor sea el contraste entre esas bandas, mayor será el vigor de la vegetación, y más clara su discriminación frente a otros tipos de cubierta. Este comportamiento espectral teórico de las cubiertas vegetales ha sido la base para obtener una serie de índices de vegetación, que se basan entre otros factores, en el contraste entre las bandas roja e infrarrojo cercano del espectro. Se construyen a partir de la combinación entre estas dos bandas, cuando se dispone de una imagen multiespectral. Muy variados en su desarrollo, todos ellos tienden a presentar de forma más nítida las características de la vegetación, facilitando su aislamiento de

otras cubiertas y la detección de su estado vital (Meliá et al., 1986; Meliá, 1986; Huete, 1987; Sellers, 1989).

Queda implícito que cualquier fuente de estrés en la vegetación se mostrará en un comportamiento espectral más o menos alejado del anteriormente expuesto. La hoja senescente o enferma tiende a perder actividad clorofílica y, en consecuencia, a ofrecer una menor absorbancia en las bandas azul y roja del espectro visible. El aumento consecuente de la reflectividad en estas bandas elimina el máximo relativo antes situado en el verde, por lo que la hoja tiende a mostrar un color amarillento. Por el contrario en el infrarrojo cercano se produce una reducción de la reflectividad, como consecuencia de un deterioro en la estructura celular de la hoja. La curva espectral, por tanto, se hace más plana, menos cromática (Murtha, 1978; Knipling, 1970).

Estas observaciones son válidas para detectar daños producidos por plagas o incendios forestales (Tanaka et al., 1983; Chuvieco y Congalton, 1988b). En varios estudios se ha comprobado una clara relación entre el cociente infrarrojo medio/infrarrojo cercano y el contenido de humedad en las hojas, lo que permite detectar aquellas zonas afectadas por estrés hídrico (Cohen, 1991; Vogelmann, 1990; Hunt y Rock, 1989). Además, se ha comprobado que ciertos factores de estrés en la hoja están asociados a un desplazamiento en el límite rojo (red edge), esto es, en el cambio de pendiente de la curva espectral entre el rojo y el infrarrojo cercano, hacia longitudes más cortas. Este fenómeno se ha observado cuando las plantas están afectadas por contaminación de metales pesados (Rock et al., 1986), (Chuvieco, E., 2000)

2.5.7- ÍNDICES DE VEGETACIÓN.

Con objeto de realizar aplicaciones sistemáticas de la teledetección al seguimiento de los recursos agrícolas, y contando con que los factores que afectan a la reflectividad de las superficies vegetales tienen dependencia distinta según la longitud de onda, se han desarrollado los llamados índices de vegetación. Éstos se pueden definir como las combinaciones de bandas espectrales cuya función es la de realzar la contribución de la vegetación en la respuesta espectral de una superficie y atenuar la de otros factores como el suelo, las condiciones de iluminación y la atmósfera (Colwell, 1974; Tucker *et al.*, 1979) que puedan producir interferencias en la señal radiométrica. El índice de vegetación ideal ha sido descrito por Jackson et al (1983) como *“aquel particularmente sensible a la cubierta vegetal, insensible al brillo y*

color del suelo, y poco afectado por las perturbaciones atmosféricas, los factores medioambientales y la geometría de iluminación y de observación". Evidentemente, el índice de vegetación ideal no existe y los que se encuentran en la bibliografía son diversas aproximaciones al mismo.

Los primeros índices se desarrollaron a principios de los años 70, utilizando las cuatro bandas espectrales del sensor MSS, a bordo de los satélites Landsat que operaban entonces.

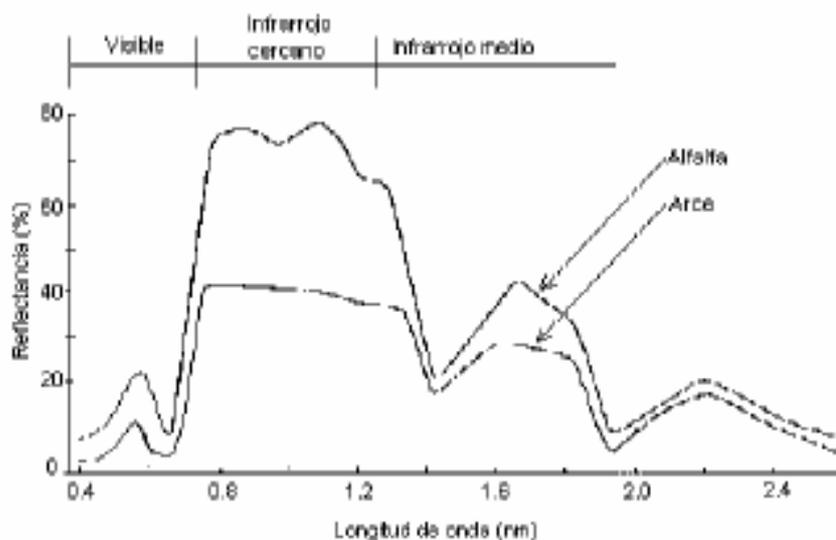
La ventaja fundamental que ofrece la utilización de índices en vez de bandas espectrales individuales es su mayor correlación con parámetros biofísicos de vegetación tales como la biomasa, el LAI (Índice de área foliar), contenido clorofílico, etc., así como una disminución de la cantidad de datos espectrales a tratar.

El empleo de los índices para discriminar masas vegetales se deriva del peculiar comportamiento radiométrico de la vegetación. La signatura espectral característica de la vegetación sana (fig.11) muestra un claro contraste entre las bandas visibles (y especialmente la banda roja: 0.6 a 0.7 μm) y el infrarrojo cercano (0.7 a 1.1 μm). Mientras en la región visible, los pigmentos de la hoja absorben la mayor parte de la energía que reciben, estas sustancias apenas afectan al infrarrojo cercano. Por esta razón, se produce un notable contraste espectral entre la baja reflectividad de la banda roja del espectro y la del infrarrojo cercano, lo que permite separar, con relativa claridad, la vegetación sana de otras cubiertas. Cuando la vegetación sufre algún tipo de estrés (por ejemplo, por plagas o sequías), su reflectividad será inferior en el infrarrojo cercano, aumentando en el rojo, con lo que el contraste entre ambas bandas será mucho menor. En definitiva, se puede señalar que cuanto mayor sea el contraste entre las reflectividades de la banda infrarroja y roja, mayor vigor presentará la cubierta observada. Bajos valores de contraste indican una vegetación enferma o senescente, hasta llegar a las cubiertas sin vegetación que ofrecen un contraste muy pequeño (Chuvieco, E., 1996).

En métodos de teledetección tradicionales para el control de vegetación relacionados con índices de banda ancha como el NDVI, se produce saturación en valores de elevados de LAI, por lo que ofrecen una estimación infravalorada en flujos de CO_2 y agua, e inexacta en el caso de la fotosíntesis. Sin embargo, la alta resolución espectral de los sensores hiperspectrales permite el cálculo de otros índices de vegetación relacionados con la absorción de luz específica debido a

procesos bioquímicos en la hoja y biofísicos en la cubierta, o a determinadas condiciones como el contenido en agua, clorofila, nitrógeno, materia seca y LAI.

Fig 11- Curvas de reflectancia espectral de dos tipos de vegetación sana: alfalfa y arce.



Un indicador potencial del estado de estrés de la vegetación es el contenido en clorofila a y b debido al papel que desempeña en los procesos fotosintéticos de captación de la luz y el inicio de transporte de electrones, y su respuesta al rango de estrés. En el cloroplasto la energía luminosa es captada y procesada por dos unidades funcionales que producen oxígeno y energía a través de una serie de reacciones de reducción-oxidación para transportar electrones. El estrés en la vegetación conlleva perturbaciones fisiológicas en las reacciones de la fotosíntesis incluyendo interrupción de transferencia de electrones, fotodecoloración, reorganización de la capa de pigmentos y daños estructurales en pigmentos fotosintéticos. Las diferencias en la reflectancia entre vegetación sana y con estrés debido a cambios en los niveles de clorofila se detectan en primer lugar en el pico verde y a lo largo del red edge o límite rojo (690-750nm) (Rock *et al.*, 1988; Vogelmann *et al.*, 1993; Carter, 1994), mejorando así la viabilidad de la teledetección de estrés en cultivos. La clorofila y otros componentes bioquímicos foliares como materia seca y contenido en agua; pueden utilizarse como indicadores del estrés de la planta de deficiencias nutricionales debidas a elementos como nitrógeno, fósforo, potasio, hierro, calcio, manganeso, zinc, y magnesio entre otros (Marschner *et al.*, 1986; Fernandez-Escobar *et al.*, 1999; Jolley and Brown, 1999; Chen and Barak, 1992; Wallace, 1991; Tagliavini and Rombola, 2001).

Muchos estudios han demostrado una relación directa entre el porcentaje de fotosíntesis, absorbancia luminosa, concentración de nitrógeno foliar, y producción de materia seca (Alt *et al.*, 2000). Varios intentos por cuantificar mediante teledetección el nitrógeno foliar no han tenido los resultados esperados debido a la distribución dinámica de nitrógeno y clorofila dentro de las cubiertas del cultivo, cambios de LAI asociados a variaciones en la disponibilidad del nitrógeno y cambios fenológicos. Sin embargo un contenido por debajo del nivel óptimo de nitrógeno en la cubierta es fácilmente detectable en concentraciones bajas de clorofila (Schoder *et al.*, 2000), mientras que el exceso de nitrógeno no se estima adecuadamente mediante la concentración de clorofila (Wood *et al.*, 1993; Dwyer *et al.*, 1995; Varvel *et al.*, 1997). Sin embargo, Blackmer *et al.*, (1994) demostró que con la reflectancia medida a 550nm se obtienen buenas correlaciones entre la concentración de nitrógeno foliar y la clorofila estimada, siempre y cuando exista un amplio rango de nitrógeno disponible (desde abundante a deficiente) (Zarco-Tejada, *et al.*, 2004).

3-OBJETIVOS INICIALES.

- Utilizar índices hiperespectrales calculados a partir de imágenes tomadas por el sensor aerotransportado CASI sobre el viñedo para estimar la posible relación entre éstos y variables bioquímicas foliares (nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, hierro, calcio y clorofila a+b).

- Estudiar las relaciones entre el contenido foliar de nutrientes y la concentración de clorofila en las hojas de la vid.

- Determinar la influencia de los tratamientos de fertilización con extracto de algas (*Ascophyllum nodosum*) en la vid sobre el contenido de variables bioquímicas a nivel foliar, estudiando si dicha influencia puede detectarse mediante técnicas de teledetección.

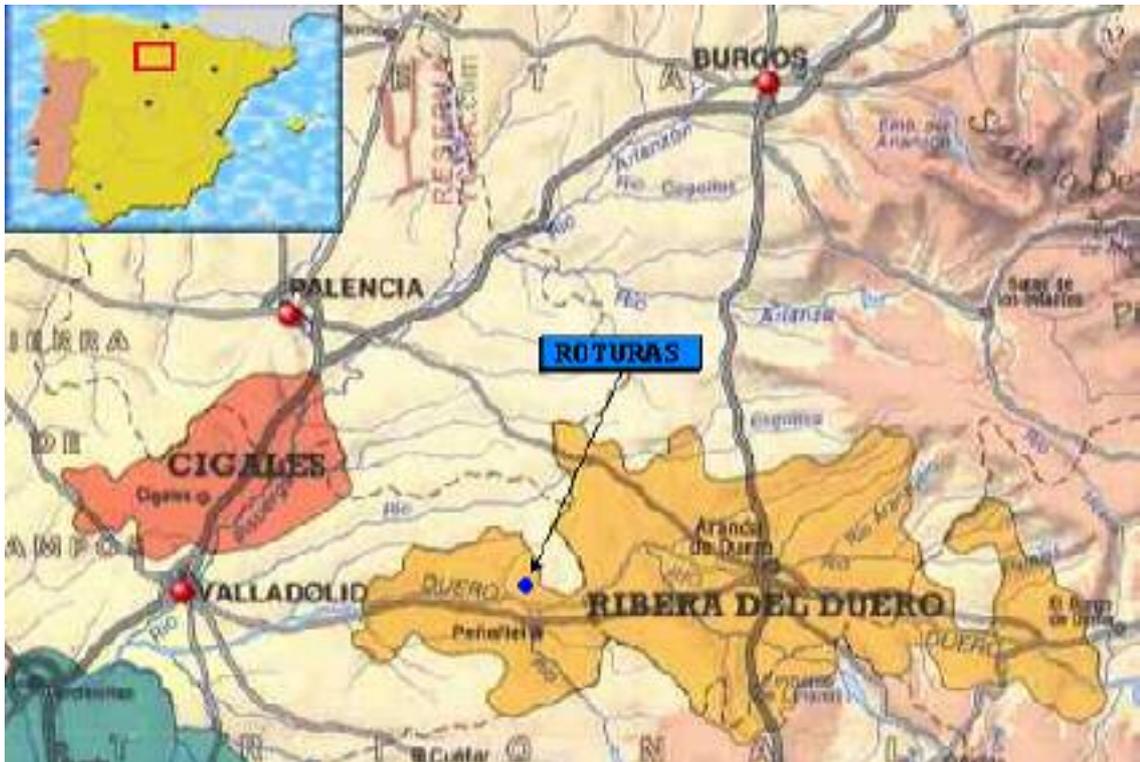
- Estudiar las consecuencias sobre parámetros de producción, de los diferentes tratamientos de fertilización aplicados al viñedo.

4-MATERIAL Y MÉTODOS.

4.1-LOCALIZACIÓN DE ESTUDIO.

La zona de estudio está localizada en el término municipal de Roturas en la provincia de Valladolid, entre los municipios de Pesquera de Duero y Piñel de Abajo, y sus coordenadas centrales son: 41°40'13.30"N, -4°753'83"E. La parcela de ensayo pertenece a la empresa vitivinícola Bodegas TRUS S.L., que tiene varias explotaciones de viñedo en ésta zona (dentro de los términos municipales de los pueblos antes citados) (ver figura 13).

Fig.12- Localización del término municipal de Roturas, dentro de la zona vitivinícola de la Ribera del Duero.



El área de estudio está situado en una zona con tradición vitivinícola: la Ribera del Duero (fig.12), río que da nombre a la Denominación de Origen de esta comarca productora de uno de los vinos de más alta calidad y uno de los más apreciados en todo el mundo.

Figura 13- Plano de localización de las parcelas de la empresa vitivinícola TRUS en la zona de Ribera de Duero.

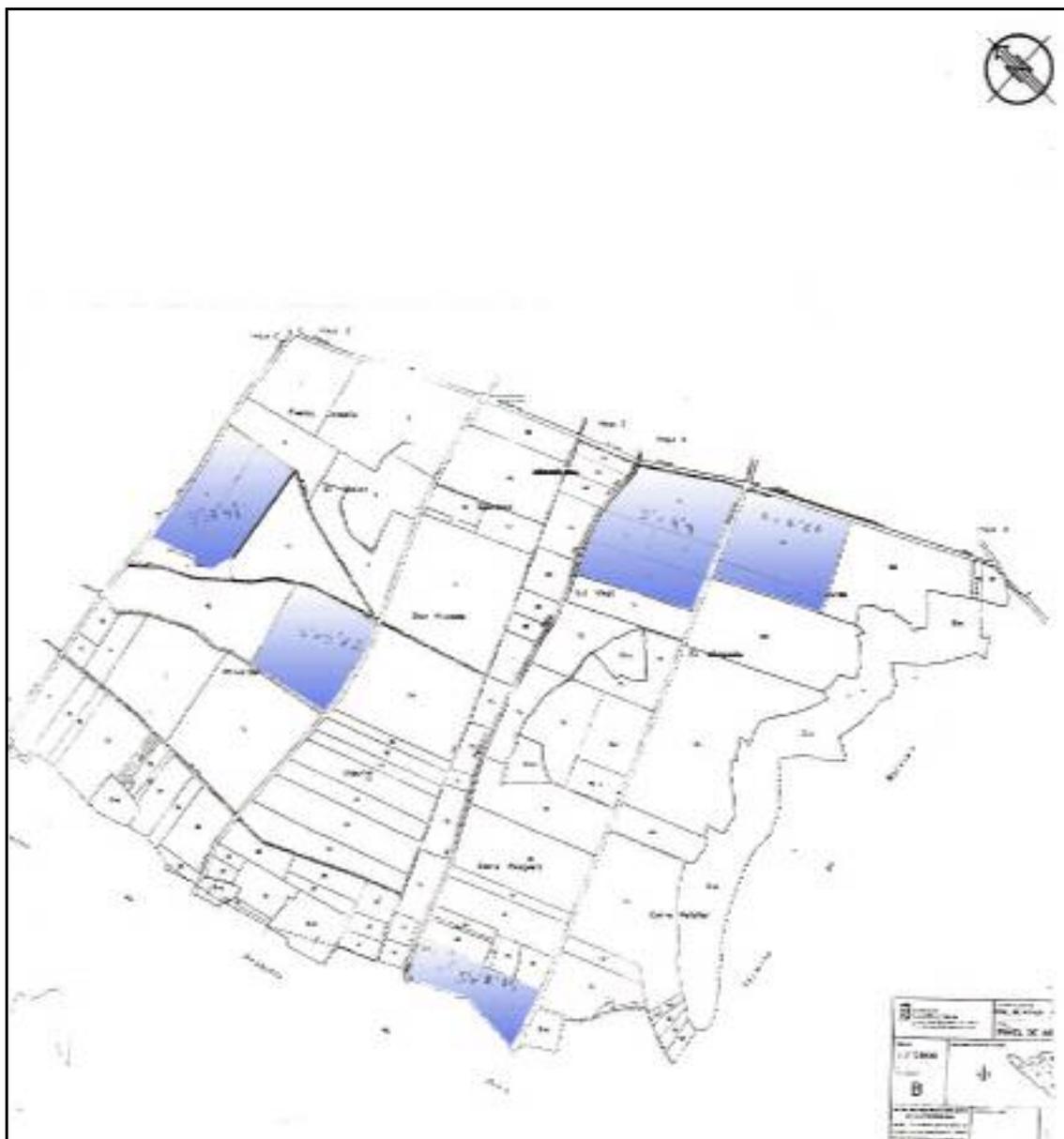
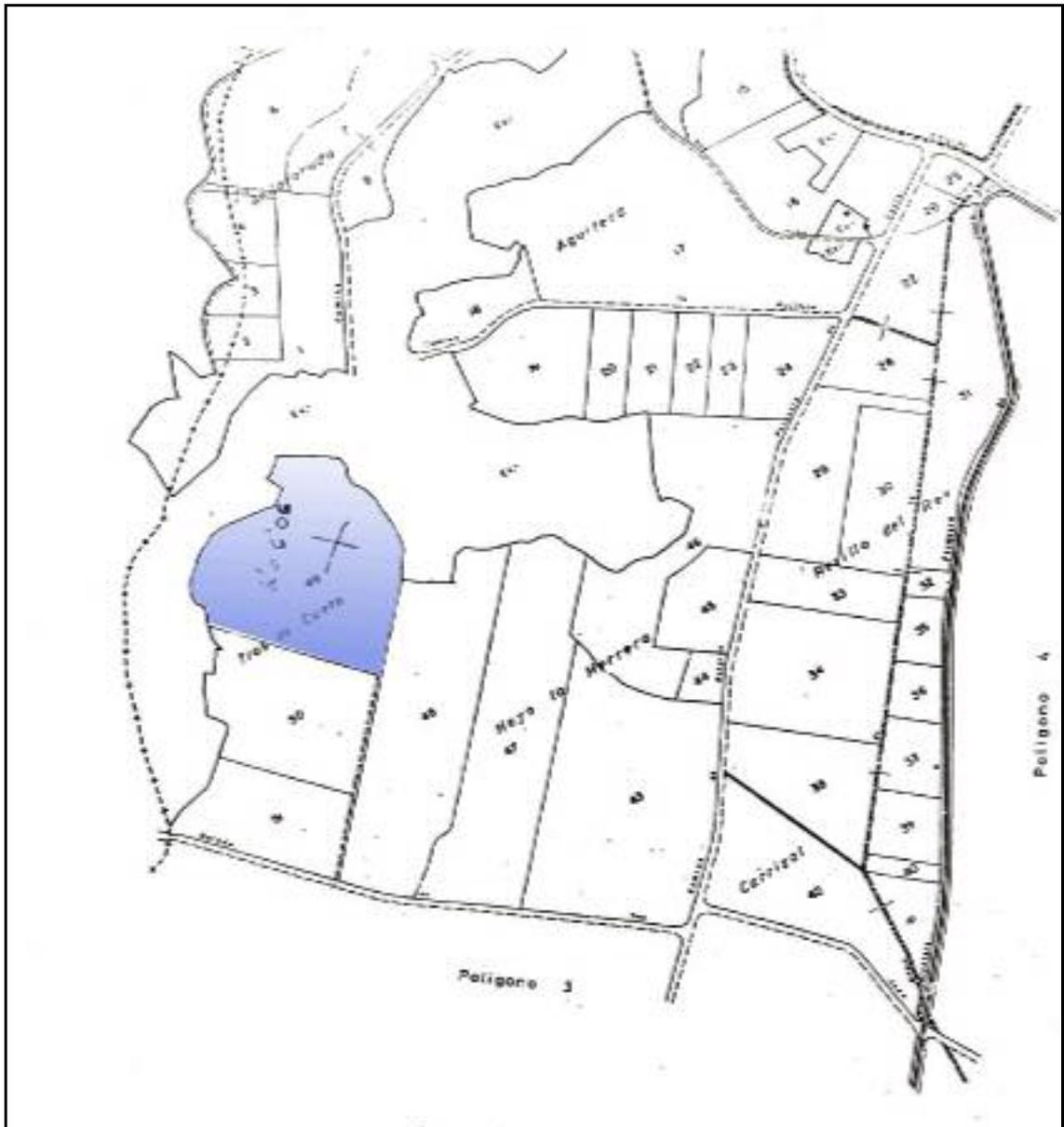


Fig 14- Plano de localización de la parcela de estudio dentro del término municipal de Roturas.



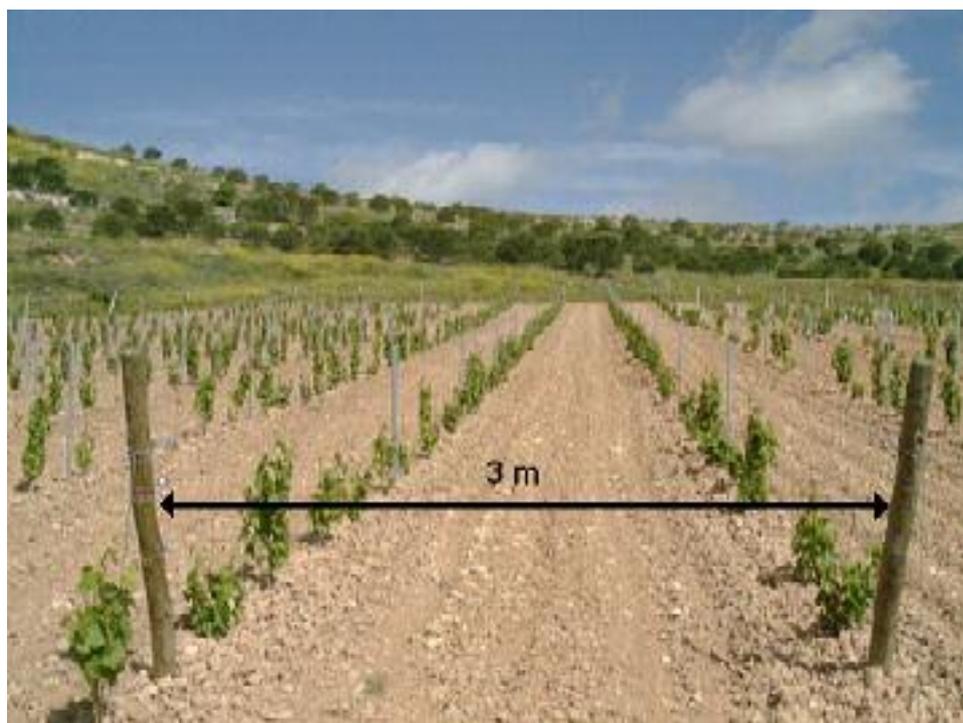
Esta zona recibe del Duero todo su aporte climatológico, que se manifiesta diferencialmente en sus viñedos y en la alta calidad de sus vinos. Los terrenos ondulados en cotas superiores a los 700 metros de altura le dan carácter y variedad a los vinos de ésta zona. La orografía es determinante debido a que los viñedos buscan el abrigo de los valles y el tempero de los microclimas. Por lo general se sitúan en ambas laderas del valle. El río Duero se convierte en una gran columna vertebral que atraviesa toda la Denominación de Origen desde Olivares del Duero y Quintanilla de Onésimo hasta San Esteban de Gormaz, a lo largo de 100 km, siguiendo el curso del río. El río, es de hecho el regulador natural de todos los viñedos de ésta zona.

4.2-DESCRIPCIÓN DEL VIÑEDO.

La parcela donde se ha llevado a cabo el estudio tiene una extensión de 4.69 ha, y está enmarcada dentro de uno de los viñedos propiedad de la empresa Bodegas TRUS S.L. que abarca una superficie de 6.06 ha, situada dentro del término de Roturas en la zona llamada Tras de Cueto (como puede observarse en la figura 14).

Se trata de un terreno de textura arcilloso grueso, con un contenido en carbonatos alto.

Fig.15-Distancia entre hileras de la parcela de estudio.



La plantación del viñedo se llevó a cabo en el año 1999, por lo que es una cepa joven, que en momento en que se realizó la presente investigación contaban con cuatro años de edad. La variedad presente es la mayoritaria en esta zona, cuyo nombre mas extendido es Tempranillo, el cual está injertado sobre Richter-110, patrón predominante en la Ribera del Duero. El marco de plantación es de 3 × 1.30 m² (figura 15), lo que da lugar a una densidad de plantación de 2777 cepas/ha. La formación de este viñedo es en espaldera, con un régimen hídrico de secano, y una orientación de las hileras Noreste-Suroeste (N-S + 45°).

4.3-CARACTERIZACIÓN DEL EXTRACTO DE ALGAS.

En la presente investigación el fertilizante objeto de estudio es el extracto de algas marinas *Ascophyllum nodosum*, comercializado con el nombre de BIO ALGEEN por la empresa Schulze & Hermsen GMBH.

Ascophyllum nodosum, es un alga parda que presenta este color debido a que contiene elevadas concentraciones en carotenoides como la fucoxantina (Thomas, 2002).

La clasificación para *Ascophyllum nodosum* se detalla a continuación en la tabla 1.

Tabla 1-Clasificación para *Ascophyllum nodosum*.

TAXONOMÍA	
Phylum	Cromophycota
Clase	Phaeophyceae
Orden	Fucales
Familia	Fucacea
Género	Ascophyllum
Especie	nodosum

Los extractos de algas de *Ascophyllum nodosum*, contienen un gran número de minerales quelados naturales.

Según cita Senn (1987), la lista de nutrientes que se encuentran en los extractos se completa con una gama de compuestos orgánicos promotores del crecimiento de las plantas, tales como citoquininas (principalmente adeninas), ácido abscísico, ácido índole acético, hidratos de carbono tales como el ácido algínico y manitol, que es conocido como un agente quelatizante.

Los análisis realizados por MCA Algas y derivados, a las algas comercializadas con el nombre BIO ALGEEN, revelan que este producto contiene una gran variedad de aminoácidos, vitaminas y macro y micronutrientes tal y como podemos observar en las tablas 2,3,4 y 5.

Tabla 2-Composición media de BIO ALGEEN.

COMPUESTO	CONTENIDO MEDIO (g/Kg materia seca)
Hidratos de carbono	500-600
Minerales	120-250
Proteínas	50-100
Fibra	40-60
Grasa	20-70

Tabla 3-Composición media de BIO ALGEEN en minerales.

MINERALES	CONTENIDO MEDIO (% materia seca)
Sodio	3-4
Cloro	3-4
Azufre	2.5-3.5
Potasio	2-3
Calcio	1-3
Nitrógeno total	0.8-1.3
Nitrógeno orgánico	0.8-1.3
Magnesio	0.5-0.9
Fósforo	0.1-0.2

Tabla 4-Composición media de BIO ALGEEN en aminoácidos esenciales.

AMINOÁCIDOS ESENCIALES	CONTENIDO MEDIO (g aminoácido/100g proteína bruta)
Histidina	trazas
Isoleucina	0.7
Leucina	7.0
Lisina	3.7
Metionina	0.9
Fenilalanina	1.1
Treonina	3.1
Triptófano	trazas
Valina	3.5

Tabla 5-Composición media de BIO ALGEEN en vitaminas.

VITAMINAS	CONTENIDO MEDIO (mg/Kg materia seca)
Ácido ascórbico (C)	500-2000
Tocoferol (E)	150-300
Fucoxantina (A)	90-250
Caroteno	30-60
Menadiona (K3)	10
Riboflavina (B2)	5-10
Tiamina (B1)	1-5
Ácido Pantoténico (B5)	1-4
Piridoxina (B6)	0.3
Ácido fólico (B9)	0.1-0.5
Biotina (H)	0.1-0.5
Cobalamina (B12)	0.004-0.08
Colecalciferol (D3)	0.01

Según la empresa que comercializa este producto, es una ayuda natural a la planta que hoy en día se aplica a nivel mundial en cultivos agrícolas. Las plantas tratadas con BIO ALGEEN crecen más equilibradas, con una buena relación entre raíces y parte aérea, lo que le permite aprovechar mejor los nutrientes disponibles, superar situaciones de estrés y ser más resistentes al ataque de hongos e insectos.

Trabajos científicos y experimentos controlados a lo largo de varios años han demostrado que aumenta el rendimiento, hasta un 30% ó más, incluyendo una mejora de la calidad y cantidad de la cosecha, frente a cultivos no tratados. Al mismo tiempo, según estudios científicos, se obtiene un extenso y duradero aumento de la actividad biológica del suelo en las superficies tratadas con este producto.

Se trata de un extracto de algas para aplicar por vía foliar que secundariamente puede aplicarse por vía radicular pudiendo ser aplicado en la fertirrigación de semilleros y cultivos intensivos. Su uso en agricultura aumenta cada año pues se valora su fácil aplicación ya que se puede mezclar con la mayoría de los productos fitosanitarios por lo que no es necesaria ninguna maquinaria ni aplicación extra.

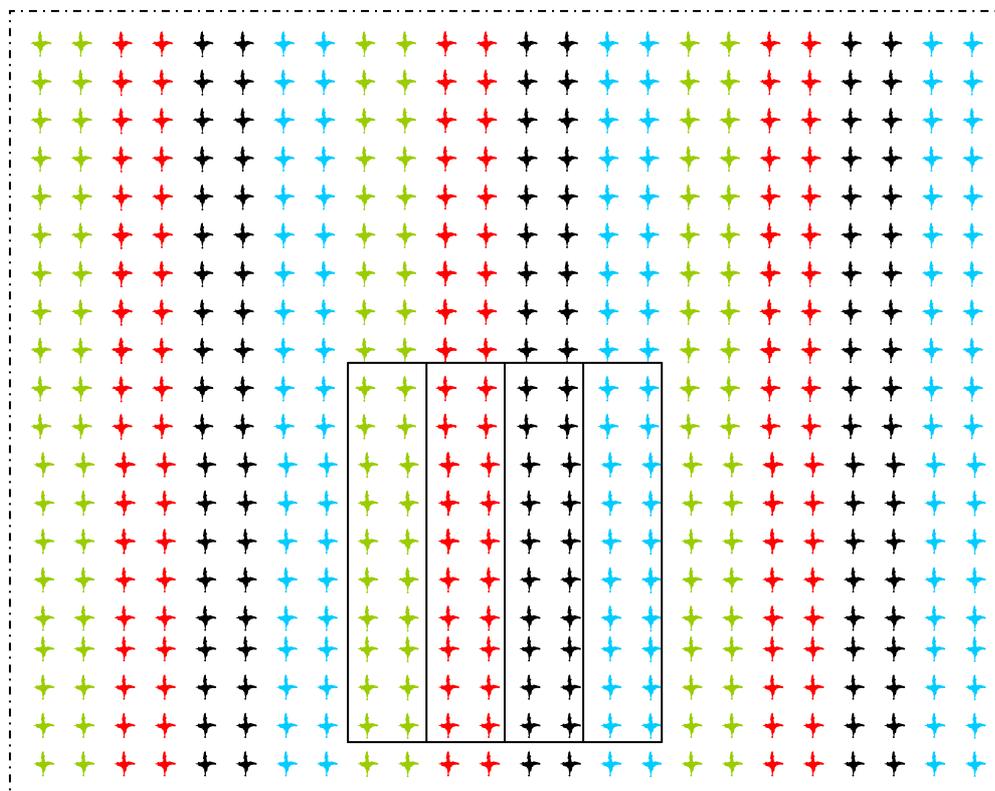
Procede de algas cultivadas en zonas restringidas libres de sustancias contaminantes en el atlántico norte. La cosecha, secado y molienda se realiza en un plazo inferior a 24 horas, lo que garantiza que la materia prima obtenida contenga todas las sustancias activas de las algas de que procede. Los distintos y exclusivos métodos de extracción, diferencian los productos a la vez que garantizan la estabilidad y homogeneidad en el tiempo de cada uno de ellos.

4.4- DISEÑO EXPERIMENTAL.

El diseño experimental realizado incluye cuatro tratamientos (T1, T2, T3 y T4) con cuatro repeticiones cada uno (ALG1, ALG2, ALG3 Y ALG4).

Los diferentes tratamientos se aplicaron vía foliar el día 1 de Julio del 2003 mediante la maquinaria utilizada en este tipo de procesos, llamada Hardy (ver figura 18) a lo largo de toda la parcela en el orden que se observa en la figura 16.

Fig.16-Eschema de la aplicación de los tratamientos con extracto de algas. Detalle de una zona de estudio con las cuatro subparcelas correspondientes.



-  Tratamiento 1 (T1).
-  Tratamiento 2 (T2).
-  Tratamiento 3 (T3).
-  Tratamiento 4 (T4).

Se eligieron cuatro zonas al azar para realizar las cuatro repeticiones (figura 17). Cada zona de estudio abarca cuatro subparcelas que corresponden a los distintos tratamientos, y cada subparcela consta de dos filas de 10 cepas cada una.

Fig.17-Imagen obtenida por el sensor hiperespectral CASI correspondiente a la parcela de ensayo donde se observan las cuatro zonas de estudio.



En una cuba de 1500 l de capacidad con medidor de volumen incorporado, se añadieron 1000 l de disolución para cada tratamiento y en todos los casos sólo se gastó en la parcela objeto de estudio 400 litros para cada tratamiento. La composición de los tratamientos por cada 1000 litros de disolución se detalla a continuación:

T1: 10 litros BIO ALGEEN + 2.5 litros TALOSÍNT.

T2: 20 litros BIO ALGEEN + 2.5 litros TALOSÍNT.

T3: 10 litros BIO ALGEEN + 2.5 litros TALOSÍNT + 5 Kg KARENTOL Mix.

T4: Testigo.

Según la experiencia del Técnico de la explotación, es conveniente que el extracto de algas vaya acompañado de los productos llamados TALOSINT, y KARENTOL Mix. La descripción de éstos se detalla a continuación:

TALOSINT, o CUBIET 50%p/v (Cupri bis (etoxi-dihidroxi-dimetilamino) sulfato). Se trata de un fungicida-bactericida, con actividad penetrante y por contacto, especialmente indicado en el control de enfermedades producidas por hongos endoparásitos, hongos del suelo y algunas bacteriosis y agentes productores de gomosis tales como: *Alternaria spp.* (negrón), *Armillaria sp.* (podredumbre blanca), *Botryotinia fuckeliana* (podredumbre gris), *Glomerella lindemuthiana* (antracnosis), *Fusarium spp.*, gomosis, *Rosellinia necarix* (podredumbre de la raíz) *Botrytis spp.*, *Phytophthora spp* (aguado y otros mildius), psoriasis, *Venturia spp* (moteado) etc. en cítricos, forestales, frutales, cultivos subtropicales, hortícolas, olivo, ornamentales y vid. Cuando se aplica en pulverización foliar se recomienda hacer a razón de 200-250 cc/hl previa consulta con el servicio técnico. Es un producto de carácter tóxico fungicida y bactericida que se caracteriza por su acción de choque, buen recubrimiento y persistencia. Toxicología: Nocivo Xn. Ecotoxicología: Mamíferos A. Aves A. Peces B. Abejas: compatible. Plazo de seguridad: 15 días. (De Liñán, C., 2004).

KARENTOL Mix, KenoGard.

Composición: magnesio 5.4%; boro 0,5%; cobre 1,5%; hierro 4%. SP, azufre 6%, magnesio 5.4% manganeso (en forma mineral) 4%; molibdeno 0,1%; cinc 1,5%, hierro 4% y agente quelante EDTA. La dosis por vía foliar es de 200-400 cc/hl. Se trata de incorporar correctores de carencias múltiples de elevada concentración, en los que el boro y el molibdeno se encuentran en forma mineral y el resto quelatados por EDTA. El sistema está puesto a punto para ser utilizado tanto en fertirrigación como en pulverización foliar. Se aconseja su aplicación al inicio del sistema vegetativo y en presencia de cualquier síntoma carencial (De Liñán, C., 2004).

En los sistemas de producción agrícola ubicados en áreas con suelos calcáreos, donde es probable que las cosechas muestren niveles subóptimos de hierro (Fe) es preciso adicionar Karentol mix para mejorar su deficiencia. No hay que olvidar que más de un tercio de la población mundial padece de deficiencia de hierro (Fe) siendo los sectores de la población más afectados el de las mujeres en edad reproductiva y

el de los niños (Robinson *et al.*, 1999). Los estudios recientes que conectan la deficiencia de hierro con un desarrollo cognoscitivo deficiente enfatizan el impacto de este problema. Las plantas son la principal fuente de hierro en la mayoría de las dietas, por lo que asegurar el consumo de vegetales con un adecuado nivel de hierro constituye una parte medular en las estrategias de mejoramiento del nivel nutricional de los humanos (Theil *et al.*, 1997). Un problema característico asociado a la producción de cultivos en suelos calcáreos es la condición llamada clorosis férrica, consecuencia de la carencia extrema de hierro y cuyo síntoma más característico es la clorosis intervenal la cual se corrige con la aplicación de este elemento en formas disponibles para la planta (Emery, 1982). Los suelos calcáreos no carecen *per se* de hierro, pero la disponibilidad del mismo es limitada. Por otra parte la condición de clorosis férrica no es exclusiva de suelos calcáreos, aunque la mayor parte de los problemas de este tipo se presentan en regiones con suelos de esta clase (Brown y Jolley, 1989).

Fig.18-Hardy aplicando el fertilizante vía foliar en la parcela de ensayo.



Los suelos calcáreos cubren aproximadamente un tercio de la superficie terrestre y se presentan predominantemente en regiones que reciben menos de 500 mm de precipitación anual. Las características importantes de un suelo calcáreo son un pH alto (de 7 a 9) y un contenido significativo de carbonatos libres (Gildersleeve y Ocampo, 1989). Cuando una planta carente de ciertas habilidades metabólicas se desarrolla en un suelo calcáreo, presenta síntomas de clorosis férrica como consecuencia de que el Fe no se encuentra en una forma disponible. Los medios utilizados hasta el momento para resolver este problema son: aplicación localizada de sales y quelatos de Fe a las plantas (aplicación al suelo o por vía foliar), modificación artificial del pH de la solución del suelo (aplicación de ácidos orgánicos o inorgánicos) y el uso de cultivares de la especie con la habilidad de tomar el Fe de suelos en donde este elemento se encuentra poco disponible (Olsen *et al.*, 1981; Chen y Barak, 1982; Emery, 1982).

4.5- OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS.

4.5.1-MUESTREO FOLIAR

El muestreo foliar se realizó el día 15 de Julio del 2003; esta fecha estaba condicionada por la toma de las imágenes del sensor aerotransportado, ya que las hojas debían recogerse en un intervalo de ± 10 días a partir de la fecha de vuelo (17/07/03).

Se llevó a cabo en las primeras horas del día y con la mayor brevedad posible, con objeto de que el material vegetal no sufriera degradaciones debido a altas temperaturas.

De cada subparcela se recogieron 80 hojas, de las cuales 60 se enviaron a la empresa Fertiberia para el análisis de nutrientes, y las 20 restantes se utilizaron para la determinación del contenido en clorofila a y b.

El primer paso fue marcar, en la parcela de ensayo, las filas y cepas elegidas para el estudio. Se tomaron muestras de todas las plantas incluidas en la zona de estudio con el fin de que fuera lo mas representativo posible. Dentro de cada cepa se recogió la tercera hoja desde el ápice de cualquier pámpano, con un tamaño aceptable, (no incluyendo hojas demasiado pequeñas). La razón de tomar las muestras siempre bajo estas indicaciones, es que el contenido en nutrientes varía

dentro de una misma planta, por lo que es preciso adoptar un mismo criterio para poder comparar los diferentes datos obtenidos.

Al mismo tiempo, en cada zona, se fueron anotando medidas de altura del tronco, altura de vegetación, anchura de vegetación, número de cepas muestreadas, marco de plantación (tabla 6), y mediante GPS se tomaron las coordenadas del centro y del contorno que delimita cada zona de estudio, para posteriormente poder situarlas en la imagen multiespectral.

Tabla 6- Parámetros estructurales medidos en cada subparcela de estudio.

Zona	tratamiento	nºcepas muestreadas	marco	h tronco	h vegetación	anchura vegetación
Alg 1	T1	19	3x1,30	0,6	0,88	0,45
	T2	16	3x1,30	0,55	1	0,5
	T3	15	3x1,30	0,6	0,9	0,5
	T4	16	3x1,30	0,5	0,98	0,55
Alg 2	T1	16	3x1,30	0,48	1	0,45
	T2	17	3x1,30	0,36	1	0,4
	T3	16	3x1,30	0,28	0,99	0,5
	T4	15	3x1,30	0	0,8	0,53
Alg 3	T1	16	3x1,30	0,5	0,97	0,57
	T2	20	3x1,30	0,5	1	0,56
	T3	16	3x1,30	0,5	0,9	0,7
	T4	*	12	3x1,30	0,5	0,58
Alg 4	T1	13	3x1,50	* 0,58	0,77	0,3
	T2	18	3x1,50	0,48	0,83	0,4
	T3	16	3x1,50	0,52	0,9	0,45
	T4	18	3x1,50	0,25	1,17	0,57
		*todas las marras juntas		*la mayoría sin tronco		

Las hojas se guardaron en una bolsa de papel debidamente etiquetada, nunca de plástico, ya que en las fechas en que se recogen, las temperaturas son altas y sumado a la humedad de la muestra se pueden desarrollar hongos que utilizan los nutrientes para su desarrollo, degradando así las hojas. Las bolsa debe ser nueva, desechando las anteriormente utilizadas para otros productos evitando así posibles restos de otros materiales que contaminarían las muestras, y falsearían los resultados analíticos.

Por último, el material recogido se trasladó ese mismo día lo antes posible al laboratorio del departamento de Producción Vegetal y Silvopascicultura de ETSIIAA, dándoles un tratamiento diferente según el destino de las hojas. Aquellas que fueron utilizadas para la determinación de nutrientes se lavaron con agua destilada, cuidando

que el tiempo de contacto con el líquido fuera breve para que no se produjera la dilución de algún elemento foliar soluble en agua. Posteriormente se dejaron secar a temperatura ambiente (figura 19) y se enviaron al laboratorio. Las hojas para la determinación de clorofila se congelaron a una temperatura de -20°C , para su adecuada conservación, hasta que se procedió a su análisis.

Fig.19-Proceso de secado de las muestras foliares antes de su análisis. Laboratorio del departamento de Producción Vegetal y Silvopascicultura de ETSIIAA



4.5.2- MUESTREO DEL SUELO.

Con objeto de conocer las características del suelo y las diferencias que pudiesen dar lugar a distintos comportamientos frente a los tratamientos, se realizó un muestreo en cada zona de estudio en la misma fecha que el muestreo foliar (15/07/03).

Es una etapa de gran importancia, ya que si se realiza de una forma incorrecta los siguientes pasos (análisis y su interpretación) no tendrán ninguna fiabilidad, porque se parte de una muestra que no representa la realidad.

Se cavó una calicata de 30 cm de profundidad mediante una pala, y despreciando la capa más superficial del suelo, se recogió una cantidad aproximada de medio kilo, que fue depositado en bolsas debidamente etiquetadas para su

posterior identificación en el laboratorio. Los instrumentos utilizados deben estar libres de residuos para no contaminar la muestra.

El mismo día, se trasladaron al laboratorio de Itagra ct. donde se procedió inmediatamente a su extensión a temperatura ambiente sobre papel secante, para eliminar así la humedad sobrante y conseguir una correcta conservación del suelo sin dar lugar a posibles degradaciones de éste.

4.5.3- MUESTREO DE LA UVA.

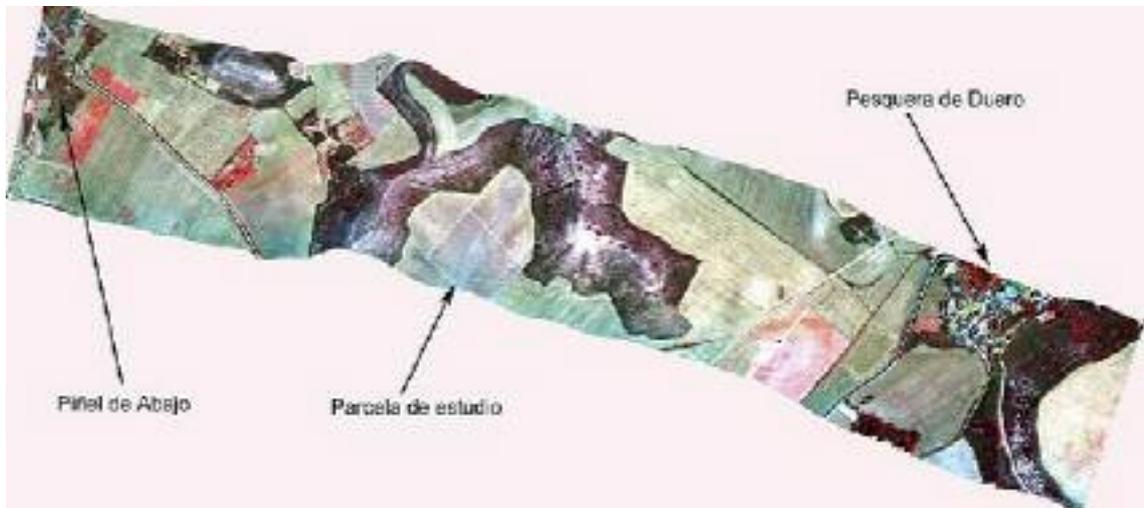
El muestreo tuvo lugar el día 29 de Septiembre del 2003. Se recogieron todos los racimos de cada zona de estudio, y para la medida de los parámetros de calidad se tomaron al azar 100 bayas de los diferentes racimos de una misma zona, obteniendo así una muestra lo más representativa posible.

Debido a estrategias adoptadas por el Ingeniero Técnico encargado de la explotación, en la parcela objeto de este estudio solo se dejó un racimo por cepa. Al tratarse de un cepa joven se recomienda que cada una soporte solo uno o dos racimos al objeto de fortalecer la planta, esta disminución de producción va en beneficio de un aumento de la calidad de los vinos y de una mejora del vigor de la planta. Adicionalmente en terrenos de secano aumenta el riesgo de pérdida de calidad de la uva a medida que se dejan en la cepa un mayor número de racimos. Se debe conseguir siempre el máximo equilibrio entre la planta y los racimos, y por ello se deja, en los primeros años, un solo racimo por planta.

4.6- OBTENCIÓN DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES.

Las imágenes multiespectrales fueron adquiridas por el sensor aerotransportado CASI (*Compact Airborne Spectrographyc Imager*) de York University (Canadá) el 17 de Julio de 2003. Estas imágenes se tomaron a una altura de 2250 m sobre el nivel del terreno, obteniendo 1m de resolución espacial con 8 bandas espectrales, adecuadas para estudiar diversas propiedades de la vegetación, que se sitúan en las regiones del visible y del infrarrojo cercano. En la tabla 7 se recogen los valores del centro y ancho de las bandas correspondientes a dicha imagen.

Fig.20- Imagen obtenida sobre el viñedo estudiado (Roturas, Valladolid) por el sensor hiperespectral aerotransportado CASI en el modo de operación de ocho bandas y 1m de resolución espacial.



El procesamiento de las imágenes incluye las siguientes fases: calibración radiométrica, transformando los datos brutos a radiancia, corrección atmosférica y cálculo de la reflectancia, eliminando los efectos del movimiento del avión y georreferenciación. Las imágenes adquiridas por el sensor CASI fueron procesadas usando los coeficientes de calibración determinados en el laboratorio por CRESTech (*Centre for Research in Earth and Space Technology*) y mediante el modelo de corrección atmosférica CAM 5S (O'Neill et al., 1997) en York University (Canadá). Dicho modelo de transferencia radiativa fue utilizado para transformar la radiancia relativa del sensor a reflectancia absoluta del terreno mediante datos de espesor óptico medidos en campo en el momento del paso del avión.

La información relativa a la posición geográfica, iluminación, y geometría de la imagen, así como la altitud del sensor, fue adquirida a partir de los datos de navegación del avión.

Descripción de las imágenes:

- Fecha de adquisición: 17/07/03
- Proyección: UTM Zona 30N
- Datum: WGS-84
- Resolución espacial: 1m
- Resolución espectral: 8 bandas
- Coordenadas Lat/Long: 41°40'13.30"N, -4°7'53.83"E

Tabla 7-Valores del centro y ancho de las bandas correspondientes a la imagen multispectral utilizada.

CANAL	CENTRO (nm)	ANCHO (nm)
1	490.743683	12.331738
2	550.62323	12.380457
3	670.354675	10.579399
4	700.708801	6.798925
5	750.190979	6.813655
6	762.591248	4.908690
7	775.00354	6.820932
8	799.863647	10.656344

4.7-ÍNDICES DE VEGETACIÓN EMPLEADOS.

El potencial de las imágenes captadas por sensores hiperespectrales aerotransportados para identificar el estado de cubiertas vegetales, se debe a la capacidad de detectar y correlacionar cambios en la reflectancia espectral con la concentración de componentes foliares, utilizando bandas muy estrechas y contiguas del espectro electromagnético.

Varios de los índices propuestos son indicadores del contenido clorofílico, permitiendo mediante teledetección la identificación del estrés en vegetación a través de la variación de la concentración de este pigmento.

Algunos de estos índices utilizan reflectancias de la región del visible como Greenness Index $G(R_{554}/R_{677})$, otros son proporciones entre el visible y el infrarrojo cercano: NDVI $(R_{800}-R_{670})/(R_{800}+R_{670})$, Simple Ratio $SR(R_{774}-R_{677})$, Lichtenthaler $(R_{800}-R_{650})/(R_{800}+R_{680})$, y los índices que emplean reflectancias de la zona del límite rojo como Gitelson & Merzylak $G_M1(R_{750}/R_{550})$, $G_M2(R_{750}/R_{700})$ y Carter (R_{695}/R_{750}) (Zarco-Tejada *et al.*, 2004).

El índice de vegetación más conocido y utilizado es el NDVI (Normalized Difference Vegetación Index) desarrollado por Rouse *et al.*, (1974), el cual está basado en el contraste entre la máxima absorción en el rojo, debido a los pigmentos de clorofila, y la máxima reflexión en el infrarrojo, causado por la estructura celular de

la hoja y la reflexión de la cubierta debido a su estructura. Utilizando bandas estrechas multiespectrales, el índice se calcula mediante la ecuación:

$$NDVI = (R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670}).$$

A pesar de su aplicación intensiva, el NDVI se satura en caso de cubiertas densas o constituidas por varias capas, por lo que muestra una relación no lineal con los parámetros biofísicos como el LAI (Baret; Rougean & Guyot, 1991; Lillesaeter, 1982). De esta manera, índices mejorados como el Renormalized Difference Vegetation Index (RDVI; Rougean & Breon, 1995) y el Modified Simple Ratio (MSR, Chen 1996) han sido desarrollados para conseguir relaciones lineales con las variables biofísicas de la vegetación. El RDVI fue propuesto para combinar las ventajas del Difference Vegetation Index (DVI = NIR-Red; Jordan, 1969) y el NDVI para valores de LAI bajos y altos respectivamente.

$$RDVI = (R_{800} - R_{670}) / \sqrt{(R_{800} + R_{670})}$$

MSR supone una mejora sobre RDVI en términos de sensibilidad en parámetros biofísicos a través de la combinación con el Simple Ratio (SR = NIR/Red; Jordan, 1969). SR y MSR poseen una mayor linealidad en las relaciones con parámetros de vegetación:

$$MSR = \frac{R_{NIR} / R_{red} - 1}{(R_{NIR} / R_{red})^{0.5} + 1}$$

Debido a los cambios en las propiedades ópticas del suelo, se han desarrollado índices que minimizan los efectos de fondo del suelo. Es de gran importancia el Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI; Huete, 1988), el cual incluye el factor L, que ajusta la cubierta de fondo. Utilizando banda estrecha, la ecuación es:

$$SAVI = (1 + L) * (R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670} + L)$$

El factor L es función de la densidad de vegetación, y su determinación requiere un conocimiento a priori de parámetros de la vegetación (Huete, 1988). El valor del factor L es crítico en la minimización de los efectos del suelo en la reflectancia de la vegetación, Huete (1988) sugirió un valor óptimo de L = 0.5. Intentando mejorar SAVI

considerando las diferencias del fondo de suelo, Qi et al., (1994) desarrolló MSAVI con un factor L propio que no aparece en la fórmula. Usando banda estrecha:

$$MSAVI = \frac{1}{2} \left[2 * R_{800} + 1 - \sqrt{(2 * R_{800} + 1)^2 - 8 * (R_{800} - R_{670})} \right]$$

Un reciente estudio de Broge y Leblanc (2000) usando modelos de transferencia radiativa ha demostrado que MSAVI es el que mejor estima el LAI en términos de sensibilidad a los efectos de cubierta. Está menos afectado por las variaciones de los parámetros de la cubierta y las propiedades espectrales del suelo.

Índices que incorporan bandas en la región espectral del verde y del límite rojo han sido desarrollados para medir la absorción de luz por la clorofila en la zona del rojo (670nm). Kim et al., (1994) introdujo la proporción (R_{700}/R_{670}) para minimizar los efectos combinados de la reflectancia del suelo y de las cubiertas de materiales no fotosintéticos, mientras Gitelson y Merzlyak (1996) encontraron una fuerte correlación entre concentración de clorofila foliar y las siguientes proporciones: (R_{750}/R_{550}) y (R_{750}/R_{700}).

Kim et al.(1994) desarrolló el Chlorophyll Absorption Ratio Index (CARI) que mide la profundidad de la absorción de clorofila a 670nm relativa al pico de reflectancia en 550nm y la reflectancia en 700nm. El CARI fue simplificado por Daughtry et al. (2000) y se obtuvo el Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index (MCARI), cuantificado por la siguiente ecuación:

$$MCARI = [(R_{700} - R_{670}) - 0.2 * (R_{700} - R_{550})] * (R_{700} / R_{670})$$

Este índice fue desarrollado en principio para obtener una respuesta a la variación de clorofila, sin embargo Dauhtry et al. (2000) observó que el LAI, la clorofila y la interacción clorofila-LAI mejoraba en un 60%, 27% y 13% respectivamente. Por este motivo, MCARI tiene un gran potencial para predecir el LAI aunque la banda del infrarrojo próximo no este considerado en su ecuación.

Inspirado en la idea general de CARI, Broge y Leblanc (2000) desarrolló el Triangular Vegetation Index (TVI), que caracteriza la energía radiante absorbida por los pigmentos foliares en términos de diferencia relativa entre la reflectancia del rojo y el infrarrojo conjuntamente con la magnitud de la reflectancia en la región del verde.

TVI se determina como el área comprendida entre el pico del verde, la parte posterior del infrarrojo próximo y la mínima reflectancia en la región del rojo:

$$TVI = 0.5 * [120 * (R_{750} - R_{550}) - 200 * (R_{670} - R_{550})]$$

La idea general de TVI se basa en el hecho de que ese triángulo (verde, rojo, infrarrojo) puede aumentar como resultado de la absorción de clorofila (disminución de la reflectancia en el rojo) y de la abundancia de tejidos foliares (incremento que la reflectancia en el infrarrojo) (Broge and Leblanc, 2000). Es importante resaltar que el incremento de clorofila provoca una disminución de la reflectancia en el verde, disminuyendo también el área del triángulo. Además, a pesar de que no existe absorción por parte de la clorofila más allá de los 700nm, los efectos indirectos en la curva de reflectancia se hacen notar hasta los 750nm. De hecho, como el incremento de contenido clorofílico, sus características de absorción se amplían, influyendo en la reflectancia a 750nm (Haboudane et al., 2004).

Haboudane et al. (2004) ha desarrollado versiones modificadas de esos nuevos índices que son capaces de estimar el LAI a partir de los datos de teledetección. La idea general de esas modificaciones, fue proporcionar a esos índices (MCARI y TVI) una menor sensibilidad a los efectos clorofílicos, mayor respuesta a las variaciones del LAI, y mayor resistencia a los efectos del suelo y la atmósfera.

Por esta razón, se introdujeron dos cambios principales en MCARI: la supresión del ratio (R_{700}/R_{670}) para atenuar la sensibilidad de los efectos de la clorofila, y la integración de una longitud de onda del infrarrojo próximo, para incrementar la sensibilidad a cambios de LAI. Consecuentemente, la ecuación de MCARI se simplificó obteniéndose la siguiente fórmula:

$$MCARI = 1.2 * [2.5 * (R_{800} - R_{670}) - 1.3 * (R_{800} - R_{550})]$$

Con respecto a TVI, la transformación está basada en el hecho de que el incremento del contenido en clorofila provoca un cambio del rojo sobre la reflectancia del Red Edge, introduciendo cambios en la reflectancia en 750 nm, que representa el comienzo de la región del infrarrojo. Para capacitar a TVI de la estimación del LAI, la longitud de onda de 750 nm fue reemplazada por 800 nm, la reflectancia que es influenciada por cambios en las estructuras foliares y de las cubiertas, y además, es insensible a los cambios producidos a nivel de pigmentos. Aplicando un factor, se definió el TVI modificado (llamado MTVI1) de acuerdo con:

$$MTVI1 = 1.2 * [1.2 * (R_{800} - R_{550}) - 2.5 * (R_{670} - R_{550})]$$

Para reducir los efectos del suelo, se incorporó un factor de ajuste del suelo, utilizando el concepto desarrollado por Huete (1988). Este término fue optimizado con la condición de preservar la sensibilidad al LAI tanto como la resistencia a la influencia clorofílica. Consecuentemente, las versiones mejoradas de MCARI y TVI se formulan como:

$$MCARI2 = \frac{1.5 * [2.5 * (R_{800} - R_{670}) - 1.3 * (R_{800} - R_{550})]}{\sqrt{(2 * R_{800} + 1)^2 - (6 * R_{800} - 5 * \sqrt{R_{670}}) - 0.5}}$$

$$MTVI2 = \frac{1.5 * [1.2 * (R_{800} - R_{550}) - 2.5 * (R_{670} - R_{550})]}{\sqrt{(2 * R_{800} + 1)^2 - (6 * R_{800} - 5 * \sqrt{R_{670}}) - 0.5}}$$

4.8-MÉTODOS DE ANÁLISIS.

4.8.1- ANÁLISIS DE SUELOS.

4.8.1.1-Preparación de la muestra.

- Fundamento

La muestra natural de un suelo, cuando llega al laboratorio, debe ser acondicionada con fase previa para la realización de los distintos análisis. Este acondicionamiento incluye la separación de los posibles elementos gruesos y la preparación de la muestra para análisis físicos y químicos.

- Procedimiento

Colocar las muestras en una bandeja y disgregar a mano, si es posible, los terrones existentes.

Mantener las bandejas al aire hasta que se equilibre su humedad con la del laboratorio.

Disgregar mecánicamente los terrones mediante un rodillo.

Tamizar la totalidad de la muestra por el tamiz de 2mm de luz (figura 21).

Fig.21-Tamiz de 2 mm de luz, y rodillo para la preparación del suelo antes de su análisis.



Recoger la porción que haya pasado por el tamiz y conservarla en un recipiente. Esta fracción se denomina tierra fina seca al aire, y es la que se utilizará posteriormente para los análisis.

4.8.1.2- pH

- Fundamento

Medida del potencial eléctrico que se crea en la membrana de vidrio de un electrodo, que es función de la actividad de los iones hidrógeno a ambos lados de la membrana.

- Procedimiento

Calibrado del pH-metro con soluciones tampón de pH 7 y 4.

Pesar 10g de suelo y añadir 25ml de agua destilada. Agitar 10 minutos y dejar reposar durante 30 minutos.

Agitar la suspensión inmediatamente antes de entrar en contacto con los electrodos, pero no durante la medida.

Introducir los electrodos en el líquido sobrenadante, evitando la formación de burbujas y medir el pH.

Aparato utilizado: pH METER BASIC 20 de la marca CRISON.

4.8.1.3-Conductividad.

-Fundamento

Mediante un puente de Wheatstone y una célula de conductividad se determina la conductividad eléctrica por comparación, a la misma temperatura de la muestra y de una solución valorada de cloruro potásico refiriendo el resultado a 20°.

-Procedimiento

Calibrar el conductímetro (CONDUCTIMETER BASIC 30, de CRISON) y medir la conductividad de la muestra introduciendo la célula en una suspensión del suelo en agua de proporción 1:2,5.

4.8.1.4-Carbonatos.

-Fundamento

Tratando los carbonatos con ácido en un dispositivo cerrado, a presión y temperatura constante, el incremento de volumen es una medida directa del CO₂ desprendido cuando no se produzcan otros gases. Este volumen se cuantifica mediante el calcímetro de Bernard (fig.22).

-Procedimiento

Colocar la muestra en un matraz humedeciéndola con un poco de agua para favorecer la reacción y conectar el erlenmeyer al calcímetro, en el que previamente se habían colocado unos mililitros de ácido clorhídrico al 50% usando el dispositivo al efecto. Con la llave del calcímetro abierta para mantener en el interior del sistema la presión atmosférica, ajustar la altura del depósito del calcímetro hasta enrasar la bureta del mismo con el 0. Cerrar la llave, e inclinando el erlenmeyer, verter el ácido sobre la muestra, agitando para favorecer el ataque. Al mismo tiempo se va descendiendo la rama móvil del calcímetro procurando mantener un mismo nivel del líquido en las dos ramas.

Cuando el nivel del líquido del calcímetro permanezca estacionario, dejar de agitar y tomar la lectura alcanzada por el mismo una vez enrasadas las dos ramas. El volumen del líquido corresponde al CO₂ desprendido por la muestra.

Repetir las mismas operaciones tomando en vez de suelo, 0,2g de CO₃Ca y con las lecturas obtenidas, efectuar los cálculos.

Fig.22-Determinación de carbonatos totales mediante el calcímetro de Bernard.



4.8.1.5-Caliza activa.

-Fundamento

La caliza activa se calcula por una dosificación gasométrica de CO_2 del carbonato amónico, formado al reaccionar el carbonato cálcico activo con el oxalato amónico en disolución.

Esta determinación solo se realizará cuando el porcentaje de carbonatos sea superior al 10%.

-Procedimiento

Añadir a la muestra solución de oxalato amónico y agitar durante dos horas. Filtrar. Tomar una porción del filtrado y proceder con el ácido clorhídrico por el método del calcímetro Bernard (como en la determinación de carbonatos), anotando el volumen de CO_2 desprendido.

4.8.1.6-Fósforo soluble en bicarbonato sódico.

-Fundamento.

Mediante el método Olsen, se extrae el fósforo asimilable del suelo con CO_3HNa 0,5M a un pH aproximadamente constante de 8,5. En los suelos calizos, alcalinos o neutros, se favorece la disolución de fosfatos cálcicos por precipitación del Ca como CO_3Ca . En los suelos ácidos el P se extrae de los fosfatos de aluminio al precipitar el Al^{3+} como hidróxido debido al pH básico del extractante.

La concentración del complejo de color azul formado por la reducción, con ácido ascórbico, del fosfomolibdato obtenido cuando el molibdato amónico reacciona con el fósforo en medio ácido, en presencia del ión antimonilo, se mide espectrofotométricamente a 882 nm.

-Procedimiento

Preparación de la muestra. Añadir a la muestra la solución extractora y agitar durante media hora. Filtrar la suspensión.

Construcción de la curva patrón, mediante una solución madre de fósforo (dilución de fosfato monopotásico).

Determinación. Añadir al extracto, ácido sulfúrico hasta pH = 5, y reactivo II que contiene ácido ascórbico. Leer pasados 15 minutos a longitud de onda de 882nm en el espectrofotómetro (fig. 23).

Fig. 23-Lectura de la absorbancia en el Espectrofotómetro SPECTRONIC 20 GENESYS para la determinación del fósforo asimilable.



4.8.1.7-Nitrógeno total.

-Fundamento

Se utiliza una variante de la técnica Kjeldahl mediante la cual, la muestra de suelo se digiere con ácido sulfúrico y sustancias que faciliten la transformación del nitrógeno en ión amonio, destilación de éste en medio alcalino y posterior valoración.

-Procedimiento

Reducción de nitrato y nitrito a amonio. Se consigue añadiendo como reductor el ácido salicílico con tiosulfato sódico.

Mineralización del nitrógeno orgánico. Se realiza mediante un proceso de digestión con sulfúrico concentrado a alta temperatura. La adición de sulfato potásico eleva el punto de ebullición del ácido sulfúrico y acelera la reacción. Se añade sulfato de cobre y selenio como catalizadores. Este proceso se llevó a cabo en el digestor BLOC DIGEST 12 (fig.24 a).

Determinación del amonio. Añadir una base fuerte (NaOH) para neutralizar la disolución y conseguir que el amonio se transforme en amoníaco. Destilar el amoníaco, recogerlo en disolución ácida (HCl 0.2N) (fig.24 b), y valorar el ácido sobrante con una base (NaOH 0.1N).

Fig.24- Digestor BLOC DIGEST 12 (a) de la marca comercial SELECTA, y destilador TECATOR modelo KJELTEC SYSTEM 1026 (b).



(a)



(b)

4.8.1.8-Capacidad de intercambio catiónico.

-Fundamento

Se extraen los cationes de cambio del suelo utilizando una disolución extractante que contiene Mg^{+2} , consiguiendo así reemplazar los cationes de cambio por Mg^{+2} .

Posteriormente se valora el Mg^{+2} retenido por el complejo en sus posiciones de cambio catiónico.

-Procedimiento

Extracción de los cationes de cambio del suelo con Ba^{2+} . Añadir disolución de Cambio A en la muestra y agitar para que los cationes de cambio del suelo, sean reemplazados por el Ba^{2+} de esta disolución. Centrifugar a 3000rpm. Por decantación, se separa el líquido sobrenadante (extracto I) sin remover el suelo.

Sustitución del Ba por Mg. Se añade al suelo disolución de Cambio B y se agita. El catión Ba que saturaba el complejo de cambio del suelo es reemplazado por Mg. Mediante centrifugación se decanta el suelo y se obtiene el extracto II.

Valoración del Mg. Se valoran, con EDTA, volúmenes iguales de disolución de Cambio B y del extracto II. Los meq de Mg de diferencia serán los retenidos por el complejo en sus posiciones de cambio catiónico. El indicador utilizado es negro de eriocromo T. Para ver el viraje, se tampona con disolución de amoníaco de pH 10, en estas condiciones se observa un cambio de color de rojo (color del complejo del indicador con ión magnesio) a azul (color del indicador sin formar complejo), por desplazamiento del EDTA del complejo ión magnesio-indicador formado, ya que el EDTA forma un complejo muy estable con el Mg.

4.8.1.9-Materia orgánica fácilmente oxidable.

-Fundamento

En el presente método se determina el carbono orgánico del suelo que se oxida con dicromato en presencia de ácido sulfúrico. El exceso oxidante se valora con sulfato ferroso amónico (sal de Mohr) y la cantidad de carbono orgánico oxidado se calcula a partir de la cantidad de dicromato reducido.

Para obtener la materia orgánica oxidable, hay que tener en cuenta la proporción de carbono en la materia orgánica del suelo. Aunque esta proporción es variable de

unos suelos a otros, el factor que normalmente se toma como referencia (factor de Van Bemmelen) supone que la materia orgánica del suelo tiene un 58% de carbono.

-Procedimiento

Añadir en el matraz donde se encuentra la muestra dicromato potásico. Verter lentamente y agitando ácido sulfúrico concentrado, dejando la mezcla en reposo durante 30 minutos. Añadir agua, dejar enfriar y agregar ácido fosfórico.

Valorar del exceso de dicromato con sal de Mohr, utilizando como indicador difenilamina en solución sulfúrica. La coloración vira de rojo burdeos a verde brillante pasando por tonos azul violáceos.

4.8.1.10-Textura.

-Fundamento

La determinación de de la textura de los suelos requiere que las partículas estén dispersadas en solución acuosa. Ésto se consigue mediante la agitación del suelo en una solución alcalina diluida de metafosfato sódico (calgón).

Este método esta basado en la ecuación de Stokes, que relaciona el diámetro de las partículas con el tiempo de caída. Y mediante el densímetro Boyoucos se mide la densidad de la suspensión del suelo que está relacionada con la concentración de partículas en dicha suspensión.

-Procedimiento

Colocar la muestra en un matraz y añadir metafosfato sódico y agua destilada, dejando en reposo durante 10 minutos. Agitar la suspensión durante un tiempo determinado.

Verter todo el contenido del matraz en una probeta y enrasar con agua a 1000ml. Agitar con un émbolo para mezclarlo bien. Al sacar el émbolo anotar el tiempo. Medir la temperatura.

Introducir el densímetro con cuidado en la suspensión, y anotar los valores de la escala transcurridos unos tiempos determinados a partir del momento anotado.

Para la obtención de las diferentes fracciones del suelo se utiliza la clasificación de familias del Sistema Internacional (ISS).

4.8.1.11-Sodio, Potasio, Magnesio, Calcio.

-Fundamento.

Extracción del mineral y determinación por espectrofotometría de absorción atómica.

-Procedimiento.

Extracción. Agregar al suelo solución extractora de acetato amónico 1N de pH=7. Agitar 30 minutos y filtrar.

Preparar la curva patrón mediante solución patrón del elemento a determinar.

Efectuar la lectura directa de la absorbancia en el espectrofotómetro de absorción atómica (figura 25).

Fig.25-Espectrofotómetro de absorción atómica ANALIST 100 de PERKIN ELMER.



4.8.1.12-Hierro.

-Fundamento.

Extracción del hierro y determinación por espectrofotometría de absorción atómica.

-Procedimiento.

Extracción. Agregar al suelo solución extractora de DTPA ajustado a un pH de 7.30. Agitar 2 horas y filtrar la suspensión.

Preparar la curva patrón mediante solución patrón del elemento a determinar.

Efectuar en el filtrado la lectura directa de la absorbancia mediante el espectrofotómetro de absorción atómica (figura 25).

4.8.2- ANALISIS FOLIAR

La diagnosis foliar del viñedo es un valioso elemento de trabajo que permite caracterizar y controlar la alimentación de la planta, durante el curso de su vegetación, y consecuentemente corregir su fertilización.

El contenido en elementos fertilizantes en las hojas está en relación directa con las cantidades de estos mismos elementos extraídos del suelo por la cepa, y en particular todo suplemento eficaz de los mismos es correlativo con un aumento de su cantidad en materia seca de las hojas. Consecuentemente toda respuesta de la vid a una aportación de elementos fertilizantes se pone en evidencia por la diagnosis foliar.

Dos hojas homólogas, es decir, de la misma edad, tomadas sobre dos cepas diferentes, pero de la misma variedad, cultivadas en condiciones idénticas (suelo, clima, cuidados culturales) tienen composiciones químicas comparables en cualquier momento coincidente. Es pues posible, en una parcela de viñedo homogéneo, hacer la diagnosis foliar en un cierto pequeño número de hojas homólogas, para generalizar sus resultados al conjunto de la parcela.

4.8.2.1-Determinación de la clorofila.

Para una buena conservación de todas las hojas, se sacaron del congelador a medida que se fueron realizando los análisis.

Se seccionó una porción circular de 1,6 cm de diámetro, tomada del tercio superior del lóbulo central de la hoja. La muestra debe ser lo mas representativa posible, por lo que se evitó el nervio central debido a su gran tamaño respecto a la superficie de la muestra.

Esta porción se trituró en un mortero de porcelana y con la ayuda de 12 ml de acetona al 80% de riqueza, se trasvasó la totalidad de la muestra a un tubo de ensayo que se inmediatamente se cubrió, para evitar la evaporación del disolvente, con tapón de silicona. Se agitó para conseguir su homogenización. Para una correcta extracción de la clorofila, esta dilución se mantuvo un día o día y medio en condiciones de

oscuridad y a una temperatura de 4 o 5°C, evitando su degradación a causa de la luz o el calor.

Transcurrido ese tiempo se filtró el extracto resultante y 3 ml fueron transferidos a una cubeta de cuarzo o vidrio (ya que la acetona afecta al material plástico) para medir su absorbancia en el espectrofotómetro (figura 26) a dos longitudes de onda diferentes: 646 y 663 nm.

Fig.26- Espectrofotómetro donde se realizó la determinación de la clorofila.



Se calculó el error en el volumen final de la disolución de clorofila en acetona, de esta manera se pudo comprobar que el volumen resultante del proceso de extracción de clorofila era menor que el valor teórico (12 ml). El error total estimado fue del 6.93%.

Según cita Alan R. Wellburn, la precisión de las ecuaciones para determinar concentraciones de Ca+b depende del disolvente utilizado y de la resolución del espectrofotómetro utilizado. Así, para un disolvente de acetona al 80% y un rango de resolución de 1 a 4 nm (siendo para este estudio de 2 nm) se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$C_a = 12.21 A_{663} - 2.81 A_{646}$$

$$C_b = 20.13 A_{646} - 5.03 A_{663}$$

Durante la realización de estos análisis, el espectrofotómetro que estaba siendo utilizado (departamento de Producción Vegetal y Silvopascicultura) sufrió una avería, por lo que hubo que efectuar las medidas en otro espectrofotómetro (departamento de Química Analítica) de igual resolución. A partir de este incidente y una vez obtenidos los valores de Ca+b, se llevaron a cabo una serie de comprobaciones, observándose anomalías en los datos. Tras realizar diversos cálculos se llegó a la conclusión de que el segundo espectrofotómetro sufría un desplazamiento de la curva de absorbancia respecto de la longitud de onda, por lo que los datos obtenidos no se correspondían con las longitudes de onda de los picos de absorbancia (646 y 663) y los resultados no eran válidos.

Para salvar este error, se hicieron medidas con un patrón calibrado de Panreac y una muestra de mosto en ambos aparatos. Se calculó el desajuste de la curva a partir de las posiciones de los máximos y los mínimos de absorbancia en los espectros continuos correspondientes al patrón y a las disoluciones de Ca+b. Mediante estas medidas se pudo ver que la absorbancia en las longitudes de onda 646 y 663 nm están fuertemente correlacionadas con las medidas de absorbancia a 653.2 y 670.1 nm.

A partir de estas correlaciones y de las fórmulas de Ca y Cb anteriormente citadas, se determinaron unas nuevas ecuaciones:

$$C'_a = 16.55A_{670.1} - 1.91A_{653.2} + 0.02$$

$$C'_b = 13.69A_{653.2} - 6.82A_{670.1} + 0.03$$

Con los datos medidos se obtienen errores de un 3% y 4% para Ca y Cb, respecto de los obtenidos con las fórmulas originales.

4.8.2.2-Determinación de nutrientes.

Nitrógeno.

El análisis del nitrógeno foliar se realizó mediante el ataque con ácido sulfúrico y un catalizador que faciliten la transformación del nitrógeno en ión amonio, durante el proceso de digestión Kjeldahl. Posteriormente se realizó la destilación de éste en medio alcalino y se valoró con hidróxido sódico.

Fósforo.

Primeramente se procedió a la acenización de la muestra, durante dos horas, en horno mufla a 450°C. Se hizo la extracción con ácido clorhídrico concentrado, se enrasó hasta 100 ml con agua y se procedió a medir el complejo amarillo de fosfomolibdovanadato amónico por espectrofotometría a 430 nm.

Fig.27-Molino y horno mufla para el procesamiento de muestras foliares.



Cationes.

Se determinaron los siguientes elementos: potasio, calcio, hierro y magnesio. Se realizó una mineralización húmeda de la muestra con 20 ml de la mezcla ternaria en caliente (Nítrico-Sulfúrico-Perclórico) en la proporción 2:1:1. Se diluyó a 250 ml y posteriormente se midió en espectrofotómetro de absorción atómica. El potasio, calcio y magnesio requieren una dilución 1:10 para entrar en el rango de lectura (www.fertiberia.es)

4.8.3- ANÁLISIS DEL MOSTO.

El mosto es el jugo obtenido de las uvas recién prensadas. Es importante tener un conocimiento completo de la composición del mosto, porque de éste depende la composición y calidad del vino terminado. Asimismo, dicha información, manejada de forma conveniente, permitirá utilizar el mosto en condiciones superiores o mejorarlo para obtener la mejor calidad de vino posible.

4.8.3.1-Producción de cosecha.

El primer paso fue contar el número de racimos existentes por zona de estudio.

Posteriormente, se procedió a pesar dichos racimos en una báscula con precisión de ± 5 g.

4.8.3.1-Preparación de la muestra.

Con el fin de obtener una muestra para análisis de garantía, se han estrujado todas las uvas de la muestra elegida. Es muy importante que la fruta se estruje bien, ya que su contenido en azúcar es mucho más elevado que el de otras frutas. El jugo obtenido contendrá más o menos hollejos, pepitas y partículas de la pulpa, lo que puede ser causa de error, por lo que para obtener un jugo completamente claro, se ha centrifugado 5 minutos a 3500 rpm.

El mosto clarificado se analizó inmediatamente, ya que cuando la temperatura es alta, la fermentación se inicia con rapidez. El almacenamiento en frío conserva el jugo, pero antes de su análisis deberá calentarse para disolver el precipitado de tartratos.

4.8.3.2-Determinación de azúcares y grado alcohólico probable.

-Fundamento

Se determinó la concentración de azúcares mediante un método indirecto basado en el índice de refracción. Con el refractómetro (figura 28) se obtienen °Brix, que corresponde al peso de la sacarosa por 100g de solución acuosa.

Este valor, se lleva a la tabla correspondiente para obtener el grado alcohólico probable.

-Procedimiento

- Ajuste a cero

Cubrir el prisma con agua destilada (varias gotas son suficientes). Cerrar el cubre objetos y girar el tornillo de ajuste hasta que el límite claro/oscuro (línea de sombra) se alinee con la línea cero. Después de ajustar a cero, limpiar el prisma con un paño suave.

- Preparación de la muestra y lectura.

Para tomar la lectura de la muestra, simplemente colocar varias gotas de líquido sobre el prisma de medición en el extremo del instrumento. Cerrar el cubreobjetos del prisma para distribuir el líquido sobre toda la superficie del prisma, cuidando que no queden burbujas de aire o puntos secos

Mantener el instrumento bajo una fuente de luz y mirar a través del ocular. Se determina la concentración de sacarosa por la intersección en la línea límite de los campos claro/oscuro (conocida como línea de sombra) en la escala impresa. La temperatura del agua destilada usada para el ajuste a cero y la temperatura de la muestra deberán ser similares.

- Compensación de temperatura.

La temperatura es uno de los factores singulares más importantes que afectan la precisión de las lecturas del refractómetro y una de las mayores fuentes de error en las mediciones. Cuando la temperatura de la medida difiere de 20°C, la lectura debe ser corregida mediante una tabla, ya que el refractómetro está diseñado para usarlo a esa temperatura estándar.

Fig.28-Refractómetro para la determinación de grados Brix en mostos.



4.8.3.3-Acidez total (valorable).

-Fundamento

El mosto y los vinos son disoluciones ácidas diluidas. Sin los ácidos, los jugos serían muy insípidos y se estropearía fácilmente, la fermentación daría productos poco satisfactorios y los vinos resultantes se echarían a perder con facilidad, tendrían un color pobre y un sabor insípido, sin paladar.

Se ha utilizado el método potenciométrico, que se basa en calcular la acidez total como la suma de todas las acideces valorables, mediante la determinación de la cantidad necesaria de álcali valorado para llevar el mosto hasta pH 7.

-Procedimiento

Se realiza una valoración ácido-base utilizando NaOH 0.1N.

En un vaso de precipitados, se vierte una cantidad conocida de mosto y se valora con disolución de hidróxido sódico 0.1N hasta llegar a pH 7.

El punto final de la valoración ácido-base se determina electrométicamente mediante un pH-metro (pH METER BASIC 20 de CRISON) como se muestra en la figura 29.

Valoración de NaOH con ácido oxálico, para calcular la normalidad exacta de la base.

Fig. 29-Determinación de la acidez total en las muestras de mosto de las subparcelas de estudio, mediante el método potenciométrico.



4.8.3.4-pH.

- Fundamento

Medida del potencial eléctrico que se crea en la membrana de vidrio de un electrodo, que es función de la actividad de los iones hidrógeno a ambos lados de la membrana.

- Procedimiento

Calibrado del pH-metro con soluciones tampón de pH 7 y 4, con el fin de obtener unos resultados de calidad.

Introducir los electrodos en el mosto evitando la formación de burbujas y medir el pH. Se hacen dos medidas, obteniéndose el resultado como la media entre ambas.

4.8.4- IMÁGENES MULTIESPECTRALES.

4.8.4.1- Obtención de espectros.

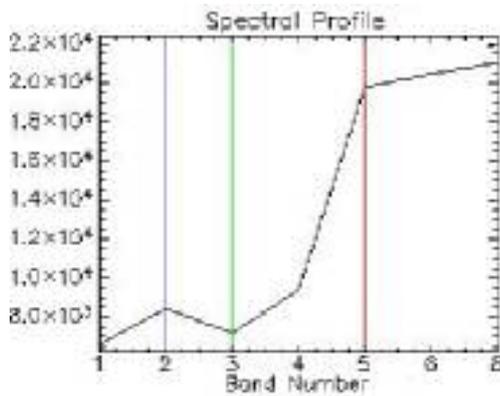
Las imágenes fueron analizadas usando el software ENVI 4.0. Los valores de reflectancia media han sido calculados a partir de las imágenes multiespectrales en cada subparcela. Esta reflectancia media fue calculada seleccionando solo aquellos píxeles con un NDVI igual o superior a 1.5, obteniendo así datos de vegetación mientras se minimiza la influencia de la reflectancia de los factores ajenos a la cubierta vegetal.

Dicho umbral de NDVI se determinó para la imagen utilizada con el fin de obtener el mayor número de datos correspondientes a la cubierta vegetal, ya que la aplicación de este índice es adecuada para la discriminación de coberturas vegetales, al mismo tiempo que reduce efectos ambientales (atmósfera) que se observan en las bandas individuales, variaciones provocada por la topografía, sombras y variación en la iluminación, realzando las pequeñas diferencias que puedan aparecer en las respuestas espectrales de las coberturas.

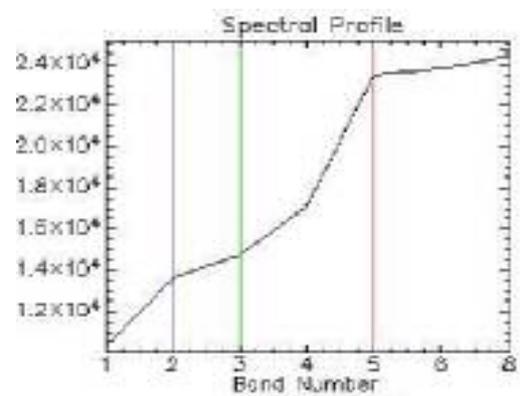
Una vez separados los datos de vegetación del resto de cubiertas, se procedió a la extracción de los espectros de cada subparcela. A cada dato de la banda se le aplicó un *offset* y un *gain* para su procesamiento, obteniendo la reflectancia mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Reflectancia} = (\text{dato de la banda} / 50000) - 0.1$$

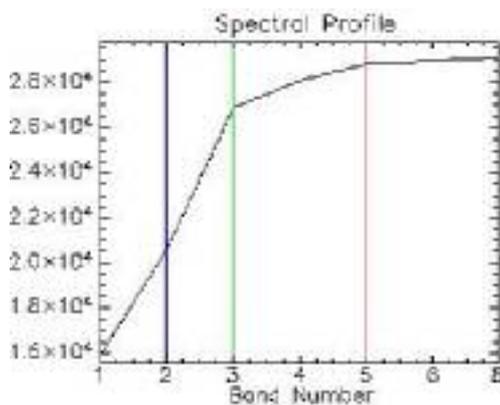
Fig.30-Perfiles espectrales extraídos de la imagen multispectral del sensor CASI correspondientes a reflectancia de: vegetación pura (a), agregado de suelo, sombra y vegetación (b), y suelo desnudo (c). Las líneas rojas, verdes y azules corresponden a las bandas con que se ha visualizado la imagen (RGB). Extraídas con ENVI 4.0.



(a)



(b)



(c)

Como se puede apreciar en las gráficas de la figura 30, es de gran importancia esta selección de datos para la estimación de variables bioquímicas, dada la gran diferencia entre los perfiles espectrales de las distintas cubiertas, especialmente en cultivos como el viñedo, donde la distribución de las plantas da lugar a que la influencia de los efectos de fondo, como sombra y suelo, es bastante elevada.

4.8.4.2- Aplicación de los índices de vegetación.

En función de los canales disponibles y su longitud de onda, y de los aspectos a estudiar se hizo una selección de 22 índices de vegetación, que fueron calculados con

los datos de reflectancia obtenidos a partir de las imágenes multispectrales captadas por el sensor hiperespectral CASI.

Estos índices se aplicaron en cada una de las subparcelas de estudio, permitiendo contrastar los resultados de los diferentes tratamientos.

Se pueden agrupar en tres tipos:

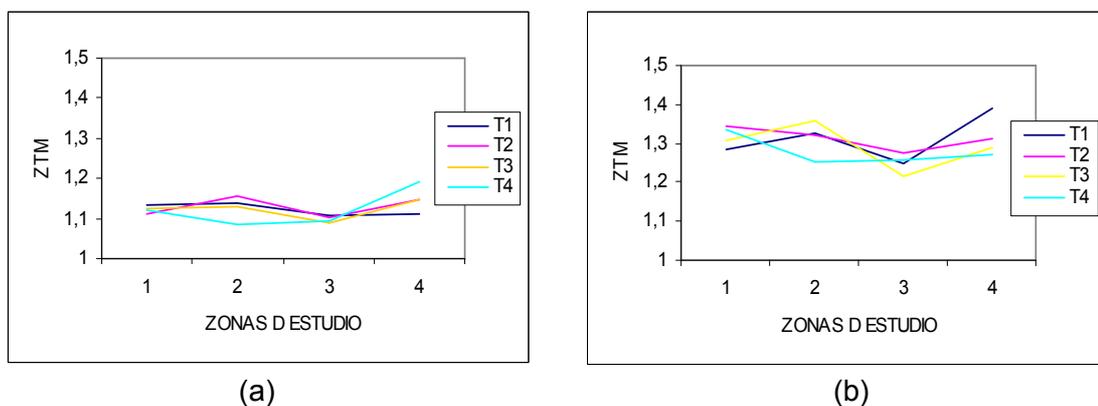
-Índices de clorofila, relacionados con el contenido de este componente y de otros elementos presentes en las hojas.

-Índices estructurales, indicadores relacionados con parámetros de la estructura externa de la planta.

-Índices combinados, compuestos por los dos tipos de índices anteriores, y por tanto susceptibles de mostrar información sobre variables estructurales y bioquímicas.

La elevada resolución de las bandas estrechas del sensor aerotransportado CASI, permite la separación de los componentes de la imagen para obtener unos resultados de mayor fiabilidad al poder extraer la información no deseada de los datos de la imagen. Se puede observar la gran influencia de los elementos externos a la cubierta vegetal sobre los índices como la sombra y el suelo en la figura 31.

Figura 31-Valores obtenidos del índice ZTM (Zarco-Tejada *et al.*, 2001), en las cuatro zonas de estudio, utilizando todos los datos de cada zona (píxeles puros, y píxeles mezcla de suelo, sombra y vegetación) (a), e incluyendo únicamente los datos que superan el umbral calculado para cubierta de vegetación (b).



5-OBJETIVOS FINALES.

- Utilizar índices hiperespectrales calculados a partir de imágenes tomadas por el sensor aerotransportado CASI sobre el viñedo para estimar la posible relación entre éstos y diversas variables bioquímicas foliares (nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, hierro, calcio y clorofila a+b).

- Estudiar las relaciones entre el contenido foliar de nutrientes y la concentración de clorofila en las hojas de la vid.

- Determinar la influencia de los tratamientos de fertilización con extracto de algas (*Ascophyllum nodosum*) en la vid sobre el contenido de variables bioquímicas a nivel foliar, estudiando si dicha influencia puede detectarse mediante técnicas de teledetección.

Debido a la imposibilidad de tomar los datos de producción correspondientes a dos de las cuatro zonas de estudio, y al existir en la parcela un solo racimo por cepa (debido a la estrategia de producción adoptada por el Técnico y comentada anteriormente en el capítulo de obtención de las muestras), el resultado de la producción no fue comparable con los niveles óptimos que se encuentran en la bibliografía, por lo que no se estimó oportuno plantear objetivos relacionados con estos parámetros.

En esta línea se está trabajando desde la región de Tras-os-Montes e Alto Douro (Portugal), donde se está llevando a cabo una tesis doctoral titulada "El uso de las algas *Ascophyllum nodosum* como fertilizantes en viticultura".

6- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

6.1-CORRELACIÓN ENTRE ÍNDICES DE VEGETACIÓN Y PARÁMETROS FOLIARES.

Los coeficientes de correlación (r) obtenidos entre índices hiperespectrales y el contenido de diferentes componentes foliares analizados en el laboratorio, elementos minerales (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, hierro y magnesio), y clorofila a+b se detallan a continuación.

6.1.1-RELACIÓN ENTRE ÍNDICES Y CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS MINERALES.

Las relaciones entre índices y elementos foliares se dividen en tres bloques en función del tipo de índices utilizados.

-Índices de clorofila.

Los resultados respecto a los índices de clorofila en su relación con los elementos minerales foliares se presentan en la tabla 8.

Tabla 8-Coeficientes de correlación entre índices de clorofila y elementos minerales foliares.

ÍNDICE	ELEMENTO MINERAL					
	N	P	K	Ca	Mg	Fe
G	-0,51	-0,06	0,04	-0,04	0,19	-0,02
MCARI	-0,50	-0,18	0,15	-0,22	0,18	-0,17
TCARI	-0,52	-0,16	0,13	-0,18	0,21	-0,14
TVI	-0,56	-0,44	-0,02	-0,43	-0,30	-0,37
ZTM	-0,36	-0,46	-0,01	-0,51	-0,58	-0,41
G_M1	-0,05	-0,35	0,02	-0,46	-0,58	-0,36
G_M2	-0,36	-0,46	-0,01	-0,51	-0,58	-0,41

Con el nitrógeno se obtuvieron los mejores resultados utilizando índices G, MCARI, TCARI y TVI, obteniendo ($r \geq |0.5|$) y demostrando la relación existente entre éstos y dicho elemento. En el caso del fósforo, el hierro y el potasio se encontró que los coeficientes de correlación fueron menores de $|0.5|$, aunque con el potasio

los valores no superaron el valor de $|0.15|$, siendo este elemento el que obtuvo las relaciones más deficientes. Con el calcio, las correlaciones más robustas se alcanzaron para ZTM y G_M2 ($r = 0.51$), índices en los cuales se obtuvieron también los mejores resultados en el caso del magnesio, junto con G_M1 ($r = -0.58$ en los tres casos).

-Índices estructurales.

Como se puede observar en la tabla 9 los coeficientes de correlación con el nitrógeno que superaron el valor de $r \geq |0.5|$ lo hicieron con índices como MTVI1, MTVI2, RDVI, MCARI1 y MCARI2, obteniendo el mayor coeficiente MTVI1 y MCARI1 ($r = 0.53$). En elementos foliares como potasio, hierro y fósforo con índices estructurales no se alcanzaron en ningún caso valores significativos de correlación. Al igual que en el caso de los índices de clorofila, los coeficientes obtenidos para el potasio fueron los más bajos con una notable diferencia con respecto a los demás elementos al no superar $r = 0.15$, mientras que para el fósforo y el hierro se alcanzaron valores de $r = -0.40$ y $r = -0.43$ respectivamente.

Tabla 9-Coeficientes de correlación entre índices estructurales y elementos minerales foliares.

ÍNDICE	ELEMENTO MINERAL					
	N	P	K	Ca	Mg	Fe
NDVI	-0,32	-0,40	0,06	-0,59	-0,62	-0,43
MTV1	-0,53	-0,37	0,00	-0,44	-0,32	-0,36
MTVI 2	-0,52	-0,38	0,02	-0,49	-0,38	-0,38
RDVI	-0,50	-0,18	0,15	-0,22	0,18	-0,17
SR	-0,31	-0,40	0,06	-0,58	-0,62	-0,43
MSR	-0,32	-0,40	0,06	-0,58	-0,62	-0,43
MCARI1	-0,53	-0,37	0,00	-0,44	-0,32	-0,36
MCARI2	-0,52	-0,38	0,02	-0,49	-0,38	-0,38
MSAVI	-0,40	-0,40	-0,02	-0,50	-0,46	-0,41
OSAVI	-0,35	-0,40	0,04	-0,56	-0,57	-0,43

Con respecto al calcio, los índices estructurales mostraron unos resultados superiores que con los índices de clorofila al obtenerse unos coeficientes más significativos en índices como NDVI ($r = -0.59$), SR ($r = -0.58$), MSR ($r = -0.58$), OSAVI ($r = -0.56$) y MSAVI ($r = -0.50$). Las mejores relaciones alcanzadas con este tipo de

índices se encontraron en el magnesio, con unos coeficientes de $r = -0.62$ para NDVI, SR y MSR, obteniéndose también una relación buena con OSAVI ($r = -0.57$).

-índices combinados.

En los resultados de la relación entre los índices combinados (combinación entre índices de clorofila y estructurales) y los elementos foliares que se muestran en la tabla 10 se puede observar que se obtuvieron coeficientes de correlación significativos con el nitrógeno y el magnesio. Para el nitrógeno se alcanzaron con $MCARI2 \cdot (TCARI/OSAVI)$ ($r = -0.58$), y con $NDVI \cdot (TCARI/OSAVI)$ ($r = -0.53$). El índice $MCARI2/(TCARI/OSAVI)$ dio lugar a la mejor relación entre índice-elemento foliar obteniendo con el magnesio un coeficiente de $r = -0.69$. Otros como $TCARI/OSAVI$, y $MCARI/OSAVI$ también obtuvieron buenos resultados con $r = 0.57$ para el mismo componente bioquímico.

Tabla 10- Coeficientes de correlación entre índices combinados y elementos minerales foliares.

ÍNDICE	ELEMENTO MINERAL					
	N	P	K	Ca	Mg	Fe
TCARI/OSAVI	-0,29	0,09	0,10	0,15	0,57	0,11
MCARI/OSAVI	-0,28	0,08	0,12	0,14	0,57	0,10
MCARI2 (TCARI / OSAVI)	-0,58	-0,24	0,08	-0,28	0,05	-0,22
MCARI2 / (TCARI / OSAVI)	-0,16	-0,34	-0,05	-0,49	-0,69	-0,37
NDVI (TCARI / OSAVI)	-0,53	-0,18	0,15	-0,22	0,17	-0,16

6.1.2-RELACIÓN ENTRE ÍNDICES Y CONTENIDO DE CLOROFILA a+b.

Los índices calculados como indicadores de contenido clorofílico fueron principalmente G, MCARI, TCARI, TVI, ZTM, G_M1, y G_M2 así como las combinaciones de éstos con otros índices estructurales.

En la tabla 11 de resultados se puede observar que el valor del coeficiente de correlación más elevado se alcanza con el índice G ($r = -0.46$), pero ninguno de los resultados es lo suficientemente alto para ser significativo. Ello es debido a que el rango de variación de contenido clorofílico foliar medido en campo fue muy pequeño, limitando por lo tanto la posibilidad de obtener coeficientes de correlación altos.

Tabla 11- Coeficientes de correlación (r) entre los índices y el contenido clorofílico.

ÍNDICES DE CLOROFILA	r
G	-0,46
MCARI	-0,26
TCARI	-0,30
TVI	-0,07
ZTM	0,13
G_M1	0,34
G_M2	0,13
ÍNDICES COMBINADOS	r
TCARI/OSAVI	-0,34
MCARI/OSAVI	-0,31
MCARI2 (TCARI / OSAVI)	-0,31
MCARI2 / (TCARI / OSAVI)	0,19
NDVI (TCARI / OSAVI)	-0,30

6.2-CORRELACIÓN ENTRE CONTENIDO CLOROFÍLICO Y CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS MINERALES.

La concentración de clorofila a+b se ha contrastado en cada subparcela de estudio con el contenido de los elementos obtenidos en el análisis foliar de laboratorio.

En los resultados recogidos en la tabla 12 se observa que el único valor significativo se alcanza con el nitrógeno, con un coeficiente de correlación de $r = 0.51$, obteniendo con el resto de elementos valores inferiores ($r < 0.4$).

Tabla 12- Coeficientes de correlación (r) entre concentración de nutrientes y contenido clorofílico.

Elemento mineral	r
N	0,51
P	0,39
K	0,06
Ca	0,23
Mg	0,00
Fe	0,08

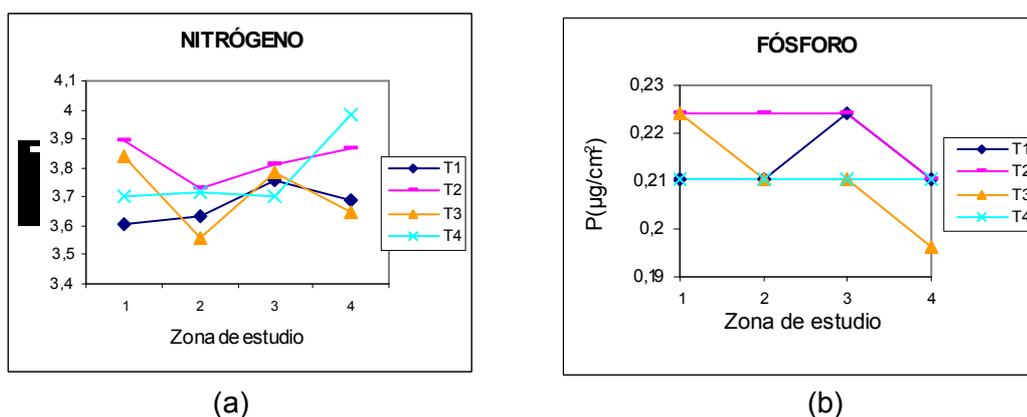
6.3- EFECTOS DE LA FERTILIZACIÓN CON ALGAS.

Para comprobar la existencia de los posibles efectos de la fertilización aplicada, se estudió el contenido de los elementos obtenidos en cada tratamiento a lo largo de cada una de las zonas de estudio. Con el mismo objetivo, se procedió al estudio de los diferentes valores alcanzados por los índices para cada tratamiento y zona de estudio.

6.3.1- EFECTOS EN LA COMPOSICIÓN MINERAL FOLIAR.

En la figura 32 se esquematiza el comportamiento del nitrógeno y el fósforo en los tratamientos a lo largo de las cuatro zonas de estudio y puede observarse que, en el caso de nitrógeno, las subparcelas tratadas con T2 tienen un contenido superior a las demás subparcelas en todos los casos exceptuando en la zona 4 (ALG4) donde es mayor para la zona testigo. Con el fósforo, el resultado es similar ya que el contenido en subparcelas con T2 se mantiene siempre en los valores más altos de la gráfica y con respecto al tratamiento de referencia T4, son superiores excepto en ALG4 donde son iguales.

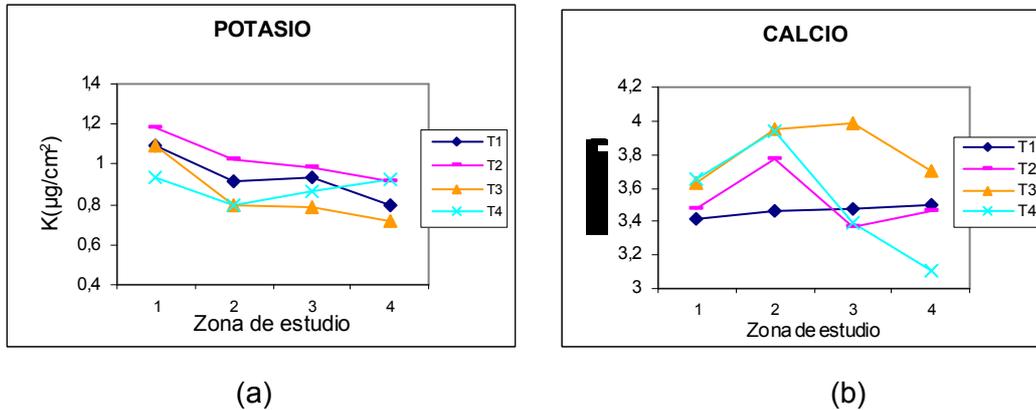
Fig. 32-Concentración del nitrógeno (a) y del fósforo (b) en las diferentes zonas de estudio.



La figura 33 contiene los resultados del comportamiento de las diferentes concentraciones en potasio y calcio, y en ella se muestra como es T2 el que mejores resultados obtuvo a lo largo de todas las zonas de estudio, consiguiendo un mayor contenido de este elemento que el resto de los tratamientos, existiendo solo una zona (ALG4) en que es igualado por otro (T4). Con respecto al calcio, se observa que

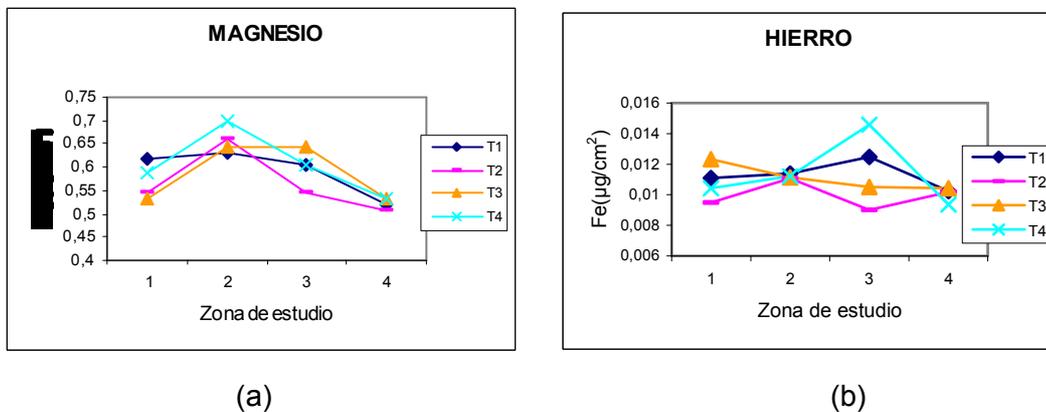
mediante el tratamiento T3 se obtuvieron las concentraciones más elevadas de este elemento, manteniéndose siempre en los niveles más altos, aunque en las zonas de estudio ALG1 y ALG2 el tratamiento testigo tuvo iguales resultados.

Fig. 33-Concentración del potasio (a) y del calcio (b) en las diferentes zonas de estudio.



Con los datos obtenidos respecto a la variación de concentración del magnesio y el hierro se muestran en la figura 34. No se observó que ninguno de los tratamientos de fertilización destacara sobre otro, ya que dependiendo de la zona, la concentración más alta se obtuvo con un tratamiento diferente en cada caso. Con los resultados del hierro se puede observar que al igual que ocurre en el caso del magnesio no se obtuvo ningún tratamiento cuyo comportamiento fuera mejor con respecto a los demás a lo largo de las cuatro zonas de estudio.

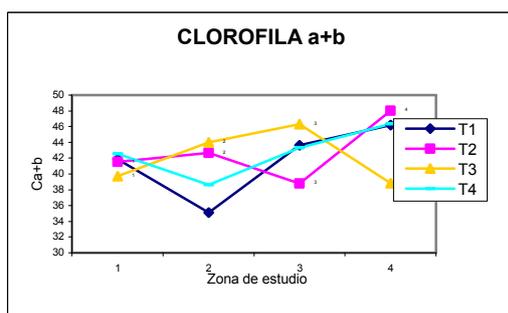
Fig. 34-Concentración del magnesio (a) y del hierro (b) en las diferentes zonas de estudio.



6.3.2-EFECTOS EN LA CONCENTRACIÓN CLOROFÍLICA FOLIAR.

En los resultados que muestran los análisis no se observó la existencia de ninguna relación entre el contenido de clorofila a+b, y los tratamientos aplicados al viñedo, alcanzando la mayor concentración de este componente para un tratamiento diferente dependiendo de la zona de estudio.

Fig.35-Contenido de clorofila en las zonas de estudio.



6.3.3- ESTUDIO DE LOS ÍNDICES EN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS DE FERTILIZACIÓN.

Los resultados de este estudio se dividen en tres grupos dependiendo del tipo de índice utilizado.

En el Anejo 5 se recogen las gráficas correspondientes al valor de cada índice en los tratamientos y a lo largo de las cuatro zonas de estudio. En este apartado solo se muestra alguna de ellas a modo de ejemplo.

-Índices de clorofila.

Los índices G, MCARI, TCARI y TVI mostraron que las subparcelas con los tratamientos T1 y T2, alcanzaron siempre valores superiores al testigo T4 (fig. 36), no cumpliéndose esta relación para los demás índices relacionados con la clorofila en todas las zonas de estudio, en particular en la zona 4 (fig. 37). En cuanto al tratamiento T3 se observa, en la mayoría de los casos, un aumento importante de los valores en la zona 2 y un descenso brusco en la zona 3, pero no se mostró ninguna tendencia general para todas las zonas de estudio, ya que en cada una de ellas los índices alcanzaron un valor distinto.

Fig. 36-Valores de los índices G (a) y MCARI (b) en cada zona de estudio.

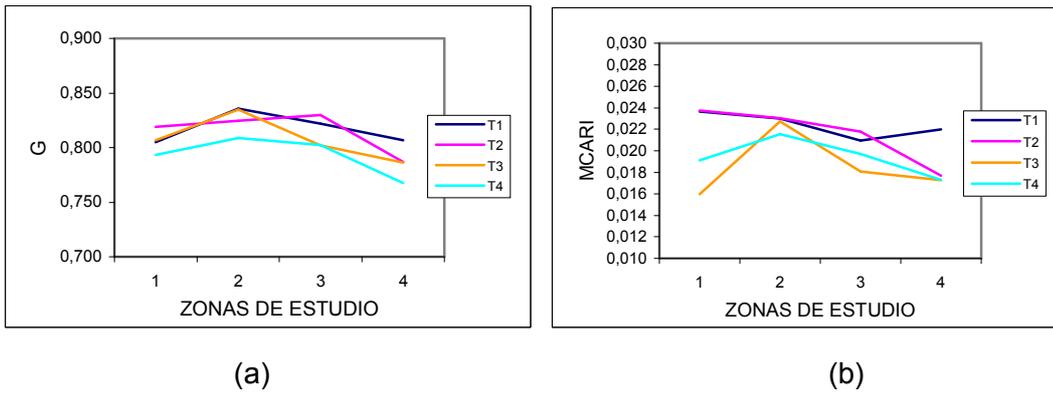
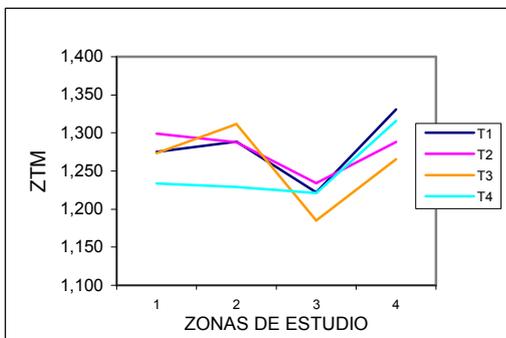


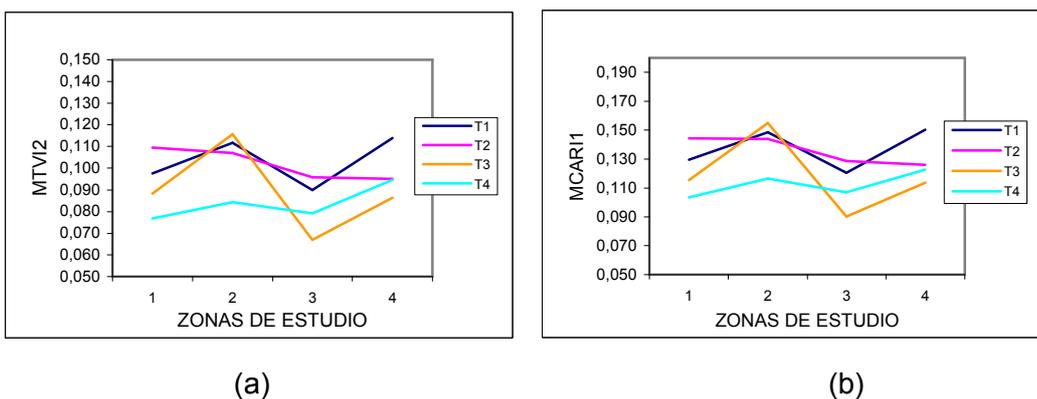
Fig. 37-Valores del índice ZTM en cada zona de estudio.



-Índices de estructurales.

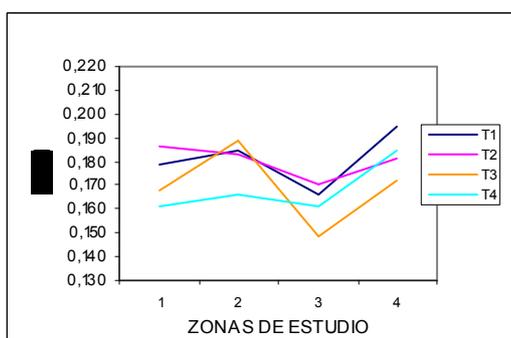
Al estudiar el comportamiento de los índices de clorofila en los cuatro tratamientos de fertilización se encontró que para el tratamiento T2 se obtuvieron valores, en todos los casos, mayores que en el tratamiento testigo (T4) como puede observarse en la figura 38.

Fig.38-Valores de los índices MTVI2 (a) y MCARI1 (b) en las cuatro zonas de estudio.



Mientras, en las subparcelas tratadas con T1, también se alcanzaron valores más altos que en aquellas donde se aplicó el tratamiento T4 (figura 38), excepto en algunos índices donde en la zona 4 el testigo superó a T1 (figura 39). Con respecto a T3 se observó que el comportamiento de todos los índices en las subparcelas con este tratamiento fue muy irregular, apreciándose por lo general la misma tendencia que en los índices de clorofila.

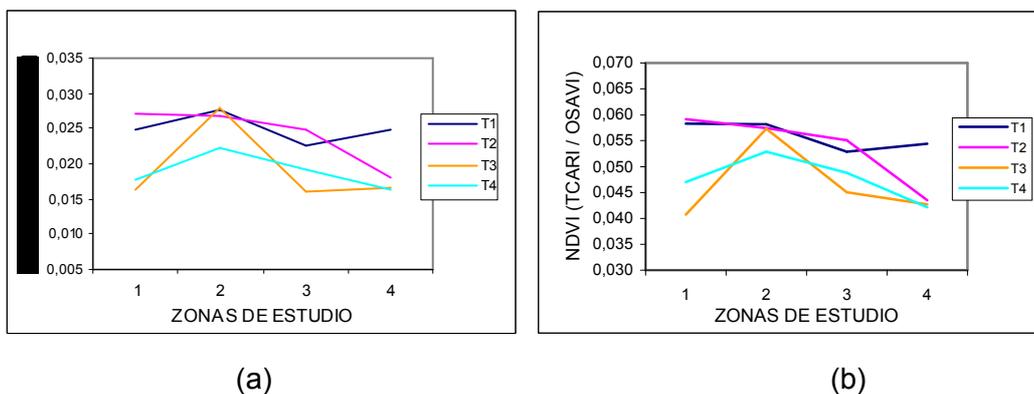
Fig. 39-Valores del índice RDVI en las diferentes zonas de estudio.



-Índices combinados.

Los resultados en este tipo de índices son similares que en los casos anteriores, donde, MCARI (TCARI/OSAVI) y NDVI (TCARI/OSAVI) alcanzan valores siempre superiores con los tratamientos T1 y T2 (fig.40), no siendo así en los demás índices.

Fig.40-Valores de los índices MCARI (TCARI/OSAVI) (a) y NDVI (TCARI/OSAVI) (b) en las cuatro zonas de estudio.



7-CONSIDERACIONES.

A partir de la realización de este estudio se ha avanzado en el conocimiento sobre diversos temas relacionados con la viticultura, fertilización y detección mediante teledetección.

- En algunos casos es precisa la incorporación de elementos en el suelo para mejorar la deficiencia de éstos en el terreno, existiendo diversos productos comerciales, con su dosis óptima de aplicación. En el caso de adicionar extracto de algas es aconsejable, dependiendo del elemento deficiente, añadir una dosis menor a la recomendada del producto corrector, ya que el extracto incluye diversos elementos minerales.

- El comportamiento de los índices en las subparcelas con el tratamiento T3, destacó en general por obtener un valor muy alto en la zona de estudio 2 (ALG2), donde el contenido en carbonatos y en caliza activa del suelo es el más elevado según el análisis realizado. Por el contrario, se observó un descenso en la mayor parte de los índices en la zona ALG3, donde se obtuvo la menor concentración en caliza activa. Teniendo en cuenta el hecho de que los suelos calcáreos son los más propensos a la deficiencia de hierro asimilable por la planta, podría ser interesante en posteriores investigaciones estudiar la relación entre contenidos altos en caliza activa y valores elevados de índices de vegetación.

- En las subparcelas tratadas con T2, se observa que en la mayor parte de las zonas de estudio se alcanza a nivel foliar un contenido en nitrógeno, fósforo y potasio superior que en las demás subparcelas, hecho que, aun no habiéndose alcanzado resultados concluyentes, podría ser debido a la aplicación de este tratamiento, que contiene la mayor concentración de extracto de algas.

8-CONCLUSIONES.

- El presente estudio muestra que tanto los índices ópticos relacionados con la estructura de la planta, como los indicadores del contenido clorofílico y de otros elementos bioquímicos, obtuvieron los mejores resultados de correlación con el nitrógeno, el calcio y el magnesio foliar de la vid, destacando el magnesio entre los demás nutrientes.

- Los índices hiperespectrales que mostraron mayor capacidad como indicadores de la variabilidad de nitrógeno fueron aquellos que incluyen longitudes de onda en el visible a 550nm (G, MCARI, TCARI y TVI en índices de clorofila, MTVI1, MTVI2, RDVI, MCARI1 y MCARI2 en índices estructurales, y MCARI2·(TCARI/OSAVI), NDVI·(TCARI/OSAVI) en índices combinados), verificándose para el cultivo de este estudio las afirmaciones comprobadas en Blackmer et al., 1994.

- Se puede concluir que las correlaciones más elevadas de los índices estructurales y clorofílicos con el calcio y el magnesio se alcanzaron con los mismos indicadores para ambos elementos bioquímicos. Por el contrario, para el nitrógeno, las relaciones significativas se alcanzaron con los índices que no presentaron buenos resultados en magnesio y calcio. En vista de estos hechos puede afirmarse que la capacidad de los índices ópticos utilizados en este trabajo para detectar diferencias en el contenido de variables bioquímicas a nivel foliar depende del elemento estudiado.

- La correlación más elevada se alcanzó entre el magnesio y el índice combinado MCARI2/(TCARI/OSAVI).

- Mediante las correlaciones entre los índices de banda estrecha y el contenido foliar de clorofila a+b, no se han obtenido resultados significativos debido a la inexistencia de un gradiente suficientemente amplio de este componente bioquímico en la parcela estudiada, no siendo posible, por esta causa, obtener buenos coeficientes de correlación entre los dos parámetros.

9-OBJETIVOS DE FUTURO.

- Plantear los mismos objetivos en un viñedo de mayor edad, para comparar los resultados y estudiar los índices hiperespectrales en un viñedo con densidad foliar más elevada, a la vez que se estudian y relacionan los parámetros de rendimiento.

- Realizar una investigación más amplia de la influencia de los tratamientos, haciendo un mayor número de ensayos variando la concentración con que se aplica este producto.

- Con respecto al estudio de la capacidad de los índices hiperespectrales para detectar la variabilidad del contenido clorofílico, se plantea continuar trabajando en esa línea en una parcela con un gradiente mayor de dicho parámetro.

- Tras la realización de este trabajo, se ha observado el potencial interés del estudio de la relación entre la aplicación al viñedo del extracto de algas *Ascophyllum nodosum* con el contenido foliar de algunos elementos minerales como nitrógeno, fósforo y potasio.

10-BIBLIOGRAFÍA.

ABETZ, P. 1980. J. Aust. Inst. Seaweed extracts: have they a place in Australian agriculture or horticulture. Agric. Sci.43, 23-29.

BARBA, L.M. 2003. Ribera de Duero. Ed. Robinbook, S.L. Barcelona

BLACKMER, T. M., SCHEPERS, J. S., AND VARVEL, G. E. 1994. Light reflectance compared with other nitrogen stress measurements in corn leaves, Agronomy J. 86: 934-938.

BLUNDEN, G. 1977. Cytiquinin activity of seaweed extracts. D.L. Faulkner and W.H. Finical. Marine natural products chemistry. Pp 337-334. New York.

BLUNDEN, G. 1991. Agricultural uses of seaweeds and seaweed extracts. Seaweed resouces in Europe: Uses and potencial. M.D. Guiry and G. Blunden. John Wiley and Sons. Pp.65-81. Chichester

BOOTH, E. 1966. Some properties of seaweed manures. Proc.5thInt. Symp. Pergamon Press. pp349-357. London.

BROGE, N. H., LEBLANC, E. 2000. Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. Remote Sens. Environ. 76:156-172.

CARTER, G. A. 1994. Ratios of leaf reflectances in narrow wavebands as indicators of plant stress, International Journal of Remote Sensing, 15:697-704.

CHEN, Y. AND P. BARAK. 1982. Iron nutrition of plants in calcareous soils. Adv. Agron. 35:217-240

CHUVIECO, E. CONGALTON, R.G. 1988. Mapping and inventory of forest fires from digital procesing of TM data, Geocarto Internacional, vol 3, pp 41-53.

CHUVIECO, E. 2000. Fundamentos de la teledetección espacial. Rialp. 3^a Ed. Madrid.

- CIBRIAIN, F., SAGÚES, A. 1994. Clorosis férrica de la vid. Navarra agraria, 20, 19-23.
- COHEN, W.B., 1991. Response of vegetation indices to changes in three measures of leaf water stress. Photogrametric Engineering and Remote Sensing, vol 57, pp 195-202.
- CROUCH, I.J. 1990. University of Natal. The effect of seaweed concentrate on plant. Ph. D. Dissertation. Pietermaritzburg. South Africa.
- CROUCH, I.J., VAN STADEN, J. 1993. Evidence of the presence of plant growth regulators in commercial seaweed products. Plant growth Regl. 13, 21-29.
- DAUGHTRY, C. S. T., WALTHALL, C. L., KIM, M.S., BROWN DE COLSTOUN, E., AND MCMURTREY III, J. E. 2000. Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance, Remote Sensing of the Environment, 74: 229-239.
- DÍEZ, E. 2003. Trabajo fin de carrera: Relación entre las medidas de reflectancia espectral y los contenidos de clorofila y nutrientes en hojas de vid. ETSIIA. Palencia.
- DWYER, L.M., ANDERSON, A.M., MA, B.L., STEWART, D.W. 1995. Quantifying the nonlinearity in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration, Can. J. Plant Sci. 75, 179-182.
- EMERY, T. 1982. Iron metabolism in human and plants. Am. Sci. 70:626-632
- KNIPLING, E.B. 1970. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near infrared radiation from vegetation. Remote Sensing of Environment, vol.1 pp 155-159.
- FERNANDEZ-ESCOBAR, R., MORENO, R., AND GARCIA-CREUS, M. 1999. Seasonal changes of mineral nutrients in olive leaves during the alternate-bearing cycle, Scientia Horticulturae, 82, 24-45.
- GANDÍA, S., MELIÁ, J. 1991. La teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales: recursos renovables, agricultura. Universidad de Valencia. Valencia

- GILDERSLEEVE, R.R. AND W.R. OCAMPAUGH. 1989. Greenhouse evaluation of subterranean clover species for susceptibility to iron-deficiency chlorosis. *Crop Sci.* 29:949-951.
- GITELSON, A. A. AND MERZLYAK, M. N. 1996. Signature Analysis of Leaf Reflectance Spectra: Algorithm Development for Remote Sensing of Chlorophyll, *Journal of Plant Physiology*, 148:494-500.
- GONZALEZ, S. 2000. Los suelos y la viña. II curso de viticultura y enología en la Ribera del Duero. Consejo regulador de la DO Ribera del Duero. Valladolid.
- HABOUDANE, D., MILLER, J.R., TREMBLAY, N., ZARCO-TEJADA, P.J. 2001. Combining hyperspectral vegetation indices for a better estimation of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. Presented at the International Symposium of Spectral Sensing Research (ISSSR), Quebec City (Canada), June 10th-15th,2001.
- HABOUDANE, D., MILLER, J.R., TREMBLAY, N, ZARCO-TEJADA, P.J., AND DEXTRAZE, L, 2002. Integration of Hyperspectral Vegetation Indices for Prediction of Crop Chlorophyll Content for Application to Precision Agriculture. *Remote Sensing of Environment*, 81(2-3), 416-426.
- HABOUDANE, D., MILLER, J.R., PATTEY, E., ZARCO-TEJADA, P.J., AND STRACHAN, I., 2004. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: modeling and validation in the context of precision agriculture, *Remote Sensing of Environment*, 90(3), 337-352.
- HALL, D.O., RAO, K.K. 1993. *Fotosíntesis*. Omega. Barcelona.
- HARRIS, R. 1987. *Satellite Remote Sensing. An Introduction*, Routledge and Kegan Paul. London
- HUETE, A. R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI), *Remote Sensing of the Environment*, 25: 295-309.
- HIDALGO, L. 1999. *Tratado de viticultura general*. Ed. Mundi Prensa. Madrid.

HUETZ, A., 2001. Vinos y viñedos de Castilla y León. Junta de Castilla y León. Valladolid.

HUNT, E.R. ROCK, B.N. 1989. Detection of changes in leaf water content using near and middle-infrared reflectances. *Remote Sensing of Environment*, vol.30 pp 43-54.

JAMESON, P.E. 1993. Plant hormones in the algae. F.E. Round and D.J. Chapman. *Progress in Phycological Research*. Biopress Ltd. Vol.9.p239. Bristol, U.K.

JOLLEY, V.D., AND BROWN, J.C. 1999. Genetically controlled uptake and use of iron by plants, In: Manthey, J.A., Crowley, D.E., Luster, D.G. (Eds.), *Biochemistry of metal micronutrients in the rhizosphere*, Lewis Publishers, Boca Raton, pp. 251-266.

JORDAN, C. F. 1969. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. *Ecology*, 50:663-666.

KIM, M. S., DAUGHTRY, C. S. T., CHAPPELLE, E. W., MCMURTREY III, J. E., AND WALTHALL, C. L. 1994. The use of high spectral resolution bands for estimating absorbed photosynthetically active radiation (Apar). 6th Symp. On Physical Measurements and Signatures in Remote sensing. Jan. 17-21, 1994, Val D'Isere, France, pp. 299-306.

LARCHER, W., 2003. *Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and stress physiology of functional groups*. Ed. Springer. 4th Ed. Berlin.

LIÑÁN, C. 2004. *Vademécum de productos fitosanitarios y nutricionales*. Ediciones Aerotécnicas S.L. 20^a Ed. Madrid.

MADRID, A. 1991. *Métodos de análisis comunitarios aplicables en el sector del vino*. A. Madrid Vicente Ediciones. Madrid.

MAPA. 1993. *Métodos oficiales de análisis*. Tomo III. Secretaría General Técnica. MAPA. Madrid.

MARRO, M. 1989. *Principios de viticultura*. CEAC S.A. Barcelona

- MARSCHNER, H., ROMHELD, V., KISSEL, M. 1986. Different strategies in higher plants in mobilization and uptake of iron, *J. Plant Nutr.*, 9, 695-713.
- MARTINEZ, F. 1985. Fotosíntesis y productividad vegetal. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- MEETING, B., ZIMMERMAN, W.J., CROUCH, W.J., VAN STADEN, J. 1990. Agronomic uses of seaweed and microalgae. Introduction to applied Phycology. Ed. I. Aakatsuka. SPB. Academic Publishing, The Hague. pp 269-307.
- MURTHA, P.A. 1978. Remote Sensing and vegetation damage: a theory for detection and assesment, *Photogrametric En gineering and Remote Sensing*, vol.44, pp 1147-1158.
- OLSEN, R.A., R.B, CLARK AND J.H. BENNETT. 1981. The enhancement of soil fertility by plant roots. *Am. Sci.* 69:378-384.
- ORMEÑO, S. 1993. Teledetección fundamental. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- QI, J., CHEHBOUNI, A., HUETE, A. R., KEER, Y. H., AND SOROOSHIAN, S. 1994, A modified soil vegetation adjusted index. *Remote Sens. Environ.* 48:119-126.
- RENIER, A. 1995. Manual de viticultura. Mundi-Prensa. Madrid.
- ROCK, B. N., HOSHIZAKI, T., AND MILLER, J. R. 1988. Comparison of In Situ and airborne spectral measurements of the blue shift associated with forest decline, *Remote Sensing of Environment*, 24:109-127.
- ROCK, B.N., VOGELMAN, J.E., WILLIAMS, D.L., VOGELMAN, A.F., HOSHIZAKI, T. 1986. Remote detection of forest damage. *Bioscene*, vol 36, pp. 439-445.
- ROUGEAN, J.-L., AND BREON, F. M. 1995. Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements. *Remote Sens. Environ.* 51:375-384.

ROUSE, J. W., HAAS, R. H., SCHELL, J. A., DEERING, D. W., AND HARLAN, J. C. 1974. Monitoring the vernal advancements and retrogradation of natural vegetation. NASA/GSFC, Final Report, Greenbelt, MD, USA, pp. 1-137.

SANDERSON, K.J., JAMESON, P.E., ZABKIEWICZ, J.A. 1987. Auxin in a seaweed extract: Identification and cuantitation of indole-3-acetic acid by gas chromatography-mass spectrometry. *J. Plant Physiol.* 129,363-367.

SCHRÖDER, J.J., NEETESON, J.J., OENEMA, O., AND STRUIK, P.C. 2000. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of the art, *Field Crops Research*, 66, 151-164.

SENN, T.L. 1987. Clemson University.U.S.A. Seaweed and plant growth. T.L. (Tee) Senn.

SENN, T.L., KINGMAN, A.R. 1977. Physiological responses of certain horticultural crops to applications of meal and extracts, *Ascophyllum nodosum*. 5th International Seaweed Symposium. Santa Barbara. California. USA.

SOBRINO, J.A. 2000. Teledetección. Ed. Jose Antonio Sobrino. Universidad de Valencia. Valencia.

TANAKA, S., KIMURA, H., SUGA, Y. 1983. Preparation of a 1:25.000 Landsat map for assesment of burnt area on Etajima Island. *International Journal of Remote Sensing.*, vol 4, pp.17-31.

TERRÓN, U. 1995. Tratado de fitotecnia general. Mundi-Prensa. Madrid.

THOMAS, D. 2002. Seaweeds. Smithsonian Institution Press. Washington, D.C.

TREITZ, P., MILLER, J.R., MOHAMMED, G.H., NOLAND, T.L., COLOMBO, S., ZARCO-TEJADA, P.J., SAMPSON, P.H. AND SHEPHERD, P. 1999. Optical Indices for Estimating Biophysical/Physiological parameters. Presented at the Annual meeting of the Canadian Association of Geographers(CAG), Special session on Remote sensing, Lethbridge (Canada), June 1999.

- VARVEL, G.E., SCHEPERS, J.S., FRANCIS, D.D. 1997. Ability of in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61, 1233-1239.
- VERKLEIJ, F.N. 1992. Seaweed extracts in agriculture and horticulture: a review. *Biol.Agri.&Hortic.* 8, 309-324.
- VOGELMAN, J.E. 1990. Comparison between two vegetation indices for measuring different types of forest damage in the north-Eastern United States. *Internacional Journal of Remote Sensing. International Journal of Remote Sensing.*, vol 12, pp.2281-2297.
- VOGELMANN, J. E., ROCK, B. N. AND MOSS, D. M. 1993. Red edge spectral measurements from sugar maple leaves, *International Journal of Remote Sensing*, 14:1563-1575.
- WELLBURN, A. R. 1994. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids using various solvents with spectrophotometers of different resolutions, *J. Plant Physiol.* 144:307-313.
- WHAPHAM, C.A., BLUNDEN, G., JENKINS, T., HANKINS, S.D. 1993. Significance of betaines in the increased chlorophyll content of plants treated with seaweed extract. *J. Appl. Phycology.* 5, pp 231-234.
- WILDGOOSE, P.B. 1978. Seasonal variation in gibberellin activity of some species of *Fucaceae* and *Laminaraceae*. *Botany* Mar.21, 63-65.
- WOOD, C.W., REEVES, D.W., AND HIMELRICK, D.G. 1993. Relationships between chlorophyll meter readings and leaf chlorophyll concentration, N status, and crop yield: A review. *Proc. Agronomy Soc. New Zealand* 23:1-9.
- ZARCO-TEJADA, P.J., MILLER, J.R., MOHAMMED, G.H., NOLAND, T.L., AND SAMPSON, P.H. 1999. Índices Ópticos obtenidos mediante datos Hiperspectrales del sensor CASI como Indicadores de Estrés en Zonas Forestales, Presented at the VIII Congreso Nacional de Teledetección, Asociación Española de Teledetección, Albacete (Spain), 22-24th September 1999.

ZARCO-TEJADA, P.J., MILLER, J.R. ,MOHAMMED, G.H., NOLAND, T.L. AND SAMPSON, P.H. 2000a. Optical Indices as Bioindicators of Forest Condition from Hyperspectral CASI data. In Remote Sensing in the 21st Century: Economic and Environmental Applications, Proceedings of the 19th EARSeL Symposium on Remote Sensing in the 21st Century, Valladolid (Spain), 31st May-2nd June, 1999, Casanova (Ed), Balkema, Rotterdam, ISBN 9058090965, pp. 517-522.

ZARCO-TEJADA, P.J., MILLER, J.R. ,MOHAMMED, G.H., NOLAND, T.L. AND SAMPSON, P.H. 2000b. Utilización de modelos de reflectancia como nexo entre muestras foliares y la cobertura forestal: aplicación a datos hiperespectrales. Revista de Teledetección, 12, pp21-32, Enero 2000.

ZARCO-TEJADA, P.J., J.R. MILLER, G.H. MOHAMMED, T.L. NOLAND AND P.H. SAMPSON. 2001a. Scaling-up and Model Inversion methods with narrow-band Optical Indices for Chlorophyll Content Estimation in closed Forest Canopies with Hyperspectral Data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 39(7), 1491-1507.

ZARCO-TEJADA, P.J., MILLER, J.R. ,MOHAMMED, G.H., NOLAND, T.L. AND SAMPSON, P.H. 2001b. Estimación del contenido clorofílico en coberturas con estructura caducifolia y conífera mediante inversión de modelos de Transferencia Radiativa y datos Hiperespectrales. Presentado en el IX Congreso Nacional de Teledetección, Asociación Española de Teledetección. Lérida (España), 19-21 Septiembre, 2001.

ZARCO-TEJADA, P.J., MILLER, J.R., MOHAMMED, G.H., NOLAND, T.L., AND SAMPSON, P.H. 2003. Vegetation Stress detection through Chlorophyll a+b estimation and fluorescence effects on Hyperspectral Imagery. Journal of Environmental Quality, 31, 1433-1441.

ZARCO-TEJADA, P.J., MILLER, J.R., MORALES, A., BERJÓN, A. AND AGÜERA, J. 2004a. Hyperspectral Indices and Model Simulation for Chlorophyll Estimation in Open-Canopy Tree Crops, Remote Sensing of Environment, 90(4), 463-476.

ZARCO-TEJADA, P.J., WHITING, M., AND USTIN, S.L. 2004b. Temporal and Spatial Relationships between within-field Yield variability in Cotton and High-Spatial Hyperspectral Remote Sensing Imagery, *Agronomy Journal*. Presented at the 7th International Conference on Precision Agriculture and Other Precision Resources Management, Minneapolis, Minnesota, USA, 25-28 July, 2004.

gened.emc.maricopa.edu/Bio/BIO181/BIOBK/BioBookTOC.html

www.nyu.edu/pages/mathmol/library/photo

www.riberadelduero.es/esp/geologia.htm

www.terraia.com/revista14/pagina40-43.htm

www.terraia.com/revista15/pagina26-31-hm

www.seaweed.ie/defaulttuesday.html

11-ANEJOS

11.1-ANEJO 1: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS.

- Análisis foliar.

Tabla 13-Resultados de los análisis del contenido foliar de elementos minerales.

Zona	Tratamiento	% N	% P	% K	% Ca	% Mg	(ppm) Fe
Alg 1	T1	2,57	0,15	0,78	2,44	0,44	79,2
	T2	2,59	0,15	0,65	2,47	0,45	81,2
	T3	2,68	0,16	0,67	2,48	0,43	89,0
	T4	2,63	0,15	0,57	2,50	0,37	73,0
Alg 2	T1	2,78	0,16	0,84	2,48	0,39	67,7
	T2	2,66	0,16	0,73	2,69	0,47	79,0
	T3	2,72	0,16	0,70	2,40	0,39	64,3
	T4	2,76	0,15	0,65	2,47	0,36	72,7
Alg 3	T1	2,74	0,16	0,78	2,59	0,38	87,9
	T2	2,54	0,15	0,57	2,82	0,46	79,5
	T3	2,70	0,15	0,56	2,84	0,46	74,9
	T4	2,60	0,14	0,51	2,64	0,38	74,4
Alg 4	T1	2,64	0,15	0,67	2,61	0,42	74,3
	T2	2,65	0,15	0,57	2,81	0,50	80,0
	T3	2,64	0,15	0,62	2,42	0,43	104,1
	T4	2,84	0,15	0,66	2,22	0,38	66,7

Tabla 14-Resultados de los análisis del contenido foliar de clorofila.

Zona de estudio	Tratamientos	Ca ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Cb ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Ca+b ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)
Alg 1	T1	32,10	9,77	41,87
	T2	32,39	9,15	41,53
	T3	30,29	9,43	39,72
	T4	33,36	9,20	42,56
Alg 2	T1	27,63	7,49	35,12
	T2	33,16	9,51	42,67
	T3	34,51	9,49	44,00
	T4	30,69	7,94	38,62
Alg 3	T1	34,28	9,34	43,61
	T2	30,56	8,23	38,79
	T3	36,13	10,14	46,28
	T4	33,92	9,37	43,29
Alg 4	T1	36,59	9,58	46,18
	T2	37,70	10,31	48,01
	T3	30,48	8,35	38,83
	T4	36,27	10,06	46,33

-Análisis de suelo



servicio de análisis y diagnóstico

Avenida de Madrid, 44 (La Yntesa)
34004 Palencia
Tel. y Fax directo 34 979 165970
Tel: 34 979 108303
E-mail: itagra@itagra.es
<http://www.palencia.uva.es/itagra/>

ANÁLISIS DE SUELOS 05-oct-05

Número del cliente: 1473
Nombre: Berta Gil Pérez
Fecha entrega: 06-oct-05
N° Muestra: 11827011
Localización muestra: Alg I

Determinación	Cantidad	Método	Valoración
Elementos gruesos:			
		TAMIZ 2mm	
Arena fina:			
		TAMIZ 0.1mm	
Arena total:	33,84 %	ISSS	bajo
Limo:	28,00 %	ISSS	normal
Arcilla:	38,16 %	ISSS	alto
Textura	Arcilloso grueso	ISSS	
pH:	8,67	1 : 2,5	alcalino
Conductividad equivalente:	0,21 msh/cm	1 : 2,5	no salino
Materia orgánica:	0,71 % ± 0,05	C. O. OXIDABLE	muy baja
Carbonatos:	27,62 %	CALCIMETRO	alto
Caliza activa:	5,73 %	CALCIMETRO	bajo
Fósforo:	No detectable	OLSEN	
Potasio:	162,79 ppm	Acetato	bajo
Calcio:	12,00 meq/100gr	Acetato	alto
Magnesio:	2,01 meq/100gr	Acetato	normal
Sodio:	0,05 meq/100gr	Acetato	muy bajo
Capacidad de intercambio catiónico:	14,69 meq/100gr	BASCOMB	bajo
Nitrogeno:	0,08 %		
Manganeso:			
Hierro:	3,26 ppm		
Zinc:			
Cobre:			
Boro:			

El presente informe no podrá reproducirse parcialmente sin el consentimiento escrito de Itagra.ct
El presente informe solo afecta a la muestra sometida a análisis

ANÁLISIS DE SUELOS *05-sect-03*

Número del cliente: 1473
 Nombre: Berta Gil Pérez
 Fecha entrega: 06-oct-03
 Nº Muestra: 11827021
 Localización muestra: Alg 2

Determinación	Cantidad	Método	Valoración
Elementos gruesos:		TAMIZ 2mm	
Arena fina:		TAMIZ 0.1mm	
Arena total:	14,84 %	ISSS	muy bajo
Limo:	45,69 %	ISSS	muy alto
Arcilla:	40,16 %	ISSS	muy alto
Textura:	Arcilloso grueso	ISSS	
pH:	8,70	1 : 2,5	alcalino
Conductividad equivalente:	0,19 mmhos/cm	1 : 2,5	no salino
Materia orgánica:	1,09 % ± 0,05	C. O. ONIDABLE	baja
Carbonatos:	51,84 %	CALCIMETRO	muy alto
Caliza activa:	6,54 %	CALCIMETRO	medio
Fósforo:	No detectable	OLSEN	
Potasio:	103,20 ppm	Acetato	bajo
Calcio:	11,87 meq/100gr	Acetato	normal
Magnesio:	2,63 meq/100gr	Acetato	alto
Sodio:	0,16 meq/100gr	Acetato	muy bajo
Capacidad de intercambio catiónico:	15,31 meq/100gr	BASCOMB	normal
Nitrogeno:	0,09 %		
Manganeso:			
Hierro:	4,78 ppm		
Zinc:			
Cobre:			
Boro:			

El presente informe no podrá reproducirse parcialmente sin el consentimiento escrito de Itagra.ct
 El presente informe sólo afecta a la muestra sometida a análisis

ANÁLISIS DE SUELOS 03-oct-05

Número del cliente: 1473
Nombre: Berta Gil Pérez
Fecha entrega: 06-oct-03
Nº Muestra: 11827031
Localización muestra: Alg 3

Determinación	Cantidad		Método	Valoración
Elementos gruesos:			TAMIZ 2mm	
arena fina:			TAMIZ 0.1mm	
Arena total:	33,84 %		ISSS	bajo
Limo:	26,64 %		ISSS	normal
Arcilla:	39,52 %		ISSS	alto
Textura:	Arcilloso grueso		ISSS	
pH:	8,71		1 : 2,5	alcalino
Conductividad equivalente:	0,2 mmhos/cm		1 : 2,5	no salino
Materia orgánica:	0,80 %	± 0,05	C. O. OXIDABLE	muy baja
Carbonatos:	38,47 %		CALCIMETRO	alto
Caliza activa:	3,45 %		CALCIMETRO	bajo
Fósforo:	6,10 ppm	± 1,40	OLSEN	bajo
Potasio:	124,20 ppm		Acetato	bajo
Calcio:	11,49 meq/100gr		Acetato	normal
Magnesio:	2,05 meq/100gr		Acetato	normal
Sodio:	0,07 meq/100gr		Acetato	muy bajo
Capacidad de intercambio catiónico:	13,44 meq/100gr		BASCOMB	bajo
Nitrógeno:	0,05 %			
Manganeso:				
Hierro:	3,62 ppm			
Zinc:				
Cobre:				
Boro:				

ANÁLISIS DE SUELOS 05-oct-05

Número del cliente:	1473
Nombre:	Berta Gil Pérez
Fecha entrega:	06-oct-05
Nº Muestra:	11827041
Localización muestra:	Alg 4

Determinación	Cantidad	Método	Valoración	
Elementos gruesos:		TAMEZ 2mm		
Arena fina:		TAMEZ 0,1mm		
Arena total:	43,84 %	ESSS	normal	
Limo:	24,00 %	ESSS	normal	
Arcilla:	32,16 %	ESSS	alto	
Textura:	Arcilloso grueso	ESSS		
pH:	8,83	1 : 2,5	alcalino	
Conductividad equivalente:	0,18 mmhos/cm	1 : 2,5	no salino	
Materia orgánica:	0,68 %	± 0,01	C. O. OXIDABLE	muy bajo
Carbonatos:	24,78 %		CALCIMETRO	alto
Caliza activa:	5,29 %		CALCIMETRO	bajo
Fósforo:	4,70 ppm	± 1,30	OLSEN	muy bajo
Potasio:	95,60 ppm		Acetato	bajo
Calcio:	10,84 meq/100gr		Acetato	normal
Magnesio:	1,72 meq/100gr		Acetato	normal
Sodio:	0,04 meq/100gr		Acetato	muy bajo
Capacidad de intercambio catiónico:	12,81 meq/100gr		BASCOMB	bajo
Nitrogeno:	0,03 %			
Manganeso:				
Hierro:	2,78 ppm			
Zinc:				
Cobre:				
Boro:				

El presente informe no podrá reproducirse parcialmente sin el consentimiento escrito de Itagra.ct
El presente informe sólo afecta a la muestra sometida a análisis

- Análisis de la uva.

Tabla 15-Resultados de los parámetros de producción.

Zona	Tratamiento	peso vendimia(Kg)	número racimos	°Brix	Grado alcohólico probable	pH	Acidez total (g/l) (g.de ácido tartárico)
Alg 1	T1	1,58	6	27	16,6	3,87	4,19
	T2	1,28	5	27,1	16,23	3,97	4,23
	T3	0,775	2	26,7	15,96	3,95	3,88
	T4	2,575	8	19,9	11,34	3,75	5,45
Alg 2	T1	1,78	8	24,2	14,27	3,83	4,34
	T2	2,005	9	25,7	15,28	3,93	4,38
	T3	2,6	7	26,9	16,09	3,95	4
	T4	1,045	4	25,4	15,11	3,82	4,47

11.2- ANEJO 2: DATOS DE REFLECTANCIA.

Tabla 16-Reflectancia media de los datos de vegetación considerando el umbral $NDVI \geq 0.15$.
Extraídas de la imagen multiespectral del sensor CASI.

Subparcela	BANDA							
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
ALG1T1	0,1187	0,1904	0,2366	0,2737	0,3490	0,3664	0,3629	0,3764
ALG2T1	0,1193	0,1886	0,2303	0,2664	0,3461	0,3631	0,3614	0,3757
ALG3T1	0,1165	0,1826	0,2264	0,2550	0,3248	0,3449	0,3403	0,3540
ALG4T1	0,1283	0,2011	0,2536	0,2877	0,3550	0,3665	0,3698	0,3823
ALG1T2	0,1318	0,1990	0,2381	0,2729	0,3517	0,3679	0,3673	0,3836
ALG2T2	0,1341	0,2047	0,2483	0,2843	0,3661	0,3775	0,3818	0,3954
ALG3T2	0,1309	0,2036	0,2438	0,2787	0,3655	0,3760	0,3804	0,3950
ALG4T2	0,1442	0,2227	0,2754	0,3123	0,3838	0,3892	0,3979	0,4132
ALG1T3	0,1402	0,2026	0,2465	0,2805	0,3428	0,3667	0,3599	0,3777
ALG2T3	0,1435	0,2061	0,2483	0,2828	0,3490	0,3704	0,3649	0,3835
ALG3T3	0,1420	0,2055	0,2562	0,2889	0,3425	0,3657	0,3578	0,3738
ALG4T3	0,1390	0,2052	0,2557	0,2901	0,3542	0,3755	0,3693	0,3848
ALG1T4	0,1186	0,1855	0,2300	0,2650	0,3527	0,3739	0,3677	0,3825
ALG2T4	0,1205	0,1855	0,2357	0,2677	0,3448	0,3668	0,3611	0,3777
ALG3T4	0,1175	0,1819	0,2313	0,2627	0,3323	0,3577	0,3494	0,3638
ALG4T4	0,1063	0,1665	0,2169	0,2484	0,3267	0,3541	0,3420	0,3567

11.3-ANEJO 3: ÍNDICES DE VEGETACIÓN EMPLEADOS.

Tabla 17-Índices de vegetación para la estimación de parámetros estructurales y clorofílicos calculados a partir de imágenes hiperespectrales y multiespectrales.

ÍNDICES ESTRUCTURALES

INDICE	ECUACIÓN	REFERENCIA
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	$NDVI = (R_{NIR} - R_{red}) / (R_{NIR} + R_{red})$	Rouse <i>et al.</i> (1974)
Modified Triangular Vegetation Index (MTVI1)	$MTVI1 = 1.2 * [1.2 * (R_{800} - R_{550}) - 2.5 * (R_{670} - R_{550})]$	Haboudane <i>et al.</i> (2004)
Modified Triangular Vegetation Index (MTVI2)	$MTVI2 = \frac{1.5 * [1.2 * (R_{800} - R_{550}) - 2.5 * (R_{670} - R_{550})]}{\sqrt{(2 * R_{800} + 1)^2 - (6 * R_{800} - 5 * \sqrt{R_{670}}) - 0.5}}$	Haboudane <i>et al.</i> (2004)
Renormalized Difference Vegetation Index (RDVI)	$RDVI = (R_{800} - R_{670}) / \sqrt{(R_{800} + R_{670})}$	Rougean and Breon, (1995)
Simple Ratio Index (SR)	$SR = R_{NIR} / R_{red}$	Jordan (1969); Rouse <i>et al.</i> (1974)
Modified Simple Ratio (MSR)	$MSR = \frac{R_{NIR} / R_{red} - 1}{(R_{NIR} / R_{red})^{0.5} + 1}$	Chen (1996)
Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index (MCARI ₁)	$MCARI1 = 1.2 * [2.5 * (R_{800} - R_{670}) - 1.3 * (R_{800} - R_{550})]$	Haboudane <i>et al.</i> (2004)
Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index (MCARI ₂)	$MCARI2 = \frac{1.5 * [2.5 * (R_{800} - R_{670}) - 1.3 * (R_{800} - R_{550})]}{\sqrt{(2 * R_{800} + 1)^2 - (6 * R_{800} - 5 * \sqrt{R_{670}}) - 0.5}}$	Haboudane <i>et al.</i> (2004)
Improved SAVI with self-adjustment factor L (MSAVI)	$MSAVI = \frac{1}{2} [2 * R_{800} + 1 - \sqrt{(2 * R_{800} + 1)^2 - 8 * (R_{800} - R_{670})}]$	Qi <i>et al.</i> (1994)
Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index (OSAVI)	$OSAVI = (1 + 0.16) * (R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670} + 0.16)$	Rondeaux <i>et al.</i> (1996)

ÍNDICES DE CLOROFILA

INDICE	ECUACIÓN	REFERENCIA
Greenness Index (G)	$G = (R_{554}) / (R_{677})$	-
Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index (MCARI)	$MCARI = [(R_{700} - R_{670}) - 0.2 * (R_{700} - R_{550})] * (R_{700} / R_{670})$	Daughtry <i>et al.</i> (2000)
Transformed CARI (TCARI)	$TCARI = 3 * [(R_{700} - R_{670}) - 0.2 * (R_{700} - R_{550})] * (R_{700} / R_{670})$	Haboudane <i>et al.</i> (2002)
Triangular Vegetation Index (TVI)	$TVI = 0.5 * [120 * (R_{750} - R_{550}) - 200 * (R_{670} - R_{550})]$	Broge and Leblanc (2000)
Zarco-Tejada & Miller	$ZTM = (R_{750}) / (R_{710})$	Zarco-Tejada <i>et al.</i> (2001)
Gitelson and Merzlyak	$G_M1 = (R_{750}) / (R_{550})$ $G_M2 = (R_{750}) / (R_{700})$	Gitelson and Merzlyak (1997)

11.4-ANEJO 4: VALORES OBTENIDOS PARA LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN EN LAS SUBPARCELAS DE ESTUDIO.

Tabla 18-Valores obtenidos para los índices estructurales en cada subparcela.

Tratamiento	Zona de estudio	ÍNDICES ESTRUCTURALES					
		NDVI	MTVI1	MTVI 2	RDVI	SR	MSR
T1	ALG1	0,228	0,129	0,098	0,179	1,591	0,261
	ALG2	0,234	0,148	0,112	0,184	1,611	0,269
	ALG3	0,210	0,120	0,090	0,166	1,532	0,238
	ALG4	0,249	0,150	0,114	0,195	1,663	0,290
T2	ALG1	0,240	0,144	0,109	0,187	1,631	0,277
	ALG2	0,229	0,144	0,107	0,183	1,593	0,262
	ALG3	0,214	0,129	0,096	0,170	1,544	0,243
	ALG4	0,231	0,126	0,095	0,181	1,602	0,266
T3	ALG1	0,220	0,116	0,088	0,168	1,564	0,251
	ALG2	0,237	0,155	0,116	0,189	1,620	0,273
	ALG3	0,187	0,090	0,067	0,148	1,459	0,208
	ALG4	0,223	0,114	0,086	0,172	1,573	0,254
T4	ALG1	0,202	0,104	0,077	0,161	1,508	0,228
	ALG2	0,200	0,116	0,084	0,166	1,501	0,225
	ALG3	0,202	0,107	0,079	0,161	1,505	0,227
	ALG4	0,244	0,123	0,095	0,185	1,645	0,282

Tabla 19-Valores obtenidos para los índices de clorofila en cada subparcela.

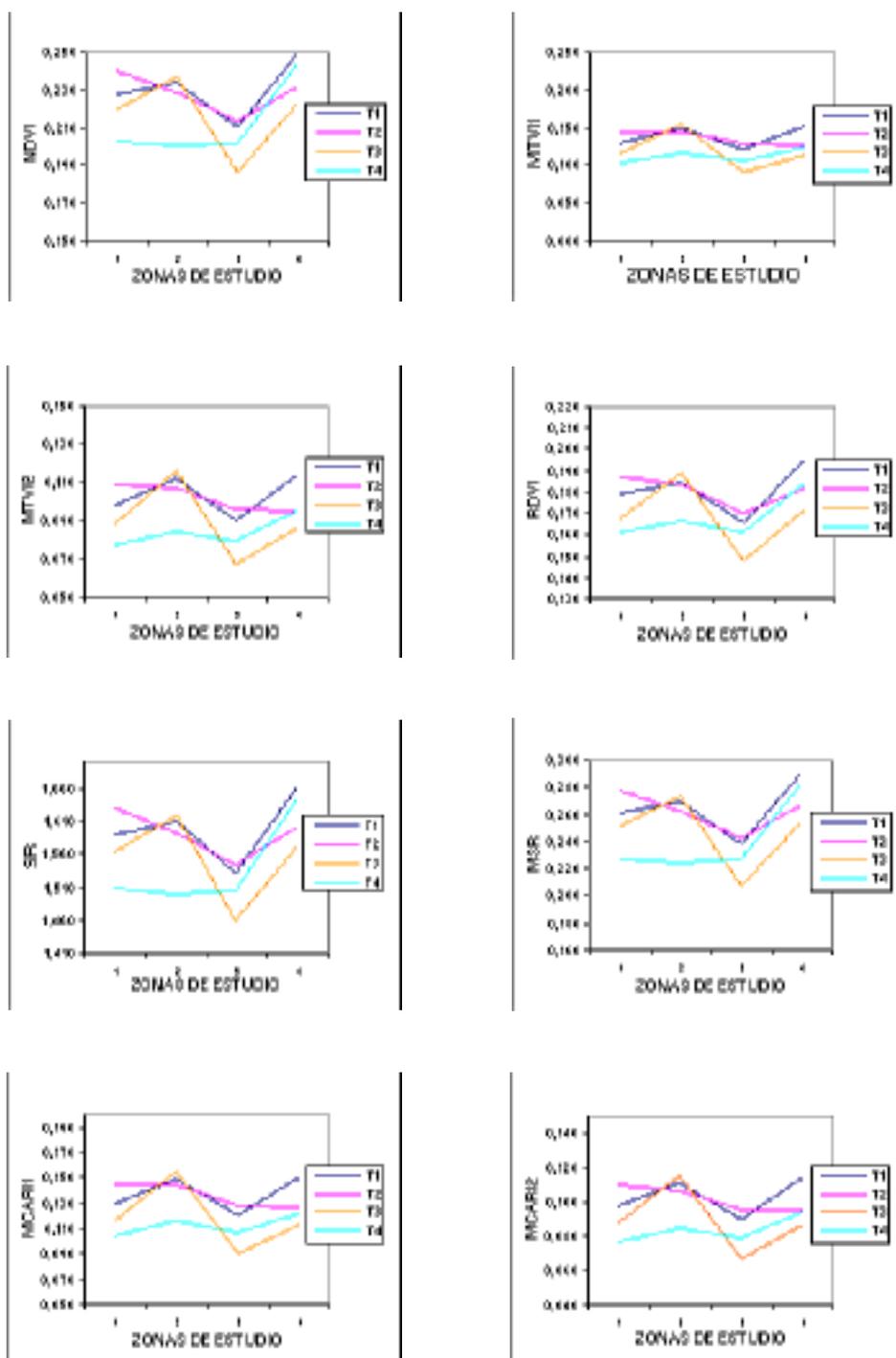
Tratamiento	Zona de estudio	ÍNDICES CLOROFÍLICOS						
		G	MCARI	TCARI	TVI	ZTM	G_M1	G_M2
T1	ALG1	0,805	0,024	0,054	4,899	1,275	1,832	1,275
	ALG2	0,836	0,023	0,054	5,251	1,289	1,767	1,289
	ALG3	0,822	0,021	0,049	4,021	1,222	1,692	1,222
	ALG4	0,807	0,022	0,050	5,582	1,331	1,901	1,331
T2	ALG1	0,819	0,024	0,054	5,278	1,299	1,835	1,299
	ALG2	0,824	0,023	0,053	5,326	1,288	1,788	1,288
	ALG3	0,830	0,022	0,051	4,348	1,234	1,693	1,234
	ALG4	0,787	0,018	0,040	4,538	1,288	1,859	1,288
T3	ALG1	0,807	0,016	0,037	4,155	1,274	1,779	1,274
	ALG2	0,835	0,023	0,053	5,691	1,311	1,795	1,311
	ALG3	0,802	0,018	0,042	3,149	1,185	1,666	1,185
	ALG4	0,786	0,017	0,039	4,086	1,265	1,827	1,265
T4	ALG1	0,793	0,019	0,044	3,988	1,234	1,765	1,234
	ALG2	0,809	0,022	0,050	4,403	1,229	1,723	1,229
	ALG3	0,802	0,020	0,045	3,886	1,221	1,726	1,221
	ALG4	0,768	0,017	0,038	4,575	1,315	1,962	1,315

Tabla 20-Valores obtenidos para los índices combinados en cada subparcela.

Tratamiento	Zona de estudio	ÍNDICES COMBINADOS				
		TCARI/OSAVI	MCARI/OSAVI	MCARI2 (TCARI / OSAVI)	MCARI2 / (TCARI/OSAVI)	NDVI (TCARI / OSAVI)
T1	ALG1	0,255	0,113	0,025	0,383	0,058
	ALG2	0,249	0,106	0,028	0,449	0,058
	ALG3	0,251	0,108	0,023	0,358	0,053
	ALG4	0,218	0,096	0,025	0,522	0,054
T2	ALG1	0,247	0,108	0,027	0,444	0,059
	ALG2	0,251	0,108	0,027	0,426	0,057
	ALG3	0,257	0,110	0,025	0,372	0,055
	ALG4	0,188	0,083	0,018	0,506	0,044
T3	ALG1	0,185	0,080	0,016	0,477	0,041
	ALG2	0,242	0,103	0,028	0,477	0,057
	ALG3	0,241	0,105	0,016	0,277	0,045
	ALG4	0,192	0,085	0,017	0,450	0,043
T4	ALG1	0,232	0,102	0,018	0,331	0,047
	ALG2	0,264	0,114	0,022	0,319	0,053
	ALG3	0,242	0,105	0,019	0,327	0,049
	ALG4	0,173	0,078	0,016	0,548	0,042

11.5-ANEJO 5: VARIACIÓN DE LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN EN FUNCIÓN DEL TRATAMIENTO DE FERTILIZACIÓN.

Figura 41-Variación de los índices estructurales en las zonas de estudio para los diferentes tratamientos de fertilización.



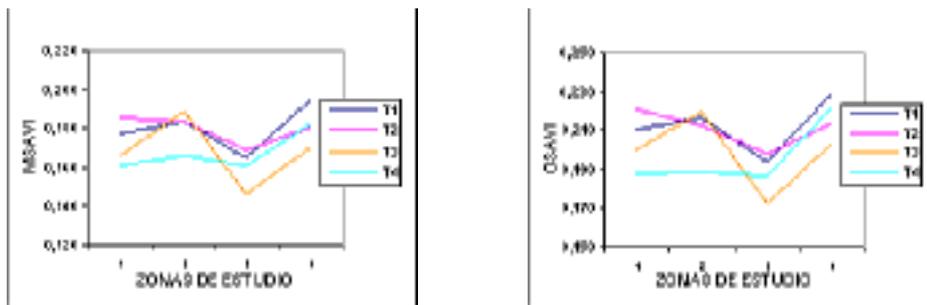


Figura 42-Variación de los índices de clorofila en las zonas de estudio para los diferentes tratamientos de fertilización.

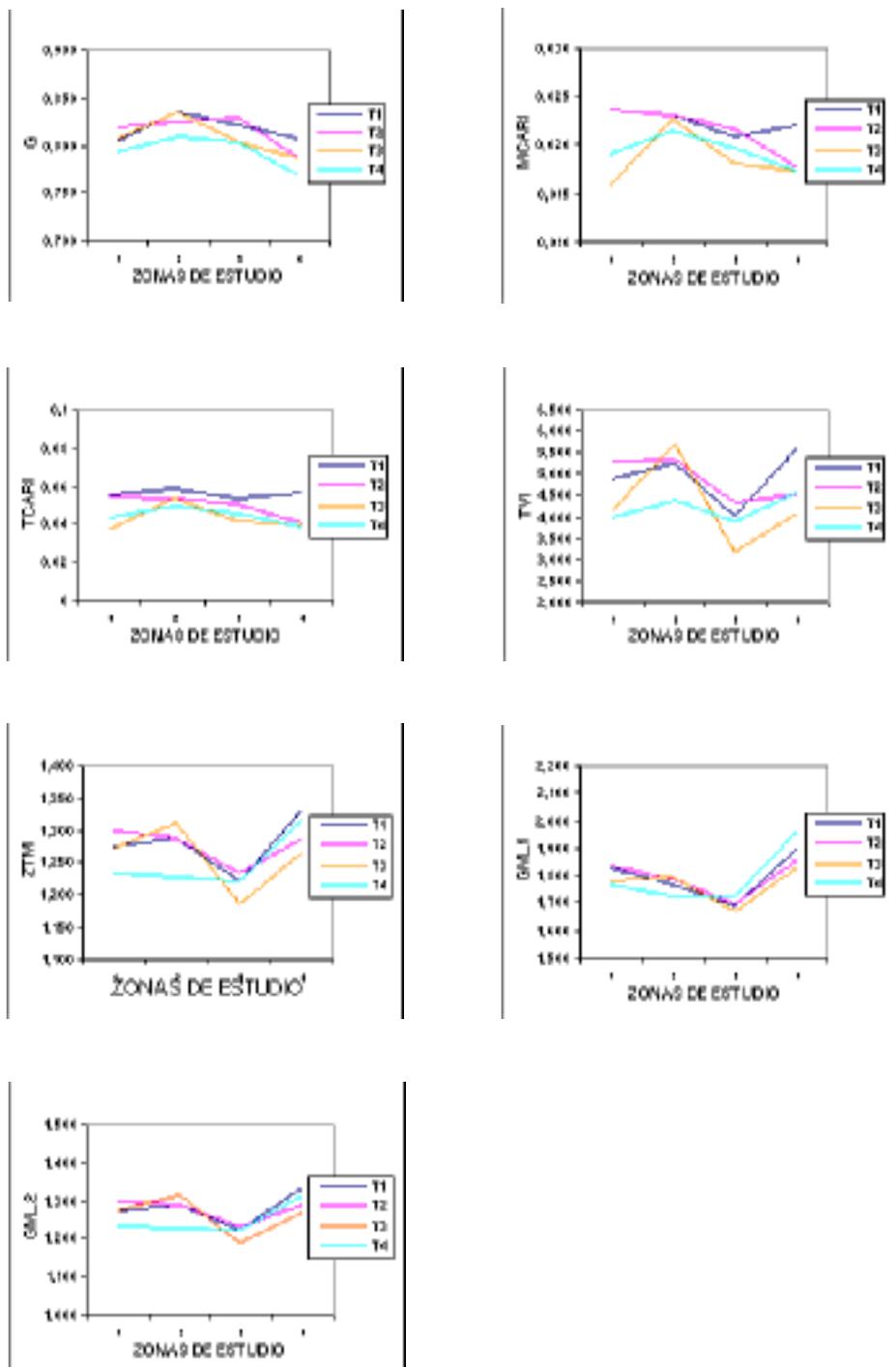
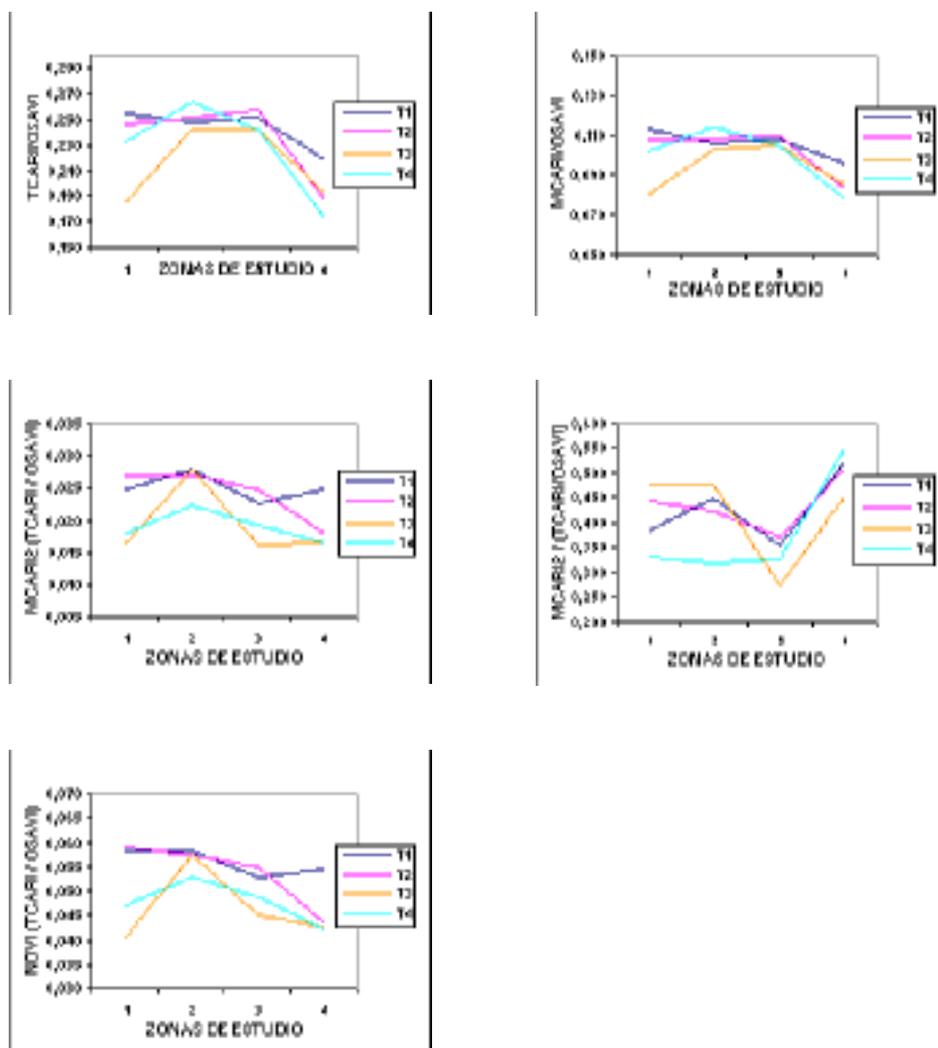


Figura 43-Variación de los índices combinados (combinación de índices de clorofila y estructurales) en las zonas de estudio para los diferentes tratamientos de fertilización.



11.6-ANEJO 6: DATOS CLIMÁTICOS.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA
 PRECIPITACION
 CASTILLA Y LEON

RESUMENES MENSUALES DE
 PAGINA : 1

 BANCO DE DATOS
 PROGRAMA: CLBPBR06

FECHA : 12/08/04

CENTRO METEOROLOGICO: CASTILLA Y LEON
 CUENCA: 2 INDICATIVO: 166B NOMBRE: PE#AFIEL FABRICA QUESOS PROV:
 VALLADOLID LONG: 04-07-07W LAT: 41-35-45 ALT: 756

```

=====
A#OS !   MESES  IN ! P.TOT.  P.MAX. DIA1 DIA2 V.DOM. V.MAX.  DIAS DE: L  N
G T = R E S I DIAS DE: IP >=.1 >=1 >=10 >=30
=====
=====
2002 ! ENERO      !   39.5   18.7   1         SW     SW         12
2  11          !           12    8    1
   ! FEBRERO    !    9.5    6.5  28         SW     SW         3
2  14          !    1    2    2
   ! MARZO      !   15.9    5.5  14         SW     SW         6
1  5          !           6    4
   ! ABRIL      !   32.2   13.0   5         SW     SW         5
5          !    5    4    1
   ! MAYO       !   33.6   12.6  31         SW     SW         9
1  1  1        !           1    9    7    1
   ! JUNIO      !   20.7    9.3   4         NW     SW         5
5  4          !
   ! JULIO     !    6.6    5.8   9         SW     SW         2
1          !           2    1
   ! AGOSTO    !   90.1   37.4  26         SW     SW         7
5          !    1    6    5    4    1
   ! SEPTIEMBRE !   72.5   18.2  20         SW     SW         8
3  2          !           8    8    3
   ! OCTUBRE   !   81.7   28.0   9         SW     SW         12
2          !          12   10   3
   ! NOVIEMBRE !   64.3   14.2  22         SW     SW         14
1  2          !          14   11   2
   ! DICIEMBRE !   61.5   10.0  10         SW     SW         18
3          !    1  17  12    1
=====

```

CENTRO METEOROLOGICO: CASTILLA Y LEÓN
 CUENCA: 2 INDICATIVO: 166B NOMBRE: PE#AFIEL FABRICA QUESOS PROV:
 VALLADOLID LONG: 04-07-07W LAT: 41-35-45 ALT: 756

 A#OS ! MESES IN ! P.TOT. P.MAX. DIA1 DIA2 V.DOM. V.MAX. DIAS DE: L N
 G T = R E S I DIAS DE: IP >=.1 >=1 >=10 >=30
 ===== ! ===== == ! ===== ===== ===== ===== =====
 =====

A#OS	MESES	IN	P.TOT.	P.MAX.	DIA1	DIA2	V.DOM.	V.MAX.	DIAS DE:	L	N
2003	ENERO		85.7	26.2	2		SW	SW		8	2
1	13			10	9	3					
	FEBRERO		41.9	13.5	18		SW	NW		7	1
4	8			8	6	2					
	MARZO		33.9	17.2	22		SW	SW		8	
1	5			8	5	1					
	ABRIL		41.0	16.2	19		SW	SW		8	
4		1	7	7	1						
	MAYO		24.6	7.4	5		SW	SE		5	
3				5	5						
	JUNIO		15.6	6.7	12		SW	SW		6	
5	1			6	6						
	JULIO		8.0	4.3	15		SW	SW		4	
3				1	3	2					
	AGOSTO		28.3	8.0	4		SW	SW		5	
4				5	5						
	SEPTIEMBRE		38.2	19.5	30		SW	SW		6	
1	1			1	6	4					
	OCTUBRE		126.7	21.5	13		SW	SE		16	
2	2			16	15	5					
	NOVIEMBRE		51.7	19.7	23		SW	SW		12	
6	4			12	10	1					
	DICIEMBRE		29.0	6.1	29		NW	NW		9	1
5	11			10	7						

PRIMERA FECHA CON DATOS: ENERO 2002 ULTIMA FECHA CON DATOS:
 DICIEMBRE 2003

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA
PRECIPITACION
CASTILLA Y LEON

BANCO DE DATOS
PROGRAMA: CLBPBR06

RESUMENES MENSUALES DE
PAGINA : 2

FECHA : 12/08/04

CENTRO METEOROLOGICO: CASTILLA Y LEON
CUENCA: 2 INDICATIVO: 166B NOMBRE: PE#AFIEL FABRICA QUESOS PROV:
VALLADOLID LONG: 04-07-07W LAT: 41-35-45 ALT: 756

A#OS ! MESES IN ! P.TOT. P.MAX. DIA1 DIA2 V.DOM. V.MAX. DIAS DE: L N
G T = R E S I DIAS DE: IP >=.1 >=1 >=10 >=30
==== ! ===== == ! =====
=====

LISTADO DE RESUMEN MENSUAL DE PRECIPITACION

IN : INDICADOR DEL RESUMEN :
() -> RESUMEN CALCULADO CON DATO

DIARIO

(*) -> SIN DATO DIARIO
(R) -> RELLENO CON METODO

P.TOT : PRECIPITACION TOTAL MENSUAL

(MILIMETROS)

VALORES ESPECIALES :

() -> SIN DATO
(IP) -> INAPRECIABLE

P.MAX. : PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS

(MILIMETROS)

D1 : PRIMER DIA DE LA PRECIPITACION MAXIMA

D2 : SEGUNDO DIA DE LA PRECIPITACION

MAXIMA

(VR) -> MAS DE DOS DIAS EN EL MES CON

LA MISMA PRECIPITACION EXTREMA

V.DOM : VIENTO DOMINANTE EN EL MES

V.MAX : VIENTO EN LA PRECIPITACION MAXIMA

DIAS DE : L(LLUVIA), N(NIEVE), G(GRANIZO),
T(TORMENTA), = (NIEBLA), R(ROCIO)

DIAS DE : E(ESCARCHA), S(NIEVE CUBRIENDO
SUELO), I(PRECIPITABLE SIN ESPECIFICAR)

DIAS DE PRECIP. : IP=INAPRECIABLE, >=0.1 mm,
>=1 mm, >=10 mm, >=30 mm

DIAS CON LLUVIA, NIEVE Y GRANIZO SON

EXCLUYENTES:

DIAS CON LLUVIA Y/O NIEVE Y GRANIZO SOLO

CONSIDERAN EL GRANIZO.

DIAS CON LLUVIA Y NIEVE SOLO CONSIDERAN LA

NIEVE.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA
 TEMPERATURA
 CASTILLA Y LEON

RESUMENES MENSUALES DE
 PAGINA : 2

FECHA : 12/08/04

BANCO DE DATOS
 PROGRAMA: CLBPBR18

CENTRO METEOROLOGICO: CASTILLA Y LEON
 CUENCA: 2 INDICATIVO: 166B NOMBRE: PE#AFIEL FABRICA QUESOS PROV:
 VALLADOLID LONG: 04-07-07W LAT: 41-35-45 ALT: 756

DIAS MIN.		DIAS MAX.									
A#OS	MESES	IN	T.MAX.	DIA1	DIA2	MIN.MAX.	MED.MAX	T.MIN.	DIA1	DIA2	
MAX.MIN.	MED.MIN	MED.MES	<=-5	<=0	>=20	>=25	>=30				
2002	ENERO	!	15.5	28		3.5	9.6	!	-6.5	8	9
6.0	-0.4	!	4.6	7	16	0	0				
	FEBRERO	!	20.0	2	13	5.0	12.0	!	-4.5	20	21
5.5	-0.8	!	5.6	0	20	0	0				
	MARZO	!	24.0	23		5.0	14.1	!	-3.0	26	
8.0	2.6	!	8.4	0	8	0	0				
	ABRIL	!					16.3	!			
2.3	9.3										
	MAYO	!	31.0	30		11.0	19.8	!	-3.0	5	
11.0	6.2	!	13.0	0	2	0	9	1			
	JUNIO	!	36.0	16	17	11.0	26.8	!	3.0	8	
18.0	12.3	!	19.6	0	0	20	15				
	JULIO	!	36.5	28		20.0	28.4	!	7.0	1	
20.0	12.5	!	20.4	0	0	1	24	11			
	AGOSTO	!	36.0	17		20.0	27.2	!	5.5	2	3
14.5	10.4	!	18.8	0	0	0	20	7			
	SEPTIEMBRE	!	28.0	3	15	13.0	22.0	!	0.0	25	26
14.0	8.2	!	15.1	0	2	0	5	0			
	OCTUBRE	!	24.0	29		11.5	17.2	!	1.0	18	
13.0	7.1	!	12.2	0	0	0	0				
	NOVIEMBRE	!	19.0	6	10	5.0	12.2	!	-0.5	8	VR
11.0	4.2	!	8.2	0	4	0	0				
	DICIEMBRE	!	16.0	18	VR	5.0	10.3	!	-2.5	16	
10.0	3.2	!	6.8	0	4	0	0				

CENTRO METEOROLOGICO: CASTILLA Y LEON
 CUENCA: 2 INDICATIVO: 166B NOMBRE: PE#AFIEL FABRICA QUESOS PROV:
 VALLADOLID LONG: 04-07-07W LAT: 41-35-45 ALT: 756

 DIAS MIN. DIAS MAX.
 A#OS ! MESES IN ! T.MAX. DIA1 DIA2 MIN.MAX. MED.MAX ! T.MIN. DIA1 DIA2
 MAX.MIN. MED.MIN ! MED.MES <=-5 <=0 >=20 >=25 >=30
 ===== ! ===== == ! ===== !
 ===== ! ===== =====

2003	!	ENERO	!	11.5	1	VR	1.0	8.2	!	-7.5	14	15
8.0		-0.4	!	3.9	5	17	0	0				
	!	FEBRERO	!	14.5	23		2.0	8.6	!	-9.5	18	19
7.0		-0.9	!	3.8	5	17	0	0				
	!	MARZO	!	23.0	12		11.0	16.2	!	-3.0	20	
8.5		2.8	!	9.5	0	5	0	0				
	!	ABRIL	!	23.0	28		7.0	17.0	!	-3.0	6	
9.5		4.3	!	10.6	0	7	0	0				
	!	MAYO	!	30.5	30		7.0	21.4	!	1.5	26	27
13.5		6.3	!	13.8	0	0	0	7	1			
	!	JUNIO	!	36.0	22		18.5	28.6	!	10.0	5	VR
18.0		13.3	!	21.0	0	0	0	24	13			
	!	JULIO	!	36.0	12	13	19.5	28.8	!	7.0	17	
18.0		12.6	!	20.7	0	0	0	26	12			
	!	AGOSTO	!	37.0	4	12	23.0	32.8	!	10.0	27	
18.5		14.7	!	23.8	0	0	0	27	25			
	!	SEPTIEMBRE	!	28.5	13	VR	16.0	25.6	!	5.0	10	VR
14.5		9.6	!	17.6	0	0	0	19	0			
	!	OCTUBRE	!	24.0	11		9.0	16.7	!	-1.0	24	25
13.0		6.0	!	11.4	0	3	0	0	0			
	!	NOVIEMBRE	!	20.0	6	9	7.0	13.8	!	-2.0	18	19
8.0		2.6	!	8.2	0	4	0	0				
	!	DICIEMBRE	!	16.0	21		3.0	7.8	!	-3.5	24	25
6.0		0.2	!	4.0	0	16	0	0				

PRIMERA FECHA CON DATOS: ENERO 2002 ULTIMA FECHA CON DATOS:
 DICIEMBRE 2003

IN : INDICADOR DEL RESUMEN
 () -> RESUMEN CALCULADO CON DATO
 DIARIO
 (*) -> SIN DATO DIARIO
 (R) -> RELLENO CON METODO

T.MAX. : TEMPERATURA MAXIMA DEL MES (GRADOS
 CENTIGRADOS)
 VALORES ESPECIALES :
 () -> SIN DATO
 (***) -> DATO ERRONEO

T.MIN. : TEMPERATURA MINIMA DEL MES (GRADOS
 CENTIGRADOS)

DIA1 : PRIMER DIA DE LA TEMPERATURA EXTREMA
 DIA2 : SEGUNDO DIA DE LA TEMPERATURA EXTREMA
 (VR) -> MAS DE DOS DIAS EN EL MES
 CON LA MISMA TEMPERATURA EXTREMA

MIN.MAX. : TEMPERATURA MENOR DE LAS MAXIMAS
 MED.MAX. : TEMPERATURA MEDIA DE LAS MAXIMAS
 MAX.MIN. : TEMPERATURA MAYOR DE LAS MINIMAS
 MED.MIN. : TEMPERATURA MEDIA DE LAS MINIMAS
 MED.MES. : TEMPERATURA MEDIA DEL MES

DIAS MIN. (<= -5 GRADOS, <= 0 , >= 20) :
 NUMERO DE DIAS CON TEMP. MINIMA DENTRO DE LOS
 INTERVALOS

DIAS MAX. (>= 25 GRADOS, >= 30) : NUMERO DE
 DIA CON TEMP. MAXIMA DENTRO DE LOS
 INTERVALOS