

La Teledetección como Herramienta de Trabajo en Proyectos de Desarrollo Rural: El Cerezo en El Valle Del Jerte (Cáceres)

Felipe Leco Berroca

José Manuel Sánchez Martín

José Luis Gurría Gascón

*Área de Geografía Humana. Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio
Universidad de Extremadura*

Resumen

La comunicación que presentamos pretende dar a conocer el Proyecto de Investigación titulado *Áreas de producción óptima del cerezo y cultivos alternativos en el Valle del Jerte (Cáceres)*, (Ref. 1FD97-2296), que fue presentado a la convocatoria de Proyectos de I+D del Programa FEDER (BOE de 7-8-97).

El Proyecto va encaminado a mejorar el desarrollo de un área básicamente agrícola, con el cultivo del cerezo casi en régimen de monocultivo. Debido a esta situación, se propone el análisis de este cultivo con el fin de determinar las áreas óptimas para su producción haciendo especial énfasis en las especies varietales idóneas para cada lugar, en función de las características físicas del terreno y en la resistencia del cerezo a determinados eventos meteorológicos. Para tales fines utilizaremos, entre otras herramientas, la teledetección que nos servirá de apoyo tanto en la zonificación del cerezo en la zona de estudio (Spot PAN y TM de Landsat), como en el estudio del riesgo de heladas en la floración, el riesgo de precipitaciones intensas en la recogida del fruto,...., para estos últimos se utilizarán imágenes de sensores meteorológicos, NOAA- AVHRR entre otros.

No sólo se pretende el análisis de los factores físicos de riesgo que afectan al cerezo sino que, a partir del mismo, poder establecer las claves para una producción óptima del cerezo o de otros cultivos alternativos, así como las potenciales previsiones de producción. Por estos motivos el Proyecto engloba a distintos profesionales e investigadores, como ingenieros agrónomos, biólogos, ingenieros técnicos agrícolas, economistas y geógrafos, lo que le da un carácter y enfoque multidisciplinar a dicho proyecto.

1. Introducción

Las aplicaciones de técnicas de teledetección en este sentido son muy numerosas, si bien en este proyecto nos centramos en una aplicación muy concreta, la determinación de zonas óptimas para la implantación de determinadas variedades de cerezos así como la posible introducción de cultivos alternativos en el Valle del Jerte. Su situación privilegiada, norte de la provincia de Cáceres, ha permitido que los municipios que lo integran, hayan reconvertido la agricultura tradicional de áreas de montaña en un productivo monocultivo, que actualmente es el motor de su economía.

El cerezo supone más del 75% de las explotaciones agrarias, incluso alcanza cotas superiores a los 800 m de altitud. El minifundismo de las explotaciones, más del 70% son inferiores a 5 ha, ha potenciado el cooperativismo, sobre todo orientado a la comercialización.

Para el tema propuesto, también emplearemos aplicaciones SIG en el campo de las explotaciones agrarias (Merolla, 1995; Moreira, 1994; Castellano, 1995), etc., cualquiera que sea su tipo no es algo nuevo, ya que por todo el mundo es norma extendida, debido a que mediante tratamiento SIG se consiguen conocer las áreas potenciales de desarrollo agrario a un nivel suficiente como para garantizar los proyectos de producción. En este tipo de cultivos, la selección de la zona de estudio es fundamental para el éxito de cualquier proyecto; para ello tan sólo se requiere una caracterización detallada desde el punto de vista edafológico, hidrológico, climático, orográfico, etc.

Mediante estas técnicas es posible conocer, de forma aproximada, la situación que caracteriza a determinados cultivos así como determinar la evolución que están siguiendo a lo largo de un período de tiempo. Este hecho tiene unas repercusiones importantes, ya que permite disponer de una información valiosa sobre el estado de la vegetación en tiempo real. Junto a ello, también debemos destacar que la mayor parte de los grupos de investigación consolidados en el campo de la teledetección aprovecha los enormes potenciales de esta herramienta para fomentar su implementación en potentes sistemas de análisis, principalmente SIGs de última generación, que merced a su potencialidad, pueden contribuir de forma directa a un análisis de la situación real, así como ofrecer simulaciones y detectar las repercusiones de los cambios introducidos en un espacio.

La utilización combinada de sendas herramientas, SIG y teledetección, será la base para la realización de un estudio multitemporal que permita esa optimización espacial y varietal del tipo de cultivo más representativo del Valle del Jerte (España), como es el cerezo.

El grado de innovación que presenta el proyecto contempla la adquisición de datos meteorológicos "in situ", el tratamiento de imágenes de diferentes satélites, la calibración de los datos obtenidos por sensores remotos con estaciones meteorológicas, y la implementación en un SIG de toda la información disponible.

2. Metodología

El objetivo fundamental que nos marcamos con la realización de este proyecto consiste en delimitar las áreas óptimas para el cultivo del cerezo y sus distintas variedades, así como otros cultivos alternativos, en la comarca del Jerte (España). Este objetivo puede cumplirse si se realiza un desarrollo metodológico adecuado, basado en la utilización de las nuevas tecnologías de análisis, principalmente integradas en los Sistemas de Información en Geografía y la Teledetección.

Con estas herramientas es posible llegar a determinar las áreas potenciales para el cultivo del cerezo, así como la introducción de variedades óptimas.

Se pretende como objetivos principales no sólo la mejora de las producciones y el aumento del nivel de las rentas de los empresarios, sino también contribuir con el trabajo a la investigación permanente en el tema de estudio.

No obstante, como paso previo a la consecución de este objetivo final, debemos señalar que es necesario alcanzar otros objetivos que serán los que a la postre permitan obtener los resultados deseados.

Entre ellos podemos mencionar los siguientes:

- a. Instalación de una serie de estaciones climáticas automáticas, desarrolladas específicamente para este objetivo.
- b. Técnicas de teledetección:
 - Fase primera: clasificación digital de la imagen TM de Landsat. Usos del suelo y localización actual del cultivo del cerezo. Fuentes de apoyo: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y Catastro de Rústica.
 - Fase segunda: implementación de la imagen TM y Spot PAN. Rectificación, clasificación digital supervisada y fusión con el DTM.
 - Fase tercera: creación del Modelo Digital de Elevaciones (DTM), 20 por 20 metros, y obtención de las pendientes y de la orientación de las mismas.
 - Fase cuarta: utilización del sensor AVHRR del satélite NOAA para la obtención diaria de los NDVI, así como para la calibración de las temperaturas en superficie.
- c. Generación del proyecto SIG, implementando toda la información alfanumérica y digital (raster o vectorial). Generación de la base de datos digital, con la información de todas aquellas variables que intervienen de forma directa en la producción del cerezo, e implementar toda esta en un Sistema de Información Geográfica que permita gestionar y planificar la producción de cerezas y otros cultivos alternativos en la zona de estudio.

Con la implementación de toda esta información en el sistema de información es posible obtener unos resultados óptimos sobre la implantación de determinadas variables de cerezo a partir de las aptitudes de cualquier punto del territorio analizado. Además, es posible determinar otros cultivos en función de las aptitudes que muestre el terreno.

De todo ello podemos deducir que el desarrollo de esta fase de análisis SIG permitirá trabajar sobre la realidad basándonos en modelos de análisis estadístico que combine todas las variables de interés. Junto a ello, es necesario tener en cuenta que se pueden establecer modelos probabilísticos conducentes a elaborar simulaciones y detectar los posibles beneficios que reportará la implantación de nuevas variedades de cultivo, considerando las variables físicas que determinan su evolución.

- d. Determinación de las aptitudes agrónomicas de la zona. Numerosos trabajos de investigación y de experimentación agraria en el mundo y en España han puesto de manifiesto la problemática de la adaptación del cultivo del cerezo a los diferentes condicionamientos del medio. Destacamos los siguientes aspectos:
- ✓ Exigencias en frío invernal, medidas por el número de hojas por debajo de 7°C; en el período de reposo invernal. Los resultados obtenidos indican una oscilación entre 500 horas para los menos exigentes y 1.300 horas para los más exigentes.
 - ✓ Las heladas primaverales que afectan severamente a la producción a partir del estado fenológico C-D. (Coletto, 1997)
 - ✓ Las lluvias durante el período de maduración de los frutos que provocan su agrietado ("cracking")
 - ✓ La sequía estival, típica de los climas mediterráneos.
 - ✓ La fertilidad de los suelos: física, química y biológica.
 - ✓ El estado sanitario, en muchos casos detectable por el aspecto de la vegetación.
 - ✓ El material vegetal constituido por variedades autóctonas, en general bien adaptado, y las nuevas introducciones actuales o posibles.

Asimismo, interesa la información sobre otras problemáticas relacionadas con la tecnología del cultivo. Marcos de plantación, manejo del suelo y nutrición de los árboles, sistemas de mantenimiento del suelo, riego, sistemas de formación y poda y aplicación de productos fitosanitarios.

3. Trabajos y técnicas aplicadas de teledetección

Como ya hemos mencionado en el epígrafe anterior, los trabajos en los cuales emplearemos técnicas de teledetección quedan agrupados en cuatro fases que detallamos a continuación.

Primera fase

En primer lugar, se está llevando a cabo la clasificación digital de la imagen Thematic Mapper de Landsat para establecer los usos del suelo del Valle del Jerte. Para tal fin estamos utilizando, como en todos los procesos y análisis realizados hasta el momento, el software Erdas Imagine 8.3 bajo estación de trabajo Silicon Graphics O2, ello está facilitando la manejabilidad y rapidez de los procesos.

El objetivo de esta primera fase es localizar, dentro de esos usos del suelo, el espacio ocupado por el cerezo en la zona de estudio. Para alcanzar dicho objetivo, y una vez georreferenciada la imagen en coordenadas UTM- Internacional 1909- Huso 30, se está procediendo a la clasificación digital supervisada de la imagen.

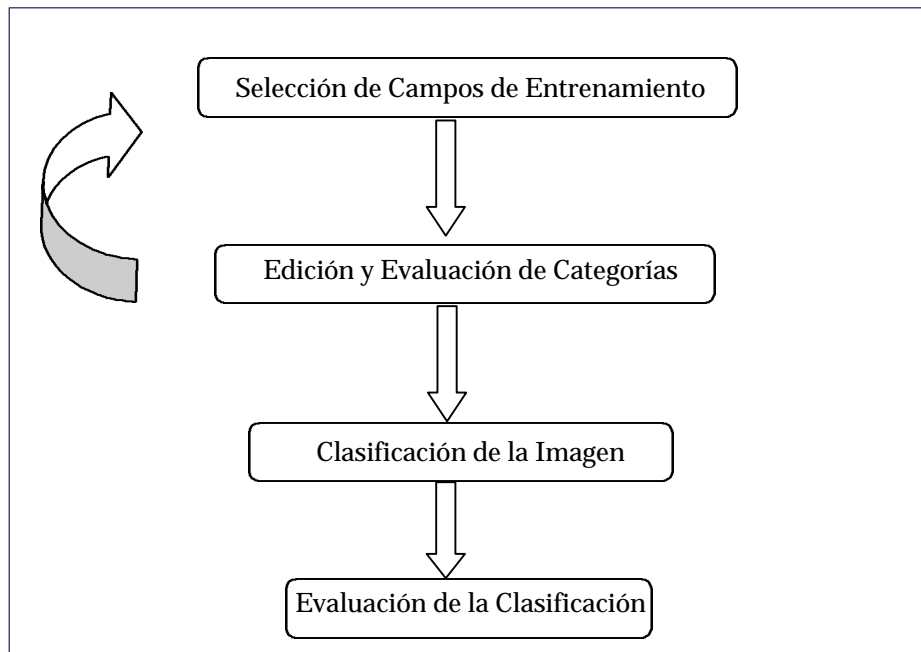


Fig. 1. Pasos en una clasificación supervisada

Para ello, apoyados lógicamente en trabajos de campo, se están estableciendo varios campos de entrenamiento (*training fields*) por clase para así reflejar adecuadamente la variabilidad espacial de algunas clases en el área de estudio.

Una vez que tengamos los ND medios y la desviación típica de las clases obtenidas, así como el diagrama de signaturas espectrales podremos discriminar mejor aquellas bandas que se utilizarán en la clasificación supervisada.

También utilizaremos otros criterios cuantitativos que nos ayudarán a evaluar numéricamente la posibilidad de discriminar las distintas clases obtenidas en la imagen del área de estudio.

Para tal fin, y dentro de estos criterios, optamos por el uso de la divergencia estadística, y para poder escalar los resultados a un rango conocido y fácil de interpretar, se eligió la divergencia transformada (Swain y Davis, 1978):

- a. Divergencia:

$$D_{ij} = \frac{1}{2} \text{tr} [(C_i - C_j) (C_i^{-1} - C_j^{-1})] + \frac{1}{2} \text{tr} [(C_i^{-1} - C_j^{-1}) (\mathbf{m}_i - \mathbf{m}_j) (\mathbf{m}_i - \mathbf{m}_j)^T]$$

- b. Divergencia Transformada:

$$T_{dij} = 2 [1 - \exp (- D_{ij} / 8)]$$

siendo:

i y *j*: medida de las dos signaturas o clases comparadas.

C_i : la matriz de covarianza de la signatura *i*.

\mathbf{m}_i : vector de medias de la signatura *i*.

tr: traza de los elementos de la diagonal de la matriz indicada.

T: función de transposición o matriz transpuesta.

Para interpretar los resultados obtenidos hemos de saber que para el cálculo de la divergencia transformada se asume que los ND en una clase se distribuyen normalmente, asumiendo la separabilidad como la medida del solape entre categorías vecinas.

Como nuestro objetivo, en este caso, es calcular dicho valor para un espacio multivariado, se considerará el vector de medias y la matriz de varianza-covarianza entre pares de categorías.

De esta manera, cuanto mayor sea el valor de la divergencia mayor será la separabilidad o discriminación entre clases.

Una última fase, dentro del trabajo de la clasificación digital, será la de asignación. Dicha asignación se realizará en función de los ND para cada una de las bandas que hayan intervenido en el proceso. Fruto de esta fase se obtendrá una nueva imagen, cuyos ND van a expresar la categoría en la cual se ha incluido cada uno de los píxeles de la imagen de partida.

Existen diversos criterios y métodos para llevar a cabo esta fase, nosotros optaremos por el criterio de máxima verosimilitud o máxima probabilidad (*maximum likelihood*), que es un criterio estadístico de clasificación digital de imágenes, por el cual se asigna cada pixel de la imagen a la categoría para la cual posee mayor probabilidad de pertenencia.

Segunda fase

Una vez hayamos realizado la clasificación supervisada de la imagen TM del Valle del Jerte, y teniendo en cuenta las características orográficas de la zona de estudio así como la excesiva parcelación de sus explotaciones agrícolas y, en definitiva, una marcada fragmentación del espacio, se ha convenido en realizar una segunda clasificación temática del área de análisis sólo que, en este caso, emplearemos una imagen final producto de la fusión de la imagen TM de Landsat y de la imagen PAN del satélite Spot. De esta manera obtendremos una imagen final que guardará la riqueza espectral del Thematic Mapper (siete bandas del espectro electromagnético, excepto la banda seis del infrarrojo térmico) y la bonanza en la resolución espacial del Spot PAN (10 por 10 m).

La imagen Spot PAN utilizada, lógicamente de la misma fecha de captura que la imagen TM de Landsat, fue georreferenciada utilizando el MDT 80 por 80 m con lo que se alcanzó mayor precisión.

En esta fase se tratará de afinar lo más posible en la clasificación temática de los usos del suelo y especialmente en el cultivo del cerezo y en los distintos marcos de plantación que pueda tener, para ello también nos será de gran ayuda la actualización del Catastro de Rústica que se está elaborando actualmente. Esperamos conseguir una imagen final clasificada que incluso pueda distinguir y discriminar especies varietales del propio cerezo.

Para tales objetivos, el primer paso será la rectificación geométrica de la imagen TM de Landsat a partir de la imagen PAN del satélite SPOT. En el proceso de rectificación (Jensen, 1986) de la imagen Landsat se seguirán los siguientes pasos:

- 1- Visualización en pantalla de las dos imágenes. Dependiendo del tipo de aplicación que se esté llevando a cabo la imagen Landsat deberá visualizarse bien en escala de grises

- (selección de una sola banda del espectro), bien en una combinación en falso color (RGB) asignando una banda concreta a cada canal.
- 2- Utilización del módulo *Geometric Correction* del programa Erdas y la opción de transformación denominada *Polynomial*.
 - 3- Asignación en ambas imágenes de un número determinado de puntos de control (*Ground Control Points-GCPs*)
 - 4- Computar la correspondiente matriz de transformación. Una matriz de transformación es una serie de números que pueden ser introducidos en ecuaciones polinomiales. Estos números son denominados coeficientes de transformación. Las ecuaciones polinomiales son utilizadas para convertir las coordenadas de un sistema a otro. Un número mínimo de puntos de control (GCPs) es necesario para el cálculo de la transformación, dependiendo del orden de ésta, asimismo el error de la transformación puede ser calculado de forma automática. Por ejemplo, la matriz de transformación de primer orden está compuesta por seis coeficientes, tres por cada coordenada (x e y), siendo:

a_1	a_2	a_3
b_1	b_2	b_3

Las coordenadas son usadas en una matriz polinomial de primer orden de la siguiente manera:

$$x_0 = b_1 + b_2x_i + b_3y_i$$

$$y_0 = a_1 + a_2x_i + a_3y_i$$

siendo:

x_i y y_i : son las coordenadas de referencia (*input*)

x_0 e y_0 : son las coordenadas rectificadas (*output*)

- 5- *Resampling* de la imagen. Es el proceso de cálculo para rectificar los valores de un fichero en una imagen y crear un nuevo fichero. El método generalmente utilizado es el de interpolación bilineal. Este método utiliza los valores del fichero en una ventana de 2×2 píxeles para calcular un valor de salida con una función bilineal. Entonces, el valor del fichero del píxel rectificado se basa en las distancias entre la coordenada de localización y los cuatro píxeles más cercanos de la imagen de entrada.
- 6- Verificación del proceso realizado.

Una vez hayamos generado una nueva imagen, rectificadas a partir de la imagen Spot PAN, se procederá a la fusión de ambas (Miravet et al., 1998). Para ello se utilizará el módulo *Resolution Merge* de Erdas y el método de Análisis en Componentes Principales. En este proceso evitaremos la banda seis del TM de Landsat por tener menor resolución espacial (120 por 120 m). A partir de este momento, tendremos una nueva imagen que ganará la riqueza espectral del TM y la riqueza espacial del Spot PAN, lo cual facilitará los siguientes procesos de clasificación antes comentados.

Tercera fase

El objetivo esencial de esta fase es elaborar un MDT (Welch, 1990), 20 por 20 m, de la zona de estudio, rasterizarlo y, a partir del mismo, obtener mapas de pendientes y orientaciones que, tratados conjuntamente con la imagen final clasificada (TM más Spot PAN) podamos obtener claves que nos ayuden aún más en la localización del cerezo y en los marcos de plantación más adecuados a cada especie varietal (alturas, pendientes, orientaciones,...) además de otras variables que después se

integrarán en el SIG (variables climáticas, edafológicas, características fisionómicas de los cerezos, etc.).

Sobre todo, nos interesan los cálculos, a partir del MDT, de las pendientes y de las orientaciones. La primera porque puede actuar de limitante físico al propio cultivo del cerezo y, la segunda, porque también puede incidir positiva o negativamente en el desarrollo del mismo.

Las pendientes, en buena lógica, expresan el cambio en la elevación cada cierta distancia, esa distancia en este caso será el tamaño del pixel. Ésta generalmente se expresa en porcentajes. Aunque puede ser calculada en grados.

Para el cálculo de las pendientes en cada uno de los pixeles se utilizará el modelo siguiente:

a	b	c
d	E	f
g	h	i

10 m	20 m	25 m
22 m	30 m	25 m
20 m	24 m	18 m

Para calcular la pendiente de E en una ventana de 3 por 3 pixeles, teniendo en cuenta que el tamaño del pixel pongamos es de 30 metros, en primer lugar se calculan los promedios de elevación en X e Y:

$Dx_1 = c - a$
$Dx_2 = f - d$
$Dx_3 = i - g$

$Dy_1 = a - g$
$Dy_2 = b - h$
$Dy_3 = c - i$

$$\Delta x = (\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3) / 3 \times x_s$$

$$\Delta y = (\Delta y_1 + \Delta y_2 + \Delta y_3) / 3 \times y_s$$

siendo:

$a...i$ = los valores de la elevación de los pixeles en una ventana de 3×3 .

x_s = el tamaño del pixel en x (30 metros).

y_s = el tamaño del pixel en y (30 metros).

Para los valores anteriores, sería:

$Dx_1 = 25 - 10 = 15$
$Dx_2 = 25 - 22 = 3$
$Dx_3 = 18 - 20 = -2$

$Dy_1 = 10 - 20 = -10$
$Dy_2 = 20 - 24 = -4$
$Dy_3 = 25 - 18 = 7$

$$Dx = (15 + 3 - 2) / 30 \times 3 = 0,177$$

$$Dy = (-10 - 4 + 7) / 30 \times 3 = -0,078$$

La pendiente en el pixel x,y se calcula como:

$$s = [\sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}] / 2; s = 0,0967$$

si $s \leq 1$ el porcentaje de pendiente = $s \times 100$;
 o además, el porcentaje de pendiente = $200 - 100 / s$;
 la pendiente en grados = $\tan^{-1}(s) \times 180 / \pi$;
 con lo que, la pendiente en grados = $\tan^{-1}(s) \times 180 / \pi = \tan^{-1}(0,0967) \times 57,30 = 5,54^\circ$;
 la pendiente en porcentaje = $0,0967 \times 100 = 9,67\%$.

De la misma manera, para el cálculo de la orientación de la pendiente en cada pixel también hemos utilizado las capacidades en las aplicaciones que nos proporciona el programa Erdas. La orientación se expresa en grados respecto del Norte, siendo éste 0 grados, 90° se corresponden con orientación Este, 180° con orientación Sur y 270° con orientación Oeste. Cuando los valores son del orden de 361° se identificará con superficies como las masas de agua.

Para su cálculo, empleando los mismos valores de la ventana de datos anterior, se utilizará la siguiente formulación:

$$Dx = (Dx_1 + Dx_2 + Dx_3) / 3$$

$$Dy = (Dy_1 + Dy_2 + Dy_3) / 3$$

siendo:

$a...i$ = los valores de la elevación de los pixeles en una ventana de 3×3 .

$$\Delta x = (15 + 3 - 2) / 3 = 5,33$$

$$\Delta y = (-10 - 4 + 7) / 3 = -2,33$$

Si $Dx = 0$ y $Dy = 0$, quedará codificado como 361°. De otra parte, q se calcula de la siguiente manera:

$q = \tan^{-1}(Dx / Dy)$; la orientación es $180 + q$ (en grados).

Para el ejemplo en cuestión, tendríamos que $q = \tan^{-1}(5,33 / -2,33) = 1,98$
 1,98 *radians* = 113,6 grados;

con lo que la orientación = $180 + 113,6 = 293,6$ grados.

Cuarta fase

Una de las fases más interesantes dentro de la ejecución del proyecto, está siendo desde un primer momento el tratamiento de imágenes NOAA-AVHRR. Dado que el Departamento de Geografía de la Universidad de Extremadura dispone de una estación receptora facilita la disponibilidad de información diaria de estas imágenes y su análisis multitemporal. Aunque para una zona de estudio de una relativa extensión superficial podremos encontrarnos con el pequeño obstáculo de una resolución espacial baja (aproximadamente un pixel tiene 100 ha en el sensor AVHRR), las potencialidades de dicho sensor superan con creces sus pequeños inconvenientes.

Las imágenes AVHRR del satélite NOAA se capturan diariamente en formato .HRP (High Resolution Picture Transmission). El primer paso que se realiza es la corrección geométrica y radiométrica de las imágenes para después elaborar, en primer lugar, los índices de vegetación diarios. Estos índices son transformaciones sobre la imagen para caracterizar las cubiertas vegetales

reforzando la contribución espectral debida a la cubierta vegetal, en tan que minimizan la influencia de factores distorsionantes, como el suelo, la irradiancia solar, el ángulo de elevación del Sol y la propia atmósfera (Pinilla, 1995). Los más usados son aquellos que se basan en los cocientes entre bandas, es decir se dividen los ND de cada celdilla pertenecientes a una banda por los de otra.

En nuestro caso, se estudiarán las posibilidades del RVI (Ratio Vegetation Index) que, en el caso del sensor AVHRR, sería Banda2 dividida por la Banda 1. Así como otros de mayor difusión, caso del NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), definido de la siguiente manera:

$$NDVI = IR - R / IR + R$$

También se analizarán los resultados del llamado TVI (Transformed Vegetation Index), que mejora la distribución estadística de los valores:

$$TVI = \bar{0} NDVI + 0,5$$

Al mismo tiempo, también trataremos de correlacionar las temperaturas de satélite con aquellas otras tomadas en tiempo real en una serie de estaciones meteorológicas móviles que se ubicarán en el Valle del Jerte. Para tales objetivos se utilizarán los métodos de cálculo propuestos y descritos, entre otros, por Price (1984), Sobrino (1991), Caselles (1993), Zhiahao Qin (1999), etc., a partir de los canales 4 y 5 del sensor AVHRR del satélite NOAA. En líneas generales, el modelo para determinar desde satélite la temperatura y la emisividad de la superficie del suelo es el siguiente (Caselles, 1995):

$$T = T_1 + A (T_1 - T_2) + B$$

Donde T es la temperatura de la superficie del suelo o del mar, T_1 y T_2 son las medidas realizadas por el satélite en dos canales contiguos situados dentro de la ventana espectral 10,5 a 12,5 μm , como los canales 4 y 5 del AVHRR del NOAA, A y B son dos coeficientes que evalúan el efecto de la atmósfera y de la emisividad.

4. Conclusiones

El esquema metodológico propuesto para llevar a cabo este Proyecto de Investigación, en el que son fundamentales las nuevas tecnologías basadas en SIG y Teledetección, necesita además de una serie de trabajos de campo. Éstos deben encaminarse a la recogida de información que pueda orientarse al establecimiento de correlaciones con la información de los SIGs y de los sensores remotos. Se considera necesario la obtención de la siguiente información *in situ*:

- ✓ Evaluación de los daños ocasionados por heladas primaverales.
- ✓ Evaluación de daños ocasionados por lluvias en el período de maduración de los frutos.
- ✓ Diagnóstico de estados nutritivos de los árboles, con especial referencia a carencias de Boro, Magnesio, Manganeso y Zinc.
- ✓ Determinación del estado sanitario de los árboles y del nivel de infección o infestación de las plagas y enfermedades de mayor incidencia económica:
 - ✓ Plagas: *Capnodis tenebrionis* L., *Ragoletis cerasi* L., *Lasioptera* sp., *Myzus cerasi* Fab., *Tetranychus urticae* Koch.
 - ✓ Enfermedades: *Gnomonia erythrostoma* (Pers.) Auersw.; *Sclerotinia laxa* Aderr. y Ruhl; *Stigmina carpophila* (Lév.) M.B. Ellis.

Considerando todos los factores analizados se propondrán modelos matemáticos que determinen índices de productividad que permitan clasificar para cada grupo de variedades, las zonas de cultivo actuales o potenciales en:

- a. Zonas potenciales con condicionamientos edafoclimáticos y otros del medio favorables.
- b. Zonas potenciales con condicionamientos edafoclimáticos favorables y otros del medio desfavorables.
- c. Zonas potenciales con condicionamientos climáticos favorables y edáficos y otros del medio desfavorables.
- d. Zonas no potenciales.

5. Bibliografía

- Caselles, V.; Coll, C. y Valor, E. (1993): Un método operativo de determinación de la temperatura de la superficie del suelo. *Revista de Teledetección*, 2: 19-26.
- Caselles, V.; Coll, C.; Valor, E. y Rubio, E. (1995): Mapping land surface emissivity using AVHRR data. Application to La Mancha, Spain. *Remote Sensing*, 12: 311-333.
- Castellano, E. (1995): Aplicación de los sistemas de información geográfica (SIG) a la valoración económica de los sistemas forestales de un territorio. *Mapping. Map & SIG CONSULTING*. Madrid.
- Coletto, J. M. (1997): Tipificación de daños por heladas en cerezo (c.v. Ambrunés), en estados fenológicos preflorales. Determinación de umbrales de daños. SECH. *Fruticultura*, 329-334.
- Jensen, J. R. (1986): *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
- Merolla, S. (1995): Implementación de un sistema de información geográfica para la evaluación de tierras agrícolas. *Mapping. Map & SIG CONSULTING*. Madrid.
- Miravet, C.; Santamaría, J.; Coiras, E.; Escudero, J. C. y Sarasúa, A. (1998): Generación semi-automática de mosaicos. Aplicación de técnicas de fusión de imágenes. *Revista de Teledetección*, 10: 31-38.
- Moreira, J. M. (1994): Sistemas de Información Ambiental. *Mapping. Map & SIG CONSULTING*. Madrid.
- Pinilla, C. (1984): *Elementos de teledetección*. RA-MA. Madrid.
- Price, J. C. (1984): Land surface temperature measurements from the split-window channels of the NOAA-7 AVHRR. *Journal of Geophysical Research*. D5: 7231-7237.
- Sobrino, J. A.; Coll, C. y Caselles, V. (1991): Atmospheric correction for land surface temperature using NOAA-11 AVHRR channels 4 and 5. *Remote Sens. Environ.* 38: 19-34.
- Swain, P. H. y Davis, S. M. (1978): *Remote sensing: the quantitative approach*. New York. McGraw Hill Book Company.
- Welch, R. (1990): 3-D terrain modeling for GIS applications. *GIS World*, vol. 3, 5.
- Zhiahao Qin (1999): Progress in the remote sensing of land surface temperature and ground emissivity using NOAA-AVHRR data. *Int. J. Remote Sensing*, vol. 20, 12: 2367-2393.

