

## POTENCIALIDAD PARA EL PINSAPO EN LA SIERRA DEL PINAR, CÁDIZ, A PARTIR DE DATOS DE CAMPO DEL SEGUNDO INVENTARIO FORESTAL NACIONAL Y UNA IMAGEN IRS-1C WiFS

J. M: Cuevas y F. González-Alonso

[cuevas@inia.es](mailto:cuevas@inia.es)

Laboratorio de Teledetección, CIFOR-INIA  
Ctra. de A Coruña, km. 7, 28040, Madrid

### RESUMEN

Se estudia la caracterización forestal de las superficies ocupadas por el abeto mediterráneo pinsapo (*Abies pinsapo* Boiss.) en la Sierra del Pinar, Grazalema, Cádiz, a partir de datos procedentes de parcelas de campo del Segundo Inventario Forestal Nacional de España y de la información de una imagen captada por el sensor WiFS del satélite indio IRS-1C. Como parámetros de biomasa forestal se han utilizado los volúmenes de fuste con corteza de todas las especies y de pinsapo a los que les une una relación significativa al 95 % con el NDVI de WiFS.

PALABRAS CLAVE: IRS-1C WiFS, NDVI, pinsapo, volumen de fuste con corteza.

### ABSTRACT

The mediterranean fir *Abies pinsapo* Boiss., "pinsapo", is studied in the Spanish Sierra del Pinar, Grazalema, Cádiz, from data derived from ground plots of the Second National Forest Inventory of Spain and the information of an IRS-1C WiFS image. As parameters of forest biomass have been used the stem volume with bark of all species and pinsapo. There is an statistically significant relationship at the 95 % confidence level between the stem volume and the WiFS NDVI.

KEY WORDS: IRS-1C WiFS, NDVI, *Abies pinsapo*, stem volume with bark.

### INTRODUCCIÓN

Los pinsapares son una de las formaciones boscosas más originales de la península Ibérica (Blanco *et alii* 1997), debido al carácter casi endémico de la especie arbórea dominante, el pinsapo (*Abies pinsapo*), abeto de gran valor biogeográfico y paisajístico. Su área de distribución natural (Ruiz de la Torre 1971) se reduce a las altas sierras de la cordillera Bética y a la cadena caliza de Yébala, en el norte de Marruecos, donde aparecen las variedades *marocana* y *tazaotana*, que marcan la transición hacia el *Abies numidica* de Argelia. En Ruiz *et alii* 1994 figuran diversos trabajos sobre las características, estado y gestión de las masas de pinsapo andaluzas.

El área española está constituida por tres núcleos principales: Sierra de las Nieves, Sierra Bermeja o de los Reales, y Sierra del Pinar, en el término municipal de Grazalema (Cádiz), en altitudes entre 1000 y 1650 m y sobre sustratos

calizos del Lías y Jura. Es sobre las masas de pinsapo de esta última sierra sobre las que se ha realizado este estudio. Las masas españolas de pinsapo se sitúan en localidades con más de 1000 mm de precipitación anual, que en Grazalema superan 2000 mm. Las precipitaciones estivales son superiores a 100 mm, en Grazalema a 150 mm.

### IMAGEN UTILIZADA

Se ha empleado una imagen captada por el sensor WiFS del satélite indio IRS-1C. Este satélite fue puesto en órbita el 28 de diciembre de 1995. Entre sus sensores está el WiFS de 188,3 m de resolución espacial nominal y que está provisto de dos bandas, una en el visible (0,62-0,68  $\mu$ ) y otra en el infrarrojo cercano (0,77-0,86  $\mu$ ). La imagen utilizada fue captada el 17 de agosto de 1996, cubre gran parte de la península Ibérica y está en su mayoría libre de nubes. En el área de la sierra del Pinar la cubierta nubosa es nula. Un sector de esta imagen fue georeferenciado adoptando como tamaño

de píxel 180 m, utilizando una digitalización de los límites de la provincia de Cádiz. Se han usado 22 puntos de control, todos ellos situados en la costa (Mar Mediterráneo y Océano Atlántico), obteniéndose un error cuadrático medio de 0,88 equivalente a 158,4 m.

Esta misma imagen se ha utilizado para otros estudios relacionados con masas forestales como los alcornoques del Parque Natural de los Alcornocales (Cuevas *et alii* 2000) y los pinares de pino piñonero de Barbate (Cuevas *et alii* 2000b). Se ha seleccionado un sector rectangular de esta imagen IRS-1C WiFS una vez georeferenciada cubriendo la sierra del Pinar (Grazalema), y en el que quedan incluidas todas las masas de pinsapo presentes en esta sierra. Este sector tiene 34 filas y 62 columnas, cubriendo una superficie de 6829,92 ha. Posteriormente se realizó una calibración local de esta imagen desplazándola 100 m al este y 200 m al sur.

#### EL SEGUNDO INVENTARIO FORESTAL NACIONAL EN EL ÁREA DE LA SIERRA DEL PINAR, GRAZALEMA (CÁDIZ)

El Segundo Inventario Forestal Nacional (2IFN) de España adoptó como diseño un muestreo sistemático (ICONA 1990) utilizando una malla cuadrada de 1 km de lado en las zonas consideradas como inventariables que se obtuvieron del Mapa de Cultivos y Aprovechamientos. En cada parcela de campo se anotaron diversos datos y se midió el diámetro normal de los pies mayores (diámetro normal superior a 75 mm) en cuatro círculos concéntricos de 5, 10, 15 y 25 m de radio. En cada uno de estos círculos se midieron los árboles de diámetro normal inferior a 125, 225, 425, e igual o superior a 425 mm respectivamente.

En el terreno cubierto por el sector de imagen WiFS utilizado se dispone de 19 parcelas del 2IFN con datos completos, ocho de las cuales contienen pinsapo. Para estas parcelas se han obtenido diversos parámetros dasométricos: número de pies por hectárea (NP), área basimétrica (AB), m<sup>2</sup>/ha, y volúmenes con corteza por hectárea (VC), m<sup>3</sup>/ha, todos ellos a nivel de especie. Estas parcelas de campo se realizaron en agosto-noviembre de 1996 y, por tanto, son bastante coetáneas con la imagen WiFS empleada.

De las ocho parcelas del 2IFN con pinsapo presentes se decidió excluir a dos para caracterizar espectralmente al pinsapo en base a WiFS por tener un AB de pinsapo muy baja ( $\leq 0,95$  m<sup>2</sup>/ha), un porcentaje de AB de pinsapo muy bajo ( $\leq 6,66$  %),

un VC de pinsapo muy bajo ( $\leq 5,09$  m<sup>3</sup>/ha) y un porcentaje de VC de pinsapo bajo ( $\leq 14,76$  %), siendo las dos parcelas con menor porcentaje de VC de pinsapo. Las seis parcelas con presencia de pinsapo utilizadas tienen los parámetros dasométricos que figuran en la Tabla 1.

	Media	Mínimo	Máximo	Dev. típica
NP tot.	457,3	79,4	1083,2	432,2
NP pin.	415,4	43,6	1083,2	447,1
% NP pin.	80,9	28,7	100	27,2
AB tot.	34,0	5,1	68,1	21,2
AB pin.	21,9	3,9	47,3	19,2
% AB pin.	63,7	15,8	100	35,9
VC tot.	186,3	26,2	412,8	148,6
VC pin.	151,4	16,7	333,9	139,4
% VC pin.	73,5	23,9	100	30,9

**Tabla 1.** Parámetros dasométricos de las parcelas del 2IFN con pinsapo. tot. = todas las especies, pin = pinsapo.

#### RELACIÓN ENTRE WiFS Y PARÁMETROS FORESTALES

Los coeficientes de correlación entre la información WiFS correspondiente al centro de estas seis parcelas de campo del 2IFN con presencia notable de pinsapo y la información dasométrica figuran en la Tabla 2.

	Visible	Infrarrojo	NDVI
NP tot.	-0,821**	-0,265	0,849**
NP pin.	-0,833**	-0,328	0,839**
AB tot.	-0,533	0,421	0,748*
AB pin.	-0,814**	-0,022	0,896**
VC tot.	-0,722	0,184	<b>0,867**</b>
VC pin.	-0,808*	-0,009	<b>0,893**</b>

**Tabla 2.** Coeficientes de correlación entre la información WiFS y la información dasométrica de las parcelas de campo del 2IFN con pinsapo. tot. = todas las especies, pin. = pinsapo.

\* = Relación significativa al 90 %

\*\* = Relación significativa al 95 %

La pareja de parámetros dasométricos, de todas las especies y exclusivamente de pinsapo, con mayores coeficientes de correlación con la información WiFS son los volúmenes, que los tienen con el NDVI. Entre el VC de todas las especies y el VC de pinsapo hay una relación significativa al 95 % con el NDVI. Es por ello, que son los volúmenes los que se estiman a partir del NDVI de IRS-1C WiFS.

Las 13 parcelas del 2IFN sin presencia notable de pinsapo en el área de la Sierra del Pinar tienen los parámetros dasométricos que aparecen en la Tabla 3, con valores muy inferiores a los de las parcelas con pinsapo.

	Media	Mínimo	Máximo	Desviación típica
NP	180,2	0	1131,3	376,1
AB	7,	0	29,2	8,8
VC	18,7	0	89,8	25,1

**Tabla 3.** Parámetros dasométricos de las parcelas del 2IFN sin presencia notable de pinsapo.

Entre el VC de todas las especies de las parcelas de campo, con pinsapo o sin pinsapo (19 parcelas), y el NDVI de WiFS el coeficiente de correlación es 0,446, existiendo entre ellos una relación débil y significativa al 90 %. Por regresión lineal se obtiene:

$$(1) \text{ VC área} = -61,9237 + 382,446 \text{ NDVI}$$

$$R^2 = 19,888 \%$$

Entre el VC de todas las especies de las parcelas de campo con presencia notable de pinsapo (6 parcelas) y el NDVI de WiFS existe una relación significativa al 95 %, obteniéndose por regresión lineal:

$$(2) \text{ VC todas especies} = -257,719 + 1286,56 \text{ NDVI}$$

$$R^2 = 75,212 \%$$

Este último modelo es de una calidad muy superior al obtenido utilizando todas las parcelas de campo, con pinsapo o sin pinsapo. Estas dos rectas se cruzan para un NDVI = 0,217 y un VC de 20,9 m<sup>3</sup>/ha. Es decir, para valores de NDVI inferiores a 0,217 es mayor el VC obtenido con el ajuste (1).

Entre el VC de pinsapo de las parcelas de campo con pinsapo (6 parcelas) y el NDVI de WiFS existe una relación significativa al 95 %, obteniéndose por regresión lineal:

$$\text{VC pinsapo} = -277,449 + 1242,59 \text{ NDVI}$$

$$R^2 = 79,739 \%$$

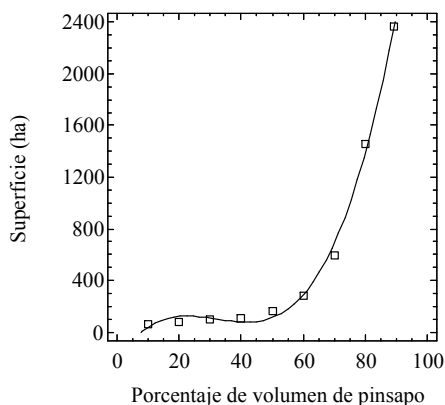
Esta última relación da un VC de pinsapo igual a 0 para un NDVI = 0,224, y para un teórico NDVI igual a 1 da un VC de pinsapo = 965,141 m<sup>3</sup>/ha. Para un VC de pinsapo = 0, la relación anterior (2) da un VC de todas las especies de 29,55 m<sup>3</sup>/ha.

Haciendo uso de estas ecuaciones se han obtenido las imágenes de VC de todas las especies en base a las parcelas con pinsapo o sin pinsapo (VC área), VC de todas las especies en base a las parcelas con pinsapo (VC todas especies) y VC de pinsapo en base a las parcelas con pinsapo (VC pinsapo). El VC área es mayor que el VC todas especies en sólo 813,24 ha. Como VC del área en estudio (VC área) definitivo se ha adoptado el valor mayor de los dos primeros (1) y (2). Obteniéndose los resultados que figuran en la Tabla 4.

	VC área	VC todas especies	VC pinsapo
Media	146,9	165,8	144,0
Mínimo	0,0	1,7	0,02
Máximo	395,7	395,7	353,6
Desv. típ.	101,4	93,9	83,3
Superficie	5184,0	4655,9	4263,8

**Tabla 4.** Volúmenes obtenidos en el área en estudio.

La superficie en que se ha estimado un VC potencial de pinsapo mayor de cero es 4263,8 ha, cifra muy similar a la de Neva (1994) que estima el área de distribución dispersa o potencial del pinsapo en el Parque Natural de Grazalema en hasta 5000 ha aproximadamente.



**Figura 1.** Relación entre el porcentaje de volumen de pinsapo y la superficie ocupada.

El porcentaje obtenido de VC de pinsapo respecto al VC de todas las especies tiene una media de 73,90, un mínimo de 0,76 y un máximo de 89,37. Las seis parcelas de campo del 2IFN con presencia de pinsapo utilizadas tienen un porcentaje medio de VC de pinsapo de 73,46, muy similar al obtenido, con un mínimo de 23,91 y un máximo de 100.

La zona donde el VC de pinsapo obtenido es igual o superior al 50 % del VC total, es decir donde se podría considerar como especie dominante al pinsapo, tiene una superficie de 3888,0 ha (1200 píxeles). El coeficiente de correlación entre el porcentaje obtenido de VC de pinsapo respecto al VC de todas las especies (% VC Pin.) y la superficie ocupada es bastante alto: 0,818. Entre estos dos conceptos se puede establecer la siguiente relación polinomial (Figura 1), que tiene un coeficiente de determinación muy alto, del 99,59 %:

$$\text{Superficie (ha)} = -218,085 + 37,2729 \% \text{ VC pin.} - 1,27777 \% \text{ VC pin.}^2 + 0,0132807 \% \text{ VC pin.}^3$$

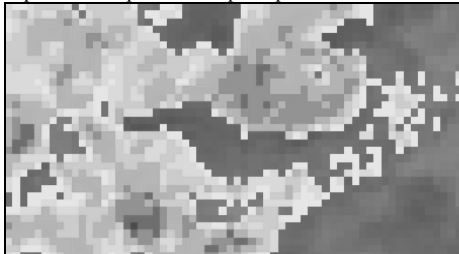
En la Figura 2 aparece el VC de pinsapo obtenido por niveles (< 50, 50-100, 100-150, 150-200, 200-250, 250-300, 300-350 y > 350 m<sup>3</sup>/ha) superpuesto al sector de imagen WiFS empleado, y en la Figura 3 aparece el VC de todas las especies, también por los mismos niveles y superpuesto a la imagen WiFS.

## BIBLIOGRAFÍA

Blanco, E., Casado, M. A., Costa, M., Escribano, R., García, M., Génova, M., Gómez, Á., Gómez, F., Moreno J. C., Morla, C., Regato, P. y Sainz, H. 1997. Los bosques ibéricos. Planeta.

Cuevas, J. M., Vázquez, A. y González-Alonso, F. 2000. Análisis de la utilidad de la información WiFS del satélite indio IRS-1C para el Inventario Forestal Nacional de España. *Ecología*, 169-179.

Cuevas, J. M., González-Alonso, F. y Vázquez, A. 2000b. Estimación de la superficie cubierta por las copas en los pinares de pino piñonero de Barbate



**Figura 2.** Volumen de fuste con corteza de pinsapo obtenido por niveles (< 50, 50-100, 100-150, 150-200, 200-250, 250-300, 300-350 y > 350 m<sup>3</sup>/ha) superpuesto al sector de imagen WiFS empleado (visible en rojo, infrarrojo en verde).

(Cádiz) a partir de una imagen IRS-1C WiFS y los datos de campo del Segundo Inventario Forestal Nacional. *Revista de Teledetección*, 13, 51-58.

ICONA 1990. *Segundo Inventario Forestal Nacional. Explicaciones y Métodos*. Madrid.

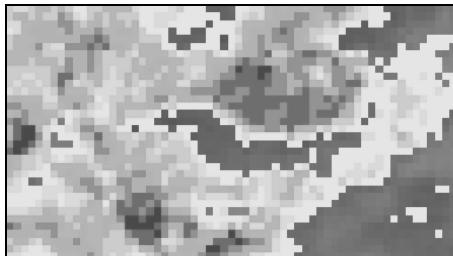
Neva, J.C. 1994. Evaluación de la gestión y manejo de las masas de *Abies pinsapo* en el parque Natural de la Sierra de Grazalema. En: *Gestión y conservación de los pinsapares andaluces*. Monografías Forestales Andaluzas, 1, 41-46.

Ruiz de la Torre, J. 1971. *Árboles y arbustos de la España peninsular*. IFIE-ETSIM.

Ruiz de la Torre, J., García, J.I., Oria, J.A., Cobos, J.M., Neva, J.C., Navarro, F.J., Catalina, M.A., López, J., Álvarez, M., Arista, M., Talavera, S., Herrera, J. 1994. *Gestión y conservación de los pinsapares andaluces*. Monografías Forestales Andaluzas, 1, Ed. Asociación Forestal Andaluza.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Banco de Datos de la Naturaleza de la Dirección General de Conservación de la Naturaleza (Ministerio de Medio Ambiente) por haber facilitado los datos de campo de las parcelas del Segundo Inventario Forestal Nacional empleados en este estudio.



**Figura 3.** Volumen de fuste con corteza de todas las especies obtenido por niveles (< 50, 50-100, 100-150, 150-200, 200-250, 250-300, 300-350 y > 350 m<sup>3</sup>/ha) superpuesto al sector de imagen WiFS empleado (visible en rojo, infrarrojo en verde).