

CARTOGRAFÍA DE LA VEGETACIÓN DE LA ISLA DE BIKO (GUINEA ECUATORIAL) MEDIANTE EL USO DE IMÁGENES LANDSAT 7 ETM+: PARTICULARIZACIÓN DEL PISO AFROMONTANO

Rafael M. Navarro Cerrillo¹, Margarita A. Clemente Muñoz², Nicholas A. Kasimis², Eva Padrón Cedres¹,
Esteban Hernández Bermejo², Enriqueta Martín Consuegra Fernández² & Alfonso García Ferrer³

¹Departamento de Ingeniería Forestal, Universidad de Córdoba, Campus de Rabanales, Carretera Nacional IV, km 396, 14014 Córdoba, España; rmnavarro@uco.es (autor corresponsal).

²Departamento de Ciencias y Recursos Agrícolas y Forestales, Universidad de Córdoba, Campus de Rabanales, Carretera Nacional IV, km 396, 14014 Córdoba, España.

³Departamento de Ingeniería Gráfica e Ingeniería y Sistemas de Información Cartográfica, Universidad de Córdoba, Campus de Rabanales, Carretera Nacional IV, km 396, 14014 Córdoba, España.

Abstract. Navarro Cerrillo R. M.; M. A. C. Muñoz, N. A. Kasimis, E. Padrón Cedres, E. Hernández Bermejo, E. Martín Consuegra Fernández & A. García Ferrer. 2012. Vegetation mapping of Bioko Island (Equatorial Guinea) using Landsat 7 ETM+: particularization to Afromontane vegetation type. *Darwiniana* 50(2): 252-265.

Sustainable forest management requires appropriate mapping information. In this work we developed a mapping of the current vegetation of Bioko island (Equatorial Guinea) based on supervised classification of a Landsat 7 ETM+, and a mapping of Afromontane forests, including data distribution, surface and forest types where *Prunus africana* occurs. We propose six new types of transitional vegetation between Guinean-Congolese forest and Afromontane forests and different secondary Afromontane formations. The vegetation map of Bioko had a Kappa coefficient of 0.69. Difficulties were encountered in separating secondary lowland forest classes from transition zones between Guineo-Congolian and Afromontane forests. Accuracy was highly improved when a second classification was restricted to the island's Afromontane vegetation (>1400 m a.s.l.), yielding a Kappa coefficient of 0.81. Our results have appropriate accuracy for forest management demonstrating that remote sensing is a useful source for mapping development, especially in tropical areas with difficult access.

Keywords. Africa; Afromontane vegetation; forest cartography; *Prunus*; remote-sensing, satellite images; vegetation types.

Resumen. Navarro Cerrillo R. M.; M. A. C. Muñoz, N. A. Kasimis, E. Padrón Cedres, E. Hernández Bermejo, E. Martín Consuegra Fernández & A. García Ferrer. 2012. Cartografía de la vegetación de la isla de Bioko (Guinea Ecuatorial) mediante el uso de imágenes Landsat 7 ETM+: particularización al piso afromontano. *Darwiniana* 50(2): 252-265.

La gestión forestal sostenible requiere de una información cartográfica adecuada. En este trabajo se elaboró una cartografía actual de la vegetación de la isla de Bioko (Guinea Ecuatorial) basada en la clasificación supervisada de una imagen Landsat 7 ETM+, y una cartografía de la vegetación del piso afromontano, que incluye datos de la distribución, la superficie y los tipos forestales con presencia de *Prunus africana*. Se proponen seis nuevos tipos de vegetación de transición entre los bosques Guineo-Congolese y los bosques afromontanos, y distintas formaciones afromontanas secundarias. El mapa de vegetación de Bioko tuvo un coeficiente Kappa de 0,69. Los principales errores se asociaron a las clases correspondientes a bosque secundarios de tierras bajas y a las zonas de transición entre los bosques congolese y afromontanos. La fiabilidad del análisis mejoró en una segunda clasificación restringida a la vegetación afromontana de la isla (> 1400 m s.m.), obteniéndose un coeficiente Kappa de 0,81. En este trabajo se muestra la utilidad de la teledetección para la elaboración de cartografía en zonas tropicales de escasa accesibilidad, dado que se obtuvieron resultados con una fiabilidad adecuada para la gestión forestal.

Palabras clave. África; cartografía forestal; imágenes satelitales; *Prunus*; teledetección; tipos de vegetación; vegetación afromontana.

INTRODUCCIÓN

Los bosques tropicales húmedos representan los biomas terrestres con la mayor diversidad de especies de flora en el mundo. Este tipo de bosque cubre solamente el 7% de la superficie terrestre y, sin embargo, contiene más del 50% de las especies identificadas en la actualidad (FAO, 2003). Los ecosistemas tropicales presentan estructuras complejas, tanto vertical como horizontalmente, producto de la variabilidad espacial y de la dinámica temporal (Richards, 1981; Hitimana et al., 2004). En parte, la diversidad de estos ecosistemas se debe a la existencia de perturbaciones frecuentes a diferentes escalas que generan una variabilidad de condiciones que facilita la interacción de hábitats y especies (Ricklefs, 1987). En el conjunto de los bosques tropicales, los bosques africanos húmedos han sido más estudiados (White, 1983; Fomete & Tchanou, 1998; Bussmann, 2006; Schmidt et al., 2010) que los bosques afromontanos (Martin et al., 2000; Hall et al., 2000b).

La isla de Bioko se encuadra dentro de la región florística Guineo-Congoleña, que se extiende en una estrecha franja a ambos lados del Ecuador, desde la costa atlántica hasta las estribaciones occidentales de la “dorsal de Kibú” (White, 1983), por lo que sus bosques corresponden a bosques pluviales tropicales. La temperatura media es elevada, generalmente superior a 20°C, si se exceptúan las zonas montañosas. Dentro de esta región, se distingue la dorsal de montaña de Camerún, al que Bioko se adscribe por su importante altitud y sus semejanzas florísticas (Exell, 1952, 1973a, 1973b; White, 1983; Figueiredo, 1994; Pérez del Val, 1999; Martin et al., 2000; Aedo-Pérez et al., 2001; Zafra-Calvo et al. 2010). Bioko y la dorsal montañosa de Camerún tienen similitudes florísticas, con al menos 129 especies vegetales en común (Pérez del Val, 1999). Ambas zonas tienen una distribución altitudinal similar de la vegetación, con formaciones de bosque tropical húmedo en las zonas bajas, bosques pluviosos de montaña y bosques afromontanos en las partes más elevadas, que culminan en zonas con formaciones afroalpinas (Guinea, 1949, 1951; Exell, 1952; Fa, 1991). En varios trabajos se ha descrito la distribución de la vegetación de Bioko (Nosti, 1947a; Guinea, 1951; Adams, 1957; Ocaña, 1960; Exell 1973a; Fernández Casas & Morales, 1995). Guinea (1949) propuso una cartografía de vegetación para la isla, posteriormente modificada parcialmente por Ocaña (1960). Los estudios más recientes de la ve-

getación de Bioko (Fa, 1991; Jones, 1994; Juste & Fa, 1994; Pérez del Val, 1999; Aedo Pérez et al., 2001), en conjunto, corresponden a revisiones más o menos amplias de los trabajos previos.

Prunus africana (Hook. f.) Kalkman, “pygeum”, es una especie de la familia Rosaceae que forma parte de los bosques montanos de África tropical en altitudes entre 900 y 3000 m (Graham, 1960). Esta especie crece en zonas con una temperatura media anual entre 18-26°C, y una precipitación media anual de 2000 mm (Achoudong, 1995). Se distribuye principalmente en la parte oriental de África, desde donde se extiende hacia la zona central del continente (Katanga, República Democrática del Congo), y hacia el oeste con poblaciones remanentes (Bioko, Camerún, Nigeria, Santo Tomé y Angola hasta Transkei en Sudáfrica) (Hall et al., 2000a). *Prunus africana* se puede encontrar tanto en los bosques de transición entre los bosques de pluvilsilva baja y los bosques afromontanos (donde aparece en forma de pies dispersos), como en los bosques afromontanos de altura donde puede llegar a ser una de las especies dominantes, como en el caso de los bosques afromontanos de Uganda, donde se denominan bosques montanos húmedos de *Prunus* (Hall et al., 2000a).

A partir de los años noventa los datos e imágenes satelitales comenzaron a utilizarse de forma más frecuente en el estudio de ecosistemas forestales, y se desarrollaron varios estudios en África (Foody & Hill, 1996; FAO, 2004; Mayaux et al., 2004; Thibaut Kaptué et al., 2011). Recientemente se publicaron los primeros trabajos de evaluación de bosques de *P. africana* con ayuda de sensores remotos (Boyd & Duane, 2001; Thenkabail et al., 2004). Sin embargo, a pesar del desarrollo de este tipo de estudios en bosques tropicales, en el caso de los bosques afromontanos, los mapas elaborados a partir de la interpretación de imágenes de satélite siguen siendo insuficientes para conocer su distribución, dada su escasa resolución espacial.

Como respuesta a la histórica explotación de *P. africana* y los crecientes indicios del deterioro de las poblaciones de esta especie en muchas zonas de su área de distribución, la especie fue incluida en el Apéndice II del “Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES)” en 1994 (CITES, 2010). Las especies incluidas en el Apéndice II requieren para su explotación la elaboración de un Dictamen de Explotación no Perjudicial (“non-detriment finding”, NDF), que asegure que la explotación de la especie

es sostenible. Los NDF deben basarse en información contrastada sobre la distribución actual de la especie, el estado de las poblaciones, su dinámica y sus alternativas de gestión (CITES, 2010). En este marco, se ha propuesto una metodología dirigida a estimar la producción comercial de corteza de *P. africana* en Guinea Ecuatorial, a partir de una cartografía actualizada de la vegetación de la isla de Bioko (Clemente et al., 2006; Navarro Cerrillo et al., 2008). En 2008, the International Expert Workshop on CITES Non-Detriment Findings propuso una guía para la elaboración de NDFs que confirma la necesidad de disponer de una cartografía adecuada de la distribución de especies objeto de NDF (CITES, 2010; Smith et al., 2011).

En este contexto, el objetivo de este trabajo es elaborar una cartografía actual de la vegetación de la isla de Bioko (Guinea Ecuatorial) basada en la clasificación supervisada de una imagen Landsat 7 ETM+. En un segundo nivel de detalle se realizó una cartografía de la vegetación del piso afro-montano, que incluye datos de la distribución, la superficie y los tipos forestales con presencia de *Prunus africana*. Estos objetivos contribuyen a la elaboración de Dictámenes de Extracción no Perjudicial de la especie en el marco de las recomendaciones realizadas por el Trees Working Group de CITES (CITES, 2010).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La República de Guinea Ecuatorial está formada por tres territorios: Río Muni (26017 km²), Bioko (2017 km²) y Annobon (17 km²). La Isla de Bioko presenta una forma rectangular orientada de NE a SO, a 32 km de las costas de Camerún, y con un tamaño aproximado de 75 x 25 km (Fig. 1). La isla forma parte del complejo volcánico constituido por Monte Camerún, Santo Tomé, Príncipe y Annobon, y como continuación de este complejo volcánico, la isla esta dominada por tres grandes volcanes: el Pico Basilé (3010 m) en el norte, el Pico Biao (2010 m) y la Gran Caldera de Luba (2261 m) en el sur (Terán, 1962).

El clima de Bioko, como corresponde por su proximidad con el Ecuador, se caracteriza por una zona de inestabilidad con abundantes precipitaciones, con una media anual que varía entre los 1932 mm en Malabo y 10150 mm en Ureka,

en el sur. En Malabo la temperatura media anual es de 24,8°C, en tanto que la del mes más cálido, marzo, es de 25,8°C, y la del mes menos cálido, agosto, es de 23,8°C. Un cinturón de nieblas de evolución diurna puede aparecer, fundamentalmente desde los 800 a los 1800 m, contribuyendo a la creación de una atmósfera casi saturada de agua entre esas cotas (Terán, 1962). Los suelos de la isla de Bioko están poco estudiados y están tipificados como suelos "braunlehm", relativamente ricos en hidróxido de hierro, de color rojizo a pardo, pobres en fósforo, potasio y calcio, y ricos en materia orgánica (FAO, 2000), dominando los litosoles, nitrosoles eutríticos y andosoles ocríticos.

Clasificación y leyenda previa de la vegetación

La zona de estudio para este trabajo correspondió a toda la isla de Bioko. La cartografía de referencia utilizada está basada en Guinea (1949) (Tabla 1; Fig. 1) que fue descrita con mayor detalle en estudios posteriores (Nosti, 1947a; Guinea, 1951; Adams, 1957; Ocaña, 1960). Un resumen más amplio de la vegetación de cada uno de los pisos de vegetación puede encontrarse en Clemente et al. (2006), con una actualización de la flora forestal del piso afro-montano.

Procesamiento de las imágenes

En este trabajo se ha empleado una imagen Landsat ETM+ adquirida el día 6 de marzo de 2003 (Path 187, Row 58), que cubre la totalidad del área de estudio. Se seleccionó esa imagen ya que estaba libre de nubes y correspondía a un momento fenológico adecuado para favorecer la diferenciación de tipos de vegetación. La imagen fue descargada de USGS Global Land Cover Facility (<http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/>). Se obtuvo como información complementaria un Modelo Digital de Elevaciones de 90 m de resolución espacial (<http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/>) (Kasimis, 2005).

La imagen fue suministrada con una corrección geométrica previa. En cuanto a la corrección radiométrica, se realizó usando los métodos estándar para transformar los datos digitales a radiancia espectral por la fórmula de Markham & Barker (1985) y posteriormente pasados a reflectividad por medio del uso de la distancia tierra-sol, la irradiancia solar y el ángulo cenital para el día y la hora en que fue tomada la imagen (Chuvieco, 1996). Para las correcciones geométricas y radiométricas se usaron

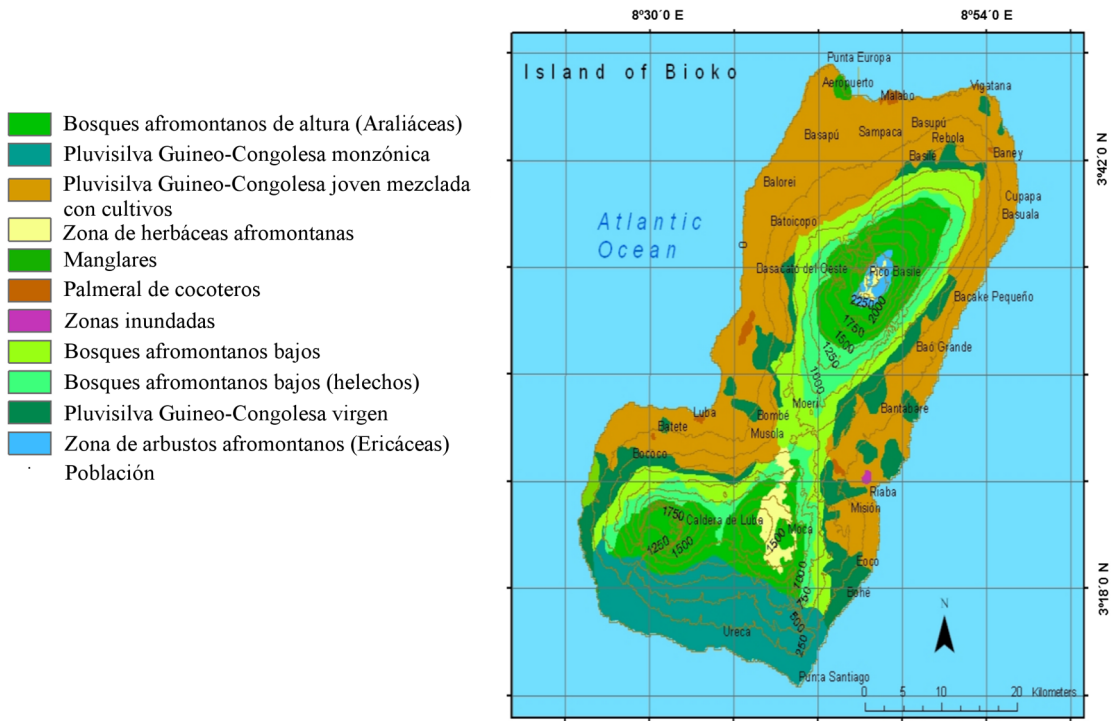


Fig. 1. Mapa de la vegetación de la Isla de Bioko (Guinea Ecuatorial) adaptado de Guinea (1949). Algunos tipos de vegetación recogidos en la Tabla 1 carecen de representación cartográfica por su escasa superficie. Figura en color en la versión online <http://www.ojs.darwin.edu.ar/index.php/darwiniana/articulo/view/433/471>.

los coeficientes correspondientes para cada una de las bandas 1 a 5 y 7 de los ficheros de cabecera de las imágenes Landsat.

Se estudió la conveniencia de realizar correcciones atmosféricas absolutas para trabajar con reflectividad real pero, según afirman algunos autores (Song et al., 2001), los métodos para calcular la reflectancia real no son necesariamente los más efectivos a la hora de realizar estudios de análisis de cambios en la vegetación, por lo que se descartó esa posibilidad.

Cartografía actual de la vegetación

Áreas de entrenamiento. Se seleccionaron 60 zonas de entrenamiento en los intervalos altitudinales considerados, de acuerdo a la distribución propuesta por Guinea (1949). Los desplazamientos dentro de Bioko están restringidos, por lo que las observaciones de campo se hicieron en función de los itinerarios autorizados y las limitaciones de accesibilidad a todas las categorías de usos del suelo considerados. La información recogida en esta primera fase de trabajo se limitó a la asignación visual den-

tro de cada uno de los tipos de vegetación definidos en la leyenda previa propuesta por Guinea (1949), la cual fue ampliada de acuerdo a las características actuales de la vegetación cuando los tipos de vegetación encontrados no se correspondían con ninguno de los propuestos por ese autor. Los manglares, aunque se cartografiaron, presentaron una escasa representación superficial (datos no incluidos). Todos los puntos fueron georeferenciados con un GPS (GPS navegador, Magellan Meridian Color, error medio PDOP: 10 m).

En el caso particular de los bosques afromontanos, se diseñó un inventario de especies arbóreas más completo de la zona de estudio, al tratarse del área de distribución de *Prunus africana*, tomando como referencia otros inventarios en bosques tropicales africanos (Acworth et al., 1998; Wong, 2000). Se realizó un inventario sistemático con punto de arranque aleatorio y con toma de datos cada 100 m siguiendo trochas de extracción ya existentes (Clemente et al., 2006). Como primer paso se estratificó toda el área boscosa de acuerdo a la distribución altitudinal del bosque afromontano (> 1400

Tabla 1. Distribución altitudinal de los principales tipos de vegetación de la Isla de Bioko (Guinea Ecuatorial).

Intervalo altitudinal	Guinea (1949)	Este trabajo	Abreviaturas
0 - 20 m	Manglares	Manglares	-
	Pluvilsilva Guineo-Congoleesa costera	Pluvilsilva Guineo-Congoleesa costera	GCC
	Pluvilsilva Guineo-Congoleesa joven mezclada con cultivos	Pluvilsilva Guineo-Congoleesa joven mezclada con cultivos	GCSJ
	Pluvilsilva Guineo-Congoleesa virgen	Sin clase	-
20 - (600)800 m	Pluvilsilva Guineo-Congoleesa degradada mezclada con cultivos abandonados y palmerales	Pluvilsilva Guineo-Congoleesa degradada mezclada con cultivos abandonados y palmerales	GCSM
	Palmeral de cocoteros	Pluvilsilva Guineo-Congoleesa secundaria recuperada	-
	Pluvilsilva Guineo-Congoleesa monzónica	Sin clase	-
	Pluvilsilva Guineo-Congoleesa monzónica	Pluvilsilva Guineo-Congoleesa monzónica	GCMZ
(600)800(1000) /1400 - 1500 m	Pastos	Pluvilsilva Guineo-Congoleesa monzónica degradada	GCDC
	Agricultura	Pastos	PAST
	Bosque afro montano bajo primario	Sin clase	-
	Bosque afro montano de altura (Araliáceas)	Pluvilsilva Guineo-Congoleesa mezclada con elementos afro montanos	GCA
1400/1500 - 2500 m	Bosque afro montano bajo primario	Bosque afro montano bajo primario	ABJ
	Bosque afro montano de altura (Araliáceas)	Bosque afro montano de altura (Araliáceas)	AAL
		Bosque afro montano secundario joven	AFS
		Bosque afro montano secundario maduro	ASC
2500 - 2700 m	Zona de arbustos afro montanos (Ericáceas)	Pastos artificiales afro montanos y agricultura	AGR
	Zona de herbáceas afro montanas	Zona de arbustos afro montanos (Ericáceas)	ER
2700 - 3000 m	Zona de herbáceas afro montanas	Zona de herbáceas afro montanas	PSAF

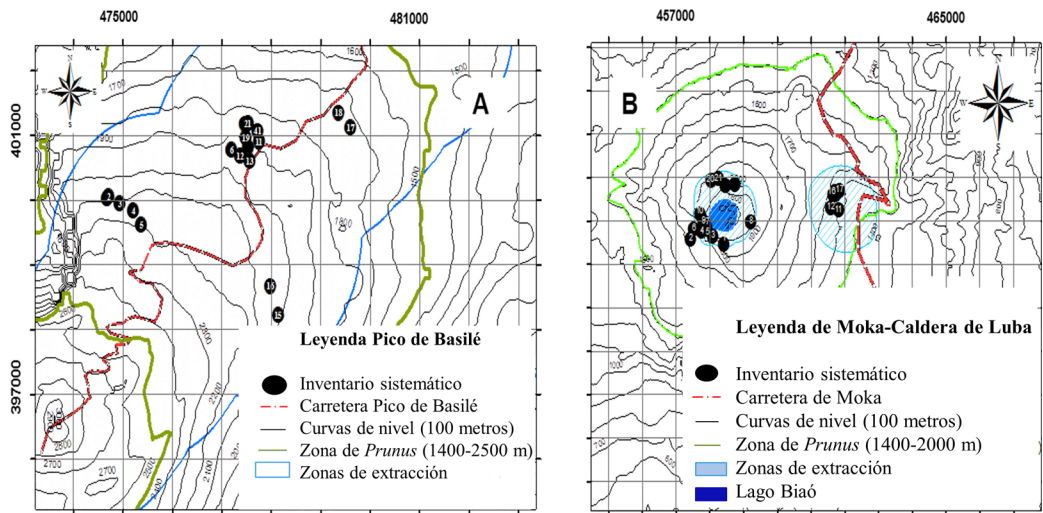


Fig. 2. Mapa de distribución de parcelas de campo en el Parque Nacional Pico de Basilé (A) y en Moka-Caldera de Luba (B) (derivado de los puntos GPS) (WGS 84; Huso 32 N). Figura en color en la versión online <http://www.ojs.darwin.edu.ar/index.php/darwiniana/article/view/433/471>.

m s.m.), por ser el límite inferior de distribución de *P. africana* (Guinea, 1949). Después de realizar un reconocimiento ocular satisfactorio, se localizaron dos áreas de muestreo. La primera en la carretera al Pico Basilé, entre el km 14 y el 20, que se consideró representativa de la zona de estudio, y del cual parten las trochas de aprovechamiento utilizadas durante la extracción de la corteza de *P. africana* (Fig. 2a). La razón de adecuar la distribución de las parcelas a las sendas marcadas, es la imposibilidad de abrir nuevas trochas (tiempo de apertura de 1 hora cada 100 m de avance), por lo que se mantuvo el carácter sistemático dentro de la transecta correspondiente a cada una de las sendas de aprovechamiento existentes. La segunda zona de muestreo fue el complejo Moka-Caldera de Luba, donde se seleccionaron aquellas zonas accesibles con presencia probada de la especie en las proximidades del pico Biao (Fig. 2b).

Se optó por parcelas circulares de 20 m de radio. Se tomaron 41 parcelas de muestreo en los tipos de vegetación afromontano (Fig. 2a y b). El procedimiento seguido para el replanteo de las parcelas fue el siguiente: 1) se seleccionó una trocha de extracción de *P. africana* (siete trochas de extracción en Pico de Basilé y cinco en Moka). Las trochas presentaron una longitud variable, oscilando entre 500 y 2000 m. La trocha principal se consideró la línea de inventario; 2) cada 100 m (calculado a par-

tir de 10 minutos de tiempo de avance) se estableció una parcela sistemática. Se determinó el centro de la parcela y se estableció un área de parcela de un círculo de 20 m de radio empleando cinta métrica. El centro de la parcela fue un árbol georreferenciado con GPS.

Algoritmo de clasificación y validación. Los estudios de clasificación de bosques tropicales en diferentes estados de sucesión, recomiendan para el sensor Landsat TM el uso de las bandas 3, 4 y 5 (Foody, 2002; Kasimis, 2005). En este trabajo, y de acuerdo al criterio anterior, se hizo una clasificación supervisada mediante el clasificador de máxima probabilidad utilizando las tres bandas indicadas. Es un algoritmo de clasificación paramétrico muy utilizado por su robustez y por utilizar la información espectral píxel a píxel (Chuvieco, 1996).

La clasificación se procesó tomando en cada punto de muestreo 10 píxeles próximos que presentaban una firma espectral similar a la de la zona de entrenamiento georreferenciada (diferencia $\pm 10\%$). De todos los píxeles seleccionados, N=600 para la vegetación de Bioko y N=410 para el piso afromontano, aproximadamente dos tercios se utilizaron para hacer la clasificación (N=400 y N=280, respectivamente), y el resto para la validación. La validación de la clasificación se hizo mediante una matriz de confusión considerando el resto de los

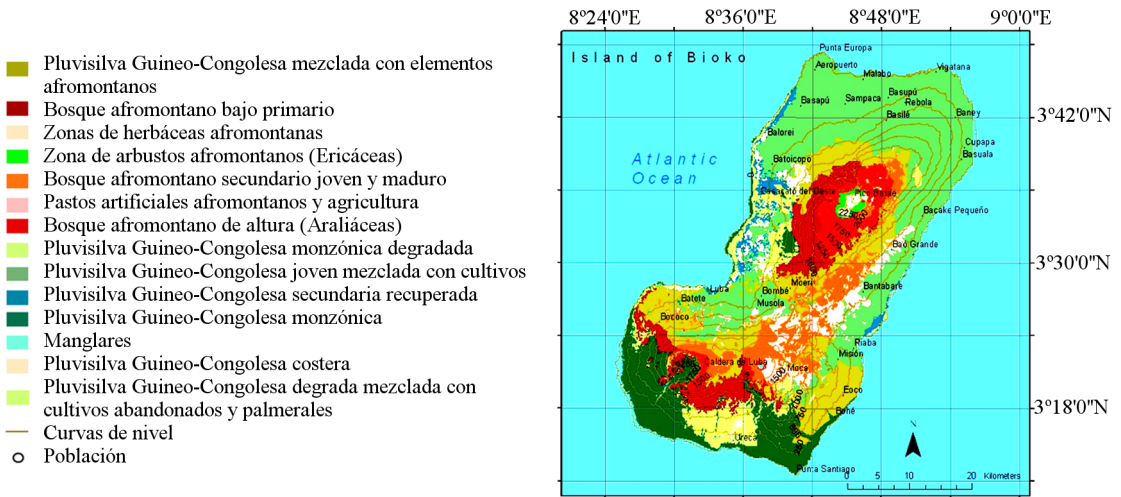


Fig. 3 . Distribución de los tipos de vegetación de la Isla de Bioko (Guinea Ecuatorial) a partir de la clasificación supervisada de una imagen Landsat 7-ETM. Algunos tipos de vegetación recogidos en la Tabla 1 carecen de representación cartográfica por su escasa superficie. Figura en color en la versión online <http://www.ojs.darwin.edu.ar/index.php/darwiniana/article/view/433/471>.

Tabla 2. Superficies de los principales tipos de vegetación de Bioko según Guinea (1949) y los obtenidos de la clasificación supervisada de una imagen Landsat ETM+. Con asterisco se indican las nuevas clases propuestas en este trabajo. Los manglares han sido cartografiados pero no se incluyen valores de superficie. Los tipos Bosque afromontano secundario joven y Bosque afromontano secundario maduro se indican juntos.

Tipos de vegetación	Guinea (1949) (ha)	Clasificación supervisada (ha)
Pluvisilva Guineo-Congolese costera	2599	1255,68
Pluvisilva Guineo-Congolese joven mezclada con cultivos	74135	69937,20
Pluvisilva Guineo-Congolese virgen	19950	Sin clase
Pluvisilva Guineo-Congolese degradada mezclada con cultivos abandonados y palmerales	974	4360,32
* Pluvisilva Guineo-Congolese secundaria recuperada	Sin clase	4022,28
Palmeral de cocoteros	2333	Sin clase
Pluvisilva Guineo-Congolese monzónica	23174	23115,24
* Pluvisilva Guineo-Congolese monzónica degradada	Sin clase	12311,64
Pastos	(Sin dato)	809,64
* Pluvisilva Guineo-Congolese mezclada con elementos afromontanos	Sin clase	30188,88
Bosque afromontano bajo primario	17305	15435,36
* * Bosque afromontano secundario joven y maduro	Sin clase	14339,88
Bosque afromontano de altura (Araliáceas)	29280	8841,24
* Pastos artificiales afromontanos y agricultura	Sin clase	9162,00
Zona de arbustos afromontanos (Ericáceas)	1390	810,00
Zona de herbáceas afromontanas	3321	805,68
Total	174461	195395,04

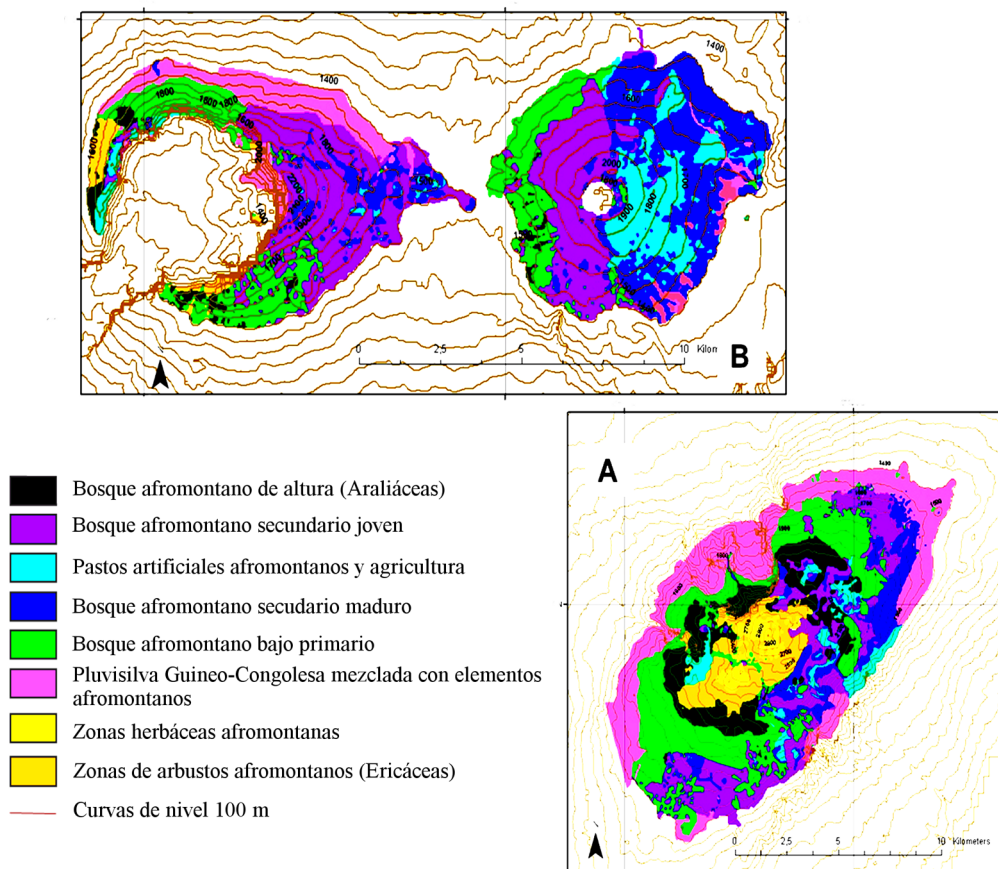


Fig. 4. Distribución de los tipos de vegetación afro montanos (altura > 1400 m s.m.) de la Isla de Bioko (Guinea Ecuatorial) en el Parque Nacional Pico de Basilé (A) y en Moka-Caldera de Luba (B) a partir de la clasificación supervisada de una imagen Landsat 7-ETM. Figura en color en la versión online <http://www.ojs.darwin.edu.ar/index.php/darwiniana/article/view/433/471>.

RESULTADOS

pixeles seleccionados (N=200 y N=130, respectivamente), y se evaluó la fiabilidad asociada y el estadístico Kappa para cada una de las clasificaciones (Foody & Hill, 1996; Kasimis, 2005). Valores superiores a 0,80 de este estadístico indican un grado de fiabilidad muy alto en la clasificación, valores entre 0,40 y 0,80 representan un grado de acierto moderado. La cartografía final se realizó mediante la conversión de la imagen en formato raster a formato vectorial, y el paso de un filtro de 3 x 3 píxeles.

El tratamiento previo de las imágenes y la clasificación se hizo utilizando el programa informático ERDAS 8.6® (Erdas, Inc. www.erdas.com) y la cartografía final mediante el programa ArcGis9.0® (www.esri.es).

En las Figs. 3 y 4 se muestra la cartografía de vegetación obtenida a partir de la clasificación supervisada de la vegetación para Bioko y para el piso afro montano (altura superior a 1400 m), que corresponde a la zona de distribución de *Prunus africana* en el Pico de Basilé, Moka y Caldera de Luba.

En la Tabla 2 se comparan los tipos de vegetación propuestos por Guinea (1949) con los obtenidos aquí mediante la clasificación supervisada de la imagen Landsat-ETM, así como las superficies obtenidas en ambos trabajos. El número de clases se incrementó en seis (indicadas con asterisco en la Tabla 2), entre las que se destacan por su importancia superficial la pluvissilva Guineo-Congolesa mezclada con elementos afro montanos y

Tabla 3. Superficies de los principales tipos de vegetación del piso afromontano (> 1400 m s.m.) en Bioko según Guinea (1949) y los obtenidos de la clasificación supervisada de una imagen Landsat ETM+ para el Parque Nacional Basilé y el complejo Moka-Caldera de Luba. Con asterisco se indican las nuevas clases propuestas en este trabajo.

Tipos de vegetación	Guinea, 1949 (ha)	Clasificación supervisada (ha)
* Pluvisilva Guineo-Congoleza mezclada con elementos afromontanos	Sin clase	4440,15
Bosque afromontano bajo primario	17305	4861,08
* Bosque afromontano secundario joven	Sin clase	2955,96
* Bosque afromontano secundario maduro	Sin clase	5071,59
Bosque afromontano de altura (Araliáceas)	29280	1957,59
* Pastos artificiales afromontanos y agricultura	Sin clase	1720,26
Zona de arbustos afromontanos (Ericáceas)	1390	1324,26
Zona de herbáceas afromontanas	3321	402,39
Total	51296	22733,28

los bosques afromontanos secundarios. El tipo de vegetación dominante en Bioko es la pluvisilva Guineo-Congoleza, en particular las formaciones secundarias jóvenes (69937,20 ha), procedente de antiguos aprovechamientos agrícolas y ganaderos, la pluvisilva Guineo-Congoleza monzónica (23115,24 ha) y la pluvisilva Guineo-Congoleza mezclada con elementos afromontanos (30188,88 ha).

En la Tabla 3 se describen los tipos de vegetación afromontanos obtenidos en la clasificación supervisada del pico de Basilé y Moka-Caldera de Luba. La pluvisilva Guineo-Congoleza mezclada con elementos afromontanos representa una importante superficie (4440,15 ha), donde se encuentran elementos florísticos de ambos tipos de vegetación. La vegetación afromontana primaria todavía está bien representada, con una clara diferenciación altitudinal entre el bosque afromontano bajo primario (4861,08 ha) y el bosque afromontano de altura (Araliáceas) (1957,59 ha). Los bosques afromontanos secundarios jóvenes (2955,96 ha) y maduros (5071,59 ha) cubren también una superficie importante, mezclado con pastizales artificiales y agricultura (1720,26 ha).

La matriz de confusión de la clasificación supervisada de Bioko se incluye en la Tabla 4, y la del piso afromontano en la Tabla 5, así como el valor del estadístico Kappa para cada una de las clasificaciones. En el primer caso se obtuvo una fiabilidad global del 72,01% con estadístico Kappa de 0,69, y en el segundo una fiabilidad global del 79,65% con estadístico Kappa de 0,81. Las fuentes principales de confusión asociadas a la vegetación de Bioko corresponden a la vegetación de transición

de la pluvisilva Guineo-Congoleza y la vegetación afromontana, así como los bosques secundarios intercalados con cultivos agrícolas y pastizales artificiales (Tabla 4). En el caso de la vegetación afromontana, los tipos de vegetación que introducen un mayor error en la clasificación corresponde al bosque afromontano de altura y a la zona de herbáceas afromontanas (Tabla 5).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La aplicación de la teledetección para la clasificación y cartografía de vegetación tropical se ha generalizado en los últimos años, mostrando la utilidad y la fiabilidad de los resultados (FAO, 2004). En trabajos previos se han empleado imágenes procedentes del sensor Landsat (MT, TM y ETM+) para elaborar cartografía de bosques tropicales húmedos, con valores del estadístico Kappa superiores a 0,7 (por ejemplo, Thenkabail et al., 2004). En este estudio, el valor de ese estadístico ha variado entre 0,81 para la cartografía del piso afromontano (Fig. 4), donde el trabajo de campo fue mas preciso, y 0,69 para la cartografía de la vegetación de la Isla de Bioko (Fig. 3), condicionada por la accesibilidad y la representatividad de las zonas de entrenamiento.

Las condiciones fisiográficas y climáticas particulares de Bioko determinan la distribución de la vegetación (Guinea, 1949; Ocaña, 1960), dando lugar a una gran variabilidad de hábitats en un territorio relativamente pequeño. Una cartografía detallada de los tipos de vegetación obtenidos en la clasificación supervisada obtenida a partir de

Tabla 4. Matriz de confusión de la clasificación supervisada de las imágenes Landsat ETM+ de la vegetación de Bioko siguiendo la regla de decisión paramétrica de máxima probabilidad. Los códigos de los tipos de vegetación pueden consultarse en la Tabla 1. (A esta escala ASC y AFS se consideran un único tipo de vegetación. Para la Pluvilsa Guineo-Congoleña secundaria recuperada los puntos fueron insuficientes y no se incluye en este análisis). La fiabilidad de la clasificación fue de 72,01% y el estadístico Kappa = 0,69

	GCC	GCMZ	GCDC	GCSJ	GCSM	PAST	GCA	AGR	ABJ	AAL	ASC/AFS	ER	PSAF
GCC	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
GCMZ	0	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
GCDC	0	0	13	1	3	0	16	1	1	2	0	0	30,95
GCSJ	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	100
GCSM	0	1	7	1	16	0	0	2	0	0	0	0	59,25
PAST	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	100
GCA	0	1	0	5	0	0	21	1	0	0	2	0	67,74
AGR	0	0	0	7	0	7	0	17	2	0	2	0	48,57
ABJ	0	0	0	0	0	0	0	1	6	0	0	0	85,71
AAL	0	0	0	0	0	1	0	4	0	25	1	0	80,64
ASC/ AFS	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	28	0	90,32
ER	0	3	0	1	0	0	0	0	0	4	1	23	71,85
PSAF	0	0	0	0	0	1	6	0	1	0	8	10	39,53
	100	82,85	65	53,12	84,21	76,92	48,83	68	50	78,12	66,66	69,70	100

Tabla 5. Matriz de confusión de la clasificación supervisada de las imágenes Landsat ETM+ de la vegetación del piso afro-montano de Bioko siguiendo la regla de decisión paramétrica de máxima probabilidad. Los códigos de los tipos de vegetación pueden consultarse en la Tabla 1. La fiabilidad de la clasificación fue de 79,65% y el estadístico Kappa = 0,81.

	AGR	GCA	ABJ	AFS	AAL	ASC	ER	PSAF	
AGR	25	0	0	2	0	0	0	0	92,59
GCA	0	24	0	2	0	1	0	0	88,88
ABJ	0	0	45	4	7	1	0	0	78,94
AFS	4	0	6	20	0	1	0	0	64,51
AAL	0	0	4	0	17	1	0	0	77,27
ASC	0	0	0	0	0	18	0	0	100,00
ER	0	0	2	0	2	0	19	0	82,60
PSAF	1	0	0	0	0	0	7	16	66,66
	86,20	100	78,94	71,42	65,38	81,81	73,07	100	

una imagen Landsat ETM+ es un buen indicador de dicha biodiversidad. Las representaciones de bosques primarios más importantes corresponden a la pluvisilva Guineo-Congoleña, y los bosques de transición de este piso con la vegetación afro-montana. En particular, cabe destacar la gran superficie de bosques monzónicos que cubren la parte sur de la isla, y que han sido muy escasamente visitados y estudiados, a pesar de su extraordinaria importancia en la conservación de primates endémicos que existen en el entorno de la Caldera de Luba (Fig. 3) (Hearn et al., 2006). Un estudio detallado de esta vegetación contribuiría a clarificar la relación de la flora de Bioko con otras islas del Golfo de Guinea (Exell, 1952, 1973b), así como con otras zonas continentales florísticamente afines (Fa, 1991; Pérez del Val, 1999) y con un elevado índice de endemidad. En el Golfo de Guinea, se encuentran localidades con vegetación afro-montana en las zonas más elevadas como el Monte Camerún y el macizo volcánico de Bioko, representando una gran singularidad botánica (Exell, 1952). Sin embargo, las formaciones secundarias dominan la vegetación de la isla, cubriendo al menos un 50% de la superficie forestal (Tabla 2). Pérez del Val (1999) menciona que en 1989 había 44400 ha cultivadas con cacao. Esta superficie ha disminuido de manera casi constante como resultado del abandono de los cultivos debido a la inestabilidad política y social que vive el país, quedando reducida a 5000 ha en la última década (Pérez del Val, 1999).

Las formaciones de *P. africana* aparecen en bosques dominados por elementos florísticos de

los bosques Guineo-Congoleños en el piso altitudinal de los bosques afro-montanos (White, 1983), con precipitaciones entre 1250-2500 mm (con siete o más meses de precipitación superior a 50 mm) (Hall, 2000a). Los bosques afro-montanos en Bioko suministran un hábitat óptimo para *P. africana*, de acuerdo a los requerimientos ecológicos de la especie (Hall, 2000a). La especie se encuentra presente en todos los tipos de bosques afro-montanos, en particular en los bosques afro-montanos bajos y de altura (Araliáceas) (Fig. 4; Tabla 2 y 3). La importancia relativa de *P. africana* en la composición de la vegetación de los bosques afro-montanos (Clemente et al., 2006; Navarro Cerrillo et al., 2008), varía de acuerdo a los tipos de vegetación descritos. Aunque *P. africana* se distribuye en forma de áreas relativamente dispersas, aparece en su área de distribución en una banda altitudinal entre los 1200 y los 2500 m (Achoudong, 1995; Hall et al., 2000a), aunque en la Isla de Bioko su rango altitudinal quedó establecido entre los 1400 y los 2500 m (Fig. 4). El primer tipo de vegetación donde se puede encontrar *P. africana* es la pluvisilva Guineo-Congoleña mezclada con elementos afro-montanos, definida en el rango altitudinal entre los 800 y los 1800 m (Guinea, 1949). Este bosque se caracteriza por la presencia de árboles de porte medio, con ausencia de palmeras y frecuentes formaciones puras de helechos arborescentes (*Alsophila camerooniana* (Hook.) R.M. Tyron y *A. manniana* (Hook.) R.M. Tyron). Alrededor de los 1400 m la composición florística va cambiando, y aparece un nuevo piso de vegetación caracterizado por la presencia de

Polyscias fulva (Hiern) Harms, *Schefflera mannii* (Hook.f.) Harms y *S. barteri* (Seem.) Harms, árboles de la familia Araliaceae (Guinea, 1949). La cobertura arbustiva está ocupada principalmente por *Mimulopsis solmsii* Schweinf. y *Crassocephalum mannii* (Hook.f.) Milne-Rehd. La mayor parte de este tipo de vegetación aparece en el Pico Basilé, aunque aparecen pequeñas áreas en Moka y Caldera de Luba donde la vegetación se mezcla con especies de los pisos inmediatamente superior e inferior (Tabla 3). En Moka la mayor parte de este tipo de vegetación fue desmontado para la producción de pastos para la ganadería (Nosti, 1947b). Aunque en estudios previos (Guinea, 1949) se describe un cambio de la vegetación a una altitud de 1800 m, en el presente estudio la separación entre los bosques afromontanos bajos y los de altura, ambos con presencia de *P. africana*, se estableció en el límite altitudinal de 1900 m. Los bosques afromontanos con presencia de *P. africana* encontrados en Moka presentaron una mayor heterogeneidad debido al aumento de la acción antrópica (presencia histórica de ganado en las laderas del Pico Biao), y a las características específicas propias del Pico Biao (altitud 2009 m), dominando zonas de pastos y bosques afromontanos secundarios. Este tipo de bosque parece ser particularmente rico en *P. africana*, lo que es esperable dado el carácter de especie colonizadora (Hall et al., 2000a; Navarro Cerrillo et al., 2008). En el Pico Basilé, desde los 2000 a los 2700 m, varios incendios naturales o provocados han sido documentados desde principios del siglo XX hasta la actualidad, dando lugar a formaciones dominadas por especies pirófitas [*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn y especies de *Rubus* L.] y arbustos de *Hypericum revolutum* Vahl (Pérez del Val, 1999).

Sin lugar a dudas, *P. africana* puede considerarse como uno de los elementos más importantes de la flora de los bosques afromontanos de Bioko, lo que hace comparables florísticamente estos bosques con los tipos característicos de otras zonas montañosas de África (Camerún, Etiopía, Uganda, Sudáfrica) (Hall et al., 2000b, Bussmann, 2006). Sin embargo, el papel ecológico de esta especie en Bioko no está claro, pues aunque aparece frecuentemente en bosques afromontanos secundarios, también es un elemento florístico importante de los bosques afromontanos de altura (araliáceas), donde se mezcla con especies del género *Schefflera* J.R.Forst. & G.Forst. que caracterizan esta vegetación.

El uso de imágenes procedentes de sensores re-

motos, tanto de resolución espacial media (Landsat TM y ETM+, ASTER), como de alta resolución espacial (IKONOS, QuickBird), representa una gran contribución al estudio de la vegetación en bosques tropicales húmedos, dada la sencillez de adquisición, el costo, y la calidad de los resultados cuando es posible realizar un apoyo adecuado en el campo (Boyd & Duane, 2001; Thenkabail et al., 2004; Vancutsem et al., 2009). La descripción de la vegetación de Bioko presentada en este trabajo es una nueva contribución al desarrollo de cartografía de vegetación tropical húmeda del oeste de África y contribuye al estudio de la diversidad de hábitats y especies de este territorio. Este trabajo ilustra como, partiendo de una base botánica original derivada de un mapa de vegetación descriptivo de la Isla de Bioko (Guinea, 1949), se ha podido mejorar notablemente dicha cartografía en cuanto a calidad y precisión.

Los mapas de vegetación elaborados a partir de sensores remotos son la mejor opción que existe en la actualidad (Thibaut Kaptué et al., 2011) para obtener la cartografía requerida para la elaboración de Dictámenes de Extracción no Perjudicial, en el marco de CITES, y pueden ser útiles para la conservación de los bosques afromontanos y su gestión sostenible, dada la variedad de recursos florísticos y faunísticos que poseen y que se encuentran en grave riesgo de destrucción por la falta de medidas adecuadas (Zafra-Calvo et al. 2010). La cartografía obtenida se ha utilizado para elaborar los estudios previos de un Dictamen de Extracción no Perjudicial de *Prunus africana* en Bioko a través de la información sobre los dominios de vegetación actual y los modelos de gestión forestal sostenibles (Clemente et al., 2006; Navarro Cerrillo et al., 2008; CITES, 2010), que garantice el establecimiento de cuotas de extracción de corteza con un criterio científico. En el caso específico de los bosques con presencia de *P. africana*, se espera que la cartografía aportada en este trabajo permita la elaboración de Planes de Manejo y Conservación para los bosques afromontanos de Guinea Ecuatorial, evitando su degradación como consecuencia de aprovechamientos forestales no regulados.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España, en colaboración con el Jardín Botánico de Córdoba.

También agradecemos a la empresa NATRACEUTICAL S. A., y al personal de APRA: Giovanni Bandini, Isaías Enoko, Gabino Siloche y Pedro Bopa por su inestimable ayuda en el trabajo de campo. La investigación se ha desarrollado en el Campus de Excelencia CEIA de la Universidad de Córdoba.

BIBLIOGRAFÍA

- Achoudong, G. 1995. *Prunus africana*, Rosacée, essence à découvrir. *Bois et Forêts des Tropiques* 245: 122-124.
- Acworth, J. M.; B. J. Ewusi & D. Ngatoum. 1998. Sustainable Exploitation of *Prunus africana* on Mt. Cameroon. *Symposium on the conservation of medicinal plants in trade in Europe*, 22-23 de junio de 1998, Real Jardín Botánico de Kew, Londres (Gran Bretaña), informe no publicado, 10 pp.
- Adams, C. D. 1957. Observation on the fern flora of Fernando Poo. *Journal of Ecology* 45: 479-494.
- Aedo Pérez, C.; R. Morales, M. Tellería & M. Velayos. 2001. *Botánica y botánicos en Guinea Ecuatorial*. Madrid: Real Jardín Botánico.
- Boyd, D. S. & W. J. Duane. 2001. Exploring spatial and temporal variation in middle infrared reflectance (at 3.75 mm) measured from the tropical forests of West Africa. *International Journal of Remote Sensing* 22: 1861-1878.
- Bussmann, R. 2006. Vegetation zonation and nomenclature of African Mountains. An overview. *Lyonia* 11: 41-66.
- Chuvieco, E. 1996. *Fundamentos de Teledetección espacial*. Madrid: Rialp.
- CITES, 2010. Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora. International Expert Workshop on Non-Detriment Findings. Report of the Animals and Plants Committees (online) <http://www.cites.org/eng/cop/15/doc/E15-16-02-02.pdf> [Consulta: enero 2011].
- Clemente Muñoz, C.; R. M. Navarro Cerrillo, N. Kasimis, E. Hernandez-Bermejo, E. Padrón-Cedrés, E. Martín Consuegra, R. Hernandez Clemente & A. García Ferrer. 2006. *Evaluation of the harvest of Prunus africana bark on Bioko (Ecuatorial Guinea): guidelines for a management plan*. Córdoba: Servicio de Publicaciones de Córdoba, Universidad de Córdoba.
- Exell, A. W. 1952. The vegetation of the islands of the Gulf of Guinea. *Lejuinia* 16: 57-66.
- Exell, A. W. 1973a. Angiosperms of the islands of the Gulf of Guinea (Fernando Poo, Príncipe, São Tomé and Annobón). *Bulletin of the British Museum (Natural History)* 4: 327-411.
- Exell, A. W. 1973b. Relações florísticas entre as ilhas do Golfo da Guiné e destas com o continente africano. *Garcia de Orta, Serie Botanica* 1: 3-10.
- Fa, J. 1991. *Conservación de los ecosistemas forestales de Guinea Ecuatorial*. Gland: International Union for Conservation of Nature.
- FAO. 2000. *Digital soil map of the world and derived soil properties*. Land and Plant Nutrition Management Services (online). <http://www.fao.org/ag/agl/agll/dsmw.stm> [Consulta: noviembre 2004].
- FAO. 2003. *The State of the World's Forests 2003*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. 2004. *The Africover Initiative*. Food and Agricultural Organisation (online). <http://www.africover.org/documents.htm> [Consulta: diciembre 2009].
- Fernández Casas, J. & R. Morales. 1995. Proyecto de una flora de la isla de Bioko (Guinea Ecuatorial). *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 52: 230-240.
- Figueiredo, E. 1994. Diversity and endemism of angiosperms in the Gulf of Guinea islands. *Biodiversity and Conservation* 3: 785-793.
- Fomete, N. T. & Z. Tchanou. 1998. *Management of forest ecosystems of Cameroon, Gabon and Equatorial Guinea*. Yaounde: International Union for Conservation of Nature.
- Foody, G. M. 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment* 80: 185-201.
- Foody, G. M. & R. A. Hill. 1996. Classification of tropical forest classes from Landsat TM data. *International Journal of Remote Sensing* 17: 2353-2367.
- Graham, R. 1960. *Flora of Tropical East Africa*. Londres: Crown Agents for Overseas, Government and Administrators.
- Guinea, E. 1949. *En el país de los Bubis. Relato ilustrado de mi primer viaje a Fernando Poo*. Madrid: Instituto de Estudios Africanos-Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Guinea, E. 1951. *La vegetación de Fernando Poo. Santa Isabel. Fernando Poo, Guinea Ecuatorial*. Madrid: Instituto de Estudios Africanos-Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Hall, J. B.; E. M. O'Brien & F. L. Sinclair. 2000a. *Prunus africana: a monograph*, vol 18. Bangor: School of Agricultural and Forest Sciences, University of Wales.
- Hall, J. B.; E. M. O'Brien & M. Munjuga. 2000b. Ecology and Biology, en J. B. Hall, E. M. O'Brien & F. L. Sinclair (eds.), *Prunus africana: a monograph*, vol. 18, pp. 3-25. Bangor: School of Agricultural and Forest Sciences, University of Wales.
- Hearn, G. W.; W. A. Morra & T. M. Butynski. 2006. Monkeys in trouble: The rapidly deteriorating conservation status of the monkeys on Bioko Island, Equatorial Guinea (online). http://bioko.org/wp-content/uploads/2011/11/3b_2006monkeysintroublev8.pdf [Consulta: julio 2008].
- Hitimana, J.; J. Legilisho & J. Thairu. 2004. Forest structure characteristics in disturbed and undisturbed sites of Mt. Elgon Moist Lower Montane Forest, western Kenya. *Forest Ecology and Management* 194: 269-277.
- Jones, P. J. 1994. Biodiversity in the Gulf of Guinea: an overview. *Biodiversity and Conservation* 3: 772-784.
- Juste, J. B. & J. E. Fa 1994. Biodiversity conservation in the Gulf of Guinea islands: taking stock and preparing action. *Biodiversity and Conservation* 3: 759-771.

- Kasimis, N. 2005. Mapping of afromontane forest and vegetation of Bioko Island (Equatorial Guinea) using Landsat ETM+ data. Tesis de Master en Ciencias. Universidad de Córdoba-Mediterranean Agronomic Institute of Chania.
- Markham, B. L. & J. L. Barker. 1985. Spectral characterization of the Landsat Thematic Mapper sensors. *International Journal of Remote Sensing* 6: 697–716.
- Martin C.; J. M. Onana & B. J. Pollard. 2000. *The plants of Mount Oku and the Ijim Ridge, Cameroon, A conservation checklist*. Londres: Real Jardín Botánico de Kew.
- Mayaux, P.; E. Bartholomé, S. Fritz & A. Belward. 2004. A new land cover map of Africa for the year 2000. *Journal of Biogeography* 31: 861–877.
- Navarro Cerrillo, R. M.; M. Clemente, E. Padrón, E. Hernandez-Bermejo, A. García-Ferrer & N. Kasimis. 2008. Forest structure in harvested sites of Afromontane forest of *Prunus africana* (Hook. f.) Kalkman, in Bioko (Equatorial Guinea). *African Journal of Ecology* 46: 620–630.
- Nosti, J. 1947a. El bosque en Fernando Poo. *Africa* 6: 66–67.
- Nosti, J. 1947b. *Notas Geográficas, Físicas, y Económicas sobre los Territorios Españoles del Golfo de Guinea*. Madrid: Instituto de Estudios Africanos-Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Ocaña García, M. 1960. Factores que influyen la distribución de la vegetación en Fernando Poo. *Anales del Instituto de Estudios Africanos* 55: 67–85.
- Pérez del Val, J. 1999. *Bioko (General Background; Climate; Flora and Vegetation; Geography and Geology)* (online). http://www.gcgcg.st/bioko/Bioko_bkgnd.htm [Consulta: enero 2005].
- Richards, P. 1981. *The Tropical Rainforest: An Ecological Study*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ricklefs, R. E. 1987. Community diversity: relative roles of local and regional processes. *Science* 235: 167–171.
- Schmidt, M.; T. Janssen, S. Dressler, K. Hahn-Hadjali, M. Hien, S. Konaté, A. M. Lykke, A. Mahamane, B. Sambou, B. Sin-sin, A. Thiombiano, R. Wittig & G. Zizka. 2010. *West African Vegetation Database* (online). <http://www.westafrican-vegetation.org> [Consulta: diciembre 2009].
- Smith, M.; H. Benítez-Díaz, M. Clemente-Muñoz, J. Donaldson, J. Hutton, N. McGough, R. Medellín, D. Morgan, C. O’Criadain, T. Oldfield, U. Schippmann & R. Williams. 2011. Assessing the impacts of international trade on CITES-listed species: Current practices and opportunities for scientific research. *Biological Conservation* 144: 82–91.
- Song, C.; C. Woodcock, K. Seto, M. Lenney & S. MaComber. 2001. Classification and change detection using Landsat TM data: When and how to correct atmospheric effects? *Remote Sensing of Environment* 75: 230–244.
- Terán, M. 1962. *Síntesis geográfica de Fernando Poo*. Madrid: Instituto de Estudios Africanos-Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Thinkabail, P. S.; E. Enclona, M. Ashton, C. Legg & M. Jean de Dieu. 2004. Hyperion, IKONOS, ALI, and ETM+ sensors in the study of African rainforests. *Remote Sensing of Environment* 90: 23–43.
- Thibaut Kaptué, A.; S. De Jong, J. Louis Roujean, C. Favier & C. Mering. 2011. Ecosystem mapping at the African continent scale using a hybrid clustering approach based on 1-km resolution multi-annual data from Spot/Vegetation. *Remote Sensing of Environment* 115: 452–464.
- Vancutsem, C.; J. Pekel, C. Evrard, F. Malaisse, P. Defourny. 2009. Mapping and characterizing the vegetation types of the Democratic Republic of Congo using SPOT time series. *International Journal of Applied Earth and Geoinformation* 11: 62–76.
- White, F. 1983. *The vegetation of Africa, a descriptive memoir to accompany the UNESCO/AETFAT/UNSO Vegetation Map of Africa* (3 Plates, Northwestern Africa, Northeastern Africa, and Southern Africa, 1:5,000,000). Paris: UNESCO.
- Wong, J. 2000. *Biometrics and NTFP Inventory* (online) <http://www.etfrn.org/etfrn/workshop/ntfp/> [Consulta: noviembre 2004].
- Zafra-Calvo, N.; R. Cerro, T. Fuller, J. Lobo, M. Rodríguez & S. Sarkar. 2010. Prioritizing areas for conservation and vegetation restoration in post-agricultural landscapes: A Biosphere Reserve plan for Bioko, Equatorial Guinea. *Biological Conservation* 143: 787–794.