



**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA**

**Instituto de Estudios de Postgrado**

**Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y de Montes**

**MÁSTER OFICIAL EN GEOMÁTICA, TELEDETECCIÓN Y  
MODELOS ESPACIALES APLICADOS A LA GESTIÓN FORESTAL**

**TESIS DE MÁSTER – CURSO ACADÉMICO 2015-16**



**APLICACIÓN DE SENSORES  
MULTIESPECTRALES PARA LA TIPIFICACIÓN  
DE BOSQUE DE MIOMBO EN EL MUNICIPIO DE  
BAILUNDO (HUAMBO-ANGOLA)**

**ISAÚ ALFREDO BERNARDO QUISSINDO**

(Financiado por la Task 137 del proyecto SASSCAL)

Córdoba - Andalucía

Diciembre de 2016



**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA**

**Instituto de Estudios de Postgrado**

**Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y de Montes**

**MÁSTER OFICIAL EN GEOMÁTICA, TELEDETECCIÓN Y  
MODELOS ESPACIALES APLICADOS A LA GESTIÓN FORESTAL**

**TESIS DE MÁSTER - CURSO ACADÉMICO 2015-16**

**APLICACIÓN DE SENSORES  
MULTIESPECTRALES PARA LA TIPIFICACIÓN  
DE BOSQUE DE MIOMBO EN EL MUNICIPIO DE  
BAILUNDO (HUAMBO-ANGOLA)**

Córdoba, 16 de diciembre de 2016

Director del TFM 1:

Dr. Rafael M. Navarro Cerillo

Director del TFM 2:

Dr. Guillermo P. Rodríguez

Autor:

Isaú A. B. Quissindo



## AGRADECIMIENTOS

Antes, reconozco la grandeza y superioridad de Dios en todas áreas y etapas de mi vida.

Dejo aquí expreso mis sinceros agradecimientos al grupo del Proyecto 137 (*Monitoring Deforestation in Huambo Province Using Detection Technologies and Geographic Information Systems*) de SASSCAL (*Southern Africa Science Service Centre for Climate Change and Adaptive Land Management*), particular y especialmente a su coordinadora Profesora Doctora Virgínia Lacerda Quartin, por la beca cedida por este proyecto durante todo el periodo del master.

En seguida agradezco a los miembros de dirección de la Universidad José Eduardo dos Santos - UJES (Huambo/Angola) y de la Facultad de Ciencias Agrarias - FCA (Chianga/Huambo) destacando, respectivamente, sus representantes Dra. Virgínia Maria Lacerda Quartim (Vicerrectora de Asuntos Científicos y Postgrado de la UJES) y Dra. Imaculada Henriques Matias (Decana de la FCA) por todo apoyo moral que me han dado antes y durante la formación.

Soy grato a los miembros de dirección, maestros y estudiantes del Máster Geoforest por recibirme y darme todo apoyo para mi integración en cada etapa del curso; aquí destaco mis tutores Dr. Rafael María Navarro Cerrillo (Director del Máster) y Dr. Guillermo Palacios Rodríguez (Miembro del Consejo Académico del Máster y Representante de empresas).

No dejaría de agradecer de corazón a Ana María Moyano García (Representante del alumnado) por su buena labor de secretaria durante el curso y a Alba Márquez Torres (Responsable del Área de LiDAR, SIG y Teledetección en Centro de Investigaciones Aplicadas al Desarrollo Agroforestal) por su apoyo técnico en la realización de este trabajo.

A mis dos familias tanto de Angola (mi padre y hermanos) como de España (hermanos en la fe y amigos) estoy sumamente agradecido.



**Este trabajo fue financiado en su totalidad por el Proyecto SASSCAL (Southern Africa Science Service Centre for Climate Change and Adaptative Land Management), Task 137 "Monitoring Deforestation in Huambo Province Using Detection Technologies and Geographic Information Systems", coordinado por Virginia Lacerda Quartin.**



## RESUMEN

El ecosistema de Miombo con su gran superficie, que lo convierte en la mayor extensión de bosque seco del mundo, y su biodiversidad proporciona medios de vida a más de 100 millones de personas en zonas urbanas y rurales. Sin embargo, su aprovechamiento insostenible, el escaso conocimiento acerca de su dinámica de uso y métodos de gestión sostenibles son un desafío para la realización de estudios con el fin de asegurar su conservación a largo plazo, por su papel socioeconómico en África subsahariana y ambiental a nivel global. Entre muchos recursos que hay actualmente para responder este desafío, en este trabajo se presenta el uso de sensores multiespectrales de media resolución espacial para tipificar el bosque de Miombo en el municipio de Bailundo (Huambo-Angola). En este estudio se utilizaron imágenes Sentinel 2A, que fueron procesadas en el software Quantum Gis con el plugin SPC (*Semi-Automatic Classification Plugin*). Las principales clases de ocupación de suelo fueron: agricultura (37,59 %), bosques (36,54 %) y suelo desnudo (24,58 %). Los bosques de Miombo cerrado representan un 7,51 % (52.765,83 hectáreas) y los bosques de Miombo abierto 29,03 % (203.866,15 hectáreas). Según la precipitación media anual hubo un predominio de Miombo medio (196.630 hectáreas) en relación al Miombo denso (59.972 hectáreas). Los bosques de Miombo en Bailundo están mayoritariamente en zonas por encima de 1.550 metros de altitud.

**Palabras clave:** *Sentinel 2A, uso de suelo, Bailundo, distribución del Miombo.*

## ABSTRACT

Miombo's ecosystem with its large area, which makes it the largest expanse of dry forest in the world, and its biodiversity provides a livelihoods to over 100 million people in urban and rural areas. However, its unsustainable use, and scarce knowledge of its dynamic and sustainable forest management are a challenge in developing further studies to procure a long-term conservation, due to its socio-economic role in sub-Saharan Africa and the environment at a global level. Among the many resources currently available to answer to this challenge, in this paper was opted for the use of multispectral sensors with a spatial mean resolution to typify the Miombo forest in the municipality of Bailundo (Huambo-Angola). In this study, Sentinel 2A images were used, which were processed in the Quantum Gis software with the SPC (*Semi-Automatic Classification Plugin*) plugin. The main land cover classes were agriculture (37,59%), forests (36,54%) and bare soil (24,58%). The closed woodland account for 7,51% (52.765,83 ha) and the open woodland 29,03% (203.866,15 ha). According to the average annual rainfall, there was a predominance of medium Miombo (196.630 hectares) in relation to the dense Miombo (59.972 hectares). Miombo's forests in Bailundo are mostly in areas above 1.550 metres in altitude.

**Keywords:** *Sentinel 2A, land use, Bailundo, distribution of the Miombo*



## ÍNDICE

	Página
1. INTRODUCCIÓN	01
1.1. Los bosques de Miombo	01
1.1.1. Caracterización, antecedentes y estado actual	01
1.1.2. Composición, estructura y funcionamiento	02
1.1.3. Valor socioeconómico en África subsahariana	02
1.2. Bosques de Miombo y secuestro de carbono	03
1.3. Bosques del Miombo y cambio global	04
1.4. Dificultades en la conservación de los bosques de Miombo	05
1.5. Teledetección	06
1.6. Justificativa	08
1.7. Objetivos	09
2. MATERIAL Y MÉTODOS	10
2.1. Área de estudio	10
2.2. Sensor Sentinel 2A	11
2.2.1. Características de las imágenes Sentinel 2A	12
2.3. Servidores y bases de datos	15
2.4. Obtención y análisis de imágenes Sentinel 2A	17
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
3.1. Modelo digital de elevación de Bailundo	21
3.2. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)	22
3.3. Cobertura del suelo en el municipio de Bailundo	24
3.4. Distribución del bosque de Miombo	29
3.5. Distribución del Miombo según la altitud media	31
3.6. Clasificación del Miombo según la precipitación media anual	32
4. CONCLUSIÓN	35
5. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	36



## Índice de tablas y figuras

	Página
Figura 1. Distribución de áreas de Miombo en África (Fuente: Campbell <i>et al.</i> , 1996)	01
Tabla 1. Disponibilidad de obtención de datos, características y referencias de aplicación forestal de distintos sensores	07
Figura 2. El espectro electromagnético	08
Figura 3. Localización del área de estudio (municipio de Bailundo, Huambo/Angola)	10
Tabla 2: Tipos de productos del sensor Sentinel-2	12
Figura 4. Bandas espectrales en comparación con resolución espacial del Sentinel 2	15
Figura 5. Descarga de datos del sensor Sentinel 2A con el plugin SPC	16
Tabla 3. Características de las imágenes utilizadas en el estudio	17
Figura 6. Visualización de las tres imágenes (recortadas y unidas) usadas en el estudio	18
Figura 7. Composición de color de una imagen Sentinel 2A	18
Figura 8. Modelo digital de elevación de Bailundo	21
Figura 9. Mapa de NDVI en el año 2016 para el municipio de Bailundo	22
Figura 10. Mapa del NDVI para el municipio de Bailundo en el año 2015	23
Figura 11. Observación del NDVI entre los años 2010-2015 para Bailundo	24
Figura 12. Mapa general del uso de suelo en el municipio de Bailundo	25
Tabla 4. Tamaño de las clases de uso de suelo	25
Figura 13. Mapa detallado del uso de suelo en el municipio de Bailundo	26
Tabla 5. Área de las clases de ocupación de suelo en el área de estudio	27
Figura 14. Gráfica de tamaño (número de pixel) de las regiones de interés	27
Figura 15. Distribución del bosque de Miombo en la zona de estudio	30
Figura 16. Gráfica de área de las clases de ocupación de tierra frente al Miombo	30
Tabla 6. Relación de la ocurrencia del Miombo cerrado y abierto en zonas bajas o altas	31
Figura 17. Distribución del Miombo en Bailundo según la altitud media	32
Figura 18. Distribución del Miombo en Bailundo según la precipitación media anual	33
Figura 19. Gráfica de área del Miombo en Bailundo según la precipitación media anual	33



## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Los bosques de Miombo

#### 1.1.1. Caracterización, antecedentes y estado actual

*Miombo* según Campbell (1996) y Frost (1996) es la palabra swahili para *Brachystegia*, un género que incluye un gran número de especies arbóreas. El bosque Miombo se clasifica en los biomas: praderas tropicales y subtropicales, sabanas y matorrales (la designación del *World Wildlife Fund*) (WWF-SARPO, 2001).

El bosque de *Miombo* se distribuye en África central y meridional y se extiende a través de Zimbabwe, Zambia, Mozambique, Angola, República Democrática del Congo, Tanzania y Malawi (Figura 1); tiene una extensión de unos 3.200.000 km<sup>2</sup>, que le hace ser la mayor extensión de bosque seco del mundo (Scholes y Biggs, 2004).

Las zonas de Miombo presentan una gran variedad de clima de húmedo a semiárido, tropical y subtropical o incluso templado (Frost, 1996).

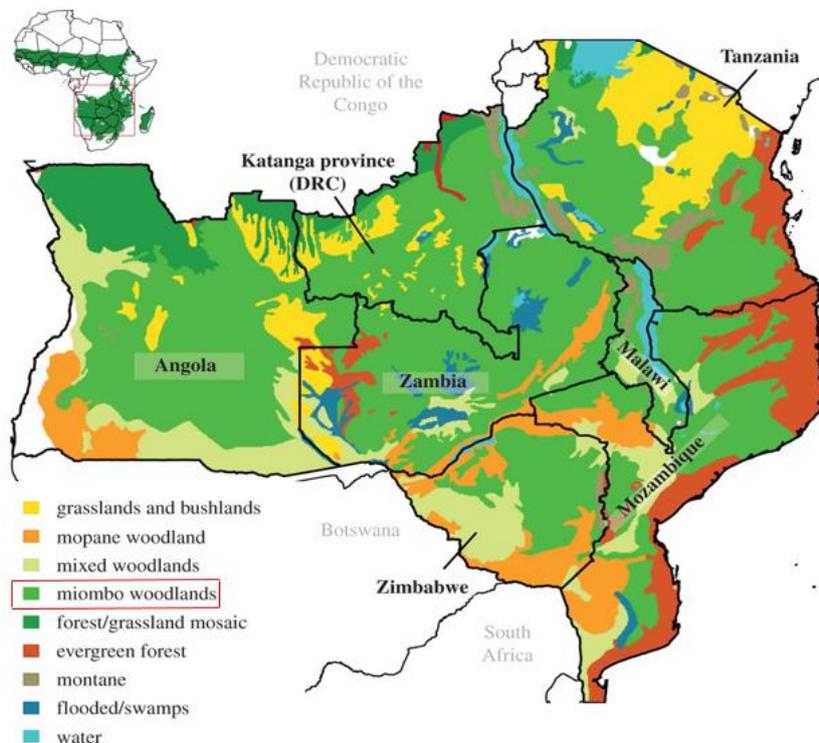


Figura 1. Distribución de áreas de Miombo en África (Fuente: Campbell *et al.*, 1996)



### 1.1.2. Composición, estructura y funcionamiento

La composición y estructura del bosque de Miombo es relativamente uniforme en grandes regiones, lo que sugiere una amplia similitud en las condiciones ambientales clave. La uniformidad en la apariencia se debe en parte a la fisonomía notablemente similar de los árboles dominantes del dosel (Campbell, 1996; Francisco *et al.*, 2014).

En zonas no explotadas las plantas leñosas comprenden el 95-98% de la biomasa aérea y las especies herbáceas constituyen el resto (Campbell *et al.*, 2007). Los bosques típicamente comprenden un dosel superior de árboles de tipo aparasolado; un sub-bosque discontinuo de arbustos y plantas jóvenes; y una capa desigual donde la vegetación predominante son los pastos bajos (Campbell, 1996).

Los bosques de Miombo, de forma general, están compuestos por especies del género *Brachystegia*, *Julbernardia* e *Isoberlinia* (Celender, 1983; Frost, 1996), *Erythrophleum*, *Uapaca* y *Tetrorchidium* (Burrough *et al.*, 2015). En Angola, las principales especies que componen los bosques de miombo son *Julbernardia paniculata*, *Brachystegia bohemiai*, *Bobgunnia madagascariensis*, *Albizia adianthifolia*, *Pericopsis angolensis*, *Syzygium guineense*, *Pterocarpus angolensis*, *Anysophyllea bohemiai* e *Isoberlinia angolensis*, entre otras con menor representación (Francisco *et al.*, 2014).

La apariencia general del Miombo cambia estacionalmente en respuesta a la marcada concentración de lluvia en sólo 5 a 7 meses del año, lo que da lugar a que la mayor parte de la capa leñosa sea caducifolia y la capa herbácea muera en la estación seca (Scholes y Biggs, 2004).

### 1.1.3. Valor socioeconómico en África subsahariana

El 65% de la población subsahariana es rural y depende directa o indirectamente de los bosques para conseguir comida, leña para cocinar, material de construcción, medicamentos, aceites, pegamentos, resinas y forraje (FAO, 2010; World Bank, 2008). Se considera que solo el Miombo africano proporciona medios de vida a más de 100 millones de personas de zonas urbanas y rurales (Deweese *et al.*, 2011; Campbell *et al.*, 2007). Así el Miombo es crucial para la mitigación de la pobreza en algunos países de África subsahariana. En Angola, el ecosistema tiene una grande importancia



socioeconómica en términos de combustible leñoso, materiales de construcción, productos alimenticios y plantas medicinales (MINADERP, 2011).

Los bosques de Miombo contribuyen para el sustento de las comunidades de África subsahariana en cuatro dimensiones principales (Lowore, 2003):

- ✓ Material doméstico, productos y energía: en los bosques se pueden obtener bienes básicos para satisfacer necesidades básicas como refugio, herramientas y combustible. Si se obtiene de forma gratuita, esto alivia el limitado presupuesto familiar en África subsahariana.
- ✓ Alimentación, nutrición y salud: de estos bosques se obtienen pequeños animales, insectos, frutas, tubérculos, medicinas y forrajes para el ganado.
- ✓ Comercio y actividad económica: rendimientos económicos generados a través del comercio de leña, postes, paja y frutas.
- ✓ Servicios ambientales: estos bosques ayudan a mantener las funciones de las cuencas hidrográficas y prevenir la erosión del suelo, vitales para el desarrollo sostenible.

Aún es útil considerar el papel de estos bosques en la gestión del agua, el aprovisionamiento de ganado, los servicios de polinización, el ciclo de nutrientes.

Como se acaba de comentar, desde su valor directo hasta el indirecto, los bosques de Miombo proporcionan muchos bienes y servicios que pueden generar actividad económica.

## **1.2. Bosques de Miombo y secuestro de carbono**

Se está desarrollando estrategia de secuestrar el carbono mediante prácticas agroforestales y reducir las emisiones derivadas de la deforestación y la degradación de los bosques de Miombo (Siteo *et al.*, 2013). De este modo, en algunas experiencias implantadas en el proyecto de carbono de la comunidad Nhambita, en Mozambique, por ejemplo, los agricultores reciben pagos de carbono a una tasa de 4,5 dólares estadounidenses por tonelada de CO<sub>2</sub>, lo que puede generar entre 433 y 808 dólares por hectárea en siete años (FAO, 2010).



El ante dicho proyecto muestra que el secuestro de carbono a través de la utilización de la tierra, cambio de afectación de las tierras y silvicultura puede tanto promover medios de vida rurales sostenibles como generar reducciones de emisiones de carbono verificables por la comunidad internacional (Siteo *et al.*, 2013).

A pesar de esto, todavía aún no se sabe casi nada sobre el flujo y almacenamiento de carbono en los bosques de Miombo (Meister *et al.*, 2012), ya que calcular las reservas de carbono en los bosques secos requiere un planteamiento diferente de los bosques húmedos y más investigaciones sobre ellos (Blackie *et al.*, 2014).

A mayor escala, Saatchi *et al.* (2011) intentaron trazar un mapa interregional mostrando las estimaciones de carbono forestal, incluyendo todo tipo de bosques; en este estudio se notó que hay margen considerable para investigar más sobre herramientas diseñadas específicamente para los bosques secos. Esto revela una oportunidad de llevar a cabo investigaciones mucho más amplias de los bosques secos en todas las regiones.

### **1.3. Bosques del Miombo y cambio global**

Las pérdidas anuales de bosques en África en el periodo entre 2000 y 2005 han sido de 4.000.000 de hectáreas, representando 55 % del total de los bosques perdidos en el mundo en ese periodo. La quema de zona forestal tiene una contribución muy significativa en emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), otros gases y aerosoles en la atmósfera, y los incendios de las sabanas en África suponen un 22 % de superficie forestal quemadas cada año en el mundo (Cuesta, 2011).

A pesar de la diversidad y extensión de los bosques de Miombo, como gran parte de la población de estas zonas depende de ello, la deforestación de este ecosistema es bastante alta (Campbell *et al.*, 2007), agravando así el cambio climático.

África empieza a mostrar los efectos del cambio climático (IPCC, 2007). En partes de alguna sub-región del África del oeste, la intensidad de los climas tan extremos, como temperaturas muy altas y tormentas de arena, tienen una alta recurrencia (Cuesta, 2011). Los impactos incluyen la incidencia mayor de los fuegos, mayor mortalidad de árboles y reducen la biodiversidad (Sangumbe y Pereira, 2014).

El cambio climático va a expandir el área de tierras semi-áridas y áridas en África del 5%-8% en el año 2080. La desertización en región del sur de África podría degradar los



bosques y poner en peligro entre el 20 y 40% de las especies en este continente. Además, existe mucha presión sobre los recursos forestales debido a la baja de producción agrícola como consecuencia de los efectos del cambio climático (Cuesta, 2011).

#### **1.4. Dificultades en la conservación de los bosques de Miombo**

Dada su tamaño importancia socioeconómica para las comunidades rurales del África subsahariana hay una gran presión en los bosques de Miombo (MINADERP, 2011).

Así, la expansión de tierras arables ocupando más terrenos de los bosques, el crecimiento de la población, la pobreza y la alta dependencia que tienen sus poblaciones de los recursos naturales para subsistir y conseguir ingresos son algunas de las razones que dificultan la conservación o aprovechamiento sostenible del ecosistema de Miombo. Parte de los motivos por lo que los bosques de Miombo están entre los tipos de bosque más amenazados es que se encuentran con frecuencia en zonas con alta densidad de población, rara vez están protegidos (Baldauf, 2012) y son considerados menos atractivos que otros tipos de bosque en los sistemas de pagos bonos de carbono, como los programas REDD (Wertz-Kanounnikoff y Kongphan-apirak, 2009).

El reto del África subsahariana es asegurar que los bosques y sus tierras continúen siendo una ayuda para sus gentes y para diversificar las opciones de formas de vida y fuentes de alimentación, creando nuevas oportunidades en un desarrollo a largo plazo.

Para llegar a un aprovechamiento sostenible del Miombo es necesario crear políticas forestales que respetan principios de sustentabilidad. Además de eso, es fundamental conocer lo que hay en el bosque, tanto en cualidad como en cantidad.

Entre muchos recursos que hay actualmente para responder esta cuestión, se presenta en este trabajo algunos datos y técnicas de teledetección como solución.

Una vez que los datos de inventario forestales de Angola y en particular de la provincia del Huambo y del municipio de Bailundo aún no están disponibles, ya que el primer inventario forestal nacional de Angola está siendo realizado actualmente, no se tiene mucha información del bosque de *Miombo* en el municipio de Bailundo; aunque gran parte de las investigaciones forestales realizadas en la provincia Huambo fueran hechas en este municipio, la realidad es que tales datos aún no han sido divulgados. Por eso la



investigación realizada en este trabajo está basada en datos y técnicas de teledetección como solución para tipificar el bosque de Miombo en municipio de Bailundo.

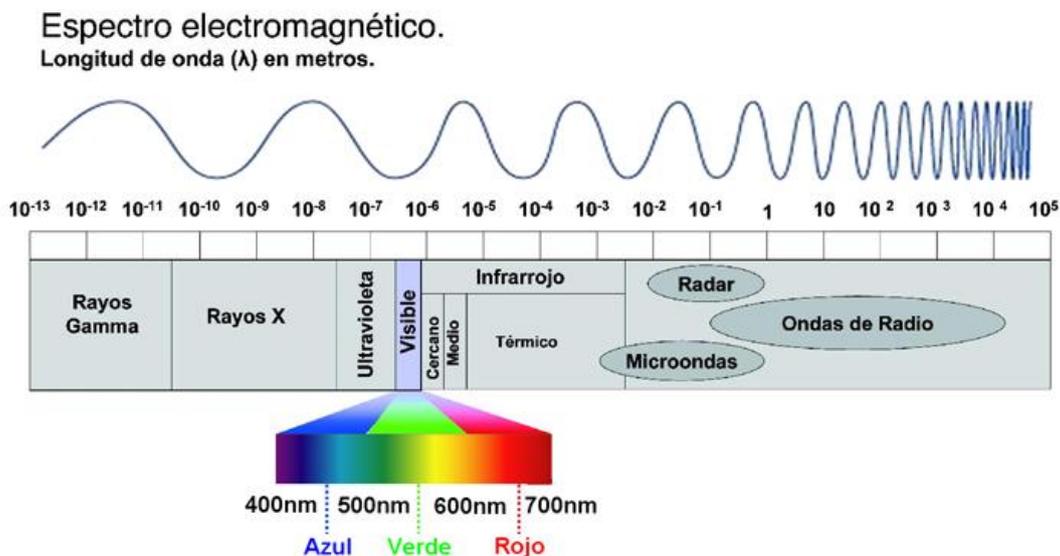
### 1.1. Teledetección

En los años 60 fue cuando comienza la andadura de los satélites por el espacio, habiéndose mejorado durante estos años tanto la resolución espectral y espacial de los diferentes sensores, como su accesibilidad en términos de disponibilidad y coste. Así se ha usado datos del sensor Sentinel 2A, ya que en función de la comparación hecha con otros sensores (Tabla 1), éste respondió técnica y científicamente los requisitos para realización del presente estudio, o sea las imágenes del sensor Sentinel obtenida sin costo y con sus características descritas más adelante permitió realizar la tipificación del bosque de *Miombo* el municipio de Bailundo.

Actualmente es cada vez más frecuente el uso de la Teledetección como herramienta de estudio en distintas áreas de la ciencia y, cómo no, en el ámbito forestal. Al ser los árboles organismos que quedan sobre la superficie terrestre de color verde (que corresponde a la región de 680 a 700 nm) por la clorofila, presentan fluorescencia, ya que la máxima potencia reflejada se produce en la región verde (Figura 2). De este modo, se puede captar la energía que es emitida en distintas longitudes de onda y captar su firma espectral para, así, poder diferenciarlos de otros organismos y objetos, por ejemplo: cultivos, edificaciones, carreteras, agua y suelo.

**Tabla 1.** Disponibilidad de obtención de datos, características y referencias de aplicación forestal de distintos sensores

Sensores	Servidor para descarga	Resolución espacial	Resolución espectral	Costo	Aplicación forestal	Referencia bibliográfica	
<i>Landsat TM 5</i>	GLOVIS (USGS Global Visualization Viewer);	30 m y 80 m	7 bandas	Gratuito	Deforestación en los bosques-meseta central de Angola	Cabral <i>et al.</i> (2010)	
<i>Landsat 8</i>	Earth Explorer	15 m y 30 m	11 bandas				
<i>Aster</i>	U.S. Geological Survey	15 m y 30 m	14 bandas	Comercial	Predicción de estructural del bosque; Caracterización y cartografía forestal	Gebreslasie <i>et al.</i> (2010); Falkowski <i>et al.</i> (2005)	
<i>Spot 4 y 5</i>	AIRBUS Defense and Space	2.5 m, 5 m y 10 m	5 bandas, 6 bandas	Comercial	Mapeo de tipos de vegetación	Verhegghen <i>et al.</i> (2012)	
<i>Sentinel-2A</i>	Sentinels Scientific Data Hub	10 m, 20 m y 60 m	13 bandas	Gratuito	Clasificaciones de cultivos y especies de árboles	Immitzer; Vuolo; Atzberger (2016)	
<i>World View 2</i>	Satellite Corporation	Imaging	0.46 m y 1.84 m	9 bandas	Comercial	Discriminación de especies; Bosque urbano	Mansour (2013); Kanniah <i>et al.</i> (2014)
<i>Ikonos</i>	Satellite Corporation	Imaging	1 m y 4 m	4 bandas	Comercial	Estructura del bosque; Delimitación del bosque	Palace <i>et al.</i> (2014); Özkan y Yeşil (2016)



**Figura 2.** El espectro electromagnético

El uso de sensores multispectrales ofrece información espectral en distintas bandas y permite calcular determinados índices como Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). El NDVI fue propuesto por Rouse *et al.* (1973), y se obtiene dividiendo la reflectancia en el infrarrojo cercano (NIR) y la reflectancia en el rojo (R); sus valores varían entre -1 y 1. Los valores más altos (+1) están relacionados con áreas con mayores cantidades de vegetación fotosintética, mientras que los valores más bajos (-1) representan áreas con menos vegetación (Ponzoni y Shimabukuro, 2007).

## 1.2. Justificativa

África y Angola en general y el municipio de Bailundo particularmente presentan una vasta extensión forestal. Además, en este contexto geográfico existen una amplia explotación de los recursos forestales y cambios que producen impactos no sostenibles. Teniendo en cuenta que toda gestión o planificación territorial que pretenda evitar o solucionar estos problemas necesita disponer de recursos cartográficos que permitan evaluar tanto el estado actual de los recursos, como la evolución de los usos y las coberturas del suelo, que permitan conocer los cambios en la estructura del paisaje, la teledetección se presenta como una herramienta fundamental para una adecuada gestión sostenible de los recursos naturales.



### 1.3. Objetivos

#### 1.3.1. General

- ✓ El presente trabajo de fin de master tiene como objetivo tipificar el bosque de Miombo en el municipio de Bailundo (Huambo-Angola) a través del uso de sensores multiespectrales de media resolución espacial.

#### 1.3.2. Específicos

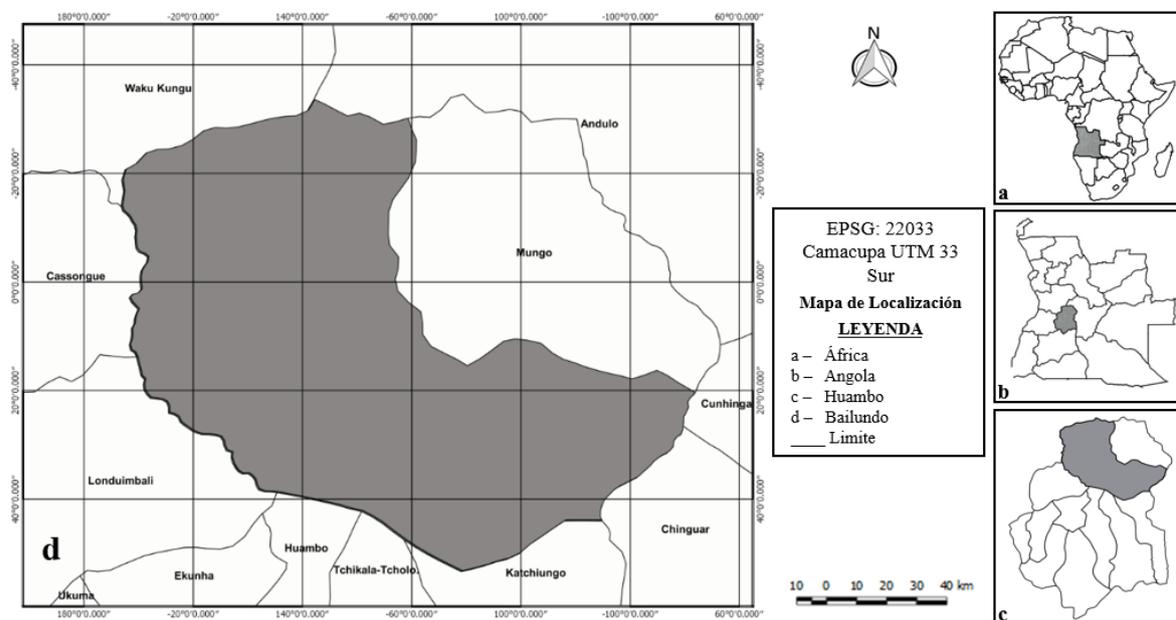
- ✓ Hacer una recopilación de información bibliográfica de la zona de estudio y de los diferentes sensores multiespectrales, de modo a permitir la elección de uno.
- ✓ Obtener, analizar y procesar los recursos disponibles (archivos vectoriales, Modelo Digital del Terreno e imágenes del sensor Sentinel-2A) para el estudio del municipio de Bailundo (Huambo, Angola).
- ✓ Realizar todo el proceso de tratamiento de imágenes en el software *Quantum Gis* para obtención de cartografía temática que permita tipificar los bosques de Miombo del municipio de Bailundo.



## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Área de estudio

La zona de estudio se corresponde a Bailundo, que es un municipio de la provincia de Huambo (Figura 3), en la meseta central de Angola (USAID, 2008). Con cerca de 56.000 habitantes, Bailundo comprende una superficie total de 7.065 km<sup>2</sup> y (Marcelino, 2009). Tanto su localización como sus límites pueden ser vistos a continuación en la Figura 3.



**Figura 3.** Localización del área de estudio (municipio de Bailundo, Huambo/Angola)

El municipio de Bailundo se encuentra al norte de la ciudad de Huambo (Figura 3), a una distancia de 65 km; latitud 12° 12' S, longitud 15° 51' E y una altitud media de 1.650 metros. La precipitación media en el municipio alcanza los 1.400 mm/año. El clima es tropical y húmedo, con dos estaciones: la estación de lluvias, con siete meses (entre 15 de setiembre y 15 de mayo) y la estación seca, con cinco meses (entre 15 de mayo y 15 de setiembre) (Proyecto Angola, 2014; Fórum Mazúngue, 2007).

En cuanto a sus recursos naturales, el municipio de Bailundo presenta (André, 2015; Cabral *et al.*, 2010):



- ✓ Acerca de su orografía, las sierras de Lumbanganda, Chilono, Niti, Ngolo, Ngoma, Kupassi, etc.
- ✓ En cuanto a su hidrografía, las corrientes de los ríos Queve, Cutato, Cupassi, Cuvira, Cunhongãmu, Curindi, Culele, Cucãi y Chitonga.
- ✓ Una fauna con la prevalencia de las aves silvestres.
- ✓ Tiene una flora que consta de varias especies como *Brachystegia spiciformis*, *Albizia antunesiana*, *Brachystegia russelliae*, *Criptosepalum curtisiorum* y otras especies típicas de los ecosistemas de Miombo.
- ✓ Una riqueza mineral dominada por el hierro, magnesio, bario y el diamante.

En el contexto agroecológico, del municipio de Bailundo se encuentra en la zona agrícola 24, de acuerdo con la clasificación de la Misión de Investigación Agrícola de Angola (Marcelino, 2009). Los suelos son en su mayoría ferralítico, que se caracterizan por la debilidad de las reservas minerales y bajo contenido de materia orgánica, que los hace muy poco fértiles (Rede Terra, 2004).

La vegetación típica en esta región se compone principalmente de bosques de Miombo y sabana con pastizales. Los géneros dominantes en la formación florística de Miombo son *Brachystegia*, *Combretum*, y *Julbernardia*; mientras que en las sabanas los géneros de gramíneas dominantes son *Hyparrehenia* y *Androgon*. En las zonas de drenaje pobres hay formaciones hidrófilas dominadas por pastos perennes (Amaral, 2004; Rede Terra, 2004).

Económicamente, la población practica la agricultura y el pastoreo, teniendo como principales cultivos agrícolas: café arábica, maíz, frijol, trigo, patata y batata; el pino y eucalipto son las principales especies forestales para plantaciones (Amaral, 2004).

## 2.2. Sensor Sentinel 2A

La misión Sentinel-2 es una constelación de vigilancia terrestre de dos satélites que proporcionan imágenes ópticas de alta resolución y que pretende dar continuidad a la posición actual y las misiones Landsat. La misión proporciona una cobertura global de la superficie terrestre del globo terrestre cada 10 días con un satélite y 5 días con 2 satélites ([https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/sentinel-](https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/sentinel-2)



2). Lo interesante de esta misión es su enfoque especial hacia la agricultura, recursos forestales y medio ambiente y su interoperabilidad con el programa Landsat, dado que cuando se lance el segundo satélite Sentinel-2B tendrá una frecuencia de revisita de 5 días. Su compatibilidad con Landsat permitirá continuar realizando programas de análisis e investigaciones en el ámbito agrícola, forestal y ambiental (<http://www.esa-sen2agri.org/SitePages/Home.aspx>).

El Sentinel 2A con imágenes multiespectrales, específicamente 13 bandas, llama la atención que las bandas del visible que se corresponden a las regiones del espectro del Rojo, Verde y Azul (o RGB, del inglés *Red*, *Green* y *Blue*) se captan a gran resolución de 10 metros; esto es sin lugar a dudas un gran avance para imágenes de libre acceso.

### 2.2.1. Características de las imágenes Sentinel 2A

Productos Sentinel-2 más comunes están disponibles para los usuarios de la manera como se enumeran en la Tabla 2 (<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/product-types>).

**Tabla 2:** Tipos de productos del sensor Sentinel-2

Nombre	Descripción de alto nivel	Producción y distribución	Volumen de datos
Nivel-1A	Parte inferior de la atmósfera-reflectancia en la geometría cartográfica (producto prototipo)	Generación del lado del usuario	600 MB (100x100 cada km <sup>2</sup> )
Nivel-1B	Parte superior de la atmósfera radiación en la geometría del sensor	Generación sistemática y distribución on-line	27 MB (cada uno de 25x23 km <sup>2</sup> )
Nivel-1C	Parte superior de la atmósfera reflectancia en la geometría cartográfica	Generación sistemática y distribución on-line	500 MB (100x100 cada km <sup>2</sup> )

Para el Nivel-1B, las imágenes de cada banda se ponen en un archivo separado JPEG2000. Estos productos están dirigidos a usuarios avanzados (ESA, 2015).

Ya para el Nivel-1C, los productos se organizan en tejas orto-rectificada (100 km x 100 km) en proyecciones UTM WGS84. Las imágenes de cada banda están en un archivo separado JPEG2000 (Nowakowski, 2016). Este es el nivel de producto que se ha usado en presente caso de estudio.



Hay un nivel que no consta en la tabla, el Nivel-2A, donde los productos están en proyecciones UTM WGS84. Y las imágenes de cada banda se ponen en un archivo separado JPEG2000. La salida principal del producto de Nivel 2A es un BOA (*Bottom Of Atmosfera*), donde el producto es sometido a procesos de corrección radiométrica (ESA, 2015).

Nowakowski (2016), afirma que los productos son una compilación de tejas elementales de tamaño fijo, dentro de una sola órbita. Una teja es la partición indivisible mínima de un producto (que contiene todas las posibles bandas espectrales).

Para el Nivel-1C y Nivel-2A, las orto-imágenes son de 100x100 km<sup>2</sup> en proyección UTM/WGS84 y tienen un tamaño aproximado de 500 MB con los datos de la imagen (ESA, 2015).

Entre las características técnicas de Sentinel 2 están:

- ✓ Número de Bandas: 13;
- ✓ Rango espectral: ultravioleta al infrarrojo lejano;
- ✓ Resolución espacial: de 60 metros, 20 metros y 10 metros, dependiendo de las bandas;
- ✓ Resolución temporal: 10 días (con el Sentinel 2B serán 5 días);
- ✓ Altura Orbital: 786 km;
- ✓ Cobertura de las escenas: la amplitud de las imágenes es de 290 km.

Sus bandas espectrales (Figura 4) presentan los siguientes detalles (ESA, 2015):

- ✓ **Banda 1:** Ultra azul o ultravioleta (443 nm): con 60 m de resolución espacial es útil para corrección atmosférica (dispersión de aerosol) y zona costero.
- ✓ **Banda 2:** Azul (490 nm): tiene 10 m de resolución espacial. Sensible a la senescencia vegetación, carotenoides, el oscurecimiento y el fondo del suelo; corrección atmosférica (dispersión de aerosol).
- ✓ **Banda 3:** Verde (560 nm): con resolución espacial de 10 m; sensible totalmente a la clorofila en la vegetación.
- ✓ **Banda 4:** Rojo (665 nm): presenta 10 m de resolución espacial y su utilidad centrarse en la absorción máxima de clorofila.



- ✓ **Banda 5:** VNIR - Visible e infrarrojo cercano (705 nm): 20 m, útil en la consolidación de la correcciones atmosférica o línea de base de fluorescencia.
- ✓ **Banda 6:** VNIR - Visible e infrarrojo cercano (740 nm): 20 m, útil en la corrección atmosférica, estudio de la vegetación y de aerosoles.
- ✓ **Banda 7:** VNIR - Visible e infrarrojo cercano (783 nm): 20 m, útil para conocer el índice de área foliar (IAF).
- ✓ **Banda 8:** VNIR - Visible e infrarrojo cercano (842 nm): con 10 m de resolución espacial es esencial en el cálculo del LAI (índice del área foliar).
- ✓ **Banda 8a:** VNIR - Visible e infrarrojo cercano (865 nm): tiene 20 m de resolución espacial, es sensible a la clorofila total de biomasa, IAF y proteínas; referencia de absorción de vapor de agua; detención de aerosoles.
- ✓ **Banda 9:** SWIR - Infrarrojo de onda corta (940 nm): 60 m, es útil para la corrección atmosférica y estudios de vapor de agua.
- ✓ **Banda 10:** SWIR - Infrarrojo de onda corta (1375 nm): 60 m, su propósito es la detección de los cirros delgados para la corrección atmosférica.
- ✓ **Banda 11:** SWIR - Infrarrojo de onda corta (1610 nm): 20 m, banda diseñada para nieve, hielo y discriminación de nube; útil en estudio de vegetación.
- ✓ **Banda 12:** SWIR - Infrarrojo de onda corta (2190 nm): 20 m, útil en estudios de nieve, hielo y discriminación de nube. Distinción de los suelos de arcilla (para el control de la erosión del suelo) y entre la biomasa (viva o muerta) y el suelo.

Con sus bandas espectrales y resolución espacial (Figura 4), las imágenes multiespectrales del Sentinel-2A se utilizan en mapas de: cambios de la cobertura y uso del suelo; variables biogeofísicas (contenido de clorofila y del agua en la hoja); desastres naturales (Drusch, 2012).

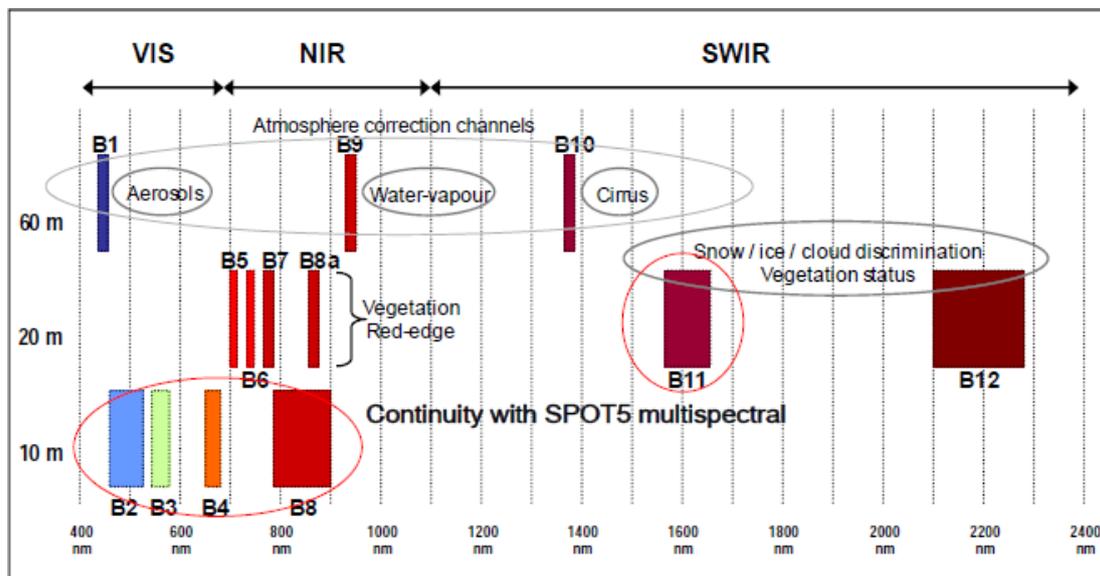


Figura 4. Bandas espectrales en comparación con resolución espacial del Sentinel 2

### 2.3. Servidores, bases de datos y software

En primer lugar, fue necesario descargar archivos en formato shapefile que cubre el continente africano, el territorio de Angola y el área de interés (Figura 2) en la base de datos MAP LIBRARY [<http://www.maplibrary.org/library/stacks/Africa/index.htm>], que es una fuente de dominio público de datos de mapas básicos en relación con los límites administrativos en África.

Además se ha descargado un archivo vectorial con información de precipitación media anual de la zona de estudio, desde el Departamento de Educación [<https://education.usgs.gov/>] del Servicio Geológico de los Estados Unidos de América - USGS [<http://earthexplorer.usgs.gov/>]. Aun desde esta última base de datos, que está asociado al centro de datos de la NASA Global Data Explorer se ha descargado un modelo digital del terreno (MDT).

La obtención de imágenes del sensor Sentinel 2A puede ser hecha a través de tres distintas maneras: en la página oficial *The Sentinels Scientific Data Hub* [<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>]; en la base de datos del Servicio Geológico del Estados Unidos (*USGS Earth Explorer - U.S. Geological Survey*,



[<http://earthexplorer.usgs.gov/>]); con el plugin de código abierto SPC (*Semi-Automatic Classification Plugin*) del software *Quantum Gis* [<https://scihub.copernicus.eu/dhus>].

En este trabajo no fue posible hacer la descarga en la página oficial porque la misma estaba temporariamente no operacional, mientras que la base de datos *USGS Earth Explorer* no permitía descargar imágenes con todas las bandas. Por eso, los datos Sentinel 2A usados en el presente trabajo se han descargados desde el software *Quantum Gis* con el plugin de código abierto SPC (Figura 5), que según Congedo (2016), el mismo proporciona varias herramientas para la descarga de imágenes libres del sensor Sentinel 2A [<https://scihub.copernicus.eu/dhus>], el pre-procesamiento, clasificación supervisada de imágenes en teledetección y el pos-procesamiento. Además de eso con el plugin aún se puede descargar imágenes Landsat [<https://ers.cr.usgs.gov/>] y Aster [<https://urs.earthdata.nasa.gov/>] como se presenta en la Figura 5.

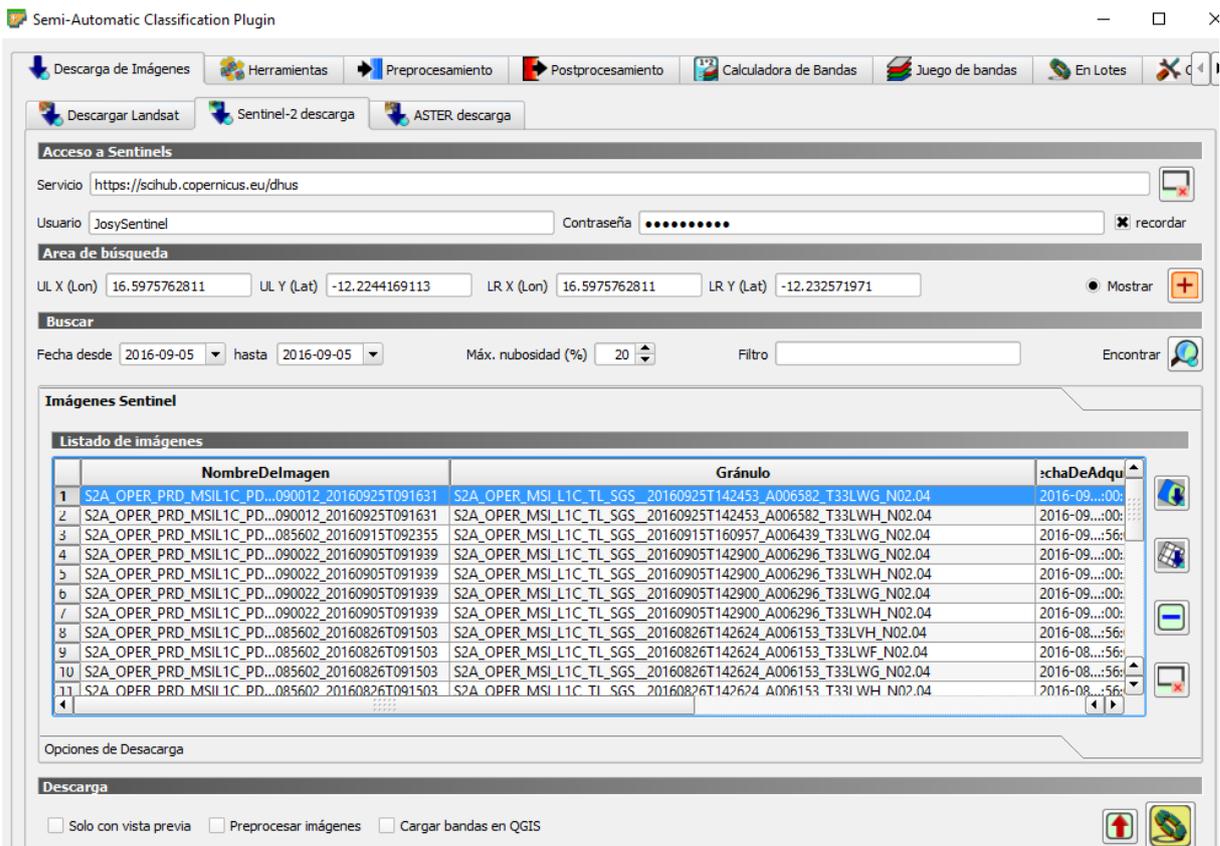


Figura 5. Descarga de datos del sensor Sentinel 2A con el plugin SPC



## 2.4. Obtención y análisis de imágenes Sentinel 2A

Para cubrir todo el área afecta al municipio de Bailundo fue necesario descargar tres imágenes del Nivel-2C, que ya vienen georreferenciadas como se comentó anteriormente.

Así, de una forma sistemática y secuencial después de las descargas se llevó al cabo las siguientes actividades con el plugin SPC en el software *Quantum Gis*:

### 1.- Conversión automática de reflectancia de la superficie.

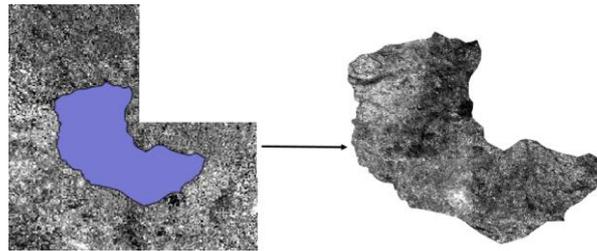
Un primer momento, como las imágenes son de distintas fechas (Tabla 3) y, por tanto, con diferencia en la reflectancia en cada una de ellas, se ha aplicado automáticamente un filtro o realce de imágenes durante la realización del proceso de corrección atmosférica; durante este proceso (corrección atmosférica) el plugin SPC hace un filtro y realce en la imagen (Congedo, 2016).

**Tabla 3.** Características de las imágenes utilizadas en el estudio

Identificador de la imagen Sentinel 2A	Evaluación de la cobertura de nubes	Fecha de generación	Fecha de descarga
S2A_OPER_MSI_L1C_TL_SGS__20160714 T141024_A005538_T33LXG	>0.0	14/07/2016	21/09/2016
S2A_OPER_MSI_L1C_TL_SGS__20160727 T142638_A005724_T33LWG	>0.9281769230769231	27/07/2016	27/09/2016
S2A_OPER_MSI_L1C_TL_SGS__20160727 T142638_A005724_T33LWH	>0.9281769230769231	27/07/2016	27/09/2016

### 2.- Recortes y unión de las tres imágenes.

Usando como capa de referencia el archivo shapefile del municipio del Bailundo se ha hecho recortes de las tres imágenes (Figura 6). A continuación, se realizó la unión de las tres imágenes recortadas, para así trabajar solamente con la parte afecta al área de interés (Figura 6).



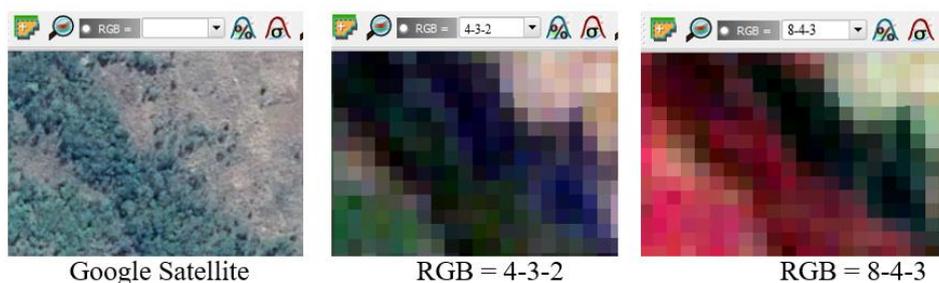
**Figura 6.** Visualización de las tres imágenes (recortadas y unidas) usadas en el estudio

### 3.- Creación del conjunto de banda.

Para la creación de conjunto de bandas se han usado solamente diez bandas (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 8a, 11 y 12) del sensor Sentinel 2A, ya que no hubo necesidad de usar las bandas 1, 9 y 10 que tienen aplicación en estudio de zonas costeras, absorción de vapor de agua y detención de los cirros delgados, respectivamente, no teniendo importancia para el presente trabajo.

### 4.- Creación de las regiones de interés.

Al terminar el paso anterior, se ha creado un ráster virtual (*Bandsat*) que permite hacer combinación de bandas, donde la combinación de bandas para la composición de color natural es “RGB = 4-3-2” y “RGB = 8-4-3” es la composición de color útil para resaltar la vegetación y la interpretación de la imagen porque los pixeles correspondientes a la vegetación aparecen de color rojo. Así, la vegetación sana refleja una gran parte de la luz incidente en la longitud de onda del infrarrojo cercano, lo que resulta en valores de reflectancia más altos para la banda 8a, por lo tanto los valores más altos para el color rojo asociado (Congedo, 2016). Las combinaciones de composición de color pueden ser vistas en la Figura 7.



**Figura 7.** Composición de color de una imagen Sentinel 2A



Aun con auxilio de una ortofotografía se ha señalado las regiones de interés formando las siguientes clases y sus subclases del regiones de interés (ROIs): ID = 1 VEGETACION: Forestal (bosque montañoso), Forestal (bosque no montañoso); ID = 2 AGRICULTURA: Cultivos, Agroforestal; ID = 3 ZONA URBANA: Edificios, Carreteras; ID = 4 SUELO: Suelo desnudo. Es fundamental comentar que para una última clase de cursos de aguas (ID = 5 AGUA) y para la subclase carretera que pertenece a la tercera clase (ZONA URBANA) se ha usado datos importados de *OpenStreetMap* en *Quantum Gis*.

Por no tener puntos de control sacado en el campo o en la zona de estudio, la evaluación de la clasificación obtenida se ha basado en la observación visual en la ortofoto.

#### 5.- Creación de una vista previa de clasificación: clasificación supervisada.

Para el cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) se ha utilizado el panel de clasificación del plugin SPC que calcula automáticamente el índice basándose en la expresión siguiente, ya que el cálculo del índice requiere las bandas de infrarrojo cercano y rojo:

$$NDVI_{S2} = \frac{Band_8 - Band_4}{Band_8 + Band_4} \text{ Sentinel 2 MSI}$$

Durante el proceso se ha realizado vistas previas de la clasificación y visualización de la evaluación de las firmas espectrales.

#### 6.- Creación de la salida de clasificación.

Para la clasificación se ha trabajado con el algoritmo de clasificador por Mínima Distancia (*Minimum Distance*), que según Niknejad *et al.* (2014), consiste en la determinación de las medias de cada clase y la asignación se realiza hacia la clase con menor distancia.

Después de la creación del ROI, en función de las características espectrales de cada clase de cobertura del suelo creada (Congedo y Munafo-Michele, 2013), el algoritmo de clasificación clasificó toda la imagen calculando las características espectrales de cada píxel y comparándolas con las clases de cobertura del suelo anteriormente definidas.



Se ha elegido este algoritmo por ofrecer buenos resultados cuando no existe un gran solape entre clases (Congedo, 2016), como es con las imágenes usadas en este estudio. Además, facilitó la clasificación homogénea de la imagen, ya que según Congedo y Munafo-Michele (2013), los ROI creados incluyen píxeles espectralmente homogéneos.

Así, se ha realizado una clasificación supervisada de la imagen Sentinel 2A.

Además del mapa de ocupación del suelo para el municipio de Bailundo, se ha hecho una cartografía de la distribución de este ecosistema en Miombo cerrado (en general montañoso) y Miombo abierto. Aquí además de las características espectrales que presentaba cada clase de cobertura del suelo se tuvo como parámetro el valor de NDVI, o sea se ha señalado Miombo cerrado zonas con valor de NDVI encima de 0,6 y Miombo abierto zonas con NDVI entre 0,4-0,6.

Esta clasificación se hizo basándose en algunas clasificaciones de los bosques de Miombo en cerrado y abierto que tienen como parámetro en el índice de biomasa, siendo abierto zonas con menos biomasa y cerrado zonas con alto índice de biomasa (Cabral *et al.*, 2010; Siteo *et al.*, 2013).

Con auxilio de la información contenida en el archivo vectorial descargado en el Servicio Geológico del Estados Unidos, se ha elaborado más una cartografía para tipificación del Miombo en la zona en estudio.

Esta última clasificación estuvo basada en el rango de la precipitación media anual frecuentes en zonas de Miombo: Miombo medio (zonas de Miombo con precipitación entre 1.000 y 1.400 mm/año) y Miombo denso (zonas de Miombo con precipitación entre 1.400 y 2.000 mm/año). Para eso se tuvo en cuenta la clasificación hecha por Frost (1996) y Ribeiro *et al.* (2002): Miombo denso (son frecuentes en zonas con precipitaciones alrededor de 1.400 a 1.800 mm); Miombo medio (se producen en áreas con precipitaciones entre 900 y 1.400 mm/año); y Miombo pobres (se produce en zonas con régimen de lluvias entre/año 800-900 mm).

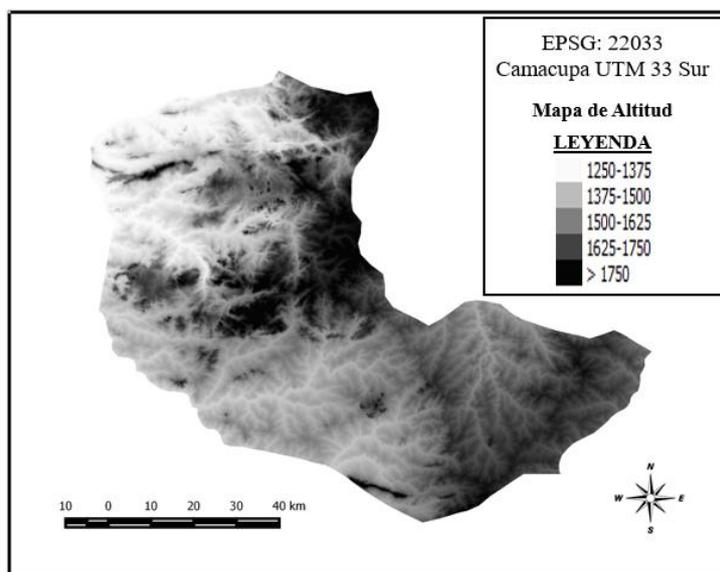


### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Modelo digital de elevación de Bailundo

En un primero momento se ha obtenido un modelo digital de elevaciones del área de estudio, donde las cuotas de altitud variaban entre 1.300 a aproximadamente 1.800 metros (Figura 8), teniendo una media de cerca de 1.550 metros. Los resultados de esta cartografía presentaron que las zonas del nordeste y centro del municipio corresponden al área más alta y el noroeste, el este y un poco del centro-sur fueron las zonas más bajas.

Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos por Proyecto Angola (2014), que considera que el municipio de Bailundo alcanza altitudes medias de 1.600 metros.



**Figura 8.** Modelo digital de elevación de Bailundo

Este mapa (Figura 8) ha sido útil, como se describirá más adelante, para discriminar en la zona de estudio entre zonas de bosque de Miombo montañoso y no montañoso (MUA, 2006; Sinclair *et. al.*, 2004).



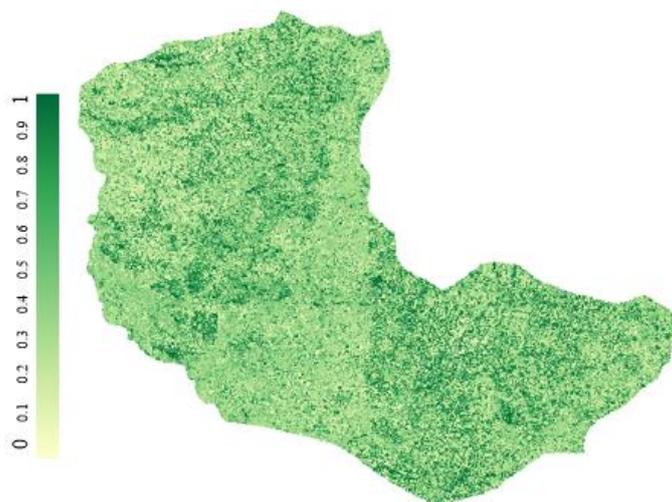
### 3.2. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

Como muestra la Figura 9, el Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) obtenido para el año 2016 presentó mayoritariamente valores entre 0,2 a 0,6.

Con auxilio de la ortofoto y del puntero del ROI del plugin SCP, se considera que en general zonas con valores de NDVI encima de 0,4 se corresponden a los bosques; zonas con NDVI entre 0,3 a 0,4 se corresponde a clase agroforestal; valores de NDVI entre 0,2 a 0,3 (agrícolas); zonas urbanas con valores entre 0,15 a 0,3 (algunas veces con valores irregulares) y suelo desnudo entre 0-0,15.

Se considera que estas zonas con valores de NDVI más bajos se corresponden a los desiertos, en los cuales las hojas son muy escasas, seguidos por los pastizales y las zonas de matorral.

Esto está de acuerdo con Rede Terra (2004), que considera que gran parte del área del municipio de Bailundo se compone principalmente de bosques de Miombo y sabana con pastizales.



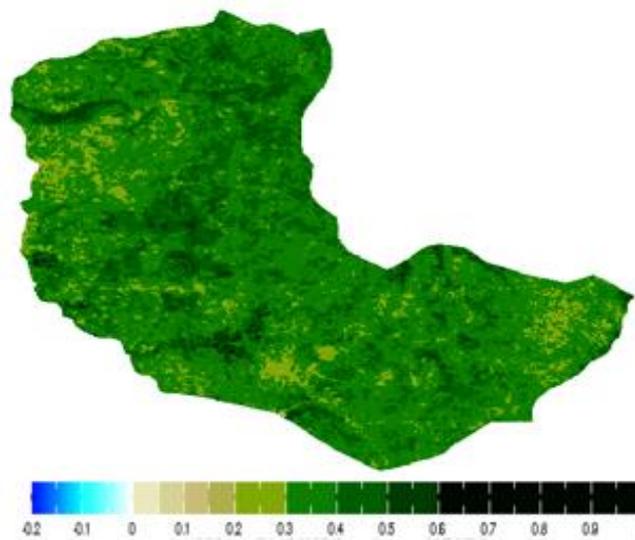
**Figura 9.** Mapa de NDVI en el año 2016 para el municipio de Bailundo

El índice de vegetación de diferencia normalizada estimada para la provincia del Huambo en el año 2014, indicó que la biomasa es relativamente baja o hay un menor



vigor fisiológico de la vegetación presente en la zona de Bailundo en época seca (SASSCAL, 2015).

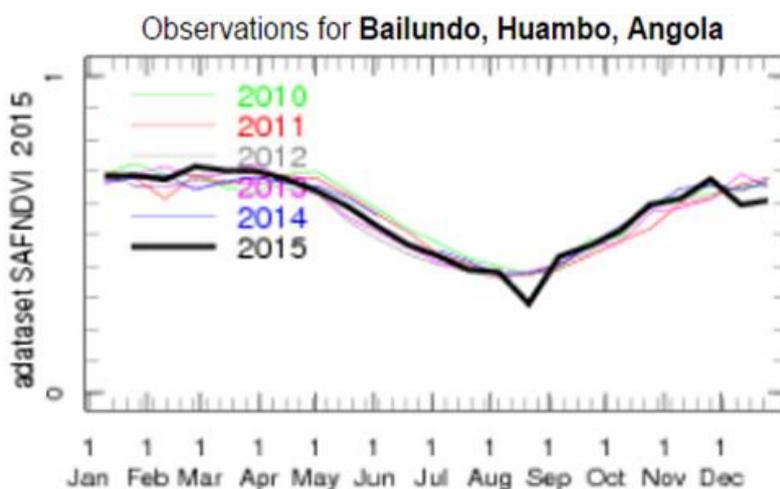
El resultado obtenido en el este trabajo es similar de lo que fue presentado por Huete *et al.* (2015), que estimó el Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para el municipio del Bailundo, ya que como se evidencia en la Figura 10 gran parte de los valores del NDVI están debajo de 0,6 como es en el resultado obtenido en el presente estudio (Figura 9).



**Figura 10.** Mapa del NDVI para el municipio de Bailundo en el año 2015

Huete *et al.* (2015), hizo las estimaciones del índice de vegetación de diferencia normalizada de los seis años anteriores (Figura 11), donde la línea gruesa negro representa el NDVI para el año anterior, que además presenta el menor valor observado en estos seis años.

Las figuras anteriores indican que gran parte de la zona en estudio se corresponde al área con poca o sin vegetación. Igualmente en la siguiente figura, puede apreciarse que en los últimos seis años el menor valor de NDVI, en una escala de 0 a 1, para el municipio de Bailundo fue observado en 2015, con un valor de 0,4 (Figura 11), que puede indicar baja cantidades de vegetación fotosintética o menor vigor vegetativo.



**Figura 11.** Observación del NDVI entre los años 2010-2015 para Bailundo

La obtención e interpretación del mapa de NDVI en el año 2016 para el municipio de Bailundo (Figura 9) permitió tipificar con detalle el bosque de Miombo según su distribución en la zona en estudio.

### 3.3. Cobertura del suelo en el municipio de Bailundo

La cartografía temática elaborada a partir de sensor multiespectral de media resolución espacial de los principales tipos de coberturas del suelo del área de estudio presentó cinco clases (Figura 12) y sus respectivas subclases (Figura 13): Vegetación alta o bosques con dos subclases que son bosques montañoso y no montañoso; Agrícola (cultivos y agroforestal); Zona urbana (barrios periféricos, ciudad de Bailundo y carreteras); Suelo (suelo desnudo); y Agua (ríos). Más adelante en la Tabla 4, se presenta los tamaños de cada clase; donde la clase Agricultura representa 37,59 %, los bosques 36,54 %, zona urbana 1,28 % y suelo desnudo 24,58 %.

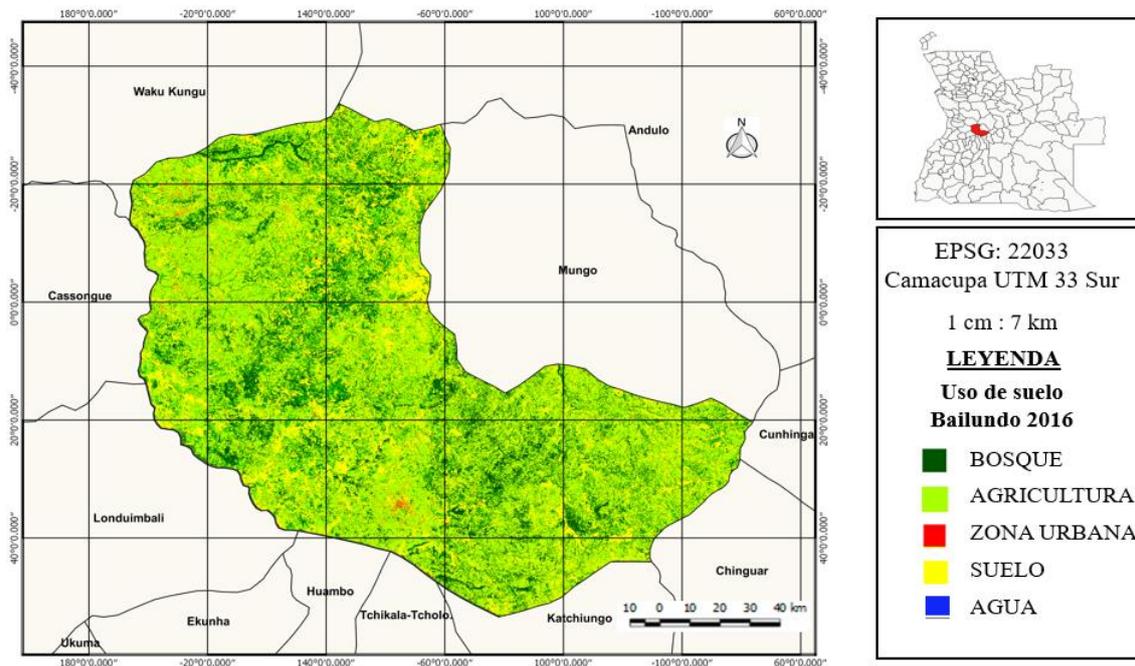


Figura 12. Mapa general del uso de suelo en el municipio de Bailundo

Tanto esta cartografía como la Tabla 4, presentan información que muestra que en el área de estudio el uso mayoritario actualmente es agricultura.

Tabla 4. Tamaño de las clases de uso de suelo

Clase	Tamaño [n° pixeles]	Superficie [ha]
Agricultura	26.398.919	263.989,19
Bosque	25.663.198	256.631,98
Suelo	17.263.980	172.639,80
Zona urbana	898.868	8.988,68

Los usos de la tierra pueden variar rápida o lentamente, tanto por causas observables directas (expansión agrícola, extracción de madera, extensión de infraestructura) como indirectas (crecimiento del mercado, distribución espacial de la población) (Geist y Lambin, 2001). Así para el caso de Bailundo, las aperturas de nuevas carreteras, el establecimiento y crecimiento de pueblos y ciudades (Angop, 2013), son factores observables del cambio de uso de suelo. Por ejemplo, entre los años 2012 y final de 2015 se ha finalizado la construcción del nuevo centro urbano al norte de Bailundo (Angop, 2016). Estas zonas urbanas se pueden notar claramente en la esquina superior izquierda señalados en tonos rojos (Figura 12) o de color rosa (Figura 13).



Otro dato importante es la expansión de la superficie agrícola en el municipio de Bailundo, como se presenta en la Figura 13 con los tonos azul-cian. Por ejemplo, en la temporada agrícola 2012/2013, ya había más de 94.000 hectáreas de tierra cultivada, números que siguen en aumento en la actualidad (Marta, 2015).

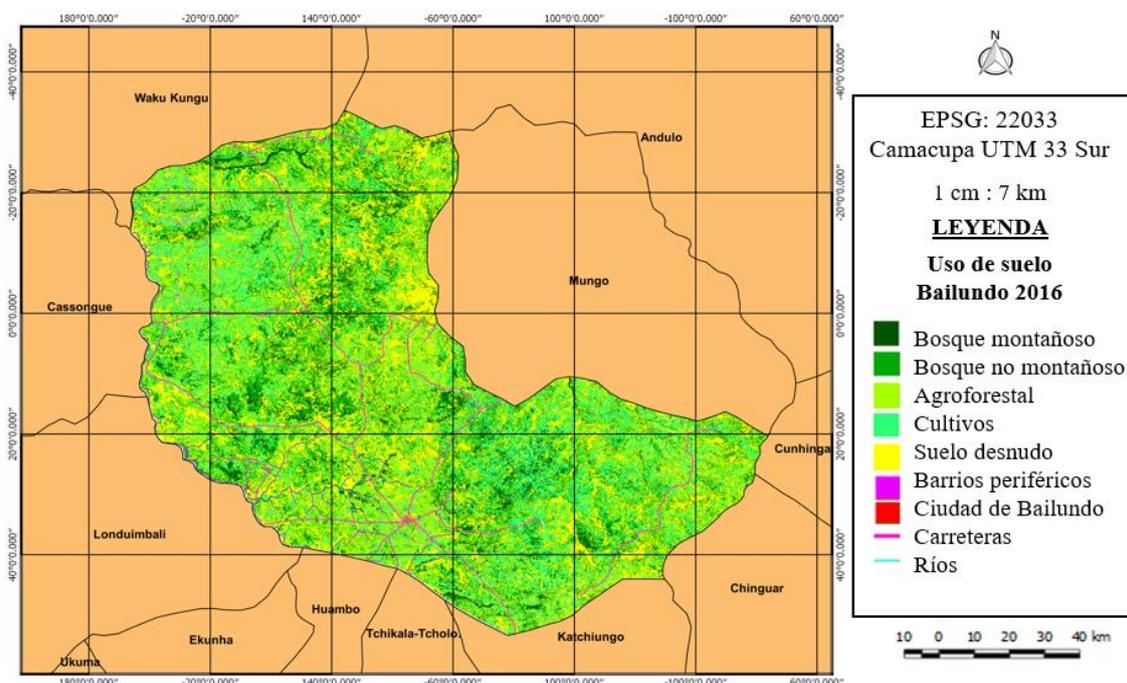


Figura 13. Mapa detallado del uso de suelo en el municipio de Bailundo

Actualmente uno de los principales problemas relacionados con el cambio de uso del suelo en las zonas de Miombo en Huambo, donde se encuentra Bailundo son: la deforestación masiva desempeñada por los productores y comerciantes de carbón vegetal y los nuevos agricultores, incendios excesivos y desordenados (Cabral *et al.*, 2010).

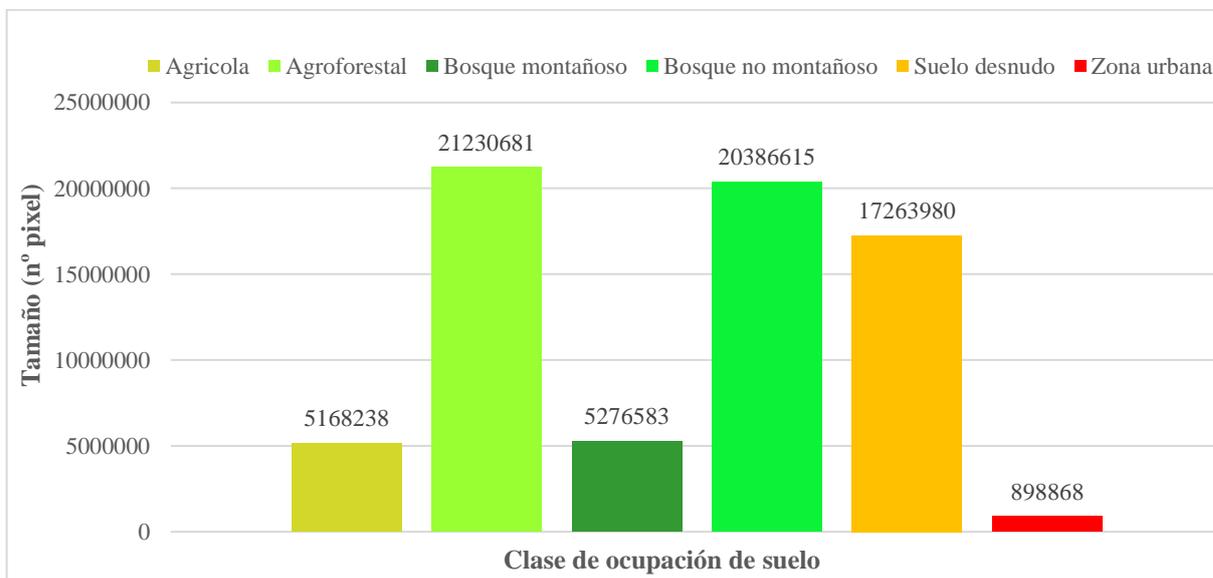
La estadística de las clases de ocupación de suelo presentó, como muestra la Figura 14, la subclase Agroforestal con más de 30 % de numero de pixel y así tuvo el mayor área, seguida de las subclases bosque no montañoso y suelo desnudo con 29 % y 24,58 % respectivamente (Tabla 5). Todo esto está relacionada con el área ocupada por cada subclase de uso de suelo en el municipio de Bailundo como se presenta con más información en la Tabla 5.



**Tabla 5.** Área de las clases de ocupación de suelo en el área de estudio

Subclase	Tamaño [n° pixel]	Porcentaje [%]	Área [ha]
<b>Agrícola/Cultivos</b>	5.168.238	7,36	51.682,38
<b>Agroforestal</b>	21.230.681	30,23	212.306,81
<b>Bosque montañoso</b>	5.276.583	7,51	52.765,83
<b>Bosque no montañoso</b>	20.386.615	29,03	203.866,15
<b>Suelo desnudo</b>	17.263.980	24,58	172.639,8
<b>Zona urbana</b>	898.868	1,28	8.988,68
<b>Total</b>	70.224.965	100	702.249,65

El hecho de que la mayor superficie del Bailundo presentarse clasificado como zona agroforestal (Figura 14) está de acuerdo con FAO y IDF (2009), que consideran que gran parte del área del municipio de Bailundo es ocupada por sabana con pastizales y gramíneas y es caracterizada por tener suelo cubierto de hierba y vegetación herbácea natural con algunos árboles dispersos (cubierta de árboles de copa comprendida entre 5-10 %) o aun tierra no cubierta por el agua estacional o permanente.



**Figura 14.** Gráfica de tamaño (número de pixel) de las regiones de interés

Aquí es notable que tanto la agricultura (subclases agrícola y agroforestal) cuanto el suelo desnudo ocupan gran porción de la superficie de Bailundo. Esta realidad ya ha sido observada anteriormente por PIF (2013), que afirma que en Angola, entre los años 1975-2000 Huambo fue la provincia que presentó mayor porcentaje de cambio de uso



de tierra con 25 %, seguido de Huila con 20 %; estos cambios están relacionados a la apertura de nuevas tierras para la agricultura y existencia de zonas deforestadas y abandonadas.

Un estudio sobre los cambios de uso de suelo y la deforestación en Angola, muestra que las prácticas más comunes que lleva a la pérdida de área forestal y la falta de regeneración natural en los bosques de Miombo (PIF, 2013) son:

- ✓ La apertura de nuevas tierras para la agricultura;
- ✓ Producción ineficiente de carbón vegetal y uso de leña como combustible para uso doméstico, comercial e industrial;
- ✓ Prácticas de transporte de residuos de carbón vegetal ineficientes;
- ✓ Quemadas tardías e incendios incontrolados en la estación seca;
- ✓ Falta de reforestación;
- ✓ Extracción incontrolada de madera y sobreexplotación de especies clave;
- ✓ Métodos agrícolas insostenibles;
- ✓ Otras prácticas de uso de la tierra, como por ejemplo expansión de los asentamientos.

Las principales barreras para el desarrollo de una cadena de aprovechamiento forestal sostenible, que conduzca a reducir y revertir la deforestación en Angola, son el desconocimiento del potencial forestal de Angola y ausencia de una política forestal que responde a los desafíos actuales y futuros tanto a nivel nacional como internacional (FAO y IDF, 2009).

Los bosques de Miombo se encuentran bajo una gran presión por la demanda que hay de tierras para la agricultura, materiales de construcción y el aumento de la urbanización en toda la región del Miombo (Cuesta, 2011). Esto está de acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo, que muestran que esta realidad también suele a ocurrir en pequeña escala, como es el caso de la zona en estudio. En el municipio de Bailundo hay un gran crecimiento de zonas agrícolas (Figura 12) en áreas de Miombo, ya que la



misma presentó el mayor porcentaje entre las clases de ocupación de suelo con casi 1/2 de toda el área de Bailundo.

También el uso de Miombo como fuente de combustible para fines domésticos, actividades comerciales y la producción del carbón vegetal están contribuyendo para alteración de este ecosistema (AIE, 2006), de manera que hay una creciente alteración del uso de suelo en zonas de Miombo.

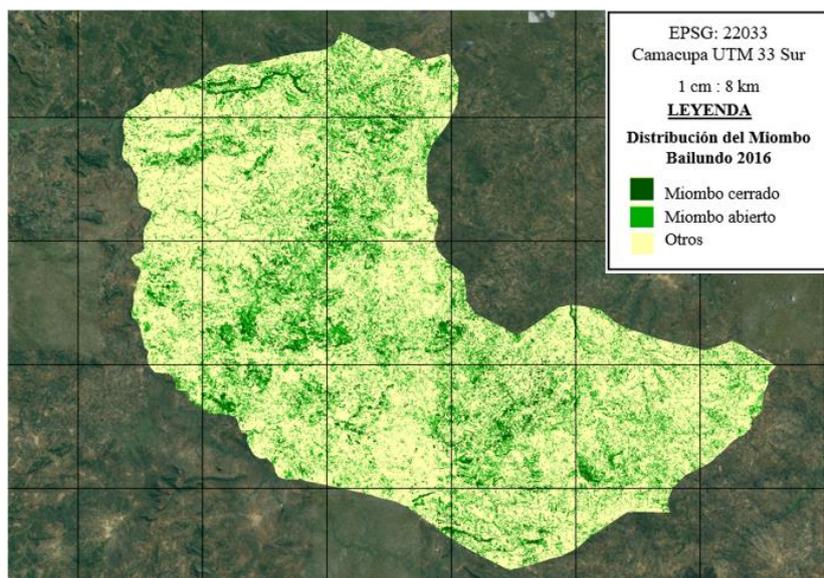
Una vez que las actividades económicas incluyendo la producción de carbón, extracción de leña y la práctica agrícola están contribuyendo mucho para los cambios del uso de la tierra y de la cobertura del suelo (Lupala *et al.*, 2015), se considera útil la introducción de actividades alternativas de generación de ingresos, como la agro-silvicultura, la apicultura, explotación de productos forestales no maderables como prácticas recomendadas para reducción del cambio en el uso de la tierra en zonas de Miombo.

Finalmente, se considera que la metodología usada y los resultados obtenidos en este estudio sirven de ejemplo para realización de futuros estudios en otras zonas de Miombo, contribuyendo como información de base para conocimiento del bosque, y así al establecimiento de políticas forestales que promuevan la sostenibilidad de estos bosques en Angola.

Por lo tanto, con base en una buena política forestal y antes de implementar técnicas de explotación sostenible es importante estudiar, cuantificar y localizar área de los bosques, a pesar de que estas mediciones pueden ser costosos y difíciles (Achard *et al.*, 2004). Por eso en este trabajo se probó que la teledetección asociada con el análisis digital es muy valiosa para el mapeo de área de bosque de Miombo y la tipificación de estos bosques sin coste y con disponible de información para cualquier zona que se necesita estudiar.

### **3.4. Distribución del bosque de Miombo**

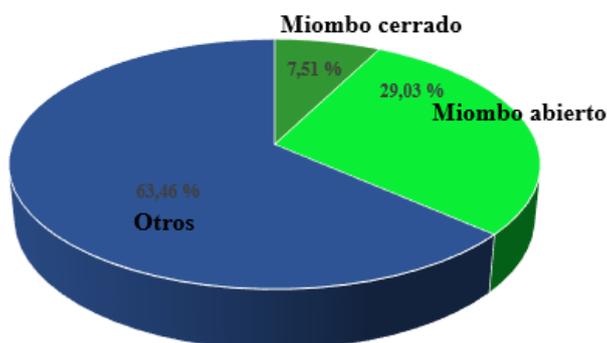
El área del municipio de Bailundo presentó cerca de 203.866,15 hectáreas de bosque de Miombo abierto, esto es un 29,03 % del área del municipio de Bailundo; destacándose así al compararse con el bosque de Miombo cerrado (Figura 15 y 16), que presenta poca extensión.



**Figura 15.** Distribución del bosque de Miombo en la zona de estudio

Zonas con Miombo cerrado presentaron en su totalidad un área de más de 52.765,83 hectáreas, que representa 7,51 % del área del municipio de Bailundo (Figura 16). Como se evidencia en la Figura 15, gran parte de la zona con presencia de Miombo en el municipio de Bailundo está formada por lo que se llama bosque de Miombo abierto.

Así la restante y mayor parte del municipio con un 63,46 % tuvo cerca de 445.617,67 hectáreas. Esto evidencia que actualmente sólo algo más de 1/3 del área del municipio de Bailundo está cubierto por el bosque de Miombo.



**Figura 16.** Gráfica de área de las clases de ocupación de tierra frente al Miombo

Los resultados obtenidos en este trabajo están de acuerdo con MEA (2016), que clasifica el Miombo en la provincia de Huambo como bosques de Miombo abierto, ya que es el que más predomina en la región.



Un estudio hecho en Angola sobre los principales tipos de vegetación de Angola considera que la mayor parte de los bosques de Miombo del sur y centro de Angola, incluyendo unos 80% del municipio de Bailundo, se clasifica como Miombo abierto con árboles que presentan alturas entre 10-20 metros (MUAA, 2006).

### 3.5. Distribución del Miombo según la altitud media

De una forma general, se obtuvo que unos 53 % (372.484 hectáreas) del área de Bailundo está encima de los 1.550 metros de elevación y unos 47 % (332.775 hectáreas) está abajo de este valor, que es la media de elevación de Bailundo.

Como ya se ha mencionado, el Miombo que ocupa un área de 256631.98 hectáreas (36,54 %) de la zona en estudio está distribuido en zonas altas (entre 1.550-1.800 metros) y bajas (entre 1.300-1.550 metros).

Así, como se presenta a continuación (Tabla 6 y Figura 17) los bosques de Miombo presente en zonas altas representan unos 22,54 % (158.317,03 hectáreas) del área de Bailundo y los bosques de zonas bajas con un área de 98.314,95 hectáreas representan 14 % de la superficie total de la zona en estudio.

Gran parte de esta área de Miombo abierto se encuentra en altitudes entre los 1.400 m y aproximadamente 2.000 m (MUAA, 2006) incluyendo por lo tanto Bailundo dentro de este rango como se describirá adelante.

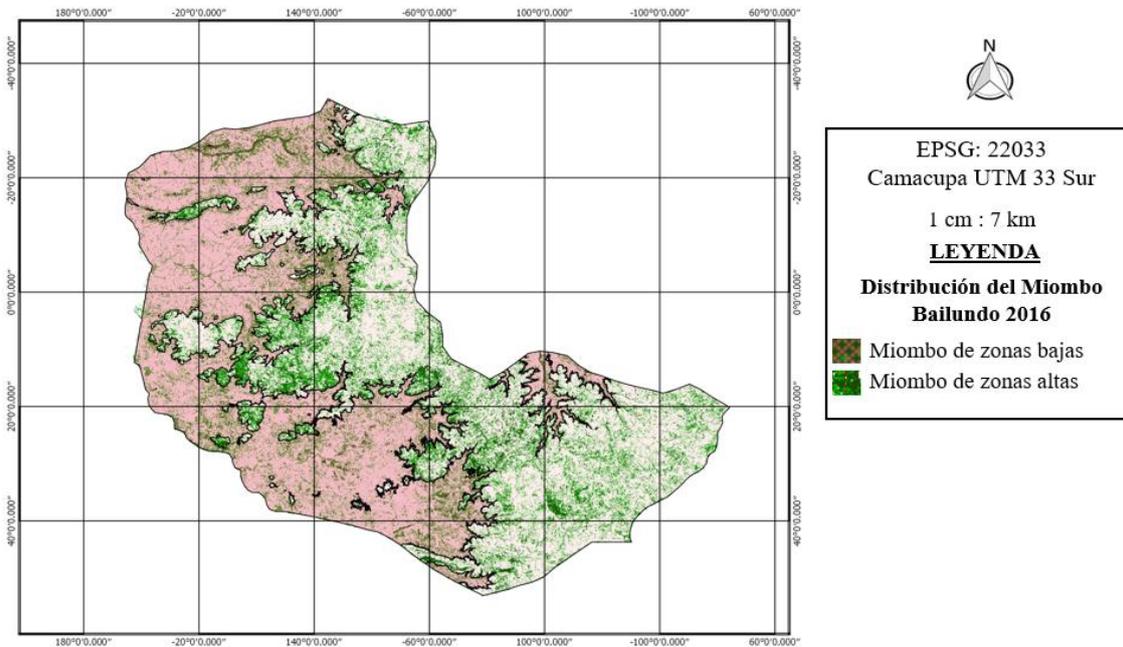
Los bosques de Miombo cerrado que ocuparan unos 7 % (52.765,83 hectáreas) del área en estudio, tiene unos 14.045 hectáreas (2 %) en zonas bajas y 38.720,84 hectáreas (5,5 %) en zonas altas. Ya los bosques abiertos que cubren unos 29 % (203.866,15 hectáreas) del área de Bailundo presentó 12 % en zonas bajas y 17,03 % en zonas altas (Tabla 6).

**Tabla 6.** Relación de la ocurrencia del Miombo cerrado y abierto en zonas bajas o altas

Tipo de Miombo	Zonas bajas	Zonas altas	Total [ha]
Cerrado [ha]	14.044,99	38.720,84	52.765,83
Abierto [ha]	84.269,96	119.596,19	203.866,15
Total [ha]	98.314,95	158.317,03	256.631,98



Como se presentó en la Tabla 6, en el municipio de Bailundo los bosques de Miombo ocurren fuertemente en zonas encima de 1.550 metros de altitudes; esto se puede ver en la Figura 17.



**Figura 17.** Distribución del Miombo en Bailundo según la altitud media

El hecho de haber más bosque de Miombo en zonas alta que en zonas bajas, posiblemente se debe a que la vegetación presente en zonas bajas y de cercanía urbana es de fácil acceso, en relación a los árboles de zonas de alta pendiente.

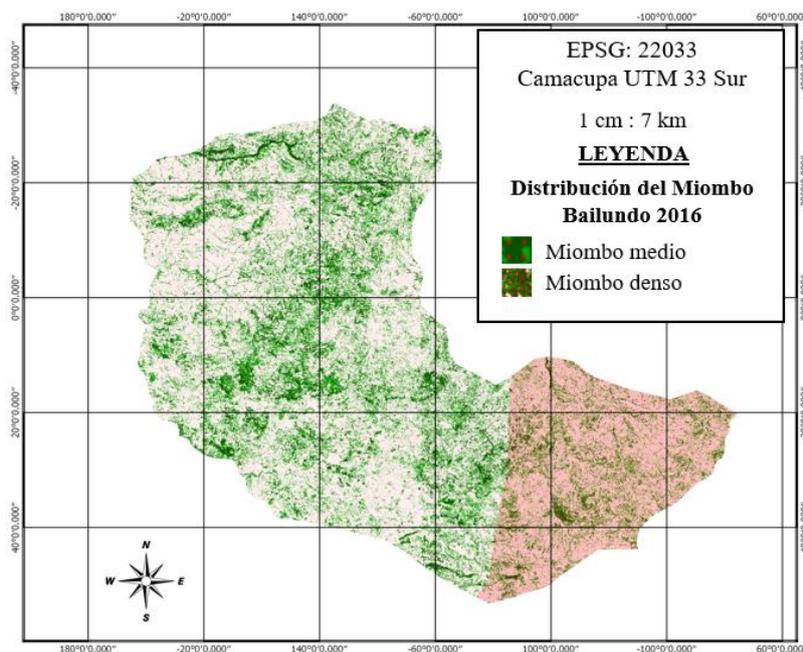
Resultados similares a la mejor conservación de los bosques de Miombo de zonas montañosas en relación a los bosques de zonas no montañosas, han sido reportados por Lupala *et al.* (2015), que relaciona esta conservación a la reducción de actividades ilegales debido al difícil acceso de estos tipos de bosques.

### 3.6. Clasificación del Miombo según la precipitación media anual

Bailundo no presentó bosque de Miombo pobre, ya que las medias de precipitación anual estuvieran encima de 900 mm de precipitación.

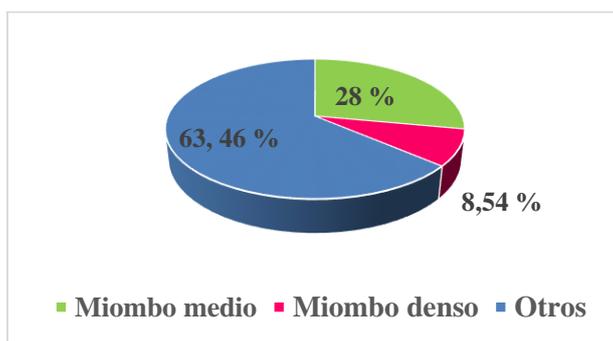


La zona de Miombo denso (Figura 18) representó un 8,54 % (59.972,08 hectáreas) del área en estudio comparando con los 28 % de Miombo medio (Figura 18) que tuvo un área de 196.629,9 hectáreas.



**Figura 18.** Distribución del Miombo en Bailundo según la precipitación media anual

La comparación en valores porcentuales entre el Miombo medio y el denso en Bailundo se puede ver a continuación en la Figura 19.



**Figura 19.** Gráfica de área del Miombo en Bailundo según la precipitación media anual

Macarringue (2014), considera que el Miombo en Angola es mayoritariamente del tipo medio y denso, ya que muchas veces ocurren en zonas altas y reciben grandes cantidades de precipitación durante el año.



En Angola los bosques de Miombo densos ocurren en el bioma Zambeziaco (Frost, 1996; Ribeiro *et al.*, 2002), que cubre más del 80% del área del país e incluye una variedad de bosques, donde el principal es el Miombo (MEA, 2016).

De acuerdo con la clasificación de Sanfilippo (2014), se puede subdividir el Miombo en húmedo (que recibe más de 1.000 mm/año de lluvia, donde la altura promedio de los árboles es de más de 15 metros y la riqueza de especies de plantas es mayor) y seco (donde la precipitación anual es inferior a los 1.000 mm, la altura de los árboles es inferior a 15 metros y la riqueza de especies es menor).

Una vez que las precipitaciones medias anuales en Bailundo están por encima de 1.000 mm anual, el bosque en esta zona se clasifica como Miombo húmedo.

Esto está de acuerdo con Sanfilippo (2014), que considera que en Angola el Miombo húmedo es más común en la zona del centro-norte del país (en las provincias de Huambo, Kwanza Norte, Malanje, Lunda Norte, Kwanza Sul y Benguela).



#### 4. CONCLUSIÓN

Con base en los resultados, las principales conclusiones de este estudio sobre aplicación de imágenes Sentinel 2A para la tipificación del bosque de *Miombo* en el municipio de Bailundo son:

- ❖ Entre las clases de ocupación de suelo la agricultura destacase con 37,59 %, del área de Bailundo, seguido de bosques (36,54 %) y suelo desnudo (24,58 %).
- ❖ En torno a un tercio del área en estudio está cubierto por el bosque de *Miombo*, donde los bosques de *Miombo* cerrado con 52.765,83 hectáreas representan sólo 7,51 % del área de Bailundo y los bosques de *Miombo* abierto que son típicos de la zona ocupan 29,03 % (203.866,15 hectáreas).
- ❖ En función de la altitud media se obtuvo unos 22,54 % (158.317 hectáreas) de *Miombo* de zonas altas y 14 % (98.315 hectáreas) de zonas bajas.
- ❖ Según la precipitación media anual, hubo un predominio de *Miombo* medio (28 %, 196.630 hectáreas) en relación al *Miombo* denso (8,54 %, 59.972 hectáreas).



## 5. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Achard, F., Eva, H., Mayaux, P., Stibig, H.-J., & Belward, A. (2004). Improved estimates of net carbon emissions from land cover change in the tropics for the 1990s. *Global Biogeochemical Cycles*, 18, 1e11.

AIE - Agencia Internacional de Energia. (2006). Angola, desenvolvimento de uma estratégia para a energia. France: Agencia Internacional de Energia/OECD.

Amaral, S. (2004). O Impacto da universidade do Huambo no desenvolvimento do planalto central de Angola. Tese de Mestrado em Gestão Pública. Universidade dos Açores.

André, A. N. C. (2015). Caracterização morfológica de algumas espécies nativas do miombo angolano presentes nos municípios de Wako-Kungo (Kwanza Sul) e Huambo (Huambo) e elaboração de uma ferramenta digital de apoio para a identificação destas espécies. Monografia. Engenharia Agronómica. Universidade José Eduardo dos Santos.

Angop – Agência Angola Press. (2013). Angola pode substituir consumo de lenha e de carvão vegetal por gás butano. Huila, 07/06/2013. Disponible en: <[www.angop.ao/](http://www.angop.ao/)>.

Angop – Agência Angola Press. (2016). Huambo: Nova centralidade: expoente máximo nos 114 anos do Bailundo, 18/07/2016. Disponible en: <[www.angop.ao/](http://www.angop.ao/)>.

Baldauf C. (2012). Key research issues in global dry forests: Latin America. Informe inédito, Centro para la Investigación Forestal Internacional, Bogor, Indonesia.

Blackie, R.; Baldauf, C.; Gautier, D.; Gumbo, D.; Kassa, H.; Parthasarathy, N.; Paumgarten, F.; Sola, P.; Pulla, S.; Waeber, P.; Sunderland, T. (2014). *Tropical dry Forests: the State of Global Knowledge and Recommendations for Future Research*. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research.

Burrough, S. L.; Thomas, D. S. G.; Orijemie, E. A.; Willis, K. J. (2015). Landscape sensitivity & ecological change in western Zambia: The long-term perspective from Dambo cut-and-fill sediments. *Journal of Quaternary Science*, 30(1) 44–58. ISSN 0267-8179.



Cabral, A. I. R.; Vasconcelos, M.J.; Ooma, D.; Sardinha, R. (2010). Spatial dynamics and quantification of deforestation in the central-plateau woodlands of Angola (1990 e 2009). *Applied Geography* 31 (2010) 1185e1193.

Campbell, B. (1996). *The Miombo in Transition. Woodlands and Welfare in África* (CIFOR. Bogor). Indonesia. 266 p.

Campbell, B. M.; Angelsen, A.; Cunningham, A.; Katerere, Y.; Siteo, A.; Wunder, S. (2007). *Miombo woodlands – opportunities and barriers to sustainable forest management*. Centre for International Forestry Research, Bogor, Indonesia, 41 pp.

Campbell, B.; Frost, P.; Byron, N. (1996). *Miombo woodlands and their use: overview and key issues*. Pages 1-10 in B. Campbell, editor. *The Miombo in Transition: Woodlands and Welfare in Africa*. CFIOR, Bogor.

Celender, N. (1983). *Miombo Woodland in Africa- Distribution, Ecology and Pattern* Versitet. International Rural Development Center. Arbetsrapport, Workingpaper 16. Uppsala Suecia. 54 p.

Congedo, L. (2016). *Semi-Automatic Classification Plugin Documentation*. DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29474.02242/1>.

Congedo, L.; Munafò-Michele, M. S. (2013). *Investigating the Relationship between Land Cover and Vulnerability to Climate Change in Dar es Salaam*. Working Paper, Rome: Sapienza University

Cuesta, A. (2011). *Cuadernos: los bosques del África subsahariana*. Cuaderno Bosques, Marzo - abril 2011, Vol 1. XXV, nº 2. ISSN: 1136-0984. Disponible en: <http://www.africafundacion.org>.

Deweese, P.; Campbell, B.; Katerere, Y.; Siteo, A.; Cunningham, A.; Angelsen, A. A.; Wunder, S. (2011). *Managing the Miombo Woodlands of Southern Africa: Policies, Incentives, and Options for the Rural Poor*. Washington, DC: Program on Forests.

Drusch, M. (2012). *Sentinel-2: ESA's optical high-resolution misión for GMES operational services*, *Rem. Sens. Env.* (accepted).



ESA - European Space Agency. (2015). Manual do Usuário Sentinel2. Disponible en: [https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel2\\_User\\_Handbook](https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel2_User_Handbook).

FAO - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação; IDF - Instituto de Desenvolvimento Florestal de Angola. (2009). Monitorização e Avaliação de Recursos Florestais Nacionais de Angola – Guia para recolha de dados. National Forest Monitoring and Assessment Working Paper NFMA XX/P. Rome, Luanda.

FAO – Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2010). Agricultura “climáticamente inteligente”: Políticas, prácticas y financiación para la seguridad alimentaria, adaptación y mitigación. Disponible en: <[www.wocat.org](http://www.wocat.org)>.

Fórum Mazúngue. (2007). De Catapi ao Bailundo, Apr 9th 2007. Arquivo (Huambo - Nova Lisboa) Mensagens de Janeiro 2006 a Setembro 2010. Disponible en: <<http://mazungue.com/forum/index.php?thread/941-arquivo-huambo-nova-lisboa-mensagens-de-janeiro-2006-a-setembro-2010/&pageNo=3404>>. Consulta: 04/10/2016.

Francisco, E. J.; Africano, C. G.; Sanfilippo, M.; Quintana, Y. G.; Martínez, I. C.; Crespo, Y. A. (2014). Estructura y composición del bosque Miombo del sector norte de Canjombe, Angola. Revista Forestal Baracoa vol. 33, Número Especial 2014. Artículo científico, pp. 306-316. ISSN: 2078-7235.

Frost, P. (1996). The Ecology of Miombo Woodlands. IN: CAMPBELL, B. The Miombo in transition Woodland and Welfare in Africa. South Africa. p 19 -39.

Geist, H. and E. Lambin. (2001). Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. BioScience. 52(2): 143-150.

Huete, A.; Didan, K.; Miura T.; Rodriguez, E. P.; Gao, X.; Ferreira, L. G. (2015). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. Remote sensing of environment 83 (1-2): 195-213 NOV 2015.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). Cambio climático 2007: informe de síntesis. Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza.



Lowore, J. (2003). Miombo woodlands and rural livelihoods in Malawi: An in-depth analysis and critical review based on literature research. CIFOR Report.

Lupala, Z. J.; Lusambo, L. P.; Ngaga, Y. M.; Makatta, A. A. (2015). The land use and cover change in miombo woodlands under community based forest management and its implication to climate change mitigation: A case of southern highlands of Tanzania. *International Journal of Forestry Research*, Hindawi Publishing Corporation. Vol. 1, Article ID 459102, 11 pp.

Macarringue, L. S. (2014). Análise da potencialidade agrícola na região de domínio do bioma miombo, ao norte de moçambique, com ênfase em características biofísicas do ambiente. Dissertação de Mestrado. Feira de Santana: Universidade Estadual de Feira de Santana, 2014.

Marcelino, H. (2009). Pesquisa sobre o Contexto da Gestão de Terras. Projecto de Gestão Sustentável de Terras, agosto 2009. ADRA-Huambo.

Marta, T. (2015). Camponeses do Bailundo reforçam produção de soja. Huambo, 21 de Junho, 2015. Fecha de consulta: 12/11/2016. Disponible en: <<http://jornaldeangola.sapo.ao/>>. Consulta: 04/10/2016.

MEA - Ministério de Energia e Águas. Quadro de Gestão Ambiental e Social (QGAS) para o Projecto de Desenvolvimento Institucional do Sector de Águas (PDISA), Angola. Direcção nacional de águas, unidade de coordenação de projectos. SFG2527, 08/2016.

Meister, K.; Ashton, M. S.; Craven, D.; Griscom, H. (2012). Carbon dynamics of tropical forests. In: Ashton, M.; Spalding, T. D.; Gentry, B. M. S. *Managing Forest Carbon in a Changing Climate*. Berlín: Springer. 51–75.

MINADERP - Ministério da Agricultura Desenvolvimento Rural e das Pescas. (2011). Perfil Florestal de Angola. Jornada técnica Científica Sobre Florestas e Segurança Ministério do Urbanismo e Ambiente de Angola Alimentar em Angola. Luanda. Fecha de presentado: 28-30 setiembre 2011. 40p.

MUAA - Ministério do Urbanismo e Ambiente de Angola. (2006). Primeiro Relatório Nacional para a Conferência das Partes da Convenção sobre a Diversidade Biológica.



Projecto 00011125 – Estratégia e Plano de Acção Nacionais para a Biodiversidade (NBSAP). Agosto de 2006, Luanda – Angola.

Niknejad, M.; Mirzaei zadeh, V.; Heydari, M. (2014). Comparing different classifications of satellite imagery in forest mapping (Case study: Zagros forests in Iran). International Research Journal of Applied and Basic Sciences. Science Explorer Publications. ISSN 2251-838X / Vol, 8 (7): 1407-1415.

Nowakowski, T. (2016). "Arianespace successfully launches Europe's Sentinel-2A Earth observation satellite". Spaceflight Insider, 23/06/2015. Retrieved 17/08/2016.

PIF - PROJECT IDENTIFICATION FORM. (2013). Post-Conflict Angola: Climate Change, Deforestation and Charcoal, Development Workshop Angola, 2013.

Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. (2007). Sensoriamento remoto no estudo da vegetação (p. 127). São José dos Campos-SP. Ed: Parêntese.

Projecto Angola. (2014). Geografia de Angola. [cit. 2015-04-14]. Disponible: <<http://www.portaldeangola.com/>>. Consulta: 04/10/2016.

Rede Terra (2004). Sistemas de uso da terra agrícola em Angola – Estudos de caso nas províncias do Huambo, Lunda Sul e Uíje. Relatório final, Vol. 1. ADRA (Acção para o Desenvolvimento Rural e Ambiente). Luanda, Dezembro de 2004, 50 p.

Ribeiro, N.; Siteo, A. A.; Guedes, B. S.; Staiss, C. (2002). MANUAL DE SILVICULTURA TROPICAL. Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de agronomia e engenharia Florestal, Departamento de engenharia Florestal. Maputo, 2002. FAO, Projecto GCP/Moz/056/Net.

Rouse, J.W.; Haas; R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. (1973). Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS, 3 ERTS Symposium, NASA SP-351 I, 309- 317.

SASSCAL - Southern African Science Service Centre for Climate Change and Adaptive Land Management. (2015). Spatial dynamic and quantification of deforestation and degradation in miombo forest of Huambo province (Angola). Forestry Consulting by IDAF and UCO. UJES.



Saatchi, S. S.; Harris, N. L.; Brown, S.; Lefsky, M.; Mitchard, E. T.; Salas, W.; Zutta, B.; Buermann, W.; Lewis, S.; Hagen, S. (2011). Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 108(24).

Sanfilippo M. (2014). *Trinta árvores do miombo Angolano. Guia de campo para a identificação*. COSPE, Firenze.

Sangumbe, L. M. V.; Pereira, E. A. (2014). Recuperación de las áreas degradadas de la formación de Miombo con especies exóticas de Eucalyptus y pinus en la provincia de Huambo. *Revista Forestal Baracoa*. Vol. 33, Número Especial. ISSN: 2078-7235. Artículo científico, pp. 566-573.

Scholes, R. J.; Biggs, R. (2004). *Ecosystem services in southern Africa: A regional assessment*. Council for Scientific and Industrial Research, Pretoria, South Africa.

Sinclair, I., Spottiswoode, C., Cohen, C., Mills, M.S.L., Cassidy, R., Pinto, P.V. & Ryan, P. (2004). Birding in Angola. *Bull ABC*, 11: 152-160.

Sitoe, A.; Guedes, B.; Nhantumbo, I. (2013). *Linha de Referência, Monitoria, Relatório e Verificação para o REDD+ em Moçambique. Relatório do país*. IIED, Londres. ISBN 978-1-78431-044-8.

USAID. (2008). *118/119 biodiversity and tropical forest assessment for Angola*. United States Agency for International Development.

Wertz-Kanounnikoff S. y Kongphan-apirak M. (2009). *Emerging REDD+: A preliminary survey of demonstration and readiness activities*. CIFOR Working Paper No. 46. Bogor, Indonesia: Centro para la Investigación Forestal Internacional.

World Bank. (2008). *Managing the Miombo Woodlands of Southern Africa Policies, incentives and options for the rural poor*. Technical Annexes. May 2008, 53618 v2.

WWF-SARPO. (2001). *Conserving the Miombo ecoregion. Reconnaissance Summary*. WWF-Southern Africa Regional Programme Office, Harare, Zimbabwe. 24 p.