

# **EVALUACIÓN DEL PROYECTO REDD+EPM POR MEDIO DE LA ESTIMACIÓN DEL CARBONO TOTAL ALMACENADO EN LA VEGETACIÓN DE LA ZONA**

**VANESSA ACOSTA RODRÍGUEZ**  
**Universidad de Medellín**  
**Vaneacosta9206@hotmail.com**

**SARA RESTREPO ARISTIZÁBAL**  
**Universidad de Medellín – Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín**  
**Saris\_741@hotmail.com**

## **RESUMEN**

La zona nororiental de Antioquia-Colombia ha sido un pilar fundamental para el desarrollo económico gracias a los proyectos hidroeléctricos desarrollados por EPM, tales como Miraflores, Porce II y III y Río Grande. No obstante, este tipo de proyectos pueden llegar a impactar negativamente la vegetación circundante, y si a esto se le suma la deforestación causada por terceros para generar tierras productivas económicamente, se puede llegar a ver una gran afectación al medio ambiente, sin contar con los impactos sociales generados en la zona de estos macroproyectos. Por este motivo, EPM planteó un proyecto de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los bosques (REDD+) y así contribuir a la mitigación del cambio climático.

En este trabajo se evalúa la cantidad de carbono almacenado en la zona del proyecto REDD+EPM para las áreas de Porce II y III, Miraflores y Río Grande, realizando una comparación del cambio en las coberturas vegetales de los años 1999 y 2010 por medio de la clasificación de píxeles en imágenes satelitales con el programa ArcGIS.

Las imágenes satelitales fueron obtenidas de GLOVIS. El método usado consistió en realizar una imagen compuesta para visualizarla en infrarrojo (RGB 453) y a partir de ésta comenzar a clasificar los píxeles correspondientes a bosque primario, bosque secundario, pastos, suelo desnudo, cuerpos de agua, zonas inundadas, nubes, sombras de nubes y, en el caso del 2010, no data por error del satélite Landsat. Luego se realizó un análisis zonal para conocer el número de píxeles de cada clase para la zona de estudio, delimitada por los polígonos de Porce II y III, Miraflores y Río Grande y a partir de éstos se calculó el área en hectáreas para cada clase. Una vez obtenida el área, se determinó el carbono total con valores de referencia para la biomasa y finalmente se determinó el carbono total almacenado.

Los resultados obtenidos evidencian la transformación paisajística en donde se presenta una disminución de los bosques primarios y un aumento de los bosques secundarios y pastizales, representando una disminución del contenido total de carbono para el área de estudio, pasando de 1.388.714, 6 Tc en 1999 a 827.130,4 Tc en 2010. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el aumento en la cantidad de bosque secundario puede representar un plan de manejo realizado por el proyecto, con el fin de lograr un proceso de reforestación que permita cumplir con los objetivos establecidos.

**Palabras clave:** SIG, REDD+EPM, Carbono Almacenado, Proyecto hidroeléctrico, ArcGIS.

# **REDD + EPM PROJECT EVALUATION THROUGH THE ESTIMATED TOTAL CARBON STORAGE IN THE VEGETATION OF THE STUDY AREA**

## **ABSTRACT**

The northeastern Antioquia-Colombia has been a fundamental pillar for economic development through hydroelectric projects developed by EPM, such as Miraflores, Porce II and III and Río Grande. However, this kind of projects can cause negative impacts to the surrounding vegetation, and if we also count the deforestation caused by the local people to generate economically productive lands, it may lead to see a great damage to the environment, without counting the social impacts caused in the zone of macroprojects. Therefore, EPM raised a Project of Reduction of Emissions for Deforestation and Degradation of the Forest (REDD+) and contribute to the mitigation of climate change.

In this work the amount of carbon stored is evaluated in the area of REDD+EPM project for the Porce II and III, Miraflores and Río Grande areas, making a comparison of the change in vegetation coverage for the years 1999 and 2010 by the pixel classification in satellite images with ArcGIS program.

The satellite images were obtained from GLOVIS. The used method consisted in making a compose image to visualizing it in infrared (RGB 453) and from this start classifying pixels corresponding to primary forest, secondary forest, grasses, bare ground, aquifers, flooded areas, clouds, clouds shadows and, in the case of 2010, no data for a Landsat satellite error. Then a zonal analysis was made to determine the number of pixels from each class for the study area, delimited for the polygons of Porce II and III, Miraflores and Río Grande, and from them the total area was calculated in hectares for each class. After obtaining the area, the total carbon was determined with the reference values for the biomass and finally the total stored carbon was determined.

The results obtained show the landscape transformation, where is shown a diminution of the primary forest and an increase of the secondary forest and grasses, representing a decrease of the total carbon for the study area, from 1.388.714, 6 Tc in 1999 to 827.130,4 Tc in 2010. However, it should be noted that the increase of the amount of secondary forest may represent a management plan made by the project, with the porpoise of a reforestation process that lead to the goals achievement.

**Keywords:** GIS, REDD+EPM, Stored Carbon, Hydroelectric project, ArcGIS.

## 1. Introducción

El nororiente antioqueño ha sido un pilar fundamental para el desarrollo del departamento gracias a los proyectos hidroeléctricos desarrollados por EPM, tales como Miraflores, Porce II y III y Río Grande (Empresas Públicas de Medellín, 2013). No obstante, este tipo de proyectos pueden llegar a impactar negativamente la vegetación circundante, y si a esto se le suma la deforestación causada por terceros para generar tierras productivas económicamente, se puede llegar a ver una gran afectación al medio ambiente.

Por este motivo, EPM planteó un proyecto de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los bosques (REDD+) y así contribuir a la mitigación del cambio climático (Empresas Públicas de Medellín, 2013). Los proyectos REDD+ son un mecanismo que realiza el reconocimiento de los Servicios Ecosistémicos de los bosques al almacenar carbono por medio de cambiar las prácticas que generen procesos de degradación y deforestación de coberturas vegetales incentivando otras que permitan disminuir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero asociadas a esos cambios en el uso del suelo (Finanzas Carbono, s.f.).

En este sentido, EPM busca disminuir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero en las cuencas hidrográficas de algunos de sus proyectos hidroeléctricos, tales como Miraflores, Porce II y III y Río Grande por medio del planteamiento del proyecto REDD+EPM. Estas áreas fueron elegidas gracias a que no tenían compromisos legales, no tenían plantaciones forestales, tenían cartografía clara y reciente y se podía demostrar amenazas de deforestación o degradación. Sin embargo, algunas dificultades que presenta la zona del proyecto es la amenaza de las zonas fronterizas, donde se está dando un cambio de uso del suelo hacia cultivos agrícolas, pastizales y, en algunos casos, cultivos ilícitos (Empresas Públicas de Medellín, 2013).

Un método propuesto para evaluar este proyecto ha sido el uso de Sistemas de Información Geográfica, por medio de imágenes satelitales que permitan clasificar el área y tipo de vegetación de la zona y, de esta forma, obtener la cantidad de carbono almacenado. Estudios similares han sido realizados por (Slimon, y otros, 2011), donde se logra concluir acerca de las ventajas y desventajas del método y desde dónde se puede partir para lograr mejorarlo y presentar a futuro una mejor evaluación de este tipo de proyectos.

## 2. Delimitación espacial.

Colombia es un país caracterizado por obtener la mayor parte de su energía eléctrica a partir de fuentes renovables, teniendo así un 64% de producción hidroeléctrica y un 33% de energía térmica, siendo la empresa líder del sector Empresas Públicas de Medellín. Las principales centrales hidroeléctricas de Colombia son Guavío, Chivor, Betania, Anchicayá, Urra I, Miel I, Salvajina, Calima, Prado, Tominé y, específicamente en el departamento de Antioquia, San Carlos, Porce II, Porce III, Peñol-Guatapé, Jaguas, Troneras, Río Grande, Calderas y Miraflores, sumándole a éstas tres nuevos proyectos hidroeléctricos que son Sogamoso, El Quimbo e Ituango, éste último también en el departamento de Antioquia, considerándose el más grande proyecto hidroeléctrico del país (Palacios Sierra, 2013).

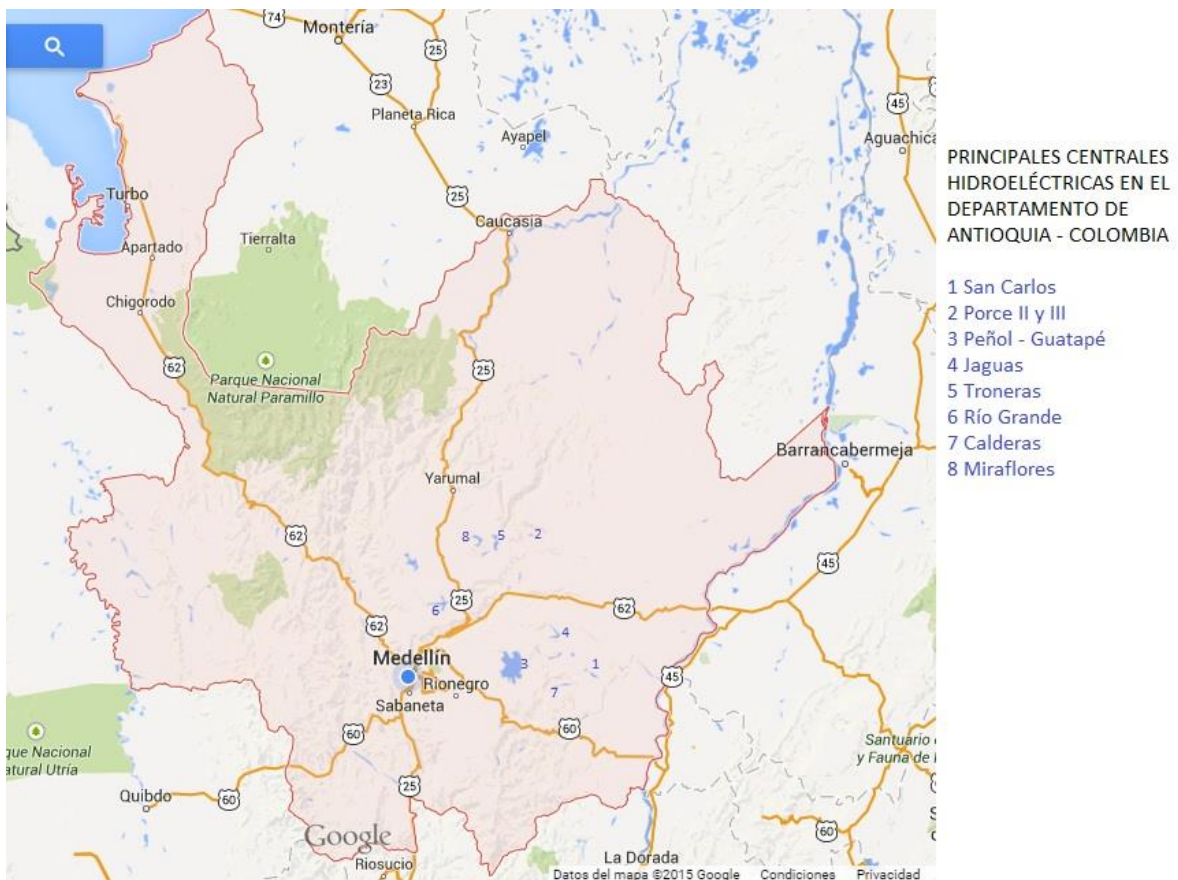


Ilustración 1. Principales Centrales Hidroeléctricas en el departamento de Antioquia-Colombia. Tomada de Google Maps.

El ámbito de estudio del presente artículo está determinado por las diferentes cuencas hidrográficas de los proyectos hidroeléctricos de Porce II y III, Miraflores y Río Grande del departamento de Antioquia. Es importante mencionar que los proyectos Porce II y III están ubicados en la cuenca de Porce de la zona central del departamento de Antioquia, además, el proyecto Miraflores tiene un área de influencia en la cordillera central colombiana y se encuentra dentro de la cuenca del río Tenche. Por último, el proyecto Río Grande hace parte de la cuenca Río Grande, ubicada entre los municipios de Donmatías y Santa Rosa de Osos.



Ilustración 2. Zona de estudio del proyecto. Tomada de Google Maps.

### 3. Delimitación temporal.

Se analizó un período temporal para el mes de mayo en los años 1999 y 2010 con el fin de observar la transformación paisajística en el tiempo y analizar los cambios en el contenido de carbono total almacenados en la vegetación para el área de estudio. Porce II y III no se encontraban en operación en el año de 1999, pues aún estaba Porce II en etapa de construcción. Sin embargo, para el año 2010 ya Porce II se encontraba en funcionamiento y Porce III en etapa experimental, ya que entró en completo funcionamiento en el año 2011. Las centrales de Miraflores y Río Grande ya se encontraban en funcionamiento en el año 1999 y también en el 2010.

### 4. El caso de estudio

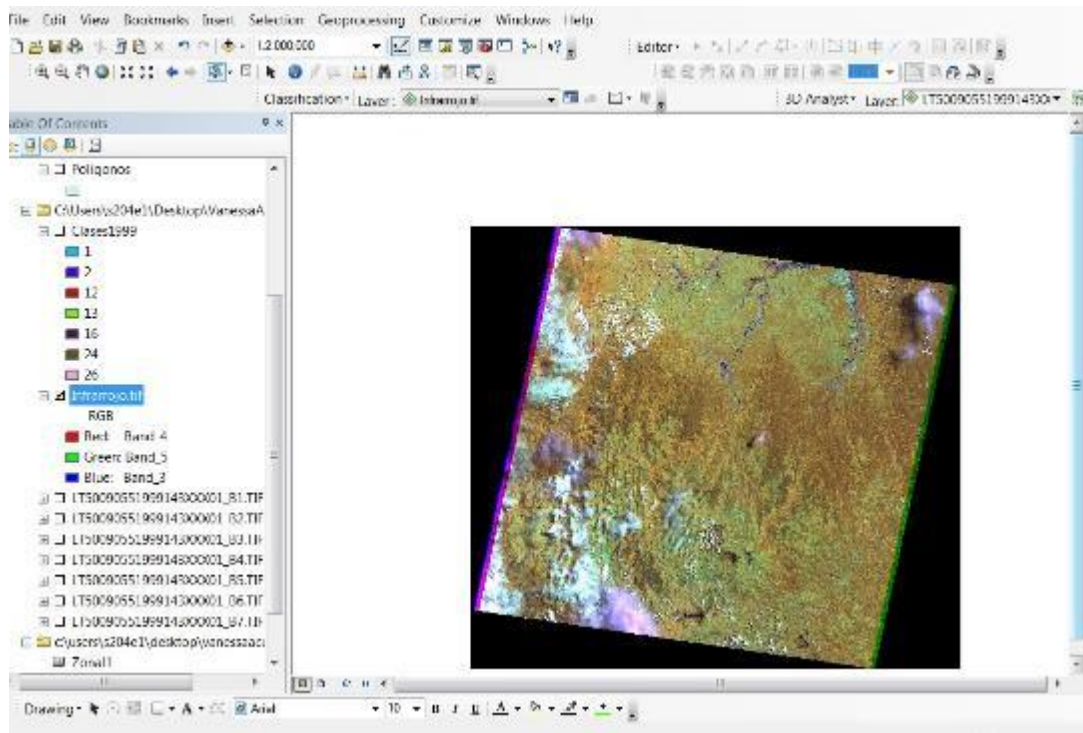
El estudio se centra en el análisis y comparación temporal de cada una de las zonas de Porce II y III, Miraflores y Río Grande, que forman parte del proyecto REDD+EPM, en los años 1999 y 2010 para determinar de qué manera afecta la transformación paisajística al contenido de carbono total almacenado en la cobertura vegetal a través del tiempo y de esta forma evaluar la efectividad del proyecto. Para lograr esto, se llevó a cabo una metodología basada en el uso de Sistemas de Información Geográfica que permitiera de forma efectiva realizar esta comparación, ya que el proyecto REDD+EPM busca reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero y necesita realizar mediciones para comprobar el éxito del proyecto.

### 5. Materiales, datos y métodos

Se obtuvieron las imágenes satelitales de la zona de estudio de (USGS, s.f.) para los años 1999 y 2010 para realizar las comparaciones pertinentes. Estas imágenes provienen del satélite Landsat, el cual presenta un error de bandeo desde el año 2003. Esto puede indicar que los datos obtenidos no son 100% certeros.

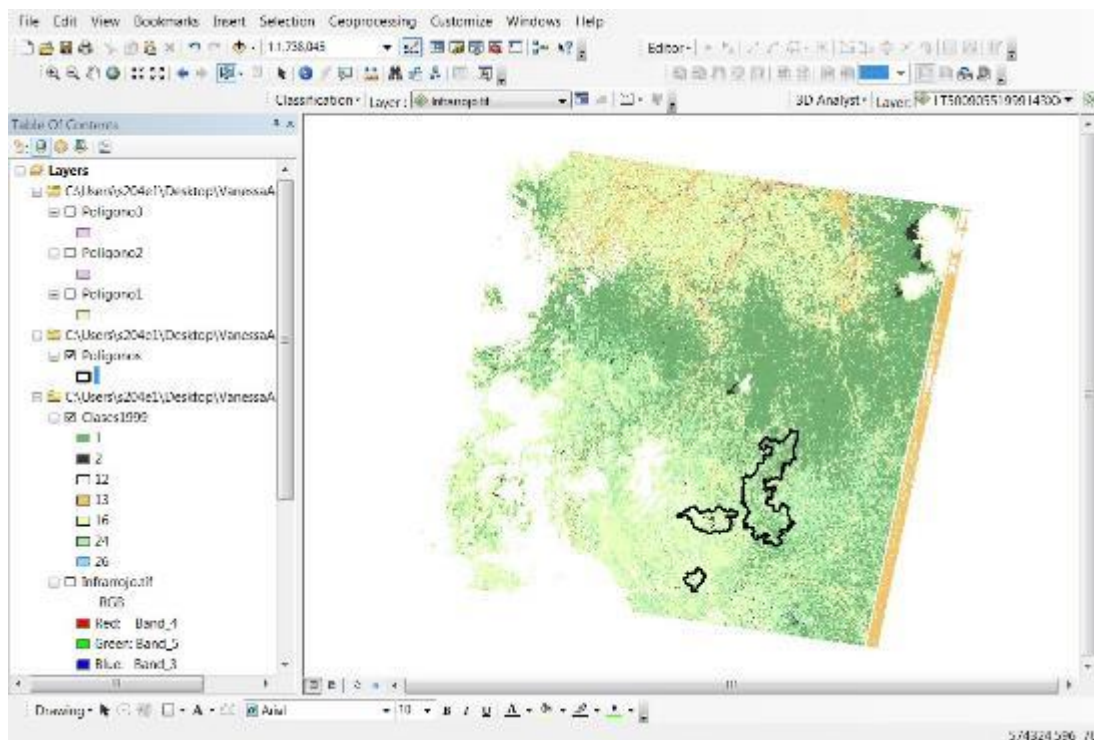
El método usado tanto para la imagen satelital del año 1999 como la del 2010 fue el mismo y consistió en realizar una imagen compuesta para visualizarla en infrarrojo (RGB 453).





**Ilustración 3. Imagen Satelital de la Zona de Estudio año 1999 en Infrarrojo (RGB 453)**

De esta forma la visualización de las clases se hacía más fácil y a partir de esta imagen se comenzó a hacer una clasificación de los píxeles correspondientes a bosque primario, bosque secundario, pastos, suelo desnudo, cuerpos de agua, zonas inundadas, nubes, sombras de nubes y, en el caso del 2010, no data por cuestiones del error en el satélite Landsat. Previamente, los polígonos de cada zona de estudio fueron obtenidos y se añadieron a la imagen satelital como un Layer.



**Ilustración 4. Imagen Satelital de la Zona de Estudio con los polígonos específicos y la clasificación de píxeles año 1999**

Luego se realizó un análisis zonal para conocer el número de píxeles de cada clase para la zona de estudio, delimitada por los polígonos de Porce II y III, Miraflores y Río Grande y a partir de éstos se calculó el área en hectáreas para cada clase. En la Ilustración 5 se observa la Tabla Zonal, que corresponde al polígono de Porce II y III en donde en la columna LABEL se observa un número

que corresponde a cada clase y en la columna ID\_0 el número de píxeles de cada clase. Este procedimiento se realizó para cada polígono en cada una de las imágenes satelitales.

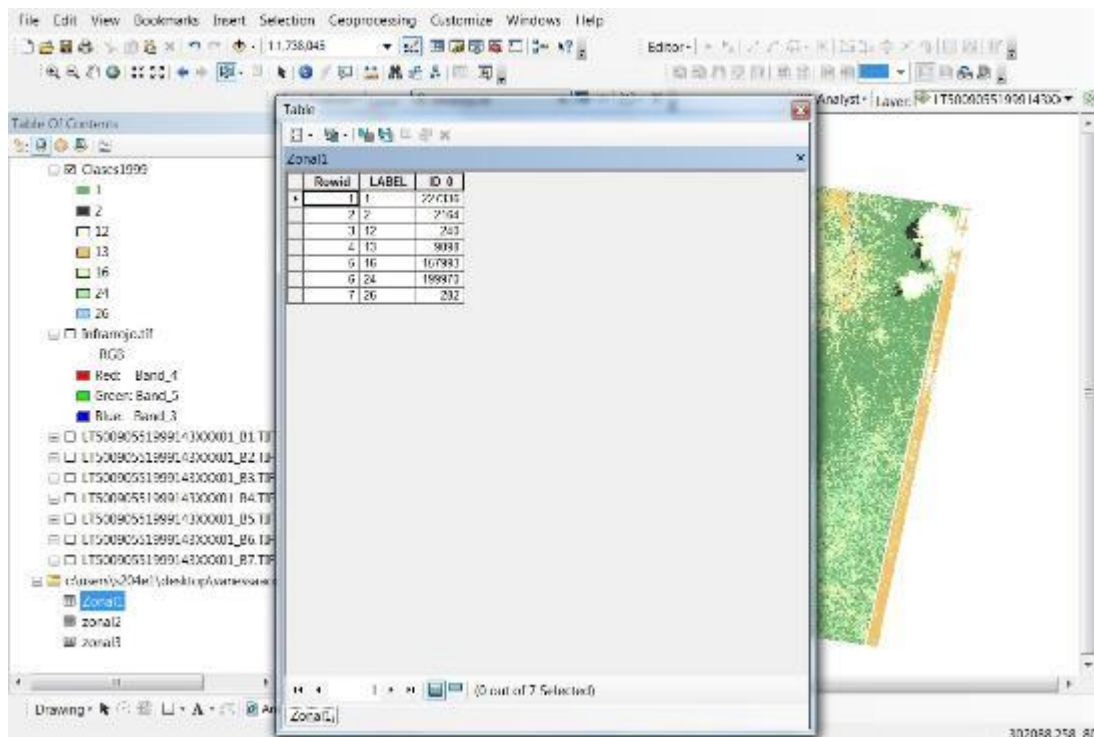


Ilustración 5. Tabla zonal para el Polígono de Porce II y III año 1999

## 5.1 Los datos

Las imágenes satelitales de la zona de estudio fueron obtenidas de (USGS, s.f.) para los años 1999 y 2010, en donde es pertinente mencionar que esta última no presentó una buena calidad debido a un error en el satélite de Landsat. Por otro lado, mediante el número de píxeles obtenidos para el bosque primario, bosque secundario y pastos, y a partir del área del píxel (30m x 30m), se procedió a la determinación del área en hectáreas ocupada por éstos en las zonas de Porce II y III, Miraflores y Río Grande. Asimismo, los valores de referencia para la biomasa aérea, biomasa subterránea y biomasa suelo fueron tomados de (Empresas Públicas de Medellín, 2013).

## 5.2 Técnicas de análisis

Con el fin de hallar el contenido de carbono, primero, mediante la siguiente fórmula se determinó el área de bosque primario, bosque secundario y pastos en donde éste estaría distribuido:

$$\text{Área (ha)} = N^{\circ}\text{píxeles} * \text{Área del píxel (m}^2\text{)} * \frac{1 \text{ ha}}{10000 \text{ m}^2}$$

Una vez hallada el área, mediante la siguiente fórmula se determinó el carbono total, con los valores de referencia para la biomasa obtenidos en (Empresas Públicas de Medellín, 2013):

$$\text{Carbono total (tC/ha)} = \text{Biomasa aérea} + \text{Biomasa subterránea} + \text{Biomasa suelo}$$

Finalmente, se determinó el carbono total almacenado en la vegetación:

$$\text{Carbono total (tC)} = \text{Carbono total (tC/ha)} * \text{Área (ha)}$$

## 6. Descripción y análisis de resultados

En la tablas 1 y 2 se observan los valores obtenidos para cada polígono en los años 1999 y 2010, respectivamente. Para esto se tomó el área de Bosque Primario, Bosque Secundario y Pastos y los valores de referencia de biomasa aérea, biomasa subterránea y biomasa suelo para cada una de estas clases y de esta forma poder determinar el carbono total almacenado. En cada clase, cada polígono y en promedio se observó una disminución en el tiempo del carbono total almacenado. El carbono promedio total para el año 1999 fue 1.388.714, 6 Tc y para el año 2010 827.130,4 Tc, representando así una disminución de 561.584,5 Tc en un período de 11 años.

**Tabla 1. Contenido de carbono en la vegetación para el año 1999**

	PORCE II Y III			MIRAFLORES			RÍO GRANDE		
	BOSQUE PRIMARIO	BOSQUE SECUNDARIO	PASTOS	BOSQUE PRIMARIO	BOSQUE SECUNDARIO	PASTOS	BOSQUE PRIMARIO	BOSQUE SECUNDARIO	PASTOS
ÁREA(ha)	27671,40	8357,6	16504,3	7375,2	604,5	5878,6	1743,3	320,9	1424,7
BIOMASA AÉREA (tC/ha)	149,9	61,2	9,7	149,9	133,5	9,7	149,9	98,0	9,7
BIOMASA SUBTERRÁNEA (tC/ha)	24,7	9,1	20,4	24,7	56,1	20,4	24,7	41,2	20,4
BIOMASA SUELO(tC/ha)	65,0	65,0	65,0	70,0	70,0	70,0	65,0	65,0	65,0
Carbono total (tC/ha)	239,6	135,4	95,1	244,6	259,6	100,1	239,6	204,2	95,1
CARBONO TOTAL (tC)	6629514,0	1131282,0	1569723,0	1803833,8	156905,8	588508,6	417659,8	65501,5	135503,2
CARBONO PROMEDIO TOTAL (Tc)	1388714,6								

**Tabla 2. Contenido de carbono en la vegetación para el año 2010**

	PORCE II Y III			MIRAFLORES			RÍO GRANDE		
	BOSQUE PRIMARIO	BOSQUE SECUNDARIO	PASTOS	BOSQUE PRIMARIO	BOSQUE SECUNDARIO	PASTOS	BOSQUE PRIMARIO	BOSQUE SECUNDARIO	PASTOS
ÁREA(ha)	11448,54	12339,7	10734,0	4848,6	211,8	4355,3	646,1	272,3	1292,0
BIOMASA AÉREA (tC/ha)	149,9	61,2	9,7	149,9	133,5	9,7	149,9	98,0	9,7
BIOMASA SUBTERRÁNEA (tC/ha)	24,7	9,1	20,4	24,7	56,1	20,4	24,7	41,2	20,4
BIOMASA SUELO(tC/ha)	65,0	65,0	65,0	70,0	70,0	70,0	65,0	65,0	65,0
Carbono total (tC/ha)	239,6	135,4	95,1	244,6	259,6	100,1	239,6	204,2	95,1
CARBONO TOTAL (tC)	2742841,2	1670304,5	1020913,6	1185863,3	54964,9	436007,1	154795,0	55598,2	122885,9
CARBONO PROMEDIO TOTAL (Tc)	827130,4								



## Zona del proyecto. 1999.

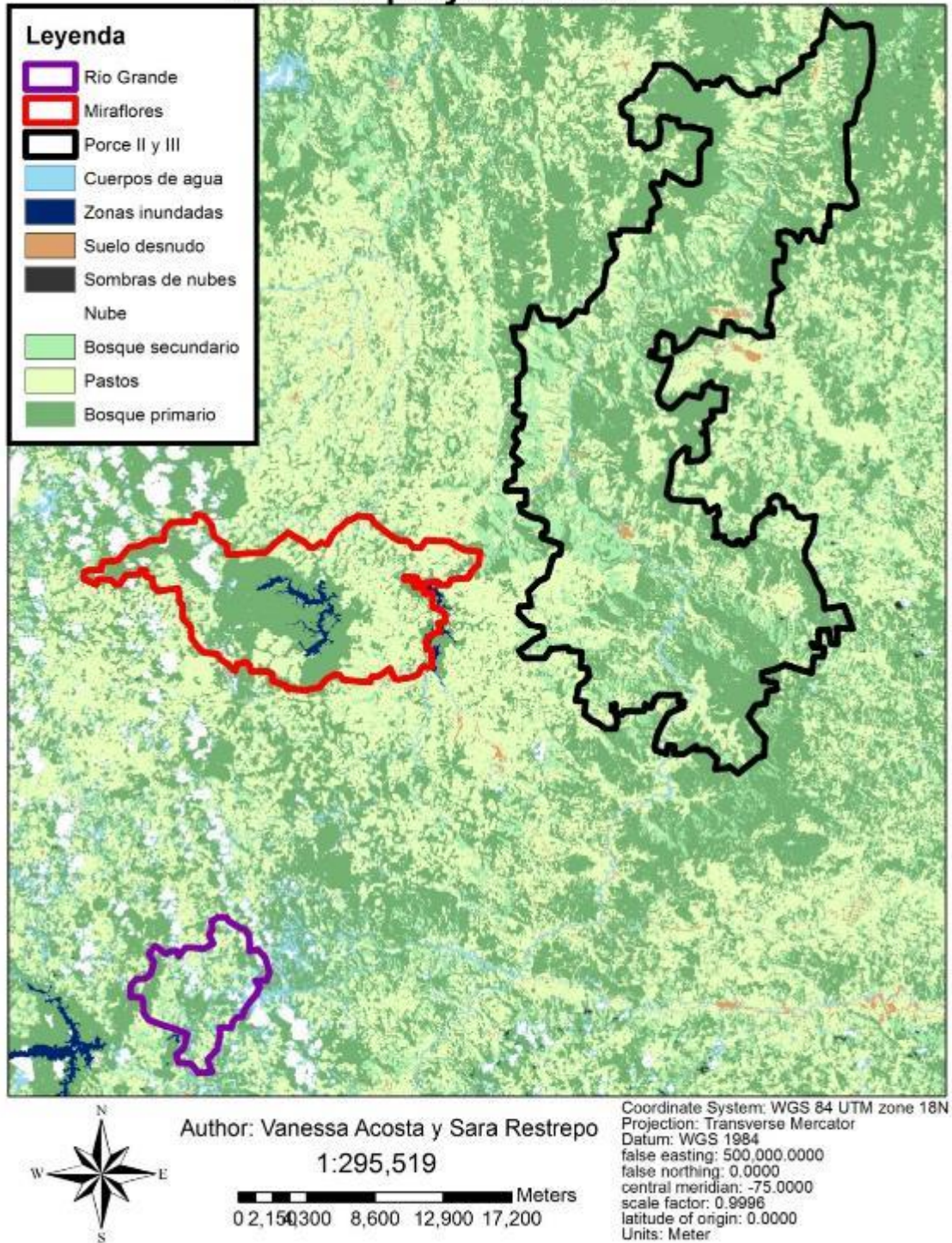


Ilustración 6: Clasificación de la zona de estudio para el año 1999



## Zona del proyecto. 2010.

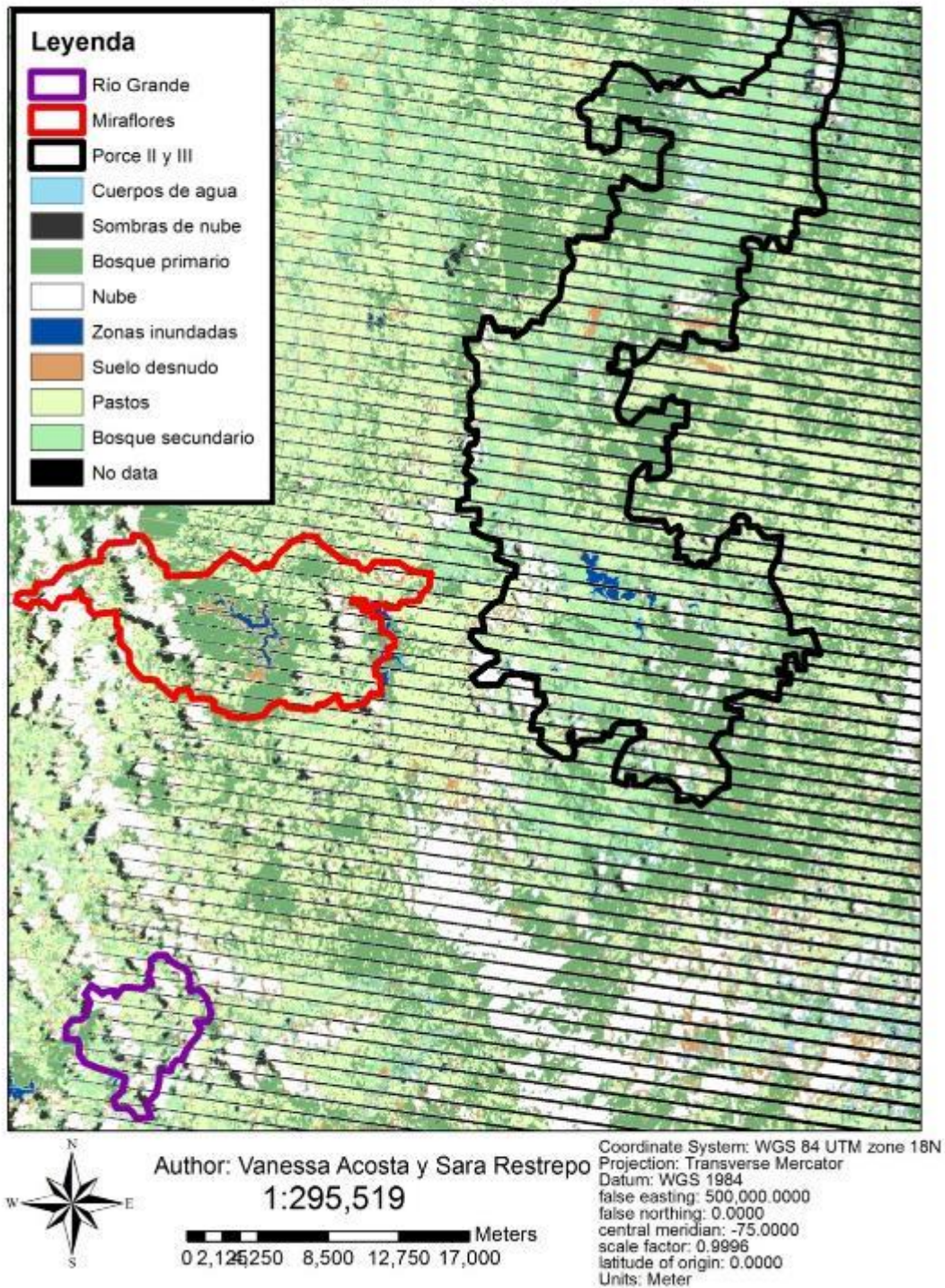


Ilustración 7: Clasificación de la zona de estudio para el año 2010

## **7. Discusión y valoración de hallazgos**

Según los objetivos establecidos por el proyecto REDD+EPM, en donde se pretende la comercialización del carbono (Empresas Públicas de Medellín, 2013), según la disminución en el contenido de carbono total almacenado, éste no sería viable. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el aumento en la cantidad de bosque secundario puede representar un plan de manejo realizado por el proyecto, con el fin de lograr un proceso de reforestación que permita cumplir con los objetivos establecidos. Además, es necesario realizar un plan de contingencia que evite la rápida disminución de los bosques primarios y que se realice un constante monitoreo a la zona para tener un mejor control sobre los mismos y poder evaluar en el tiempo la efectividad de este proyecto.

Es importante mencionar que una vez realizada la composición tanto para el año 1999 y 2010, este último presentó una baja calidad por errores en el satélite Landsat, lo que no permitió abarcar completamente las diferentes clases y pudo generar un error considerable en el contenido total del carbono con respecto al resultado obtenido para el año 1999.

Por otro lado, aun teniendo en cuenta la poca exactitud de un mapa con respecto al otro, claramente se observa la transformación paisajística de la zona entre el año 1999 y el año 2010, lo que finalmente se traduce en una disminución considerable en cuanto al contenido de carbono total a través del tiempo a causa del cambio en la cobertura vegetal. Otra posible causa de error son las nubes, ya que éstas y sus sombras en ocasiones no permiten saber con exactitud el número de píxeles de cada clase.

No obstante, es importante mencionar que si se desea realizar un análisis más exacto se debe contar con información más detallada acerca del tipo de cobertura vegetal y de valores históricos y de referencia, ya que puede tomarse este método con ArcGIS como algo muy somero a la hora de realizar una evaluación de este tipo de proyectos. También puede usarse este mismo método con imágenes satelitales provenientes de otro tipo de satélites que tengan una mejor resolución y que no tengan errores de bandeo.

## **8. Conclusiones**

Los resultados obtenidos evidencian la transformación paisajística en donde se presenta una disminución de los bosques primarios y un aumento de los bosques secundarios y pastizales, lo que finalmente representa una disminución del contenido total de carbono para el área de estudio.

A pesar de que el método usado presenta varios errores de exactitud, es un ejercicio rápido y ágil que permite de manera superficial evaluar el estado del proyecto y de esta forma mantener un monitoreo constante que ayude a tomar las decisiones pertinentes en el momento oportuno.

La elección de las imágenes satelitales provenientes del satélite Landsat se debió a la facilidad y gratuidad de éstas. En caso tal de que el proyecto REDD+EPM cuente con los recursos puede llevar a cabo esta metodología con imágenes satelitales de otro satélite que tenga mejor resolución y que no tenga errores de bandeo, de acuerdo a las necesidades que se tengan.

## 9. Referencias bibliográficas

Anaya, J.A., Chuvieco, E., & Palacios-Orueta, A. (2009). *Aboveground biomass assessment in Colombia: A remote sensing approach. Forest Ecology and Management*, 1237-1246.

Empresas Públicas de Medellín. (2013). *Diseño del documento del proyecto REDD+EPM*. Medellín: MGM Innova.

Finanzas Carbono. (s.f.). *¿Qué es REDD+?* Obtenido de Finanzas Carbono: <http://finanzascarbono.org/nuevos-mecanismos-de-mitigacion/redd/que-es-redd/>

Palacios Sierra, R.A. (2013). *Inventario Documentado de Represas en Colombia*. Bogotá D.C.

Slimon, C.I., Putz, F.E., Menezes-Filho, E., Anderson, A., Silveira, M., Brown, I.F., & Oliveira, L. (2011). *Estimating state-wide biomass carbón stocks for a REDD plan in Acre, Brazil*. *Forest Ecology and Management*, 555-560.

USGS. (s.f.). *GLOVIS: The USGS Global Visualization Viewer*. Recuperado el 23 de Mayo de 2013, de <http://glovis.usgs.gov/>