

Metodología automática para estimar pérdida de carbono a través de procesamiento de imágenes satelitales. Caso de uso parte del Chaco Paraguayo

Santiago Vera Aquino

Universidad Nacional de Asunción

sveraaquino@gmail.com

17 de agosto de 2015

El cambio del paisaje de bosques tropicales maduros a paisajes agrícolas resulta en una emisión neta de dióxido de carbono CO₂ a la atmósfera. La deforestación es uno de los factores principales en el balance global de carbono, dónde la importancia de los ecosistemas forestales para mitigar las emisiones de gases es uno de los más importantes, el cual radica en el potencial de fijación del CO₂ en la biomasa de las especies arbóreas por medio de la fotosíntesis; creando de este modo un reservorio importante que dependiendo del uso destinado podrá almacenar el CO₂ por un periodo de tiempo prolongado.

Paraguay es un país que basa su economía en la agricultura y la ganadería extensiva, actividades que han afectado al recurso forestal dando como resultado extensas áreas deforestadas y degradadas.

A pesar que existen leyes de protección para evitar la deforestación y valorar los bosques como la Ley de Deforestación Cero en la Región Oriental del Paraguay promulgada en el año 2004, y que será extendida hasta el 2018 y, la Ley de servicios ambientales 3001/06, entre otros instrumentos, los mismos necesitan apoyo para su monitoreo y aplicación efectiva, debido a que los costos en dinero y tiempo no suelen ser bajos por la necesidad de realizar muestreos en el terreno, más aún en zonas del chaco por el difícil acceso y falta de información ambiental, como también la compra de sistemas de carácter propietario.

Con el objetivo de implementar Políticas de mitigación del Cambio Climático relativas a reducir las emisiones provenientes de la degradación y la deforestación (REDD+), los países en desarrollo deben contar con estimaciones robustas sólidas en cuanto a las reservas de carbono forestal.

REDD+ es una iniciativa que tiene como objetivo reducir la pérdida de bosques, las actividades REDD+ evitan pérdidas como emisiones de gases de efecto invernadero (conservación, no deforestación, no degradación), mantienen el depósito o stock de carbono (conservación, gestión sostenible), o incrementan el depósito por su efecto de retención o sumidero de carbono (conservación, restauración, gestión sostenible).

El Paraguay se ha embarcado en el proceso de preparación para Reducir la Deforestación y Degradación forestal (REDD+) a fin de disminuir las emisiones de CO₂, conservar los bosques y su biodiversidad, por tanto se busca elaborar una estrategia nacional, con políticas socio ambientales y económicos viables, así como el desarrollo de capacidades.

Así para medir los beneficios de carbono de un proyecto REDD+, es necesario calcular la cantidad de carbono almacenado en el bosque en cuestión y luego predecir la cantidad de carbono que se podría conservar si se detiene o reduce la deforestación y la degradación forestal.

La mayoría de las investigaciones para estimar y mapear la biomasa en bosques se centran en las técnicas de Sensores Remotos; debido a las grandes extensiones de las áreas de estudio, la dificultad de acceder a las mismas, el alto costo del establecimiento de las parcelas de inventario y su limitada utilidad debido a la variabilidad natural espacial de la biomasa forestal. Por ello la necesidad de crear metodologías que ayuden al monitoreo de forma dinámica y barata nos lleva al desarrollo de herramientas libres que permitan estimar focos de alerta para la toma de acciones y controles más rigurosos a tiempo.

Sassan Saatchi de Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, en colaboración con la NASA, realiza investigaciones que se centra en diversos aspectos del ciclo de carbono terrestre. Usa una combinación de sensores remotos y datos in situ para mapear el carbono almacenado en los bosques, para cuantificar sus cambios con respecto a las perturbaciones humanas y naturales, también estimar como las interacciones e impactos climáticos son dinámicas.

Existen trabajos realizados por estudiantes de la Facultad de Agronomía como proyecto de grado en zonas específicas como la reserva de la biosfera del Chaco, Parque Nacional San Rafael y el Parque Nacional Defensores del chaco, todos ellos en la región Occidental del Paraguay. Implementan una metodología base hecha en el marco denominado *Desarrollo del estudio de línea de base para el sitio piloto Bosque atlántico de Alto Paraná. (BAAPA)* realizado por el Paraguay Land Use (ParLu), el cual es una iniciativa de World Wildlife Fund (WWF) Paraguay y WWF Alemania que apoya las iniciativas REDD+ en Paraguay, generando a su vez un Mapa de stock de carbono y los correspondientes Mapas de cobertura y de Deforestación 2000 2005 y 2005 2011, todo esto conjuntamente con la Carrera de Ingeniería Forestal de la Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Asunción.

Un estudio realizado por por University of Maryland Institute for Advanced Computer Studies denominado Forest Cover Change in Paraguay, nos muestra el cambio de vegetación estimado en todo el país, utilizando el método de asignación de etiquetado de cambio clustering-supervised.

Formulación general del Proyecto

Problema u Oportunidad

- La información referente al secuestro de carbono es muy escasa y discontinua en todo el país, más aun en zonas del chaco, lo cual dificulta la detección y solución de las problemáticas que acarrea la pérdida de carbono.
- La generación de información ambiental es muy costosa en el Paraguay, debido a no contar con una metodología práctica que agilice los procesos utilizando informaciones públicas y herramientas libres.

Solución propuesta por el proyecto de investigación

- La solución propuesta por el proyecto es diseñar e implementar una metodología que ayude a estimar y comparar el contenido de carbono en una región de manera práctica y con un flujo continuo en series de tiempo.

Hipótesis del proyecto

- La idea consiste en aplicar operaciones de procesamiento de imágenes para realizar una comparación multitemporal de imágenes espectrales e índices derivados de ellas, previo a la clasificación de vegetación para la estimación de carbono.

Objetivos del proyecto

Objetivos Generales

- Desarrollar una metodología de análisis de imágenes espectrales multitemporales para la generación de indicadores respecto a cambios de contenido de carbono en zonas del Chaco Paraguayo.

Objetivos Específico

- Estudiar el estado del arte en teledetección aplicada en el medio ambiente.
- Realizar detecciones de cambio automatizada dentro del área de estudio a través de la Teledetección y un SIG.
- Realizar proyecciones de acuerdo a las tendencias observadas en los resultados.
- Aportar información ambiental en la zona del chaco, para futuros estudios e investigaciones.

Antecedentes - Carbono y Biomasa

La biomasa es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptible de ser aprovechada energéticamente. Las plantas transforman la energía radiante del sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esta energía queda almacenada en forma de materia orgánica.

El conocer la cantidad de biomasa por árbol en cada una de las especies que crecen en el bosque, permite estimar la cantidad de carbono que contiene un grupo de árboles, un rodal o el bosque en su totalidad, ya que al multiplicar la cantidad de biomasa por un factor de conversión, obtenido por muestreo, se logra determinar la cantidad de carbono.

La teledetección es la ciencia y arte de obtener información acerca de la superficie de la Tierra sin entrar en contacto con ella. Esto se realiza detectando y grabando la energía emitida o reflejada y procesando, analizando y aplicando esa información.

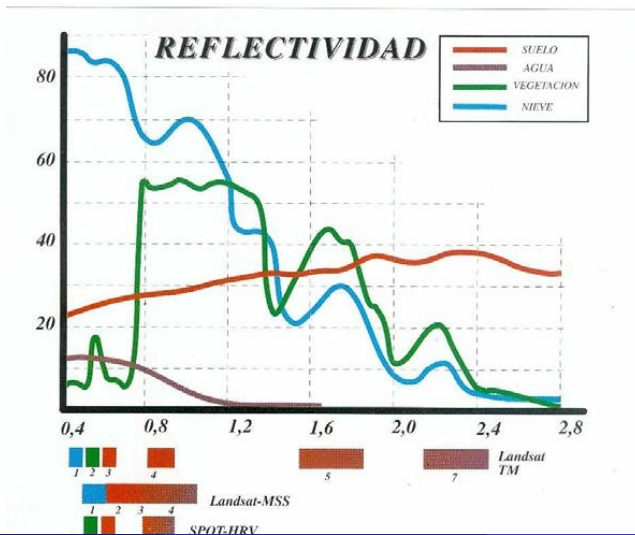
Para producirse la teledetección, se requiere de la interacción de tres componentes principales: flujo energético, objeto observado y un sensor.

El espectro electromagnético

Aunque los valores de longitudes de onda son continuos, se establece una serie de bandas en donde la radiación electromagnética manifiesta un comportamiento similar. El espectro electromagnético es la organización de estas bandas de longitudes de onda o frecuencia. Las bandas más empleadas en teledetección son las siguientes:

- Espectro visible (400 nm a 700 nm)
- Infrarrojo próximo: (700 nm a 1300 nm)
- Infrarrojo medio: (1,3 μ m a 8 μ m)
- Infrarrojo lejano o térmico: (8 μ m a 14 μ m)
- Microondas: (a partir de 1 μ m)

Firmas espectrales



Antecedentes - Imágenes satelitales

La imagen satelital consiste de un arreglo matricial bidimensional de elementos de imagen llamados píxeles, ordenados en filas y columnas formando una malla las imágenes organizadas de esta manera son conocidas como imágenes ráster. Cada píxel representa un área de superficie sobre la tierra. Un píxel tiene un valor de intensidad y una ubicación en la imagen bidimensional.

Antecedentes - Resoluciones de un sensor

- Resolución espacial
- Resolución espectral
- Resolución radiométrica
- Resolución temporal

La biomasa es un parámetro que no se puede obtener directamente desde imágenes de satélite, de hecho no se puede medir directamente ni siquiera en campo. Con la teledetección se obtienen imágenes que permiten analizar la reflectividad de los lugares en diferentes regiones del espectro electromagnético y esa información se puede transformar en ecuaciones que estimen parámetros biológicos de esas regiones (y a su vez, esos parámetros biológicos transformarlos en biomasa).

La biomasa es un parámetro que no se puede obtener directamente desde imágenes de satélite, de hecho no se puede medir directamente ni siquiera en campo. Con la teledetección se obtienen imágenes que permiten analizar la reflectividad de los lugares en diferentes regiones del espectro electromagnético y esa información se puede transformar en ecuaciones que estimen parámetros biológicos de esas regiones (y a su vez, esos parámetros biológicos transformarlos en biomasa).

Métodos de comparación basados en operaciones o algoritmos de álgebra de imagen

Estos métodos, se basan en operaciones sencillas por lo que se pueden implementar en un proceso no supervisado y se estructuran en tres etapas generales: pre-proceso, proceso de asignación (criterios de decisión) y post-proceso.

Datos disponibles

Se dispone de imágenes Landsat 5 y 7 con Path/Row 228/76 de fechas 1/26/1992 y 8/17/1999 para las validaciones de precisión y control de calidad, junto con una imagen de un estudio elaborado por University of Maryland Institute for Advanced Computer Studies respecto al cambio de vegetación. Para el calculo del Umbral de vegetación se utilizaron una imagen landsat 5 del año 1986 junto con MODIS Vegetation Continuous Fields elaborado por University of Maryland, Department of Geography and NASA, del año 2000. Por último para la determinación del carbono una imagen landsat 7 y el mapa de carbono elaborado por California Institute of Technology perteneciente a la NASA, las dos imágenes del 2001.

Corrección Geométricas

Los ajustes geométricos engloban toda serie de operaciones aplicadas sobre las imágenes iniciales que permitan el co-registro espacial de estas; de manera que las celdas situadas en la misma posición en cada imagen, se asocia a la misma rea del terreno.

Corrección radiométrica

Se busca optimizar el proceso para mejorar la semejanza entre imágenes aplicando métodos de normalización a partir de los parámetros estadísticos de la imagen.

Una variable tipificada (Z) se define para una distribución estándar del tipo $N(0,1)$ según la expresin:

$$Z = \frac{VD - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

Aplicando este concepto sobre cada una de las dos imágenes, se pueden comparar siendo ambas distribuciones estandarizadas:

$$\frac{VD_1 - \mu_1}{\sigma_1} = \frac{VD_2 - \mu_2}{\sigma_2} \quad (2)$$

Para su aplicación práctica, se puede transformar el valor digital (VD) de las celdas de la imagen 1, para que se asemeje al VD de las de la imagen 2, expresión:

$$VD_{Norm} = \mu_2 + \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \cdot (VD_1 - \mu_1) \quad (3)$$

As se puede definir una relación lineal entre las dos distribuciones; aplicando una normalización radiométrica estadística, los parámetros de la transformación $m12$ y $n12$ se definen según se indica en la expresión:

$$n_{12} = \mu_2 - \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \cdot \mu_1; m_{12} = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \Rightarrow VD_{Norm} = m_{12} \cdot VD_1 + n_{12} \quad (4)$$

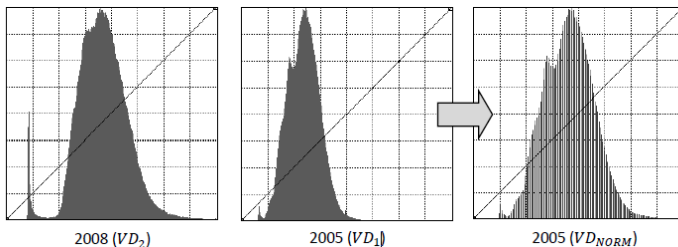


Figura : Normalización Radiométrica

Extracción de Índices - NDVI

Los índices espectrales muestran un aspecto o característica del terreno a partir de la información radiométrica contenida en las imágenes multiespectrales.

El índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI) ha sido ampliamente reconocido como uno de los más útiles para el estudio de características de la biosfera terrestre y su dinámica, a nivel global, regional y local. El NDVI es un índice espectral normalizado que toma valores en el intervalo $[-1, 1]$ y se extrae de las bandas correspondientes al rojo B_R e infrarrojo próximo B_{IRc} según la siguiente expresión:

$$NDVI = \frac{B_{IRc} - B_R}{B_{IRc} + B_R} \quad (5)$$

Comparación multitemporal

La diferencia de imagen por ser el método más simple, fácil de interpretar y directo; se suele aplicar combinada con la extracción de índices espectrales.

$$I_{Dif.} = VD_{final} - VD_{inicial} \quad (6)$$

Criterios de decisión. Umbralización.

Se propone, como criterios de decisión, aplicar método de discriminación basado en los parámetros estadísticos del índice de cambio entre la secuencia temporal de imágenes:

$$U = \mu \pm n \cdot \sigma \quad (7)$$

Donde, el valor de umbral entre cambio/no cambio (U) se estima en función de los parámetros estadísticos (μ, σ) y un coeficiente de tolerancia n asignado en función del tipo de datos disponibles (la fiabilidad del método de captura realizado). Se clasifican los resultados en función de n ; alta probabilidad de cambio ($n \geq 2$) y zonas de media probabilidad de cambio ($1 < n < 2$).

Proceso Iterativo

Al considerarse las dos imágenes como semejantes, los cambios producidos en el terreno afectan a la radiometría registrada en las imágenes, y por tanto, en los parámetros estadísticos que las definen. Se propone realizar una normalización radiométrica iterativa, transformando la imagen a normalizar utilizando los parámetros estadísticos estimados a partir de las celdas clasificadas como no cambio.

Metodología - Proceso de Detección de cambio

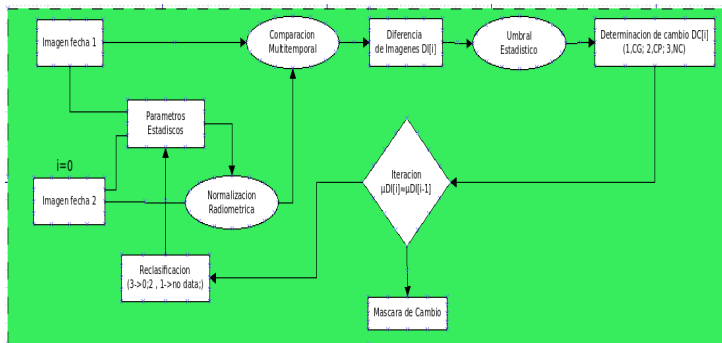


Figura : Diagrama de iteración

Evaluación de los resultados y control de calidad

Se realizaron el calculo del porcentaje de precisión global y el coeficiente Kappa.

Coeficiente de tolerancia	Zona	GA	Coef. Kappa	Puntos
N=1	Urbana	84.177819	0.474973	2835532
	Rural	93.874461	0.659546	3190560
	Humeda	90.603407	0.299295	1865591
N=1.5	Urbana	83.47319	0.314602	2835532
	Rural	94.921675	0.673034	3190560
	Humeda	95.278279	0.42258	1865591
N=2	Urbana	81.630537	0.093501	2835532
	Rural	94.334537	0.571205	3190560
	Humeda	96.68802	0.425243	1865591

Cuadro : Resultados de validación

Cálculo de Carbono

En base al mapa global de carbono correspondiente a Saatchi y a nuestro cálculo de NDVI de la misma fecha, se realizó un muestreo observando una correlación. De esta forma es posible hallar una función lineal que convierta el NDVI a carbono.

Muestreo con 240 puntos aleatorios del año 2001

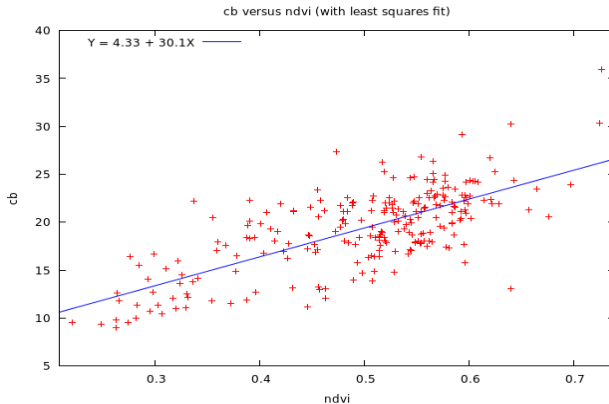


Figura : Regresión Lineal con $r^2 = 0.509125$ (moderado)

Gracias