

Uso de la Teledetección para Calcular el Carbono Secuestrado por el Bosque Municipal Protegido -Quito

Ximena Luz Crespo Nuñez¹

xcrespo@udet.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-9622-089X>

Universidad de Especialidades Turísticas
Ecuador

Lourdes Elena Monge Amores

emonge@udet.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-0976-7606>

Universidad de Especialidades Turísticas
Ecuador

Jaime Vladimir Sancho Zurita

vladimir_sancho@yahoo.es

<https://orcid.org/0000-0002-5915-2100>

Instituto Tecnológico Superior Japón

RESUMEN

Las áreas verdes de las ciudades prestan importantes servicios ecosistémicos como la captura de carbono y el control de las olas de calor. En este trabajo se investiga cuánto CO₂ se almacena en los árboles del bosque municipal protegido - Quito. La primera fase calculó el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado desde el año 2001 hasta el año 2030 usando una imagen del satélite Landsat 8 y el software QGIS, mediante regresiones lineales. La segunda fase se desarrolló con la obtención de una imagen satelital del SENTINELA-2 con la que se estableció un modelo matemático, para determinar el CO₂ que representa visualmente cada píxel. La tercera fase fue el estudio de campo, en una desagregación de 15 cuadrantes de 100 m². En cada cuadrante se midió el DAP y la altura de los árboles existentes. A partir de este dato se establece la cantidad de CO₂ fijado por cada cuadrante, Se compararon los datos de campo y de satélite para encontrar diferencias y cotejar con resultados obtenidos por otros autores en diferentes áreas del Ecuador y de países de América del Sur. Se determinó el aporte del bosque estudiado en la compensación de las emisiones de la ciudad.

Palabras clave: cambio climático; carbono; compensación; mitigación; adaptación

¹ Autor principal

Correspondencia: xcrespo@udet.edu.ec

Use of Remote Sensing to Calculate the Carbon Sequestered by the Protected Municipal Forest -Quito

ABSTRACT

Green areas in cities provide important ecosystem services such as carbon capture and heat wave control. This work investigates how much CO₂ is stored in the trees of the protected municipal forest - Quito. The first phase calculated the Normalized Differential Vegetation Index from the year 2002 to the year 2030 using an image from the Lansat 8 satellite and the QGIS software, using linear regressions. The second phase was developed by obtaining a satellite image from SENTINEL-2 with which a mathematical model was established to determine the CO₂ that each pixel visually represents. The third phase was the field study, with in situ information in a breakdown of 15 quadrants of 10 by 10 meters. In each quadrant the DBH and total height of the existing trees were measured. From this data, the amount of CO₂ fixed by each quadrant is established. Field and satellite data were compared to find differences and compare with results obtained by other authors in different areas of Ecuador and South American countries. The contribution of the studied forest in compensating the city's emissions was determined.

Keywords: climate change; carbon; compensation; mitigation; adaptation

*Artículo recibido 15 noviembre 2023
Aceptado para publicación: 20 diciembre 2023*

INTRODUCCIÓN

Las zonas urbanas producen altas emisiones de contaminantes a la atmósfera, en la actualidad gran parte de la población de las zonas rurales migra hacia las ciudades aumentando drásticamente la población en las ciudades y con ello incrementando las emisiones de gases de efecto invernadero GEI. (Bonilla-Bedoya, 2021). Para el 2050 se estima que el 67% de la población mundial se radicará en las principales ciudades y el consumo de bienes consecuentemente también crecerá, la contaminación ambiental irá produciendo graves impactos al ambiente. (Aburto, 2020).

Se ha identificado que los automotores son los principales generadores de CO₂ en las zonas urbanas. En las ciudades se consume alrededor del 70% de los recursos que existen a nivel mundial, contienen el 54% en la población mundial y son responsables del 74% de la emisión global de dióxido de carbono, CO₂.

La presencia de árboles en las zonas urbanas permite equilibrar, aunque en mínima cantidad la afectación de gases contaminantes, haciendo sustentable el manejo de los sistemas ecológicos. (Bonilla-Bedoya, 2021), los bosques urbanos aportan el 2.21% de las reservas de carbono frente a 17.11 toneladas de carbono de la cubierta forestal y arbórea en general, cumplen diferentes procesos como crear microclimas, como el efecto de enfriamiento con el cual se disminuye considerablemente la temperatura del aire, actuando como reguladores del clima (Flores L. S., 2018).

En este sentido los árboles de los parques urbanos ayudan a eliminar los contaminantes del aire mediante actividades de deposición seca y de esta forma contribuyen a obtener una buena calidad en el aire. (Bonilla-Bedoya, 2021). De lo expuesto anteriormente se deduce que los bosques, los árboles o los espacios verdes que se encuentran en los parques urbanos están aportando al bienestar de los ciudadanos de manera significativa.

El secuestro del carbono en los ecosistemas terrestres juega un papel fundamental en la actualidad (Benjamín, 2021), los bosques capturan de carbono de una manera natural nos brindan grandes beneficios para de esta manera poder mitigar las emisiones.

El carbono se captura a través de diferentes procesos y luego se almacena en estos depósitos durante un largo período de tiempo (Rubio & Calama, 2021), el secuestro de carbono se efectúa a través de la fotosíntesis. Las especies vegetales absorben una gran cantidad de dióxido de carbono de la atmósfera,

seguido de esto almacenan parte del carbono y devuelven oxígeno a la atmósfera (Mena & Hofstede, 2006).

La fotosíntesis consiste en convertir la energía proveniente del sol en energía química en forma de azúcares (Rawn, 2016). Después de realizar la fotosíntesis el agua y el dióxido de carbono se convierten en moléculas de glucosa y otros azúcares, mientras que el oxígeno se libera como subproducto. Las moléculas de glucosa proporcionan a los organismos dos recursos cruciales como: energía y carbono orgánico. (Khan Academy, 2019).

El área total de los bosques del mundo es de aproximadamente 3,4 billones, además un tercio de la superficie terrestre está cubierta con vegetación maderera (Borunda, 2022). Los bosques capturan y almacenan diferentes cantidades de carbono a diferentes velocidades, según la edad promedio de los árboles. Los bosques jóvenes son los campeones de la captura de carbono (Rueda, 2019), los árboles jóvenes crecen rápidamente y pueden extraer carbono rápidamente.

Según estudios, en los bosques andinos alcanza de 0,67 a 0,8 toneladas por hectárea al año. Los bosques andinos son el reservorio de carbono más importante. Esto sucede porque tiene una mayor tasa de captación de agua por hectárea que la Amazonía (Dorantes, 2017). El papel de los bosques en el secuestro de carbono es relevante porque en la Amazonía está cada vez más bajo la presión ambiental de la deforestación, sequías y aumento de la temperatura debido al cambio climático (Efevre et al., 2022). Entre las alternativas de mitigación del cambio climático se encuentran varias propuestas que involucran a las ciudades, como es la gestión urbana las que tienen el objetivo de generar una mejor calidad de vida y aumentar la resiliencia (adaptarse) de las ciudades ante amenazas naturales

El uso de tecnologías de teledetección para la cuantificación de carbono en los bosques urbanos representa una importante alternativa (Cabello y Paruelo, 2008), permite analizar grandes volúmenes de datos y representan una opción de bajo costo para llevar a cabo estudios de la biomasa forestal (Perea et al., 2021), que es la proporción de materia viva presente en los bosques, mediante el uso de imágenes satelitales. Cuantificar la biomasa en los árboles es muy importante ya que está relacionada directamente con la captura de carbono.

Las imágenes satelitales son multibandas, una banda espectral es una parte del espectro electromagnético, está determinada por la forma de transmisión luminosa, y por una longitud de onda,

cada banda espectral da una imagen diferente de la superficie. Las bandas son categorizadas y agrupadas para discriminar un área de otra (Muñoz, 2013).

Esta categorización se realiza a través de la elaboración de índices que son un conjunto de operaciones algebraicas realizadas en función de los valores numéricos asignados a los píxeles, se define como el cálculo de un parámetro partiendo de valores de reflectancia con diferentes longitudes de onda (Pérez y Muñoz, 2006), y a través de la combinación de bandas espectrales que tienen relación con la vegetación que se encuentra presente en un píxel dado.

Se utilizan estos índices, para establecer diferenciaciones entre el suelo y la vegetación, los valores bajos en los índices indican poca vegetación, y los valores altos vegetación muy vigorosa (Muñoz, 2013). El Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI), es el más utilizado por su facilidad de cálculo, dispone de un rango de variación fijo (entre -1 y $+1$), permitiendo comparar imágenes. De estos valores se establecen los niveles de praderas, cultivos, forestaciones entre otros (Martínez et al., 2010)

¿En qué contexto se realiza esta investigación? Antecedentes históricos, sociales, culturales, legales, demográficos, según sea el caso se hará uso de uno o varios tópicos, y requerirá mayor o menor detalle del contexto, incluso esto se puntualiza en mayor detalle para estudios cualitativos, y más si son con un enfoque etnográfico.

Finalmente, para cerrar el apartado de la introducción se mencionarán las hipótesis (si las hubiera), y el o los objetivos que marcarán el propósito del estudio.

METODOLOGÍA

Se obtuvo una imagen satelital, del satélite LANSAT 8, del área que corresponde al Bosque, mediante la cual se obtuvo el NDVI, desde el año de 1982 hasta el año 2015. Con los datos obtenidos se desarrolló una regresión lineal donde se obtuvo una ecuación con la que se puede proyectar el NDVI hasta el 2030.

Se obtuvo una imagen del satélite SENTINELA 2, con la que se procedió a estandarizar el tamaño de todos los píxeles en todas las bandas a $10m^2$ para estandarizar el tamaño de los píxeles en las diferentes bandas, una vez estandarizado el tamaño de los píxeles, las imágenes fueron llevadas al software SNAP (Quillupangui, 2019), con lo que se realizaron las diferentes combinaciones de bandas, principalmente, la banda del infrarrojo (banda 8), la banda del rojo (banda 4), y las bandas de los espectros de la

naturaleza (3, y 2) (Augusto et al., 2017).

Al comparar las bandas 8 y 4 se verificó la abundancia de vegetación existente, una vez analizada la vegetación con las diferentes bandas, se procedió a calcular el NDVI para todo el bosque. (Perea et al., 2021).

$$\text{NDVI} = (\text{B8} - \text{B4}) / (\text{B8} + \text{B4}) \quad (\text{eq. 1})$$

La aplicación de la fórmula arrojó el NDVI para cada píxel, y para el área que conforma el bosque. Utilizando una regresión lineal múltiple, se obtuvo la ecuación lineal, de la cual se determinó que las bandas espectrales 4, 8, y el NDVI, son las que explican de mejor manera el comportamiento de carbono y su concentración (Augusto et al., 2017).

Para obtener el carbono capturado por el bosque se utilizó la fórmula resultante de la relación de las bandas 8, 4 y el NDVI, con estas variables se realizó una regresión multilineal, con lo que se obtuvo el Intercepto, la constante, y cada uno de los coeficientes por los que se multiplicó cada una de las bandas, obteniéndose una ecuación multi lineal (Mendoza,2018).

$$\text{De la forma } Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p \quad (\text{eq. 2})$$

En función del área del bosque, se establecieron quince cuadrantes de 10 x10 (cien metros cuadrados cada uno), con lo que se obtuvo una muestra del 0,09% del total del área. Los cuadrantes fueron escogidos de forma aleatoria. En cada cuadrante se realizaron mediciones de todos los especímenes de *eucalyptus globulus*. Se tomó la coordenada en el centro de cada cuadrante y se asignó con un código de C1-C15.

Para esta investigación se utilizaron ecuaciones alométricas, que se basaron en la relación de dos parámetros con los que se calculó la biomasa aérea de los árboles. Uno de estos parámetros fue el (DAP) diámetro a la altura del pecho que se estableció a 130 cm desde el suelo, el otro parámetro utilizado fue la altura del árbol (Pacheco, 2020).

Con los datos obtenidos de diámetro y altura de cuadrantes de *eucalyptus globulus*, en base a lo propuesto por Valverde (2017), se seleccionaron ecuaciones que tuvieran el valor menor de error de cuadrado medio, siendo la ecuación que mejor estima la biomasa de esta especie:

$$\text{Biomasa aérea} = 39,8643 - 3,51885\text{dap} + 0,02138\text{dap } 2h \quad (\text{eq. 3})$$

$$\text{Br} = \text{Ba} * 0.5 \quad (\text{eq.4})$$

Obtenida la biomasa total en kg, a través de la suma de la biomasa aérea y radicular se dedujo el carbono (C) y CO₂ fijado (McPherson et al., 2008), la biomasa observada se consideró biomasa aérea (tronco, ramas, hojas, entre otros), a este valor se agregó la biomasa bajo tierra (raíces) utilizando el factor de conversión de 0.50 (Pacheco, 2020).

$$B_t = B_a + (B_a * 0,50) \quad (\text{eq. 5})$$

Para realizar los cálculos de carbono aéreo, radicular y total, se utilizaron tres ecuaciones con la metodología propuesta por (Muñoz y Vásquez 2020), donde la constante de 0,5 estima el valor de la fracción de carbono en un 50% para todas las especies, 0,50 y 0,24 son resultado de regresiones lineales

$$CA = B_t * 0,5 \quad (\text{eq. 6})$$

$$CR = CA * 0,24 \quad (\text{eq. 7})$$

$$CT = CA + CR \quad (\text{eq. 8})$$

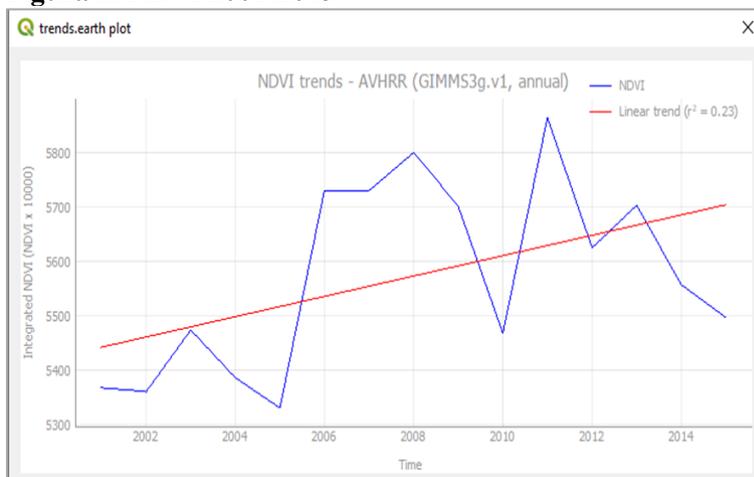
El cálculo de la fijación de CO₂ se estimó multiplicando el valor obtenido del carbono total y el coeficiente 3,67, que es el resultado de la relación del peso de la molécula de CO₂ (44) entre el peso del átomo de C (12) (de Oca et al., 2020).

$$CO_2 = \frac{CT * 3,6663}{1000} \quad (\text{eq. 9})$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al obtener el NDVI de una imagen generada por el lansat 8, desde el año 2001 hasta el 2015, mediante la herramienta Trends. Earth, se observa en la figura 1 que el NDVI mantiene una tendencia de crecimiento en los años revisados.

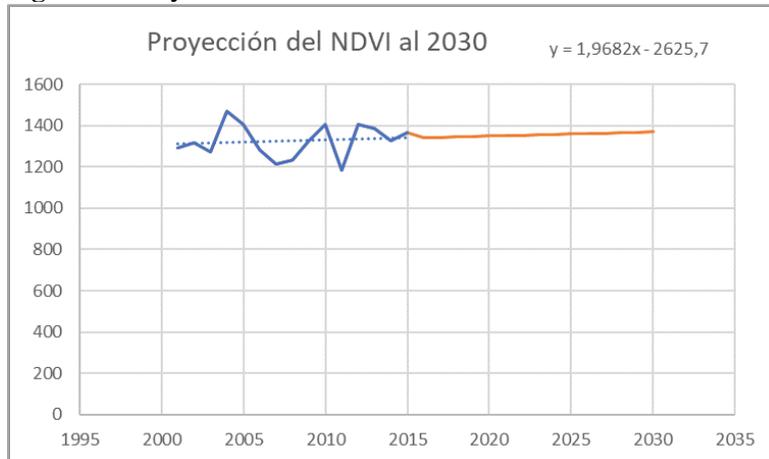
Figura 1: NDVI 2001-2015



Fuente: Imagen Lansat 8 (2023)

Al proyectar el NDVI hasta el año 2030, sin considerar posibles fenómenos naturales o artificiales, se observa una tendencia de crecimiento en el NDVI del área estudiada en la figura 2, pero sin tomar en cuenta posibles fenómenos naturales que podrían afectar a la vegetación como incendios forestales.

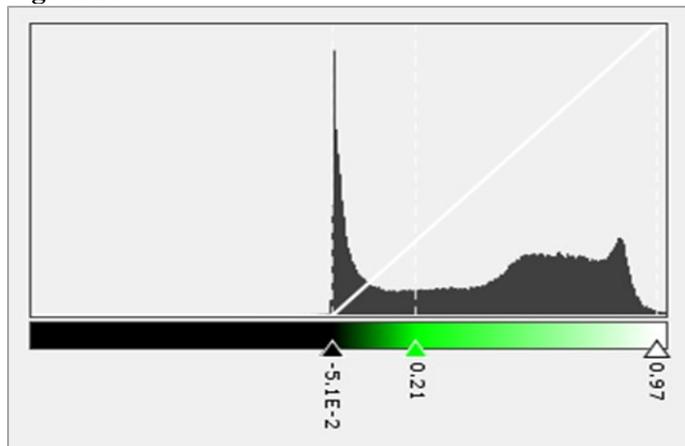
Figura 2: Proyección NDVI 2030



Fuente: elaboración propia software R (2023)

En la figura 3 con la imagen del satélite SENTINELA 2, se observa que los valores de NDVI se mantienen en un rango positivo 0,21 a 0,97, considerando que este índice espectral maneja valores de -1 a $+1$.

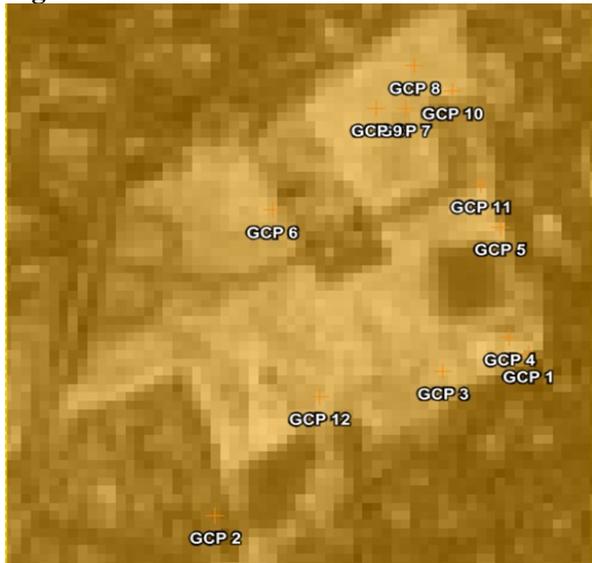
Figura 3: Valores de NDVI



Fuente: Imagen SENTINELA 2 (2023)

Se ubico los cuadrantes tomados en campo en el software SNAP, para determinar el NDVI presente en cada uno de ellos como se observa en la figura 4

Figura 4: Valores de NDVI



Fuente: Elaboración propia en software SNAP con una imagen SENTINELA 2 (2023)

Los valores de NDVI de los quince cuadrantes obtenidos con la imagen del SENTINELA 2, se mantienen dentro de un rango positivo de 0,5 en promedio.

En los muestreos realizados en el bosque municipal se tomó las medidas del DAP (diámetro a la altura del pecho) y la altura total, de 107 individuos de la especie *eucalyptus globulus*, distribuidos en quince cuadrantes de 10mx10m. Se tomó una coordenada en el centro de cada cuadrante.

El promedio del DAP de los individuos analizados de los quince cuadrantes fue de 36 cm, sus valores se encuentran comprendidos entre 17 cm como valor más bajo y 73 cm como el más alto.

El promedio de altura de todos los individuos medidos es de 15,79 m, sus valores se encuentran comprendidos entre 4,30 m de altura como el valor más bajo y 38,30 m como el valor más alto.

El valor total de biomasa calculado de los quince cuadrantes es de 6.238 kg; los valores fluctúan entre los 56,37 kg como valor mínimo y 59,15 kg como valor máximo.

En base al uso de la ecuación alométrica escogida para este estudio, y con los datos de biomasa total se obtuvo el carbono total a partir del DAP y la altura de los árboles.

El valor de carbono total de los quince cuadrantes es de 3.865,13 kg, los valores fluctúan entre los 35,05 kg como valor mínimo y 36,63 kg como valor máximo.

En base al uso de la ecuación alométrica 11, y con los datos de carbono total se obtuvo el CO₂ fijado a partir del carbono total calculado.

El valor total del CO₂ fijado de los quince cuadrantes es de 14,17 toneladas, los valores fluctúan entre 0,12 t como valor mínimo y 0,14 t como valor máximo.

Se realizó el cálculo de la biomasa y CO₂ fijado utilizando regresiones lineales, basados en los resultados de biomasa obtenidos en campo, así como los de NDVI, banda 4 y banda 8 obtenidos mediante software SNAP con el uso de la imagen satelital.

Las ecuaciones de las regresiones lineales para el cálculo biomasa y de CO₂ que se obtuvo son:

$$\text{BIOMASA} = B_0 + B_1 \times \text{NDVI} + B_2 \times B_4 + B_3 \times B_8 \quad (\text{eq. 10})$$

$$\text{CO}_2 = 0.2449 + 1.1994 \times \text{NDVI} + 6.5769 \times B_4 - 1.6599 \times B_8 \quad (\text{eq. 11})$$

En la tabla 1 se indican los valores obtenidos de cada cuadrante.

Tabla 1: Resultados de biomasa y CO₂ fijado de medidas de campo y de satélite

NC	CO ₂	BIOMASA	NDVI	B4	B8	BIOMASA SATELITE	CO ₂ SATELITAL
1	0.52273678	229.965861	0.47179	0.02735	0.2048	286.205934	0.65095038
2	0.533727	234.800754	0.60559	0.0466	0.1897	423.522784	0.96317217
3	0.66191276	291.193092	0.16212	0.1336	0.1853	444.486692	1.01052864
4	0.66470931	292.423365	0.6873	0.0551	0.2974	412.58434	0.93835169
5	0.66501604	292.558305	0.62354	0.0403	0.1738	426.374964	0.96966903
6	0.79467297	349.597849	0.62088	0.0316	0.1351	428.057708	0.97349629
7	0.92603527	407.387633	0.52847	0.0621	0.2013	419.211652	0.95331991
8	0.92694477	407.787746	0.65179	0.0277	0.1314	435.783304	0.99107816
9	1.06127264	466.882162	0.33217	0.1146	0.2286	447.612812	1.01774367
10	1.06182882	467.12684	0.59834	0.0484	0.1926	422.788224	0.96149732
11	1.18244137	520.187518	0.55715	0.0401	0.141	414.71948	0.94313436
12	1.18952094	523.302012	0.51473	0.0667	0.2082	420.233688	0.95563316
13	1.20087507	528.296996	0.58176	0.0376	0.1422	419.593976	0.95423075
14	1.31674554	579.271507	0.58523	0.0775	0.2962	424.420608	0.96518825
15	1.4622957	643.302908	0.45295	0.065	0.1737	407.91168	0.92758669
TOTAL	14.170735	6234.08455				6233.507846	14.17558053

Fuente: elaboración propia (2023)

A través de los datos de biomasa obtenidos del DAP y altura de los árboles se estableció que existe una relación directa entre estas variables; manteniendo esta tendencia en los quince cuadrantes. En el estudio

de Muñoz y Vásquez (2020) se encontró valores similares en su estudio realizado en parques urbanos en la ciudad de Cuenca, en el cual observaron una relación directa entre el DAP, la altura y la biomasa. Analizando los valores de carbono y de CO₂, en los quince cuadrantes, se encontró que la relación no es directa entre el NDVI y la fijación de CO₂, es decir no se encontró mayor fijación a mayor valor de NDVI. Tello (2019) en su estudio en especímenes de *eucalyptus globulus* en Lima con imágenes satelitales, analiza qué (NDVI) nos permite determinar la vigorosidad de la vegetación en función de la zona y especie; considerando que el *eucalyptus globulus* es una especie que con la madurez engrosa su tronco y disminuye su follaje, se explica que no tenga valores altos de NDVI en las zonas en que fija más CO₂

CONCLUSIONES

En función los resultados obtenidos el NDVI calculado en base a las imágenes satelitales del LANSAT 8 y del SENTINELA 2, presentan valores positivos para el NDVI en el bosque estudiado

El uso de las ecuaciones alométricas permitió establecer la Biomasa Aérea en el *eucalyptus globulus*, siendo ésta el 50% Carbono. Se logró de esta forma calcular la cantidad de carbono por cada cuadrante evaluado, como también, la cantidad en toda la extensión del arbolado.

En base a los resultados obtenidos tanto en el estudio de campo como en el uso de imágenes satelitales, en el presente estudio el bosque municipal, ha fijado una importante cantidad de CO₂ con lo que contribuye a minimizar los efectos de las emisiones de CO₂ que genera la ciudad de Quito.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

.Aburto, M. A. S., y Samaniego, H. (2020). *Observación espacial y análisis de la relación entre las emisiones atmosféricas de CO₂ y el tamaño de las ciudades en Chile*. Cuadernos geográficos de la Universidad de Granada, 59(2), 73-92:

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=739443>

Augusto, S. Z. C., Martínez-Rincón, R. O., y Morales-Zárate, M. V. (2017). Tendencia en el siglo XXI del Índice de Diferencias Normalizadas de Vegetación (NDVI) en la parte sur de la península de Baja California. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 2017(94), 82-90. <https://dx.doi.org/10.14350/rig.57214>

Benjamín, J. A., & Masera, O. (2021). *Captura de carbono ante el cambio climático. Madera y bosques*.

- Borunda, A., Welch, C., Gibbens, S., & Curry, A. (2022). *Reparar los bosques: Soluciones forestales*.
- Bonilla-Bedoya, S., Zalakeviciute, R., Coronel, D. M., Durango-Cordero, J., Molina, J. R., Macedo-Pezzopane, J. E., y Herrera, M. Á. (2021). *Spatiotemporal variation of forest cover and its relation to air quality in urban Andean socio-ecological systems*. *Urban Forestry & Urban Greening*, 59, 127008. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127008>
- Cabello, J., y Paruelo, J. M. (2008). *La teledetección en estudios ecológicos*. *Ecosistemas* 17(3), <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/77/74ntal>
- De Oca-Cano, E. M., Salvador-García, Á., Nájera-Luna, J. A., Corral-Rivas, S., y González, J. M. (2020). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Trichospermum mexicanum* (DC.) Baill. *Colombia forestal*, 23(2). <https://doi.org/10.14483/2256201X.15836>
- Dorantes Palacios, M. E. (2017). *Planificación participativa de la red de bosques escuela en el bosque modelo Chocó Andino en Ecuador*
- Efevre, Clara (2022) *Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto*. Roma-Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO).
- Flores, L., Solis, J. V., y Herrera, J. A. Q. (2018). Evaluación de los efectos microclimáticos que tiene la vegetación en la mitigación de la isla de calor urbana: Parque en la ciudad de Torreón, México. *Revista de Ciencias Ambientales*, 52(2), 123-140. <https://doi.org/10.15359/rca.52-2.7>
- Fonseca, W. (2017). Revisión de métodos para el monitoreo de biomasa y carbono vegetal en ecosistemas forestales tropicales. *Revista de Ciencias Ambientales*, 51(2), 91-109. <http://dx.doi.org/10.15359/rca.51-2.5>
- Martínez Vega, J., Martín, M. P., Díaz Montejo, J. M., López Vizoso, J. M., y Muñoz Recio, F. J. (2010). *Guía didáctica de teledetección y medio ambiente*. <http://hdl.handle.net/10261/28306>
- Mena, P., & Hofstede, R. (2006). Los páramos ecuatorianos. *Botánica económica de los Andes Centrales*, 1, 91-109.
- McPherson, E. G., Xiao, Q., van Doorn, N. S., de Goede, J., Bjorkman, J., Hollander, A., y Thorne, J. H. (2017). The structure, function, and value of urban forests in California communities. *Urban Forestry y Urban Greening*, 28, 43-53, <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.09.013>

- Mendoza Chichipe, M. E. (2018). *Estimación de carbono en plantaciones de Pinus patula mediante el análisis espectral de una imagen satelital sentinel-2, Distrito de Luya Viejo, Amazonas*, 2018 (Tesis Ingeniería). Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas
<http://repositorio.untrm.edu.pe/handle/UNTRM/1551>
- Muñoz Aguayo, P. (2013). *Apuntes de Teledetección: Índices de vegetación*.
<http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/26389/Tema%20Indices%20de%20vegetaci%C3%B3n%20Pedro%20Mu%C3%B1oz%20A.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Muñoz Tello, M. E., & Vásquez Córdova, E. G. (2020). Estimaciones del potencial de captura de carbono en los parques urbanos y emisiones de CO2 vehicular en Cuenca, Ecuador (*Bachelor's thesis*).
- National Geographic.
https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/papel-bosques-como-sumideros-carbono-2_16715
- Pacheco Gutiérrez, C. A. (2020). Estimación del almacenamiento y retención de Dióxido de carbono en el arbolado urbano público de la zona de Achumani de la ciudad de La Paz a través de una aplicación móvil. *Fides et Ratio-Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, 19(19), 153-174. http://www.scielo.org.bo/pdf/rfer/v19n19/v19n19_a08.pdf
- Perea-Ardila, M. A., Andrade-Castañeda, H. J., y Segura-Madrigal, M. A. (2021). Estimación de biomasa aérea y carbono con Teledetección en bosques alto-Andinos de Boyacá, Colombia. Estudio de caso: Santuario de Fauna y Flora Iguaque. *Revista Cartográfica*, (102), 91-123, <https://doi.org/10.35424/rcarto.i102.821>
- Perez, C., y Muñoz, A. L. (2006). *Teledetección: nociones y aplicaciones*.
- Quillupangui Nasimba, C. D. (2019). *Determinación del comportamiento espectral de coberturas y usos de la tierra de la subcuenca del río San Pedro* (Tesis Ingeniería, Quito UCE), <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/19802>
- Rawn, J. D. (2016). *La fotosíntesis. Bioquímica*. Madrid: Interamericana de España y McGraw-Hill. ISBN 84-7615-428-3

Rubio y Calama, R. (2021). *El papel de los bosques como sumideros de carbono*.
www.nationalgeographic.com.es

Rueda Barrera, M. S. (2019). *Contribución de Especies Nativas como Sumideros de Carbono para Reducir la Huella de Carbono*

Tello Sanchez, G. S., & Vargas Urbano, M. (2019). Determinación de captura de carbono aplicando ecuaciones alométricas en especies forestales de *Schinus latifolius*, *Eucalyptus globulos*, *Vachellia macracantha* y *Pouteria lúcum* en la Universidad Peruana Unión, Lima-Perú.