

Secuestro de carbono en árboles urbanos de Bahía Blanca, Argentina

Carbon sequestration in urban trees of Bahía Blanca, Argentina

 <https://doi.org/10.48162/rev.40.027>

Valeria Soledad Duval

Departamento de Geografía y Turismo de la Universidad Nacional del Sur
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
Argentina

 <https://orcid.org/0000-0001-9048-3058>

 valeria.duval@uns.edu.ar

Maria Eugenia Arias

Instituto de Geografía, Historia y Ciencias Sociales (IGHCS)
Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
Argentina

 <https://orcid.org/0000-0002-1592-2230>

 me.arias@conicet.gov.ar

Juan Pablo Celemin

Instituto de Geografía, Historia y Ciencias Sociales (IGHCS)
Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
Argentina

 <https://orcid.org/0000-0002-8917-8061>

 jpcelemin@conicet.gov.ar

RESUMEN

El objetivo del trabajo es comparar el valor de secuestro de Carbono (C) en los árboles existentes en dos sectores de la localidad de Bahía Blanca, Argentina. Para ello se realizó un inventario de la cantidad de árboles de los espacios públicos y privados, estos últimos a través de imágenes satelitales del Google Earth Pro®. Además, se determinó la cobertura arbórea mediante el software i-Tree Canopy. Para ello, se seleccionó una ciudad de los Estados Unidos con similares características climáticas del área de estudio. Para estimar el beneficio de C se emplearon dos metodologías. Para el primer método, se estimó el secuestro de dióxido de

carbono (CO₂) anual a partir de la superficie de cobertura arbórea y se tomó la cantidad de C secuestrado anualmente, del reporte del software. Como resultado, se comprobó que la cobertura arbórea del barrio Patagonia secuestra por año 445,82 t CO₂ Equivalente, mientras que la del Macrocentro captura 190,17 t CO₂ Equivalente al año. En el segundo método, se realizó la estimación del valor de secuestro de CO₂ de los árboles presentes, según el Departamento de Agronomía de Estados Unidos. De su aplicación, se determinó que los árboles del barrio Patagonia secuestran 158.532 kg CO₂, mientras que los del Macrocentro capturan 92.752 kg CO₂.

Palabras clave: Servicios ecosistémicos, secuestro de Carbono, cobertura arbórea, espacio urbano.

ABSTRACT

The aim of this work is to compare the value of Carbon (C) sequestration in the trees present in two sectors in the city of Bahía Blanca, Argentina. For this, an inventory of the number of trees in public and private spaces was carried out, the latter through satellite images of Google Earth Pro®. In addition, the tree cover was determined using the i-Tree Canopy software. For this, a city in the United States, with similar climatic characteristics to the study area, was selected. To estimate the benefit of C, two methodologies were used. For the first method, the annual CO₂ sequestration was estimated from the tree cover area and the values of the amount of C sequestered annually were taken from the software report. As a result, it was found that the tree cover of the Patagonia neighborhood captured 445.82 t CO₂ Equivalent per year, while that of the Macrocentro captured 190.17 t CO₂ Equivalent per year. In the second method, the estimation of the total value of CO₂ capture of the trees was made, according to the Department of Agronomy of the United States. From its application, it was determined that the total number of trees in the Patagonia neighborhood sequesters 158,532 kg CO₂, while in the Macrocentro it captures 92,752 kg CO₂.

Keywords: Ecosystem Services, Carbon Sequestration, Tree Cover, Urban Space.

INTRODUCCIÓN

Los árboles urbanos forman parte de la infraestructura verde y son esenciales por brindar servicios ecosistémicos. Conocer la cobertura arbórea presente en las ciudades permite cuantificar y valorar los servicios ecosistémicos que brindan (Martínez Sánchez, Vanegas Casas y Serrato Suárez, 2021). Entre ellos se destaca el secuestro de Carbono (C) por parte de los ejemplares arbóreos que contribuye a mitigar el calentamiento de la atmósfera terrestre. Este proceso se debe a la captura de las emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂) por parte de los árboles. El CO₂ es uno de los Gases del Efecto Invernadero (GEI) que se

encuentra de forma natural en la atmósfera, no obstante su incremento se ha visto acelerado por la actividad antropogénica. En las ciudades, su cantidad e intensidad dependerá de los hábitos de los ciudadanos, de la economía que se desarrolle en estos espacios y del clima local (Fares *et al.*, 2017).

El CO₂ es absorbido por los árboles y es utilizado para la elaboración de los carbohidratos, durante el proceso de la fotosíntesis, con la ayuda del agua y de la luz solar (Nowak y Crane, 2002). De esta forma almacenan el C tanto en su biomasa aérea (troncos, tallos, ramas y hojas) como en su biomasa subterránea (raíces), generando oxígeno como subproducto (Graham, 2019). Por otra parte, la captura de C en los árboles es diferenciada según la especie. Esta cantidad varía según la densidad y el peso de la madera, siendo aquellas especies con mayor densidad las que secuestran mayor cantidad de C (Chamorro Meza y Falconi Romero, 2019). Finalmente, hay una parte de ese CO₂ que no es retenido y regresa a la atmósfera a través de la respiración (Chamorro Meza y Falconi Romero, 2019).

La presencia de cobertura arbórea, en las ciudades de gran tamaño, es clave en la reducción de la concentración de CO₂ en la atmósfera. Está comprobado que los espacios urbanos son responsables de generar más del 80 % de este GEI (Hoorweg, Sugar y Trejos-Gomez, 2011). Por lo tanto, una ciudad que posee una cobertura verde elevada y una distribución compacta de esta vegetación, tiene mayor potencial para almacenar y secuestrar C, que aquella cuya cobertura es baja y su distribución es dispersa. Es necesario destacar que el análisis de este tema en el ámbito urbano es complejo ya que la vegetación está implantada, es decir ha sido plantada con un propósito en función del espacio en el cual se encuentra. Para ello se seleccionan las especies a colocar y se realizan actividades de manejo sobre ellas. Junto con ello, existe una alta variabilidad en la cantidad, distribución de los ejemplares y diversidad de las especies (Fares *et al.*, 2017).

A nivel mundial, la temática ha sido analizada por diversos investigadores (Nowak, Greenfield, Hoehn y Lapoint, 2013; Zhao y Sander, 2015; Pache, Abrudan y Niță, 2021), aplicando fórmulas que permiten estimar el secuestro de carbono por parte de los árboles. Entre algunos resultados se destaca el rol de los árboles urbanos en la captura y almacenamiento del carbono, función vinculada con la adaptación al cambio climático; la importancia de generar distintos métodos que permitan cuantificar y modelar el secuestro de carbono y el establecimiento del valor económico.

En América Latina, la mayoría de los estudios se abocan a la captura, almacenamiento y fijación de carbono en los bosques y en sistemas agroforestales (Patiño Forero, Suárez, Andrade Castañeda y Segura, 2018; Segura-Madrigal, Andrade y Sierra-Ramírez, 2020;

Clemente-Arenas, 2021). En estos se analiza la captura de carbono en distintas especies arbóreas y la diferencia de secuestro en distintas partes del árbol (madera, copa, raíces). También se realizan investigaciones en el espacio urbano aunque son más reducidos en cantidad (López-López, Martínez-Trinidad, Benavides-Meza, García-Nieto y Ángeles-Pérez, 2018; Farinango Carlosama, 2020; Acuña-Simbaqueva, 2021). En estos se aborda la captura de carbono de un barrio o de los espacios verdes con la finalidad última de conocer el potencial que poseen en la mitigación de los GEI.

En Argentina, esta temática ha tenido poco desarrollo y se aplica principalmente en ecosistemas forestales como por ejemplo el bosque del Chaco Semiárido (Pan y Barrionuevo, 2009) y el bosque de *Neltuma caldenia* (Risio Allione, 2012; Duval y Cámara Artigas, 2021; Ledesma, Sione, Oszust, Rosenberger, 2021)- antes *Prosopis caldenia*- nombre científico que aún está en revisión por el Comité Internacional de Nomenclatura (Hughes, Ringelberg, Lewis y Catalano, 2022). En estos casos se resalta la importancia de conservar los bosques nativos debido a que son un gran reservorio de carbono y de estimar las emisiones de CO₂ a la atmósfera que generaría la deforestación y degradación de la masa forestal. En el espacio urbano, se reconoce el trabajo de Pitola, Castagnani, Coronel y Feldman (2012) sobre el arbolado de Rosario (Santa Fe), en el cual se comprobó la diferencia en la capacidad de captura de CO₂ según la especie. Esto con el objetivo de que la selección de las especies se realice considerando las más recomendables para la reducción del CO₂.

En este contexto, el presente trabajo plantea como objetivo comparar el valor de secuestro de carbono en los árboles presentes en dos sectores de la localidad de Bahía Blanca. Este análisis permite no solo ampliar el conocimiento sobre el arbolado público y privado de estas áreas de la ciudad sino que a la vez proporciona una estimación del servicio ecosistémico de secuestro de CO₂. Esta información resulta valiosa para los tomadores de decisión en la gestión del arbolado urbano.

Área de estudio

Bahía Blanca es una ciudad intermedia localizada en el suroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina (Figura 1). Según el INDEC (2010), tiene una cantidad de 301.572 habitantes. Esta localidad se destaca a nivel regional, según Urriza y Garriz (2014), por ser un nodo de servicios (de salud y educación), de comunicaciones y de transporte. El puerto de Ingeniero White, caracterizado por ser de aguas profundas, junto con el polo petroquímico le concede reconocimiento como ciudad en el suroeste bonaerense.

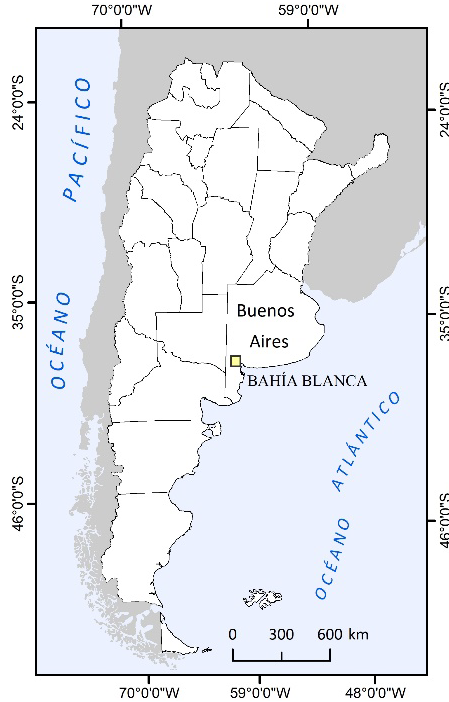


Figura 1. Localización del área de estudio. Fuente: elaborado por Valeria Duval sobre la base de datos del Instituto Geográfico Nacional, 2022.

Su clima es templado de transición y se caracteriza por una marcada estacionalidad térmica, cuya temperatura media anual es de 15,3°C (Capelli de Steffens, Piccolo y Campo de Ferreras, 2005). La precipitación media anual es de 650 mm concentrándose durante la primavera (Servicio Meteorológico Nacional, 2022). Los vientos predominantes provienen del sector Noroeste y Oeste, con una velocidad media de 20 km/h (Campo, Fernández y Gentili, 2017). Bahía Blanca forma parte de una planicie que presenta valores altimétricos que varían entre los 8 y los 74 m.s.n.m (Leguizamón, Gil y Gil, 2018). Por otro lado, la localidad está inserta en la llanura pampeana y está representada principalmente por las ecorregiones Pampa y Espinal (Morello, Matteuci, Rodríguez y Silva, 2012). La primera está compuesta por pastizales de gramíneas donde predominan los géneros *Stipa*, *Piptochaetium* y *Aristida* mientras la segunda se caracteriza por un bosque xerófilo de un solo estrato arbóreo, acompañado por arbustivas y herbáceas. De esta vegetación natural solo se pueden reconocer algunos árboles o sitios como relictos. La vegetación en el interior de la ciudad es en su mayoría implantada y de origen exótico.

Para este estudio se consideraron dos zonas dentro de la ciudad: el barrio Patagonia y el Macrocentro (Figura 2). El barrio Patagonia se encuentra ubicado en el noroeste de la ciudad y se caracteriza por ser una zona tipo parque con terrenos amplios. Se creó en la década de 1950 como parte de un loteo en el área periurbana de la localidad destinadas a ser segundas residencias (Urriza y Garriz, 2014). El Código de Planeamiento de Bahía Blanca establece que esta zona es de tipo Residencial Parque (RP1), constituido por viviendas unifamiliares de baja densidad con tipología de barrio parque y usos recreativos de esparcimiento (Ordenanza Municipal N° 5691, 1991). La construcción del barrio tuvo dos etapas, la parte más antigua tiene un trazado radioconcéntrico y el nuevo sector es tipo damero. Para este estudio se consideró el primer sector que tiene una superficie de 1,5 km². Desde el punto de vista socioeconómico, Prieto (2016) establece que el nivel es medio-alto basado en la calidad de los materiales de las edificaciones.

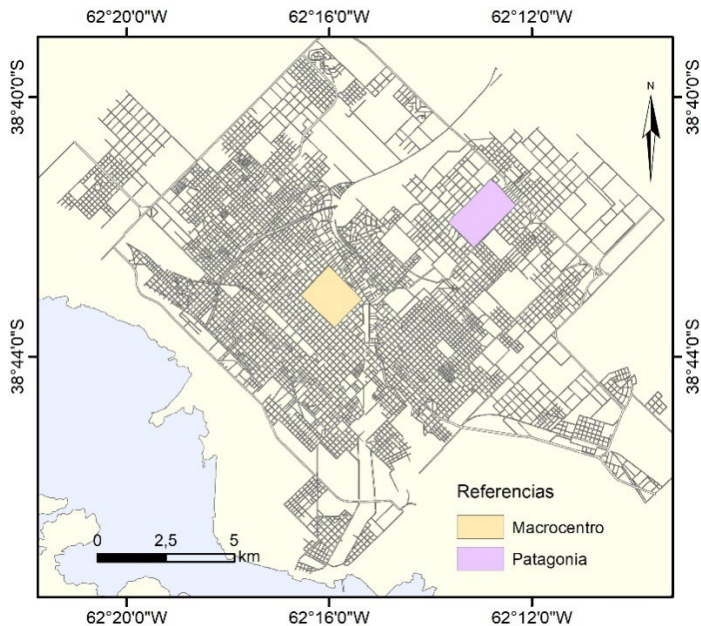


Figura 2. Barrios de Bahía Blanca seleccionados para el estudio de secuestro de carbono. Fuente: elaborado por Valeria Duval sobre la base del Plano de Catastro de la Municipalidad de Bahía Blanca, 2022.

Según Duval, Benedetti y Baudis (2020), esta área pertenece a la clasificación 6B de la Zona Climática Local (ZCL). Esta se caracteriza por contener edificaciones bajas (de 1 a 3 pisos),

con una presencia media de cobertura vegetal arbórea y suelo de tipo permeable (Stewart y Oke, 2016). Por otro lado, esta área presenta una gran variedad de especies arbóreas y arbustivas pertenecientes a los géneros *Pinus*, *Cupressus*, *Cedrus*, *Eucalyptus*, entre otros.

El Macrocentro se emplaza en la zona central de la ciudad y tiene una superficie de 1,5 km² (Duval, Benedetti y Baudis, 2022). Posee una densidad poblacional elevada y según el Código de Planeamiento de Bahía Blanca, esta zona pertenece al Área Central – Microcentro Direccional (C1) donde se concentran los usos de suelo administrativo, financiero, comercial y de servicio (Ordenanza Municipal N° 5691, 1991). El trazado es de tipo damero y pertenece a LCZ-1 (Duval, Benedetti y Baudis, 2020) que se vincula con edificaciones en altura y superficies impermeables. Desde el punto de vista socioeconómico, Prieto (2016) estableció que en este sector la vulnerabilidad social es baja, es decir se registró un valor bajo de carencias por capital social.

METODOLOGÍA

Censo del arbolado urbano

Los dos sectores de la ciudad fueron seleccionados en función de la vegetación que se observa a través de imágenes satelitales de alta resolución provistas por el programa *Google Earth Pro*[®] y también por la percepción visual en el campo. En el sector del barrio Patagonia se contabilizó la cantidad de árboles de alineación en las 86 manzanas y en el Macrocentro se relevaron 70 manzanas. El dato sobre la cantidad de árboles presentes en la vereda se pudo comprobar a través de trabajo de campo y se obtuvo de esta forma el número exacto. Mientras que el valor de árboles situados en espacios privados, fueron contabilizados a través de las copas de los ejemplares que se visualizaron mediante el *Google Earth Pro*[®]. Este valor es una aproximación al dato real.

Cobertura vegetal y secuestro de CO₂ anual del arbolado urbano

Se determinó la cobertura arbórea de los barrios Macrocentro y del sector del barrio Patagonia de la ciudad de Bahía Blanca, mediante el uso del programa *i-Tree Canopy* v 6.1 que fue desarrollado por el Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA Forest Service, 2006). Es una herramienta web que realiza la estimación de cobertura en el área de interés por medio de un estimativo estadístico, ya que el usuario cuenta con la posibilidad de determinar una clasificación de cobertura (por ejemplo: árboles, áreas impermeables, agua, arbustos, pastos, entre otros). El programa crea una serie de puntos aleatorios sobre imágenes satelitales de *Google Maps*, a través de los cuales el usuario identifica el tipo de cobertura, de forma manual (Celemín y Arias, 2021). Se

pueden seleccionar distintas categorías en función del objetivo del estudio, en este caso se seleccionaron dos categorías: árboles y sin árboles, a partir de la clasificación de 500 puntos en cada uno de los sitios seleccionados.

Previamente al proceso de estimación de la cobertura arbórea de los sectores Macrocentro y Patagonia, se especificó en el programa *i-Tree Canopy* la ubicación de una ciudad de los Estados Unidos con la misma clasificación climática de Bahía Blanca. Particularmente se escogió el condado de Houston perteneciente al estado de Texas, Estados Unidos, debido a que tiene un clima templado cálido (Cfa), según la clasificación climática de Köppen-Gueiger. Tal configuración fue necesaria para la posterior estimación del beneficio ambiental de secuestro de C. Cabe mencionar que teniendo en cuenta las sugerencias proporcionadas por personal del Servicio Forestal de Estados Unidos, se procedió a seleccionar una localidad de los Estados Unidos con similares características climáticas del área de interés. De esta manera, el software puede ser aplicado para varias ciudades de Argentina.

Para estimar el beneficio de secuestro de C por parte del arbolado de los sectores Macrocentro y Patagonia, se emplearon dos metodologías. En ambas se consideró dos factores fundamentales mencionados por Fares *et al.* (2017) para el estudio de secuestro de C en árboles urbanos, el número de árboles y su cobertura espacial. En primer lugar, se estimó el secuestro de CO₂ anual a partir de la superficie de cobertura arbórea del área de estudio proporcionada por el programa antes mencionado. Se tomaron en cuenta los valores arrojados por el reporte, en el que se indica la cantidad estimada de C secuestrado anualmente: toneladas de CO₂ equivalentes por año. El software calcula los valores de este beneficio ambiental, mediante algoritmos basados en ecuaciones de biomasa de los árboles de distintas ciudades de los Estados Unidos, Reino Unido y Suecia.

En la otra metodología, se realizó la estimación del valor total de secuestro de CO₂ de los individuos arbóreos presentes en ambos sectores según lo establecido por el Departamento de Agronomía de los Estados Unidos (USDA) (<https://www.usda.gov/>). Según la USDA, un árbol maduro absorbe aproximadamente 22 kg de CO₂ de la atmósfera en un año y a cambio libera oxígeno”.

RESULTADOS

Cantidad de arbolado viario en el sector del barrio Patagonia

El sector del barrio Patagonia posee una plaza central que se denomina como el barrio, tres plazoletas localizadas en la periferia y un boulevard en la Av. Amancay, que está integrada con la plaza central (Figura 3A). El total de árboles en estos espacios verdes es de 277 árboles. Por otra parte, la cantidad de árboles en el resto del sector, integrada por 86 manzanas, es de aproximadamente 6929 individuos. De ellos, 3526 son árboles viarios y 3505 se encuentran en el interior de las manzanas (Figura 3B). El valor medio de árboles viarios por manzana es de 41 y oscilan entre 9 y 85 ejemplares, considerando además la diferencia en el tamaño entre las manzanas. Los valores más bajos se observan en las manzanas que aún poseen terrenos baldíos o sin construir. En la imagen *Google Earth Pro*[®] se comprobó que los árboles privados se encuentran en mayor cobertura que los de la vereda.

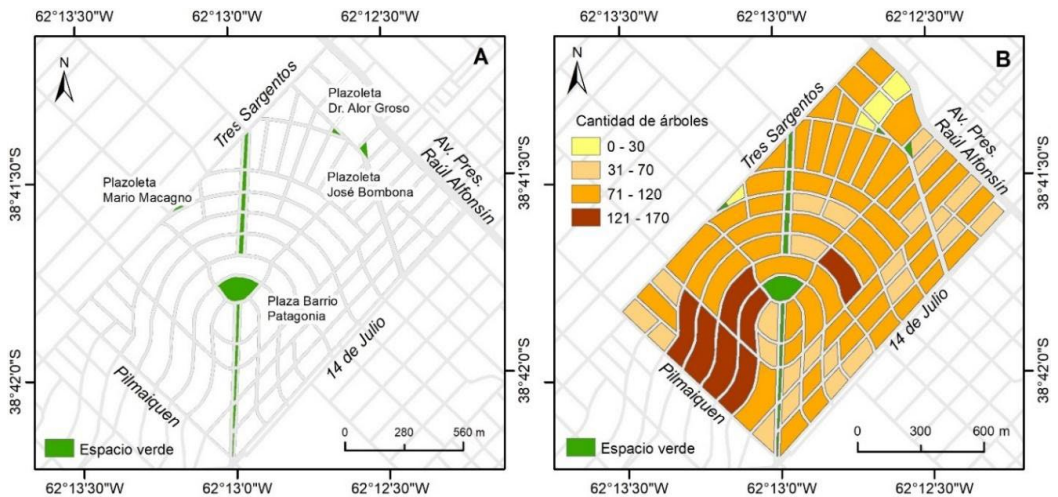


Figura 3. Espacios verdes (A) y cantidad de árboles por manzana (B) en el sector del Barrio Patagonia. Fuente: elaborado por Valeria Duval, 2022.

Cantidad de arbolado viario en el Macrocentro

El Macrocentro posee dos espacios verdes, la Plaza Rivadavia y la Plaza Ricardo Lavalle, siendo la primera de mayor tamaño en toda la ciudad (Figura 4A). El total de árboles en estos espacios verdes es de 381 árboles. Por otra parte, la cantidad de árboles en el resto

del sector, integrada por 70 manzanas, es de aproximadamente 3835 individuos. De ellos, 2880 son árboles viarios y 955 se encuentran en el interior de las manzanas (Figura 4B). El valor medio de árboles viarios por manzana es de 40 y oscilan entre 6 y 85 ejemplares. En las veredas de uso comercial, el árbol está ausente es por esto que es reducido el número de árboles por manzana. Por la densidad de edificaciones en una misma manzana, el Macrocentro posee menor cantidad de árboles privados que en el barrio Patagonia.

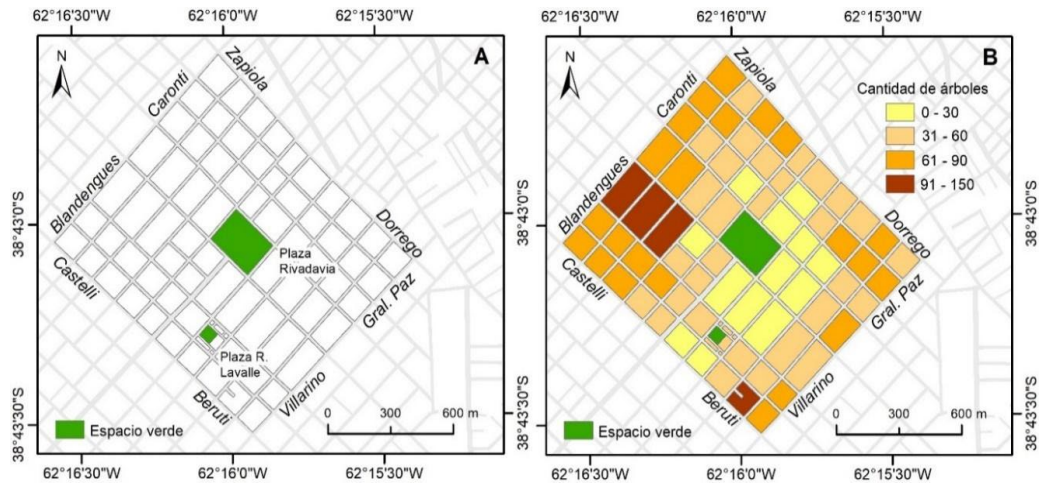


Figura 4. Espacios verdes (A) y cantidad de árboles por manzana (B) en el Macrocentro. Fuente: elaborado por Valeria Duval, 2022.

Secuestro de carbono del área de estudio

La cobertura vegetal del Macrocentro fue de 9 % con un error estándar de $\pm 1,28$. De los 500 puntos solo 45 fueron clasificados como “árboles”. El área total fue de 14,09 ha de las 156,59 ha totales. En el caso del sector del barrio Patagonia, el porcentaje de cobertura vegetal fue de 26 %, con un error estándar de $\pm 1,96$. De los 500 puntos, 130 fueron detectados como “árboles” ocupando un área de 39,73 ha de las 152,82 ha totales. Este resultado muestra que dos espacios de la ciudad con superficies similares presentan cobertura vegetal distinta. Si bien ambas áreas tienen un uso residencial, se diferencian en el tamaño de los lotes, la densidad de las construcciones y la presencia de infraestructura verde. En la Figura 5 se muestran los puntos aleatorios que determinan la presencia de árboles y su ausencia en estos dos sectores de la ciudad.

Asimismo, es importante considerar uno de los elementos de la regla guía 3-30-300 para la silvicultura urbana propuesta por Konijnendijk (2022), que establece un porcentaje mínimo

del 30 % de cobertura del dosel arbóreo para garantizar que los residentes se beneficien en términos de salud y bienestar. La aplicación de esta regla puede contribuir a mejorar y expandir el bosque urbano local en las ciudades y también a escala de barrio (Bosch, 2021). En base a este indicador, se evidencia un pobre porcentaje de cobertura del dosel en el sector del Macrocentro. Mientras que en el sector del barrio Patagonia el porcentaje de cobertura arbórea del 26 % es más cercano al umbral que establece esta regla. Es decir que este último presenta una buena cobertura del dosel de árboles.

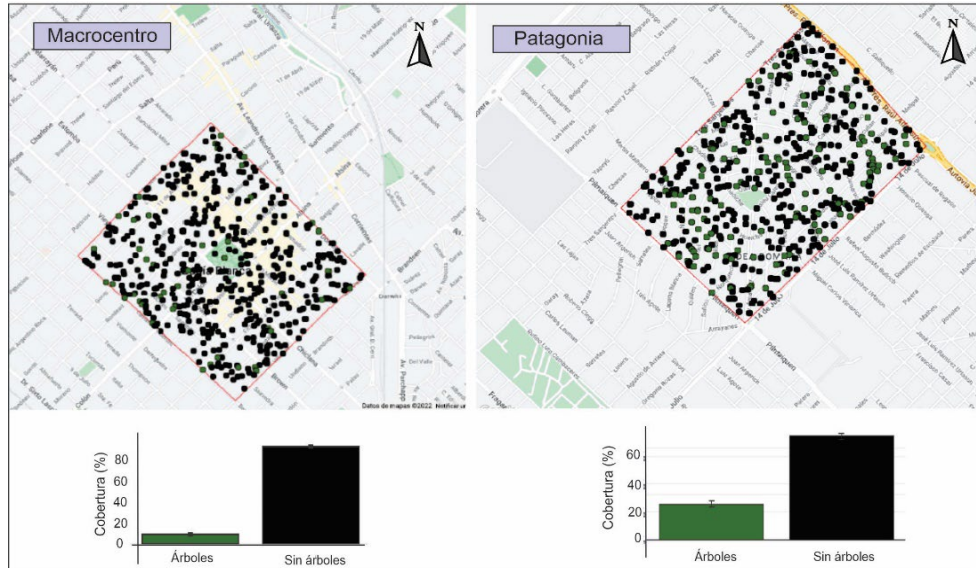


Figura 5. Cobertura vegetal del Macrocentro y el sector de Patagonia. Fuente: Elaborado por Eugenia Arias sobre la base del software *i-Tree Canopy*, 2022.

El resultado del reporte referido a las estimaciones del beneficio ambiental de secuestro de Carbono registró que en el Macrocentro el secuestro de dióxido de carbono es de 190,17 t o 190.170 kg CO₂ Equivalente al año. Por otro lado, en el sector del barrio Patagonia, el secuestro de dióxido de carbono fue mayor, de 445,82 t o 445.820 Kg CO₂ Equivalente al año. Cabe mencionar que de los valores presentados por el reporte, siempre se consideran las toneladas de CO₂ Equivalente, porque esa es la manera en que se mide la huella de carbono. Es decir, que las emisiones de Carbono a la atmósfera se miden en toneladas de CO₂ Equivalente.

De acuerdo a la otra metodología, el valor total de secuestro de CO₂ por parte de los individuos arbóreos presentes en el sector del barrio Patagonia es de 158.532 kg CO₂. Mientras que el CO₂ total secuestrado por parte de todos los ejemplares -árboles y arbustos- presentes en el sector Macrocentro, es de 92.752 kg de dióxido de carbono. En base a los resultados obtenidos, se evidencia que el sector con mayor porcentaje de cobertura arbórea y mayor número de individuos, presenta una mayor capacidad de secuestro de dióxido de carbono. Por ello, será necesario incrementar la cantidad de individuos y su cubierta arbórea en el sector del Macrocentro a los fines de aumentar el potencial de captura de CO₂ de su arbolado urbano.

CONCLUSIONES

La aplicación de ambas metodologías ayuda a profundizar sobre este servicio ecosistémico del arbolado, temática no investigada previamente. A través de herramientas informáticas libres y de fácil manejo como el programa *i-Tree Canopy*, es posible obtener información sobre la cobertura arbórea y el beneficio ambiental de secuestro de CO₂. Es posible estimar el servicio ecosistémico de secuestro de Carbono basado en los valores promedios generados para distintas ciudades de Estados Unidos, Reino Unido y Suecia. Es decir, la metodología permite realizar estudios del arbolado urbano en otros países, teniendo en cuenta alguna de las ciudades mencionadas con similares características climáticas del área de estudio a considerar. Es una buena opción utilizar esta herramienta informática para estimar la capacidad de secuestro de CO₂ por parte del arbolado, en otras ciudades de Argentina.

Por otro lado, teniendo en cuenta el número total de individuos arbóreos presentes en el área de estudio, también se puede estimar el beneficio ambiental de secuestro de CO₂. Es importante aclarar que la información obtenida es un dato aproximado, pues en este caso no fueron consideradas ciertas características obtenidas de un inventario forestal urbano tales como: tipo de especie, edad y estado sanitario. De todas formas, estos valores obtenidos pueden ser contrastados posteriormente, con aquellos obtenidos mediante otros métodos, con la finalidad de ajustar el valor de secuestro de CO₂.

A través de este trabajo se pudo establecer que los valores de secuestro de CO₂, por parte de los individuos arbóreos de estos sectores de la ciudad de Bahía Blanca, son estimativos y permiten evaluar su papel real y potencial en la reducción del dióxido de carbono atmosférico. Tomando en consideración uno de los elementos de la regla 3-30-300, se recomienda incrementar la cobertura del dosel en el sector del Macrocentro y también en

el sector del barrio Patagonia. El objetivo debe ser alcanzar el 30 % de cobertura arbórea propendiendo a crear ciudades más verdes, mejores y más biofílicas.

Se destaca la importancia de realizar este tipo de estudio en localidades del hemisferio sur, donde se constituye como una investigación base sobre esta temática. Conocer el potencial que posee el arbolado urbano contribuye a conservarlo y a establecer estrategias para incrementar y mantener la cobertura vegetal.

AGRADEMIENTOS

Este trabajo se realizó en el marco del proyecto de investigación “Geografía Física aplicada al estudio de la interacción sociedad-naturaleza. Problemáticas ambientales a diferentes escalas témporo-espaciales” (24/G092). Este está dirigido por la Dra. Verónica Gil y se encuentra subsidiado por la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional del Sur.

BIBLIOGRAFÍA

- Acuña-Simbaqueva, I. M., Andrade, H. J., Segura, M. A., Sierra, E., Canal, D. S. & Greñas, O. E. (2021). Mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero de hogares por arbolado urbano en Ibagué-Colombia. *Ambiente & Sociedade*, (24), 1-20. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200191vu2021L3AO>
- Bosch, C. (2021). The 3-30-300 rule for urban forestry and greener cities. *Biophilic Cities Journal*, 4(2), 1-2.
- Campo, A. M., Fernández, M. E. & Gentili, J. (2017). Variabilidad temporal del PM10 en Bahía Blanca (Argentina) y su relación con variables climáticas. *Cuadernos Geográficos*, 56(3), 6-25. Recuperado de <https://revistaseug.ugr.es/index.php/cuadgeo/article/view/5084>
- Capelli de Steffens, A., Piccolo, M. C. & Campo de Ferreras, A. M. (2005). *Clima urbano de Bahía Blanca*. Bahía Blanca: Dunker.
- Celemín, J. P. y Arias, M. E. (2021). La vegetación en barrios de Mar del Plata: estudio a partir de imágenes satelitales. *Revista i+a, Investigación más acción*, (24), 57-67.
- Chamorro Meza, M. A. & Falconi Romero, S. (2019). *Potencial de secuestro de carbono por los árboles en los parques urbanos de los Distrito de El Tambo, Huancayo y Chilca* (Tesis de grado). Universidad Nacional del Centro del Perú – Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente, Huancayo.
- Clemente-Arenas, E. (2021). Captura de carbono en sistemas agroforestales en el Perú. *Revista Forestal del Perú*, 36(2), 180-196. <https://doi.org/10.21704/rfp.v36i2.1797>
- Duval, V., Benedetti, G. y Baudis, K. (2020). El impacto del arbolado de alineación en el microclima urbano. Bahía Blanca, Argentina. *Investigaciones Geográficas*, (73), 171-188. <https://doi.org/10.14198/INGEO2020.DBB>

- Duval, V. Benedetti, G. y Baudis, K. (2022). Confort térmico producido por la vegetación arbórea en el macrocentro de Bahía Blanca (Argentina). *Ecología Austral*, 32(2), 502–515. <https://doi.org/10.25260/EA.22.32.2.0.1814>
- Duval, V. y Cámara Artigas, R. (2021). Diversidad y captura de carbono en un bosque secundario de caldén (*Prosopis caldenia*) en La Pampa, Argentina. *Estudios Geográficos*, 82(291), e073. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.202184.084>
- INDEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2010. *Encuesta Permanente de Hogares - EPH Continua*. Recuperado de <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-CensoProvincia-3-999-06-056-2010>
- Fares, S., Paoletti, E., Calfapietra, C., Mikkelsen, T., Samson, R. & Le Thiec, D. (2017). Carbon sequestration by urban trees (31-39). En D. Pearlmutter, C. Calfapietra, R. Samson, L. O'Brien, S. Krajter Ostoić, G. Sanesi y R. Alonso del Amo (Edits.), *The Urban Forest. Cultivating Green Infrastructure for People and the Environment* (31-39). New York, Estados Unidos: Springer.
- Farinango Carlosama, J. N. (2020). *Estimación de la captura de carbono del arbolado urbano en la cabecera cantonal de Otavalo, provincia de Imbabura*. Ibarra, Trabajo de Titulación, Ecuador: Universidad Técnica del Norte. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10395>
- Hoorweg D., Sugar, L. & Trejos-Gomez, C. L. (2011). Cities and greenhouse gas emissions: moving forward. *Environ Urban*, 23(1), 207–227. <https://doi.org/10.1177/0956247810392270>
- Hughes, C. Ringelberg, J., Lewis, G. y Catalano, S. (2022). Disintegration of the genus *Prosopis* L. (Leguminosae, Caesalpinioideae, mimosoid clade). *PhytoKeys*, (205), 147–189. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.205.75379>
- Konijnendijk, C. C. (2022). Evidence-based guidelines for greener, healthier, more resilient neighbourhoods: Introducing the 3–30–300 rule. *Journal of Forestry Research*, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01523-z>
- Ledesma, S. G., Sione, S. M. J., Oszust, J. D. & Rosenberger, L. J. (2021). Estimación del contenido y captura potencial de carbono en la biomasa arbórea de bosques nativos del Espinal (Entre Ríos, Argentina). *FAVE - Ciencias Agrarias*, 20(1), 331-345. Recuperado de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1666-77192021000100331
- Leguizamón, J., Gil, V. & Gil, V. N. (2018). Geositorios urbanos y su aprovechamiento turístico recreativo en Bahía Blanca, Argentina. *Boletín geográfico*, 40(1), 68-86. Recuperado de <http://revele.uncoma.edu.ar/index.php/geografia/article/view/2059>
- López-López, S. F., Martínez-Trinidad, T., Benavides-Meza, H. M., García-Nieto, M. & Ángeles-Pérez, G. (2018). Reservorios de biomasa y carbono en el arbolado de la primera sección del Bosque de Chapultepec, Ciudad de México. *Madera y bosques*, 24(3), e2431620. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431620>
- Martínez Sánchez, K., Vanegas Casas, K. S. & Serrato Suárez, O. E. (2021). Evaluación de los servicios ecosistémicos del arbolado urbano de la localidad de Fontibón mediante *I-Tree*. *Revista Científica ITPA*, 2(2), 43-56.
- Morello, J., Matteuci, S., Rodríguez, A. & Silva, M. (2012). *Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos*. Buenos Aires: Orientación Gráfica Editora.
- Nowak, D. J. y Crane, D. E. (2002). Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution*, 116(3), 381-389. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00214-7](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00214-7)

- Nowak, D. J., Greenfield E., Hoehn, R. & Lapoint, E. (2013). Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. *Environmental Pollution*, (178), 229-236. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.019>
- Ordenanza Municipal Nº 5691. (1991). *Código de Planeamiento Urbano*. Bahía Blanca. Recuperado de https://www.ecofield.net/Legales/Ord/Bahia_Blanca/cod_plan_urbano_BB_BA.htm
- Pache, R. G., Abrudan, I. V. & Niță, M. D. (2021). Economic valuation of carbon storage and sequestration in Retezat National Park, Romania. *Forests*, 12(43), 1-14. <https://doi.org/10.3390/f12010043>
- Pan, E. & Barrionuevo, S. A. (2009). Evaluación del CO₂ almacenado en la vegetación del bosque nativo de Santiago del Estero (Argentina): bases para la conservación de bosques en regeneración. *Foresta Veracruzana*, 11(2), 1-10. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49712336001>
- Patiño Forero, S., Suárez, L., Andrade Castañeda, H. J. & Segura, M. (2018). Captura de carbono en biomasa en plantaciones forestales y sistemas agroforestales en Armero-Guayabal, Tolima, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(2), 121-133. <https://doi.org/10.22490/21456453.2312>
- Pitola, L., Castagnani L., Coronel, A. & Feldman, S. (2012). Capacidad sumidero de carbono del arbolado urbano de Rosario: primera aproximación. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, (29), 1 – 6. Recuperado de <http://portalderevistas.unsa.edu.ar/ojs/index.php/erma/article/view/1525>
- Prieto, M. B. (2016). Vulnerabilidad sociodemográfica en el aglomerado urbano de Bahía Blanca – Argentina. *Anais*, 1-20. Recuperado de <http://www.abep.org.br/publicacoes/index.php/anais/article/view/1817>
- Risio Allione, L. (2012). *Cuantificación de biomasa y carbono en bosques nativos de Prosopis caldenia (Burkart) en la Pampa semiárida, Argentina* (Tesis de grado). Universidad Nacional de La Pampa, Santa Rosa.
- Segura-Madrugal, M. A., Andrade C., H. J. & Sierra-Ramírez, E. (2020). Diversidad florística y captura de carbono en robledales y pasturas con árboles en Santa Isabel, Tolima, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 68(2), 383-393. <https://doi.org/10.15517/rbt.v68i2.37579>
- Servicio Meteorológico Nacional. (1 de marzo de 2022). Características: estadísticas de largo plazo. <http://www.smn.gob.ar/estadisticas>
- Stewart, I. D. & Oke, T. R. (2012). Local Climate Zones for urban temperature studies. *Bulletin American Meteorological Society*, (93), 1879-1900. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>
- Urriza, G. & Garriz, E. (2014). ¿Expansión urbana o desarrollo compacto? Estado de situación en una ciudad intermedia: Bahía Blanca, Argentina. *Revista Universitaria de Geografía*, 23(2), 97-123. Recuperado de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-42652014000200003&lng=es&tlng=es.
- USDA Forest Service. 2006. URL: <https://canopy.itreetools.org/>.
- Zhao, C. & Sander, H. (2015). Quantifying and mapping the supply of and demand for carbon storage and sequestration service from urban trees. *PLoS one*, 10(8): e0136392. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0136392>

LAS AUTORAS y AUTORES

Valeria Soledad Duval es Profesora, Licenciada y Doctora en Geografía por la Universidad Nacional del Sur. Es docente en la cátedra de Biogeografía Cultural dictada para las carreras del Profesorado y Licenciatura en Geografía en la Universidad Nacional del Sur (UNS). Actualmente es Investigadora Adjunta del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas con lugar de trabajo en el Departamento de Geografía y Turismo de la UNS, ciudad de Bahía Blanca. Su actividad científica se centra en los servicios ecosistémicos de la infraestructura verde urbana. Ha dictado cursos de posgrado y de capacitación en la temática de su experticia. Posee numerosas publicaciones en revistas y en congresos científicos, nacionales e internacionales y también es coautora de capítulos de libros. Ha realizado una estancia internacional en la Universidad de Sevilla (España) vinculada a los métodos en Biogeografía. Es integrante del grupo de Geografía Física Aplicada del Departamento de Geografía y Turismo de la UNS y además es miembro de proyectos de investigación, de extensión y de voluntariado dentro de la universidad. Es miembro del Comité Editor de la Revista Universitaria en Geografía (RUG) del Departamento de Geografía y Turismo de la Universidad Nacional del Sur.

Rol: Director de la investigación/Primer autor

María Eugenia Arias es Licenciada en Ecología y Conservación del Ambiente por la Universidad Nacional de Santiago del Estero, y Magister en Gestión Ambiental por la Universidad Nacional de Tucumán. Actualmente es Becaria Doctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas en el Instituto de Geografía, Historia y Ciencias Sociales (IGHCS), Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Al presente es doctoranda en Ciencias Aplicadas, Mención Ambiente y Salud por la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, y su trabajo de tesis está vinculado con la gestión de la vegetación urbana. En la actualidad, es profesora adjunta de la cátedra Biología y Ambiente en la carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad FASTA. Su formación profesional es bien integral, habiendo trabajado en diversos temas ambientales. Posee una amplia experiencia en el área de investigación y docencia, pues ha participado en diferentes proyectos de investigación. Asimismo, se desempeñó como asesora técnica del Defensor del Pueblo de la provincia de Santiago del Estero y trabajó en distintas instituciones gubernamentales. Cuenta con varias publicaciones en revistas científicas nacionales e internacionales, divulgación en jornadas y congresos, y es autora de capítulos de libro. En general, sus áreas de interés son los temas relacionados con el ambiente urbano, infraestructura verde urbana, problemas ambientales a nivel local y regional, ecología urbana e indicadores ambientales.

Rol: Codirector de la investigación/segundo autor

Juan Pablo Celemín es Licenciado y Doctor en Geografía por la Universidad Nacional del Sur. Además, posee una maestría en Conservación y Gestión del Medio Natural por la Universidad Internacional de Andalucía. Actualmente es Investigador Independiente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas con lugar de trabajo en el Instituto de Geografía, Historia y Ciencias Sociales localizado en la ciudad de Tandil. Su actividad científica se centra en el uso de técnicas de análisis espacial, teledetección y Sistemas de Información Geografía para estudios socioambientales en diferentes escalas territoriales. Posee numerosas publicaciones en revistas científicas y como autor de libros y de capítulos de libros. Ha obtenido becas de estancias internacionales del gobierno de la República de Ecuador y de la Universidad de Alcalá (España). Ha participado de diferentes proyectos

de investigación, locales e internacionales entre los que se destaca la dirección de uno financiado por el Lincoln Institute of Land Policy (Cambridge, Estados Unidos). También ha dirigido varias tesis de postgrado, principalmente del programa de Ambiente y Desarrollo Sustentable perteneciente a la Universidad Nacional de Quilmes. Ha sido, también, evaluador de proyectos de investigación nacionales e internacionales, y de tesis de maestría y doctorales.

Rol: Participante primario/Tercer autor