

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

Estimation of the storage and retention of carbon dioxide by the public urban forest of the area of Achumani in La Paz city through a mobile application

Carlos Alejandro Pacheco Gutiérrez¹
capachecog0@gmail.com

**Instituto de Investigaciones en Ciencia y Tecnología,
Universidad La Salle-Bolivia**



Resumen

En la actualidad, es muy vigente la problemática relacionada a la emisión y secuestro de gases de efecto invernadero, causantes del cambio climático. Siendo los ecosistemas forestales y de arbolado urbano una importante herramienta para la retención y secuestro de dióxido de carbono (CO₂) - uno de los principales gases de efecto invernadero - en la atmósfera. Por ello se establece la necesidad de generar estudios relevantes que permitan medir el impacto que pueda tener el crecimiento o deterioro de estos en la huella de carbono a nivel local. El objetivo es estimar la masa total de carbono almacenada en el arbolado urbano público de la Zona de Achumani de la ciudad de La Paz, en forma de biomasa, así como la cantidad que se estima se secuestró de la atmósfera en el último año, a través de un estudio de tipo descriptivo con un enfoque cuantitativo de diseño tipo ex post facto transversal, utilizando un muestreo aleatorio simple de 14 cuadrantes de 1 ha., en cada uno de los cuales se estimó en base a medidas tomadas con la aplicación Kuka-Suite la biomasa de cada espécimen y el total de biomasa almacenada en el cuadrante. Se obtuvo un total estimado de 6085 toneladas de CO₂, con un crecimiento estimado de 55 toneladas en el año, previo al estudio.

¹ Carlos A. Pacheco Gutiérrez, Ingeniero de Sistemas de la Universidad La Salle Bolivia y Desarrollador de Software en Mojix, Inc.

Palabras claves

Análisis Estadístico, Biomasa, Secuestro de Carbono.

Abstract

In recent times, a very current issue regards the emission and sequestration of greenhouse gases, which are a cause for climate change. Forest and urban forests are an important tool for retention and sequestration of carbon dioxide (CO₂) - one of the main greenhouse gases - in the atmosphere. Therefore, it becomes necessary to create relevant studies that are able to measure the impact that their development or deterioration could have in the local carbon footprint of local communities. The goal of estimating the total mass of carbon currently stored as biomass in the urban forest of the Achumani area in La Paz city, and the quantity that it sequestered in the year before. Applying a descriptive study with a quantitative approach and an ex post facto transversal design, using a sample of 14 one-ha quadrants. For each quadrant, the biomass of every specimen was estimated using the app Kuka-Suite, along with the total biomass for the quadrant. This resulted in an estimated 6085 tons of stored CO₂ and an estimated 55 tons of growth in the year, before the study.

Key words

Statistical Analysis, Biomass, Carbon sequestration



Introducción

En Bolivia, las emisiones de gases de efecto invernadero constituyen un problema que puede afectar la sostenibilidad del medio ambiente. “Por el tamaño de su población, Bolivia es un país muy contaminador e insostenible en términos ecológicos. Produce alrededor de 30 toneladas de dióxido carbono equivalente per cápita (tCO₂- eq/cápita). Este monto necesita ser reducido 92% para alcanzar a 2,4 tCO₂-eq/cápita, lo que es necesario para lograr la meta de limitar el calentamiento a 2°C” (Batto, 2014, p. 2).

Debido a esta situación, se establece la importancia de reducir la huella

de carbono de la población boliviana, ya sea mediante la reducción de las emisiones, o la compensación de emisiones mediante la reducción de los gases presentes actualmente en la atmósfera.

El aumento de la preocupación sobre el tema de cambio climático produjo investigaciones que buscan cuantificar los efectos del arbolado urbano en el dióxido de carbono (CO₂) atmosférico; la mayoría de estos estudios establecen que los bosques urbanos pueden ser importantes receptores de carbono, sin embargo, se observa una falta de información acerca de la biomasa del arbolado urbano (Aguaron & McPherson, 2012).

El presente artículo explora las metodologías existentes para el cálculo de la retención de CO₂ del arbolado urbano, y las aplica en la estimación de la reducción per cápita de las emisiones de gases de efecto invernadero en la zona de Achumani de la ciudad de La Paz. Para ello se hará uso de una aplicación web móvil que permitirá a sus usuarios levantar datos sobre las mediciones de los árboles comprendidos en el muestreo del estudio. Se aplicaron los métodos descritos en (Aguaron & McPherson, 2012), los cuales se basan en el cálculo de la biomasa de los árboles para obtener la cantidad de CO₂ almacenado y secuestrado anualmente por cada individuo, y a la proyección de estos datos para obtener la cantidad de emisiones CO₂ absorbidas per cápita en la zona de estudio.

Objetivos

a. Objetivo General

Estimar la cantidad en toneladas de biomasa almacenada actualmente y secuestrada en el último año del arbolado urbano público de la zona de Achumani de la ciudad de La Paz.

b. Objetivos Específicos

- Establecer un método para estimar la biomasa almacenada en cada espécimen estudiado en base a su especie y medidas.

- Definir el método de muestreo aplicado para cuantificar los resultados.

Referentes conceptuales

1. Almacenamiento y secuestro de Carbono

Como parte de sus procesos biológicos, los árboles capturan y liberan dióxido de carbono a la atmósfera. “La fotosíntesis en las plantas consiste básicamente en la producción de una sustancia orgánica (un glúcido sencillo) a partir de moléculas inorgánicas (el dióxido de carbono como sustrato a reducir, y el agua como dador de electrones que se oxida), mediante el aprovechamiento de la energía lumínica (que queda almacenada como energía química dentro de la molécula sintetizada) y con desprendimiento de oxígeno” (Universidad Politécnica de Valencia, 2003).

El término “Almacenamiento de dióxido de carbono” se refiere a la acumulación de biomasa maderera a lo largo del crecimiento de los árboles. La cantidad de CO₂ almacenada en un momento específico es proporcional a su biomasa e influenciada por la densidad del árbol y los cuidados que se le provean (McPherson, 1994).

El término “Secuestro de dióxido de carbono” se refiere a la tasa de absorción de CO₂ y su conversión en biomasa a lo largo de una temporada de crecimiento. La retención depende del crecimiento del árbol y su tasa de mortalidad, lo cual a su vez depende de la distribución de especies y edad del arbolado urbano a ser estudiado. (McPherson, E. Gregory, 1998).

2. Ecuación alométrica

La alometría designa los cambios en las dimensiones relativas de partes del cuerpo que están correlacionadas con cambios en el tamaño total (Gayon, 2015). Las ecuaciones alométricas utilizan una variedad de parámetros para calcular la biomasa de un árbol. El primero de estos parámetros es el diámetro a la altura del pecho (DAP) que por convención se establece como el diámetro observado a 130cm desde la raíz. El segundo parámetro

comúnmente utilizado es la altura del árbol (Aguaron & McPherson, 2012). La mayoría de las fórmulas alométricas para el cálculo de la biomasa de los árboles utilizan datos promedio para la densidad y humedad por especie (McPherson, E. Gregory, 1998).

Una vez obtenida la biomasa total de un individuo en particular, es posible inferir la biomasa seca, luego el carbono (C) y CO₂ almacenado (McPherson, E. G.; Simpson, J. R.; Peper, P. J.; Aguaron, E., 2008). La biomasa observada se considera biomasa aérea (tronco, ramas, hojas, etc), a la cual se debe agregar la biomasa bajo tierra (raíces) utilizando un factor de conversión de 1.28: (Wenger, 1984). El volumen seco se convierte en carbón mediante la multiplicación por la constante 0.50 y el carbono es convertido a CO₂ multiplicando por el peso molecular del dióxido de carbono, 3.67 (Lieth, 1963).

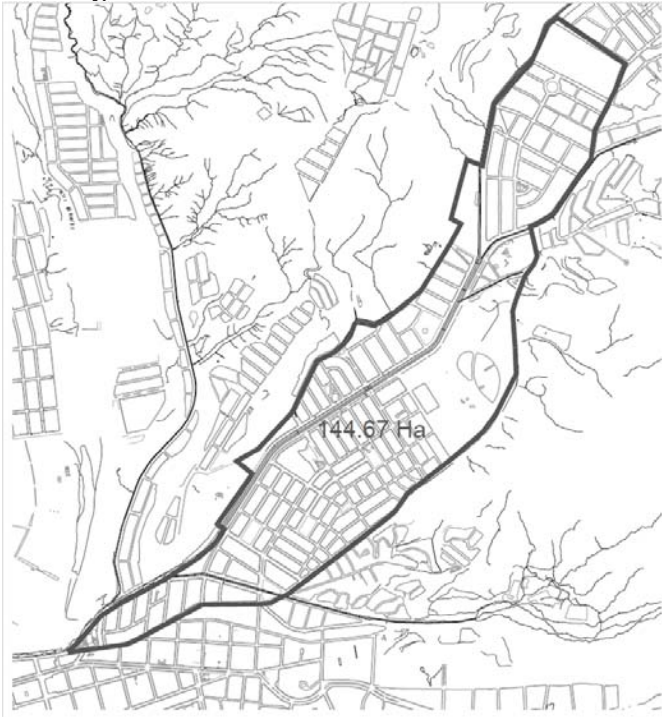
Materiales y métodos

La presente investigación es de tipo descriptivo con un enfoque cuantitativo, puesto que tiene el propósito de describir la realidad por la que atraviesa el área de estudio (Salkind, 1998) realizando una medición a cada espécimen encontrado para hallar su valor de biomasa. Por lo tanto, se trata de un diseño de tipo ex post facto transversal debido a que se realizará una medición única en un determinado momento.

Área de Estudio

El área de estudio consiste en el área urbana de la zona de Achumani Central, correspondiente al distrito 18 del Macrodistricho Sur de la ciudad de La Paz, Bolivia. Tiene una superficie de 145 hectáreas y se encuentra delimitada en el mapa que se muestra a continuación:

Figura 1. Delimitación de la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia en base a la Ley Municipal de Uso de Suelos (Gobierno Autónomo Municipal de La Paz, 2018)

Muestra

Para el presente estudio se realizó un muestreo en un total de 14 cuadrantes, de 1 hectárea cada uno, ubicados en la zona de Achumani Central. Al representar un área de 144.67 hectáreas, se procedió a dividir la zona en 145 cuadrantes. A continuación, se aplicó un muestreo aleatorio simple sin reposición para seleccionar los 14 cuadrantes a ser utilizados en el estudio. Este método resulta práctico en este contexto debido a la naturaleza residencial de la zona en cuestión, que permite acceder a cualquier cuadrante resultante del proceso de selección.

En la Tabla 1, se detallan las coordenadas geo-referenciales WGS84 del

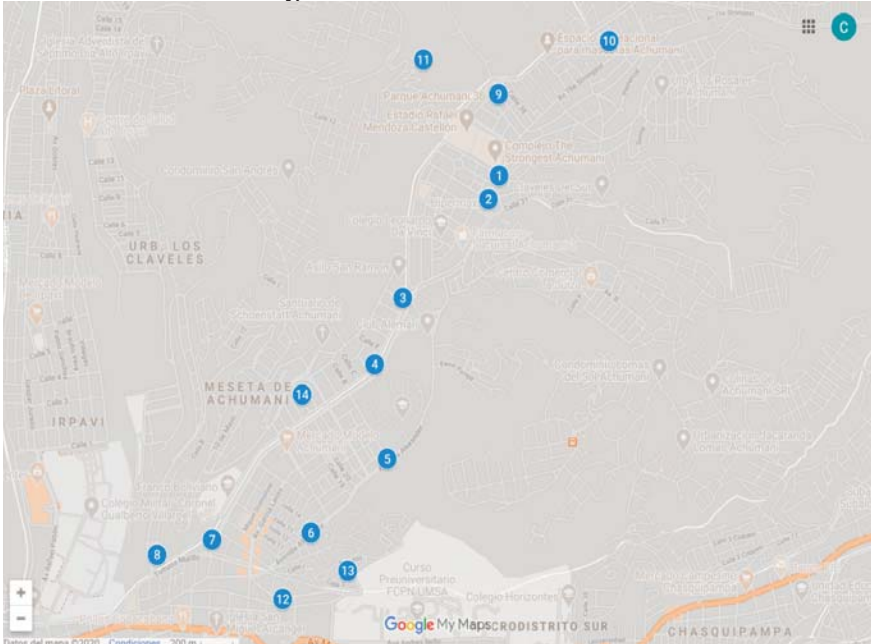
punto medio de cada uno de los cuadrantes, y en la Figura 2 se pueden observar las localizaciones de cada uno de estos puntos en el mapa de la zona.

Tabla 1. Cuadrantes de Muestreo

PUNTO	Latitud	Longitud
1	-16.517336	-68.061894
2	-16.518829	-68.062469
3	-16.523107	-68.067186
4	-16.526305	-68.068697
5	-16.530834	-68.068012
6	-16.534312	-68.072233
7	-16.534661	-68.077647
8	-16.535383	-68.080685
9	-16.513414	-68.061916
10	-16.510916	-68.055848
11	-16.5117826	-68.066046
12	-16.537496	-68.073761
13	-16.536108	-68.070219
14	-16.536110	-68.055875

Fuente: Elaboración propia

Figura 2. Puntos de muestreo



Fuente: Elaboración propia utilizando tecnología Google Maps

Instrumentos

Para alcanzar los objetivos propuestos, se realizó un inventario de cada espécimen existente en los cuadrantes de la muestra, y se procedió a realizar la medición, mediante la aplicación Kuka-Suite², de dos características principales:

- **Altura:** Definida como la distancia entre la base del árbol (a su vez definida como la intersección entre el suelo y el tronco del árbol) y la copa.
- **Diámetro a la altura del pecho (dap):** Definido como el diámetro del tronco a una altura de 130 cm por encima del nivel del suelo

² Kuka-Suite: aplicación web elaborada por el autor del presente estudio.

a. Selección de ecuaciones alométricas

Para estimar la biomasa contenida en cada espécimen individual se procede a recopilar las ecuaciones alométricas disponibles en la literatura actual para cada una de las especies encontradas en el sitio de estudio. Para seleccionar la ecuación más apropiada se buscó exhaustivamente en la literatura alguna ecuación que satisfaga alguno de los siguientes criterios, en orden de prioridad:

- La ecuación se obtuvo originalmente para la misma especie en ambientes urbanos.
- La ecuación se obtuvo originalmente para la misma especie en ambientes rurales.
- La ecuación se obtuvo originalmente para una especie distinta con el mismo género.
- La ecuación representa un valor promedio para el mismo tipo de árboles, ya sean coníferas o palmeras (Aguaron & McPherson, 2012).

Los resultados de la búsqueda se detallan en la tabla 2, y serán utilizados para estimar la biomasa de todos los especímenes encontrados en el estudio.

Tabla 2. Selección de ecuaciones alométricas

Especie	Biomasa Seca	R ²	Fuente	Comentario
<i>Acacia Retinoides</i>	$0.06 * (dap)^{2.16}$	0.82	(López-Merlin, Soto-Pino, Jiménez-Ferrer, & Hernández-Daumás, 2003)	Fórmula para <i>acacia pennatula</i> , la cual comparte el mismo género biológico
<i>Cupressus sempervirens</i>	$-4.1345 + 2.4359 * 10^{-2} (dap)^2 * h + 1.4156 (dap)$		(Tabacchi , Di Cosmo, L., Gasparini, & Morelli, 2011)	

<i>Acacia Saligna</i>	$0.06 * (\text{dap})^{2.16}$	0.82	(López-Merlin, Soto-Pino, Jiménez-Ferrer, & Hernández-Daumás, 2003)	Fórmula para <i>acacia pennatula</i> , que comparte género biológico
<i>Populus nigra</i>	$0.0021 * (\text{dap})^{1.873}$	0.991	(Aguaron & McPherson, 2012)	Fórmula para <i>Populus sargentii</i> , que comparte género biológico
Coníferas (taxón)	$0.035702 * (\text{dap})^{2.580671}$		(Aguaron & McPherson, 2012)	Denominada Ecuación General Urbana, esta específicamente diseñada para entornos urbanos
<i>Acacia dealbata</i>	$0.06 * (\text{dap})^{2.16}$	0.82	(López-Merlin, Soto-Pino, Jiménez-Ferrer, & Hernández-Daumás, 2003)	Fórmula para <i>acacia pennatula</i> , la cual comparte el mismo género biológico
<i>Eucalyptus globulus</i>	$0283168466 * (0.00309 * (\text{dap} / 2.54)^{2.15182} * (3.28 * h)^{0.83573})$		(Aguaron & McPherson, 2012)	Ecuación apta también para <i>Eucalyptus sideroxylon</i>
<i>Populus alba</i>	$0.0021 * (\text{dap})^{1.873}$	0.991	(Aguaron & McPherson, 2012)	Fórmula para <i>Populus sargentii</i> , que comparte género biológico

<i>Cupressus macrocarpa</i>	$0.035598 * (\text{dap})^{2.495263}$	0.98	(Aguaron & McPherson, 2012)	
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	$0.0283168466 * (0.011312 * (\text{dap} / 2.54)^{2.18578} * (3.28 * \text{h})^{0.548045})$		(Aguaron & McPherson, 2012)	
<i>Pinus radiata</i>	$0.0283168466 * (0.005325 * (\text{dap} / 2.54)^{2.226808} * (3.28 * \text{h})^{0.668993})$		(Aguaron & McPherson, 2012)	
<i>Schinus molle</i>	$0.0283168466 (0.00292 * (\text{dap} / 2.54)^{2.19157} * (3.28 * \text{h})^{0.94367})$		(Aguaron & McPherson, 2012)	Ecuación asignada a <i>Pistacia chinensis</i>
<i>Eucalyptus cinerea</i>	$0.0283168466 * (0.00309 * (\text{dap} / 2.54)^{2.15182} * (3.28 * \text{h})^{0.83573})$		(Aguaron & McPherson, 2012)	Fórmula para <i>Eucalyptus sideroxylon</i> con la cual comparte género biológico
<i>Cupressus sargentii</i>	$0.035598 * (\text{dap})^{2.495263}$	0.98	(Aguaron & McPherson, 2012)	Fórmula para <i>cupressus macrocarpa</i> con la cual comparte género biológico
<i>Prunus cerasifera</i>	$0.000283509 * \text{dap}^{2.310647}$		(Lee, Ko, & McPherson, 2016)	
<i>Fraxinus (género)</i>	$0.022227 * (\text{dap})^{2.633462}$		(Aguaron & McPherson, 2012)	Fórmula para <i>Fraxinus velutina</i> 'Modesto' que se usará para todo el género

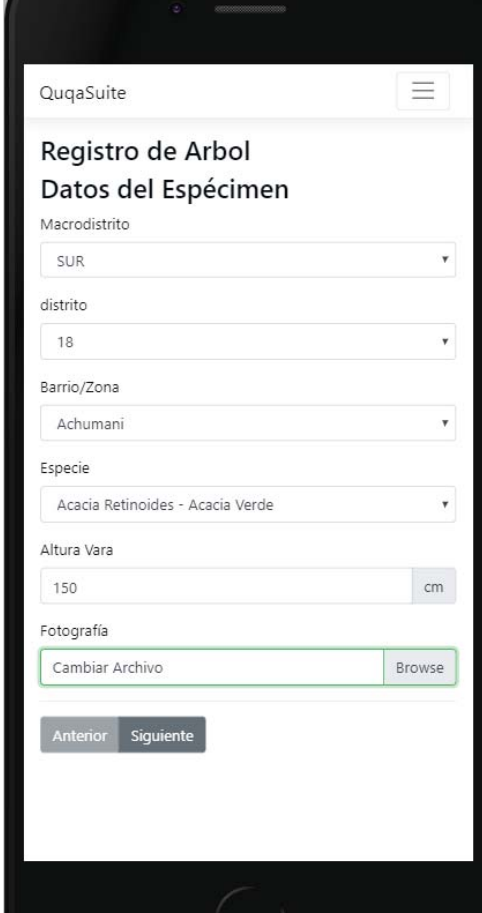
<i>Palmeras</i>	$1.282 * (7.7 * h + 4.5)$		(Aguaron & McPherson, 2012)	Fórmula General Urbana para palmeras
<i>Sambucus peruviana</i>	$(EXP (-2.437 + 2.418 * (LN(dap))) + EXP (-3.188 + 2.226 * (LN(dap)))) * 0.8$		(Aguaron & McPherson, 2012)	Fórmula general para árboles de madera dura

Fuente: Elaboración propia en base a las fuentes citadas en la cuarta columna

b. Kuka-Suite

Es una aplicación orientada al inventariado, medición y estimación de biomasa de especímenes de árboles, además del registro de estos en una base de datos. Fue desarrollada específicamente para facilitar el presente estudio. Permite configurar un catálogo de especies y sus respectivas ecuaciones alométricas para realizar el cálculo automatizado de biomasa. Este cálculo se realiza mediante la toma de una fotografía del espécimen, y una vara de medición de longitud conocida. De esta manera, el usuario indica a la app los puntos en los que se encuentran la base, punta y vara de medición para que esta pueda calcular la altura del árbol y la altura del pecho. Seguidamente la app indica mediante una línea roja la altura del pecho, solicitando al usuario que indique las intersecciones entre esta línea y el tronco del árbol para determinar el DAP. Este flujo de trabajo se puede apreciar en las figuras 3, 4 y 5.

Figura 3. Paso 1, datos generales



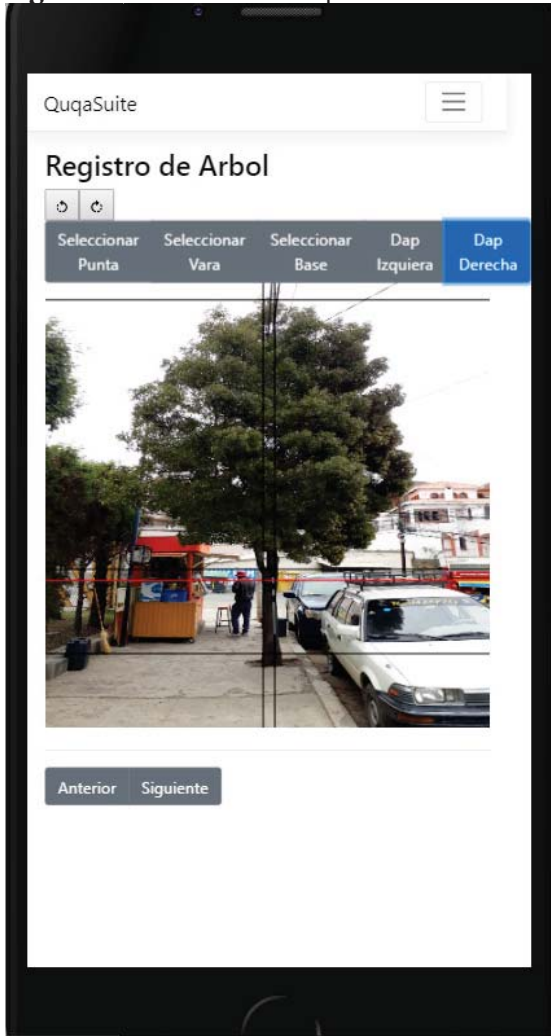
The image shows a mobile application interface for 'Registro de Arbol' (Tree Registration). The screen displays a form titled 'Datos del Espécimen' (Specimen Data) with the following fields and values:

- Macrodistrito:** SUR
- distrito:** 18
- Barrio/Zona:** Achumani
- Especie:** Acacia Retinoides - Acacia Verde
- Altura Vara:** 150 cm
- Fotografía:** A button labeled 'Cambiar Archivo' (Change File) with a 'Browse' option.

At the bottom of the form, there are two navigation buttons: 'Anterior' (Previous) and 'Siguiente' (Next).

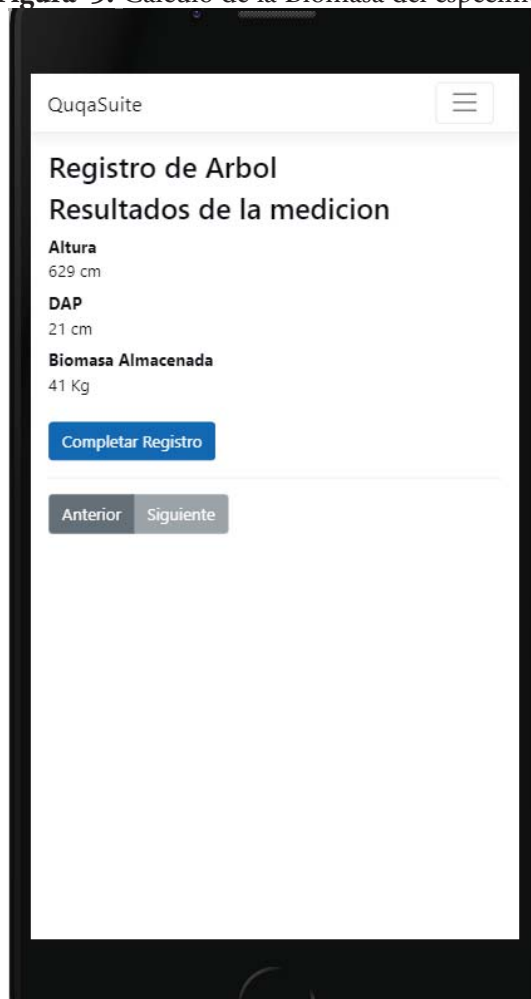
Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Selección de los puntos de medición



Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Cálculo de la Biomasa del espécimen



Fuente: Elaboración propia

Arquitectura de la Aplicación

La aplicación fue creada utilizando el entorno de ejecución .net y el *framework* ASP.net core para crear una API de tipo REST en el *backend*, y una aplicación web utilizando el entorno de trabajo de cliente React

para el *frontend*. Se utilizó Azure Web Apps como sistema de hosting. Esta aplicación es accesible desde cualquier dispositivo con un navegador web compatible con HTML5, y debido a su naturaleza responsiva se adapta a todo tipo de monitores, incluyendo laptops, tabletas y celulares.

Realización del estudio

a. Obtención de datos

En base a los resultados obtenidos por la aplicación, se clasificó a cada individuo en base al cuadrante al que pertenecía, y se procedió a realizar la suma de los valores de biomasa almacenados en la base de datos. Los resultados de este cómputo se encuentran en la tabla 3.

Tabla 3. Biomasa almacenada por cuadrante

PUNTO	Número de Especímenes	Biomasa Total
1	93	2325
2	85	2125
3	58	1450
4	68	1700
5	33	825
6	87	2175
7	83	2075
8	59	1475
9	74	1850
10	93	2325
11	232	5800
12	82	2050
13	89	2225
14	94	2350

Fuente: Elaboración propia

b. Análisis Estadístico

Para realizar el análisis estadístico, se procede a obtener la media, y desviación estándar de la muestra, que dan como resultado:

$$\underline{y} = 2146.42s = 1082.65$$

En base a estos datos, el intervalo de confianza al 90% para la total poblacional, está dado por la formula

$$N \underline{y} \pm N z_{\frac{\alpha}{2}} \frac{s}{\sqrt{n}} \sqrt{1 - f}$$

Donde:

N: El tamaño total de la población. En este caso tomamos el numero total de hectáreas en la zona de Achumani, que es 145.

y: La media muestral, que es 2146.42

$z_{\alpha/2}$: Abscisa que en la forma normal deja a la derecha un área de $\alpha/2$.

Sustituyendo los valores en la fórmula, se encuentra que el resultado para la estimación de biomasa en la zona de Achumani es de:

$$121178.57 \pm 197.83$$

Resultados

Se elaboró una tabla de ecuaciones alométricas basadas en la literatura disponible (Tabla 2). En esta tabla se asignaron las ecuaciones más apropiadas para cada especie, basados en la altura y el DAP para calcular la biomasa de un espécimen dado.

Seguidamente, se procedió a realizar un muestreo de 10 cuadrantes seleccionados aleatoriamente dentro del área de estudio, y en base a los datos del muestreo se realizó una estimación de la biomasa total almacenada en la zona de Achumani de la ciudad de La Paz

Como resultado de este proceso, se obtuvo un total estimado de 121.18 toneladas de biomasa existente en el arbolado urbano de la zona de Achumani. Esto representa un aproximado 284 toneladas de CO₂ actualmente almacenadas en el arbolado urbano de la zona en cuestión. Tomando en cuenta una tasa promedio de crecimiento anual de 0.394cm para el DAP y de 1.455m para la altura, se estima que anualmente este distrito capturo en el año anterior 55 Toneladas de dióxido de carbono.

Discusión

Al encontrar un valor de 120 toneladas de biomasa almacenada en la zona de Achumani, se puede contrastar con el valor encontrado en un estudio similar para la ciudad de Chicago, EEUU (Nowak, 1994) y se obtienen resultados quizás alarmantes. Mientras la estimación para Chicago era de 16.7 toneladas por hectárea, el resultado para la zona de Achumani apenas llega a las 0.83 toneladas por hectárea, una cantidad considerablemente menor. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que dicho estudio consideró también el arbolado en áreas consideradas reservas naturales, por lo que el promedio tiende a subir. También es importante considerar el hecho que el presente estudio se limitó a analizar solo el arbolado público, mientras que el estudio en Chicago también consideró el arbolado en propiedades privadas. Resulta necesario entonces, evaluar el impacto de este tipo de propiedades en un resultado agregado. Sin embargo, queda en evidencia que aún hay mucho espacio para mejorar en tema de arbolado urbano.

Por otro lado, si se contrasta la tasa de secuestro en el último año con la huella de carbono de la zona, se puede obtener resultados interesantes. Dada una densidad de 26 habitantes por hectárea (Gobierno Autónomo Municipal de La Paz, 2008) se establece un población aproximada de 3761 habitantes en la zona Achumani Central. Esto implicaría que el arbolado urbano de esta zona aporta anualmente a compensar 0.06 toneladas de CO₂ de la huella de carbono de sus habitantes. Si se considera que la emisión de carbono per cápita en La Paz es de 1.8 toneladas per cápita (Alianza Clima y Desarrollo, 2015), se concluye que el arbolado urbano contribuye a compensar el 3% de las emisiones de cada habitante de

Achumani Central. Si bien este número es significativo, queda mucho por trabajar para cumplir con la meta de lograr una ciudadanía carbono-neutral. Es importante promover y generar políticas para la expansión del arbolado urbano público mediante la creación de áreas verdes y la concientización sobre el cuidado del arbolado urbano en calles y avenidas.

Conclusiones

En concordancia con los objetivos de la presente investigación, se llegó a las siguientes conclusiones. Para determinar la cantidad de CO₂ almacenado y el secuestrado en el último año, se utilizó la app Kuka-Suite para la recopilación e inventariado de especies, así como la estimación de la biomasa individual de cada uno. De esta manera se pudo evidenciar un reducido impacto del arbolado urbano de la zona en la huella de carbono de sus habitantes.

Se implementó un sistema y una base de datos que podrán ser utilizados para estudios muestrales, o censos completos en cualquier zona de la ciudad de La Paz, acelerando así la realización estudios que puedan ampliar o extender la información presentada en este artículo. Debido a las capacidades e interfaz de usuario de la app, se redujeron tiempos de procesos de tabulación manual que solían tardar varios días a solo unas horas.

Adicionalmente, se pudo evidenciar una cantidad considerable de especímenes, y por tanto de biomasa almacenada en el punto de muestreo 11, el cual, al hacer una revisión, corresponde al parque de la calle 32 de Achumani. Esto indica la enorme capacidad (5 toneladas en solo 1 hectárea) de parques y otras áreas verdes para contribuir a la reducción de la huella de carbono de una localidad, y así contribuir a la lucha contra el cambio climático, un árbol a la vez.

Referencias

- Aguaron, E., & McPherson, E. G. (2012). Comparison of methods for estimating carbon dioxide storage by Sacramento's urban forest. En *Carbon sequestration in urban ecosystems* (págs. 43-71). Springer Netherlands.
- Alianza Clima y Desarrollo. (2015). *Evaluación de huella de carbono*. Lima.
- Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., . . . Villarreal, H. (2006). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Avison, D., & Fitzgerald, G. (2006). *Information Systems Development*. McGraw-Hill Education.
- B. de Morales, C., Moraes, M., Ergueta, P., Baudoin, M., Beck, S., & Killeen, T. (1997). *Ecología en Bolivia*. La Paz: Instituto de Ecología. UMSA.
- Batto, A. (2014). *La problemática de las emisiones de gases de efecto invernadero en Bolivia*. Obtenido de http://cambioclimatico-bolivia.org/archivos/20140609002426_0.pdf
- Cabrera, A. L., & Willink, A. (1973). *Biogeografía de America Latina*. Washington D.C.: Organización de los Estados Americanos.
- Contreras-Hermosilla, A., & Vargas Ríos, M. T. (2002). *Las Dimensiones Sociales, Ambientales y Económicas de las Reformas a la Política Forestal de Bolivia*. Washington D.C.: Forest Trends.
- Garitano, Z. Á., Salazar, A., Campos, J., Da Silva, M., & Zegarra, V. (2016). *Manual del Naturalista Urbano*. La Paz, Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés/DIPGIS.
- Gayon, J. (2015). History of the Concept of Allometry. *American Zoologist*, 1-28.
- Gobierno Autónomo Municipal de La Paz. (2008). *Cartillas Macrodistritales - Macrodistrito Sur*. La Paz.
- Gobierno Autónomo Municipal de La Paz. (2018). *Mapa de uso de suelos*. Obtenido de Mapa de Uso del Suelos y Patrones de Asentamiento - Anexo I: <http://sitservicios.lapaz.bo/sit/LUSU/distritos.html?distrito=18>

- Gobierno Autonomo Municipal de La Paz. Direccion de Planificacion y Control. Unidad de Planificacion Participativa. (2007). *PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL*. La Paz.
- Lee, J.-H., Ko, Y., & McPherson, E. G. (2016). The feasibility of remotely sensed data to estimate urban tree dimensions and biomass. *Urban Forestry & Urban Greening*, 208-220.
- Lieth, H. (1963). The role of vegetation in the carbon dioxide content of the atmosphere. *Journal of Geophysical Research*.
- López, R. P. (2015). *Historia Natural de un valle en Los Andes: La Paz*. La Paz, Bolivia: Museo Nacional de Historia Natural.
- López-Merlin, D., Soto-Pino, L., Jiménez-Ferrer, G., & Hernández-Daumás, S. (2003). Relaciones alométricas para la predicción de biomasa forrajera y leña de acacia pennatula y guazuma ulmifolia en dos comunidades del norte de Chiapas, México. *Interciencia*, 334-339. Obtenido de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442003000600005&lng=es&tlng=es
- McNaughton, S. J., & Woelf, L. L. (1979). *General ecology*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Mcpherson, E. (1994). Using urban forests for energy efficiency and carbon storage. *Journal of Forestry*, 92-102.
- McPherson, E. G.; Simpson, J. R.; Peper, P. J.; Aguaron, E. (2008). Urban Forests & Climate Change. *USDA Forest Service*.
- McPherson, E. Gregory. (1998). Atmospheric Carbon Dioxide Reduction by Sacramento's Urban Forest. *Journal of Arboriculture*, 215-223.
- Mostacedo, B., & Fredericksen, T. S. (2000). *Manual de metodos basicos de muestreo y analisis en ecologia vegetal*. Santa Cruz - Bolivia: BOLFOR.
- Nowak, D. J. (1994). *Atmospheric Carbon Dioxide Reduction by Chicago's Urban Forest*. Chicago: United States Department of Agriculture.
- Rowntree, R.A., & Nowak, D.J. (1991). Quantifying the Role of Urban Forests in removing Atmospheric Carbon Dioxide. *Journal of Arboriculture*, 269-275. Obtenido de <http://www.ltrr.arizona.edu/~sheppard/envirothon/RowntreeNowak1991QuantifyingUrbanForestCO2.pdf>
- Salkind, N. J. (1998). *Métodos de Investigación*. México: Prentice Hall.

- Tabacchi , G., Di Cosmo, L., Gasparini, P., & Morelli, S. (2011). *Stima del volume e della fitomassa delle principali forestali italiane. Equazioni di previsione, tavole del volume e tavole della fitomasa arborea apigea*. Trento: Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura.
- Universidad Politecnica de Valencia. (2003). *La Fotosíntesis*. Obtenido de Universidad Politecnica de Valencia - Escuela de Ingeniería agrónoma y medioambiental: http://www.euita.upv.es/VARIOS/BIOLOGIA/Temas/tema_11.htm
- Wenger, K. F. (1984). *Forestry Handbook*.

Artículo Recibido: 11-11-2019

Artículo Aceptado: 27-02-2020