

Captura de carbono por una fachada vegetada

Carbon capture by a green facade

Jazmin Carbajal Avila*[◊], Antonio Alfonso Rodríguez Rosales*, Luz Patricia Ávila Caballero**, América Libertad Rodríguez Herrera**, Heriberto Hernández Cocolletzi***

RESUMEN

La vegetación en grandes extensiones funciona como sumidero natural de carbono para eliminar las concentraciones de gases efecto invernadero; por esta razón en las ciudades resulta necesario mantener el equilibrio entre las superficies construidas y las vegetadas. Los sistemas de naturación urbana se emplean como una respuesta a este problema, las fachadas vegetadas forman parte de ellos. El presente estudio tuvo como objetivo determinar la cantidad de C y CO₂ capturado por las especies *Pentalinon luteum* y *Clitoria ternatea*, utilizadas en un modelo construido. Ambas capturan cantidades similares de carbono. Los datos son útiles para ampliar la investigación, ya que a la fecha no existe un registro específico de captura de CO₂ en especies recomendadas para muros y azoteas vegetadas.

ABSTRACT

Vegetation in large land area plays the role of a natural carbon sink which eliminates high concentrations of greenhouse gases; for this reason, it is necessary to maintain the balance between the built and vegetated surfaces in the cities. Green infrastructure systems are used as an answer to this urban problem and green facades are part of them. This study aimed to determine the amount of C and CO₂ captured by *Pentalinon luteum* and *Clitoria ternatea* species, used in a constructed model. Both capture similar amounts of carbon. The obtained data are useful for further investigation because there is not a specific record of CO₂ capture to date for the species recommended species for walls and vegetated roofs.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional en las ciudades genera mayor demanda de bienes y servicios, esto se relaciona con la demanda de energía cuyo suministro es responsable aproximadamente del 26% de las emisiones globales de Gases Efecto Invernadero (GEI), siendo la quema de combustibles fósiles la fuente más importante (UN-Hábitat, 2011). En el ámbito mundial, las proyecciones van en aumento, las estimaciones indican que en el 2050 se suscitará un Cambio Climático más perjudicial debido principalmente a un incremento de 70% en las emisiones de CO₂ relacionadas con la generación de energía (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE], 2012).

Las principales actividades responsables de las emisiones de GEI en las urbes de América Latina y el Caribe son el transporte terrestre (38%) así como la producción de electricidad (21%); México es el país con mayor

Recibido: 23 de mayo de 2016
Aceptado: 22 de septiembre del 2017

Palabras clave:

Fachada vegetada; carbono; especies trepadoras.

Keywords:

Green facade; carbon dioxide; climbing plants.

Cómo citar:

Carbajal Avila, J., Rodríguez Rosales, A. A., Ávila Caballero, L. P., Rodríguez Herrera, A. L., & Hernández Cocolletzi, H. (2017). Captura de carbono por una fachada vegetada. *Acta Universitaria*, 27(5), 55-61. doi: 10.15174/au.2017.1388

* Centro de Investigación Científica y Tecnológica de Guerrero A.C., calle Río Atoyac No. 28 Col. Vista Alegre, Acapulco Guerrero, C.P. 39560, Tel. (52) 74 44 45 06 31. Correo electrónico: jzmca@gmail.com

** Unidad Académica de Ciencias Químicas y Biológicas, Campus Ciudad Universitaria, Universidad Autónoma de Guerrero.

*** Facultad de Ingeniería Química, Campus Ciudad Universitaria, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

[◊] Autor de correspondencia.

cantidad de emisiones de GEI contribuyendo con el 30% (UN-Hábitat 2012). Como ejemplo, el 75% de la electricidad se genera a partir de combustibles fósiles (Comisión Nacional de Vivienda [Conavi], 2006).

Gracias a los sumideros naturales de carbono se eliminan los GEI, la vegetación funciona como uno de ellos; por eso la necesidad de que las ciudades equilibren las superficies construidas y vegetadas; de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), por cada habitante debe existir un mínimo de 9 m² de espacio verde (UN-Hábitat, 2014). La disminución de este espacio merma la calidad del aire afectando la salud de las personas, según la OMS, México es el segundo país de América Latina con mayor número de muertes relacionadas con la contaminación del aire (Green & Sanchez, 2012). El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés, 2008) sugiere medidas para mitigar sus efectos; en los edificios propone la aplicación de los aislamientos térmicos y recurrir al diseño solar pasivo¹ tanto para la calefacción como para la refrigeración de los espacios.

Por otro lado, la naturación urbana es la acción de incorporar la vegetación al medio urbano con el objetivo de amortiguar el desequilibrio entre la urbanización y la conservación del medio ambiente (Urbano & López, 2013). Entre los beneficios que aportan destacan su funcionamiento como aislante térmico y la captura de CO₂, entre otras partículas contenidas en el aire. Las fachadas vegetadas forman parte de los sistemas de naturación urbana, se instalan en los muros exteriores que componen la envolvente arquitectónica² de un edificio. Se componen básicamente de un recipiente que contiene el sustrato o medio de crecimiento y una malla o enrejado que sirve de guía para el desarrollo de la vegetación que es de tipo trepadora.

El CO₂ secuestrado por las plantas es el resultado de las diferencias entre el CO₂ atmosférico absorbido durante el proceso de la fotosíntesis y el CO₂ emitido durante la respiración. Esta diferencia es convertida en biomasa y suele oscilar entre el 45% y 50% del peso seco de la planta (Espada, 2013). Un estudio realizado por Getter, Row, Robertson, Cregg & Andresen (2009) mostró que una cubierta extensiva de *sedum* puede

capturar en promedio 375 g de C por m² en un periodo de seis meses; 168 g de C por m² en la biomasa aérea, 107 g de C por m² en la raíz y 100 g de C por m² en el sustrato. Es decir, el 45% lo captura la vegetación aérea, el 28% la raíz y el 27% el sustrato.

El presente estudio tuvo como objetivo determinar la cantidad de CO₂ fijado anualmente por las especies *Pentalinon luteum* y *Clitoria ternatea*, trepadoras nativas del trópico húmedo de América, por sus cualidades de bajo requerimiento de agua, fácil mantenimiento, alta tolerancia a la exposición del sol y su apariencia estética son apropiadas para ser utilizadas en los sistemas de fachada vegetada. Los resultados serán útiles para comparar los resultados con otras especies recomendadas para los sistemas de naturación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El método para determinar el carbono (C) capturado por m² se basa en la producción de biomasa en un periodo de seis meses para la especie *Clitoria ternatea* y de año un año seis meses para la especie *Pentalinon luteum*. El contenido de carbono por cada fracción de la planta se determinó utilizando la metodología de Mota, Alcaraz, Iglesias, Martínez & Carvajal (2011), aplicada a plantas hortícolas de la región de Murcia en España. La equivalencia en CO₂ se obtuvo considerando que cada mol de CO₂ contiene 12 g de C (44/12), por tanto, la estequiometría de la reacción de fijación de este gas indica que, por cada g de carbono asimilado, se retiran de la atmósfera 3.66 g de CO₂ (García, 2014). Dicha equivalencia la refiere asimismo el IPCC que indica que 1 t de C= 3.67 t CO₂.

El sistema de fachada vegetada está compuesto por un contenedor metálico rectangular de 30 cm de altura y profundidad y 2 m de longitud, anclado al muro estructural con soportes metálicos en forma de "L" y por una reja prefabricada de alambre electro-soldado con acabado de poliéster cuyas dimensiones son 2.50 m de altura y 2.00 m de longitud, separada 10 cm del muro estructural para evitar que la superficie se humedezca y fijada en la parte superior. Se instaló en una vivienda tipo residencial ubicada en la zona centro del municipio de Acapulco, Guerrero (figuras 1 y 2).

¹ Se basa en el análisis de los factores climáticos, ambientales y físicos para seleccionar los elementos y sistemas constructivos de un edificio que permitan reducir el consumo de energía convencional para su refrigeración, calefacción e iluminación.

² Son el conjunto de cerramientos compuestos por muros y cubiertas que aíslan el espacio exterior del interior en un edificio.

El sustrato está compuesto de fibra de coco, grava de tepetate triturada, humus de lombriz y abono de hoja, en proporción: 0.3, 0.2, 0.3, 0.2, respectivamente; estos materiales se hallan en la región de Acapulco. La especie *Pentalinon luteum* es una enredadera perennifolia de tallos leñosos, sus hojas son ovadas, brillantes, de color verde claro, sus flores de color amarillo y en forma de campana; comúnmente se utiliza como planta ornamental, protege la fauna silvestre, florece todo el año con mayor florecimiento en primavera y verano, crece en suelos con pocos nutrientes, no tolera inundaciones con agua salada, además de ser venenosa. Se adquiere fácilmente en los viveros locales (figura 3). La especie *Clitoria ternatea* es una leguminosa que tiene la cualidad de recuperar suelos degradados al aportar nitrógeno atmosférico, el color de su flor puede ser azul o blanca; es considerada una planta silvestre de uso forrajero o medicinal (figura 4). No es posible hallarla en los viveros locales, por lo que fue necesario reproducirla con semillas recolectadas en el campo; estas se reposaron en agua durante 24 h antes de ser sembradas ya que su corteza es muy dura. La tabla 1 muestra la paleta vegetal que incluye el origen taxonómico, las características físicas y los requerimientos para su buen desarrollo. La especie *Clitoria ternatea* fue sembrada en el contenedor con una separación aproximada de 40 cm entre planta, mientras que de la especie *Pentalinon luteum* se plantaron tres individuos separados entre sí 60 cm, cuya altura inicial fue de un metro aproximadamente (tabla 1).

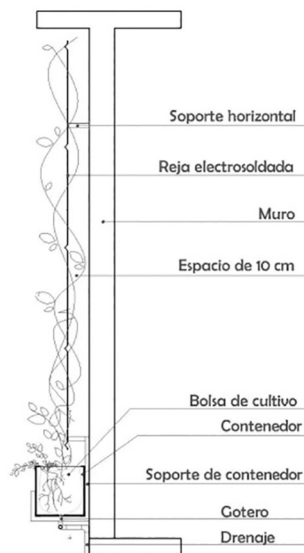


Figura 1. Modelo construido.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 2. Detalle de la estructura.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 3. *Pentalinon luteum*.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 4. *Clitoria ternatea*.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1.
Paleta vegetal.

Familia	Nom. Científico	Ciclo vegetativo	Nombre común	Altura m	Color de flor	Época de floración	Suelo	Sol	Agua	Plantación
Apocynaceae	<i>Pentalinon luteum</i>	Perene	Madevilla amarilla / Allamanda silvestre	2.00 - 3.00 m	Amarillo	Junio-octubre	Drenado	Abundante	Cada tres días	@ 0.60 m
Fabaceae	<i>Clitoria ternatea</i>	Perene	Conchita azul	0.60 - 2.00 m	Azul y Blanco	Permanente	Arcilloso y Drenado	Abundante	Cada tres días	@ 0.40 m

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.
Fracciones de las especies utilizadas.

Fracciones de la planta	<i>Clitoria ternatea</i>	<i>Pentalinon luteum</i>
Hoja	*	*
Tallo	*	*
Raíz	*	*
Vaina	*	

En ambas especies no se contó con suficiente muestra de flor para realizar su análisis.

Fuente: Elaboración propia.

Para obtener el contenido de biomasa se extrajeron manualmente desde la raíz dos individuos de cada especie, los cuales fueron colocados cuidadosamente en bolsas de plástico para ser trasladados al laboratorio. Se limpiaron y se separaron en fracciones (tabla 2).

El peso fresco se obtuvo de cada fracción de las plantas utilizando una balanza analítica de alta precisión marca OHAUS, modelo PA214 con capacidad máxima de 210 g. Posteriormente, muestras de 5 g contenidas en recipientes de vidrio fueron secadas en una estufa convencional de secado (*hand made*) a 60 °C hasta obtener el peso constante de cada fracción. A continuación, las muestras fueron molidas en tres etapas, primero utilizando una licuadora común, seguido de un molido con mortero y por último utilizando un filtro de tela hasta obtener un polvo homogéneo (figuras 5 y 6).

Las partículas de polvo se etiquetaron y se colocaron en bolsas de papel glassine para trasladarlas al departamento de Edafología del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), donde se realizó el análisis por duplicado del contenido de carbono. Para ello se utilizó un analizador elemental CNHS/O perkin Elmer 2400 series II en el modo CHN.



Figura 5. Separación de la planta en fracciones.
Fuente: Elaboración propia.

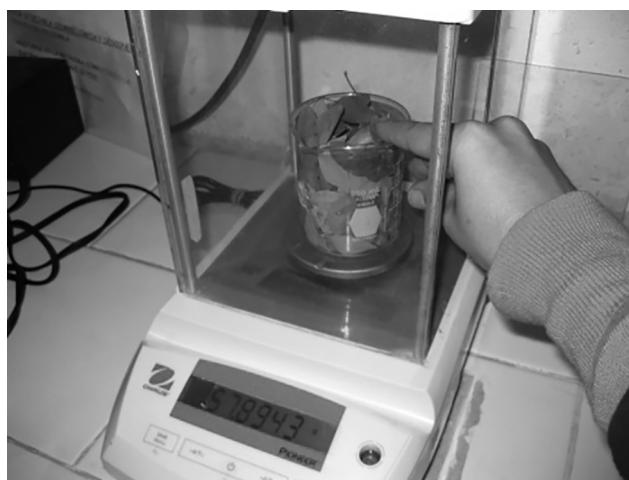


Figura 6. Mediación del peso en fresco.
Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

El contenido de carbono es similar en las distintas fracciones de las plantas (tabla 3).

El carbono total fijado se obtuvo multiplicando el porcentaje de cada fracción por su respectivo peso seco en gramos. La estimación de CO₂ capturado se obtuvo de acuerdo a la equivalencia sugerida por el IPCC.

El contenido de carbono por cada fracción de la especie *Clitoria ternatea* varía entre 43% y 46%. La captura en promedio es de 71.93 g de C por planta que equivale a 263 g de CO₂; el tallo captura el 44%, las hojas el 26%, la vaina el 21% y la raíz el 9% (tabla 4).

El contenido de carbono en cada fracción de la especie *Pentalinon luteum* varía entre 38% y 44%. Esta planta captura en promedio 128.52 g de C por m² en un periodo de año y medio, equivalente a 471.28 g de CO₂. El tallo captura el 60%, la raíz el 25% y las hojas el 15% (tabla 5).

La tabla 6 muestra los resultados de la captura de CO₂ de las especies analizadas comparadas con los datos de captura de carbono en una especie de *sedum* según Getter *et al.* (2009).

DISCUSIÓN

Los resultados de contenido de carbono de cada fracción de la planta en las especies analizadas se hallan

en el intervalo 39% – 46%, muy cerca del margen 45% – 50% referido por Espada (2013). La especie *Clitoria ternatea* puede capturar 71.93 g de C, equivalente a 263.25 g de CO₂ por planta en un periodo de seis meses, la mayor parte es capturado por el tallo (44%), seguido de las hojas (26%), la vaina (21%) y raíz (9%). Mientras que la especie *Pentalinon luteum* puede capturar 128.53 g de C, equivalente a 470.43 g de CO₂ por planta en un periodo de año y medio; la captura es principalmente debida al tallo (60%), la raíz y la hoja capturan menor cantidad, 25% y 15%, respectivamente.

Tabla 3.
Contenido de carbono en cada fracción de las plantas.

Muestra	% C total
PLh	38.56
PLr	42.39
PLt	43.80
CTh	43.97
CTr	43.43
CTt	43.58
CTv	46.04

PL, *Pentalinon luteum*; CT, *Clitoria ternatea*; hoja h, raíz r; tallo t; vaina v.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.
Valores de Carbono y fijación de CO₂ de la especie *Clitoria ternatea* (julio 2015 - enero 2016).

<i>Clitoria ternatea</i>	Peso fresco g/planta	Peso seco (%)	Peso seco /planta (g)	Humedad (%)	C /planta (%)	C /planta (g)	CO ₂ /planta (g)
Hoja	123.78	34.38	42.56	65.62	43.97	18.71	68.61
Tallo	164.42	44.71	73.51	55.29	43.58	32.04	117.49
Raíz	30.02	48.37	14.52	51.63	43.43	6.31	23.14
Vaina	97.66	33.08	32.31	66.92	46.04	14.87	54.53
Total	415.87		162.89			71.93	263.77

La densidad de plantación sugerida es de cada 40 cm por metro lineal.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.
Valores de Carbono y fijación de CO₂ de la especie *Pentalinon luteum*, año y medio después de su plantación (julio 2014 – enero 2016).

<i>Pentalinon luteum</i>	Peso fresco g/planta	peso seco (%)	Peso seco /planta (g)	Humedad (%)	C /planta (%)	C /planta (g) CO ₂ /planta (g)	CO ₂ /planta (g)
Hoja	227.43	22.57	51.33	77.43	38.56	19.79	72.57
Tallo	422.07	41.73	176.13	58.27	43.80	77.14	282.87
Raíz	172.38	43.23	74.53	56.77	42.39	31.59	115.84
Total	821.88		301.99			128.52	471.28

La densidad de plantación sugerida es a cada 40 cm por metro lineal.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.
Captura de CO₂ por metro cuadrado de vegetación en distintas especies y periodos.

Especie	Periodo	(g) CO ₂ /individuo
<i>Clitoria ternatea</i>	Seis meses	263.77
<i>Pentalinon luteum</i>	Año y medio	471.28
<i>Sedum</i> sp.	Seis meses	1008

Fuente: Elaboración propia.

Ambas especies cubren una superficie de un metro cuadrado por individuo; sin embargo, la densidad de plantación en el sistema es de 2.5 plantas por metro lineal. Las especies que se analizaron en el presente trabajo mostraron cantidades similares de captura de carbono en relación con su periodo de producción de biomasa.

La cantidad de carbono capturado por las plantas utilizadas en este trabajo es inferior a la capturada por una especie de *Sedum* sp. la cual captura 275 g de C por m² equivalente a 1008 g de CO₂ por m² en un periodo de seis meses, Getter *et al.* (2009). Este hecho podría deberse a la diferencia de biomasa que existe entre estas plantas. Es importante señalar que en los sistemas de fachadas vegetadas se requieren especies de trepadoras, las especies de *Sedum* son suculentas de porte bajo, razón por la cual se emplean comúnmente en las azoteas y muros vegetados tipo panel o fieltro.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha obtenido la cantidad de carbono capturado por plantas trepadoras de las especies *Pentalinon luteum* y *Clitoria ternatea* utilizadas en la construcción de muros vegetados. En la primera la raíz y el tallo capturan más CO₂ (60% y 25%, respectivamente), mientras que en la *Clitoria ternatea* el tallo y la hoja capturan más de este contaminante (44% y 26%, respectivamente). En promedio, la especie *Pentalinon luteum* captura 471.38 g de CO₂ durante un año y medio, la especie *Clitoria Ternatea* captura (263 g de CO₂) en seis meses. La relevancia de este estudio radica en la cantidad de CO₂ capturado por especies de trepadoras recomendables en fachadas vegetadas.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Investigación Científica y Tecnológica de Guerrero (Cicteg) por el financiamiento para realizar

el modelo. A la Dra. Beatriz Mónica Pérez Ibarra por la asesoría en la metodología, a la M.C. Kumico Shimada Miyasaca del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México por la realización de las pruebas de contenido de Carbono. Al cuerpo académico de Ingeniería en Materiales de la Facultad de Ingeniería Química de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por facilitar las instalaciones y el quipo para el estudio. A la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado de la BUAP por el financiamiento otorgado.

REFERENCIAS

- Comisión Nacional de Vivienda (Conavi). (2006). Guía para el uso eficiente de la energía en la vivienda. D.F. México. Recuperado en enero de 2014 de <http://www.conavi.gob.mx/publicaciones>,
- Espada, J. L. (2013). Los árboles frutales como sumideros de CO₂ desempeñan un importante servicio ambiental. Informaciones Técnicas no. 248. Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente, Gobierno de Aragón. Aragón, España. Recuperado en marzo de 2014 de http://www.aragon.es/estaticos/GobiernoAragon/Departamentos/AgriculturaGanaderiaMedioAmbiente/AgriculturaGanaderia/Areas/07_Formacion_Inovacion_Sector_Agrario/02_Centro_Transferencia_Agroalimentaria/Publicaciones_Centro_Transferencia_Agroalimentaria/IT_2013/IT_248-13.pdf
- García Cubero, R. (2014). *Producción de biomasa de microalgas rica en carbohidratos acoplada a la eliminación fotosintética de CO₂*. (Tesis de doctorado). Universidad de Sevilla, España. Recuperado en marzo de 2014 de <http://digital.csic.es/bitstream/10261/101928/1/TESES%20DOCTORAL%20RGC.pdf>
- Getter, K. L., Row, D. B., Robertson, G. P., Cregg, B. M., & Andresen, J. A. (2009). Carbon sequestration Potential of extensive green roofs. *Environmental Science and Technology*, 43(19), 7564-7570. doi: 10.1021/es901539x.
- Green, J., & Sanchez, S. (2012). La calidad del aire en América Latina, una visión panorámica. Washington D.C.: Clean Air Institute. Recuperado en febrero de 2014 de <http://www.cleanairinstitute.org/calidaddelaireamericalatina/cai-report-spanish.pdf>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2008). Cambio climático 2007. Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra Suiza. Recuperado el enero de 2014 de https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf
- Mota, C., Alcaraz, C., Iglesias, M., Martínez C., & Carvajal, M. (2011). Investigación sobre la absorción de CO₂ por los cultivos más representativos de la región Murcia, *Horticultura Global*, No. 294, pp.58-63.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2012). Perspectivas ambientales de la OCDE hacia 2050, consecuencias de la inacción. Brasil. Recuperado el 25 de marzo del 2012 de <http://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/49884278.pdf>

- UN-Hábitat. (2011). Las ciudades y el cambio climático: orientaciones para políticas, Informe mundial sobre asentamientos humanos 2011. Recuperado de <https://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/onu/538-spa-ed2011-sum.pdf>
- UN-Hábitat. (2012). Estado de las ciudades de América Latina y el Caribe 2012, rumbo a una nueva transición urbana. Brasil. Recuperado de http://www.cinu.mx/minisitio/Informe_Ciudades/SOLACC_2012_web.pdf
- UN-Hábitat. (2014). Planeamiento urbano para autoridades locales. Bogotá, Colombia Recuperado en marzo de 2014 de <http://unhabitat.org/books/planeamiento-urbano-para-autoridades-locales/>
- Urbano, B., & López de M. (2013). Naturación urbana, un desafío a la urbanización. *Revista chapingo, serie ciencias forestales del ambiente*, 19(2), 225-235. doi: 105154/r.chscfa.2013.01.004