



Artículo: COMEII-18007

**IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2018**
Aguascalientes, Ags., del 15 al 18 de octubre de 2018

ESTIMACIÓN HÍDRICA TEÓRICA DE PLANTAS EN ZONAS URBANAS: ESTUDIO DE CASO “VERTICAL FARM”

**Jorge Flores Velázquez^{1*}; Pablo Gallardo Almanza¹; Juan Manuel Ángeles
Hernández¹; Luis Gómez Lugo¹**

¹Coordinación de Riego y Drenaje. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo
Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos, C.P. 62550. México.

jorge_flores@tlaloc.imta.mx – 01 (777)32936 00 Ext. 445 (*Autor de correspondencia)

Resumen

A partir de 2010 en América latina se estiman 595 millones de habitantes en zonas principalmente urbanas. La urbanización de esta población sucede por el proceso de industrialización y de modernización sociocultural de los países, cuyo espacio estuvo en las ciudades; y el estancamiento productivo y social del campo y la aguda inequidad en el acceso a los recursos. Esta combinación provoca el agudizamiento de las brechas efectivas y de oportunidades entre ambos ámbitos, dando como resultado el deterioro del medio rural como forma de vida y detonador de la exponencial migración de su población. La agricultura también está migrando a las ciudades sumando el intensivo consumo de recursos al consumo de la población. La gestión integrada de recursos hídricos “GIRH es un proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinados del agua, el suelo” y demás recursos para potenciar su uso “sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales”. En la zona metropolitana de la ciudad de México habitan más de 22 millones de una población apostada en aproximadamente 8000 km², lo que implica una densidad de habitantes de las más altas del mundo que ha ido absorbiendo la zona rural por la urbana. Frente a ello, se han puesto en marcha tecnologías disruptivas con el fin de atender la transformación del sector. Pero, además, implica gestión del recurso mediante tratamiento de aguas residuales, reciclaje del agua, cosecha de lluvia y de gestión de la demanda. En este trabajo se expone la viabilidad en la implantación de estas tecnologías, sus ventajas y requerimientos desde el punto de vista hídrico.

Palabras claves: Muro verde, Coeficiente de cultivo de jardín, requerimiento de riego, agricultura urbana.



Introducción

Entre los 42 países de América Latina y el Caribe suman 595 millones de habitantes, que se ubica en zonas principalmente urbanas (ONU, 2012). Se estima que en 2040, más de 2 billones de personas estarán habitando las principales ciudades. La agricultura también está migrando a las ciudades sumando el intensivo consumo de recursos al consumo de la población. El consumo de energía se incrementa en un 35 % en la demanda global. El principal uso de energía será en los edificios residenciales y comerciales, los cuales consumen el 40 %, aproximadamente del consumo total de energía y del 36 % de las emisiones totales comunitarias de CO². Por tanto, los edificios pueden llegar a ser uno de los principales espacios en la carrera por un mejor uso de la energía y contra el Cambio Climático (Sánchez, 2015).

La urbanización de la población se inició por una combinación de dos grandes circunstancias estructurales: por una parte, el proceso de industrialización y de modernización sociocultural de los países, cuyo espacio estuvo en las ciudades; y la segunda, el estancamiento productivo y social del campo y la aguda inequidad en el acceso a los recursos. Esta combinación provocó el agudizamiento de las brechas efectivas y de oportunidades entre ambos ámbitos, dando como resultado el deterioro del medio rural como forma de vida y detonador de la exponencial migración de su población. (CELADE, 2012).

La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), considerada desde una perspectiva integrada, comprende el manejo del agua superficial y subterránea sentido cualitativo, cuantitativo y ecológico, y vincula las disponibilidades con las necesidades de la sociedad relacionadas con el agua. Se orienta a una plataforma para la asignación de agua; cuando se habla de gestión integrada, idealmente implica el equilibrio entre la oferta y la demanda atendiendo los sectores.

El marco institucional de GIRH, implica la planificación, administración y coordinación del aprovechamiento en ecosistemas acuáticos, agua potable, electricidad, aguas residuales, riego, gestión de riesgos etc. Para la implementación, a medida que la población aumenta, se atenúa la necesidad hídrica. La mayor demanda de agua. La contaminación del agua complica más, con menores opciones. Los escasos, surgimiento de conflictos.

La gestión del agua, es una gestión de conflictos atendiendo interés de turno al agua; urgen mecanismos, toma de decisiones para el manejo del recurso hídrico considerando necesidades de los usuarios. Se concentra en el uso control y sustentabilidad del recurso, tratando sea de manera integrada. Vinculados requerimientos

Componentes,

- i. Información hidro climática, medición, aprovechamiento de datos;
- ii. Gestión participativa, descentralización a usuarios;



- iii. Gestión de demanda;
- iv. Gestión de riesgo hidrológico, sequías prolongadas, inundaciones, Manejo de fenómenos hidrológicos;
- v. Asignación de volúmenes de agua a los sectores y ministración;
- vi. Planificación de cuencas hidrográficas para su aprovechamiento múltiples;

El manejo integrado es el proceso que promueve el proceso de ministración coordinados de agua, tierra y recursos relacionados para impulsar economía, y social. (Agenda 21). Gestión ambiental; recursos naturales (cuencas), multisectorial (valores del agua), sectorial (aplicación). La GIRH involucra Seguridad alimentaria, física y climática.

El objetivo de este trabajo fue estimar, mediante la metodología de FAO usando CROPWAT, los requerimientos de riego de un muro verde vertical con plantas de bajo requerimiento hídrico, con la adecuación del coeficiente de cultivo de la planta y criterios de cálculo.

Materiales y Métodos

La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) en la ciudad

Es imperativo que las distintas fuentes de suministro de agua de los centros urbanos de países de ingresos bajos y medios (aguas subterráneas, cursos de agua, drenajes urbanos, agua distribuida por tuberías y aguas residuales tratadas y no tratadas) sean diagnosticadas, con el fin de conocer sus características tanto cualitativas como cuantitativas, principalmente en cuanto a grado de contaminación, debido a la concentración de población con sistemas de saneamiento rudimentarios y con efluentes municipales e industriales incontrolados.



Figura 1. Gestión hídrica en la ciudad

La gestión de los recursos hídricos se atenúa con las restricciones en cantidad y calidad, dado que los agricultores urbanos y periurbanos utilizan frecuentemente para el riego y para fertilizar las plantas el agua residual municipal en gran parte



sin tratar (Al-Kodmany, 2018). Este hecho infiere el incremento del riesgo de enfermedades tanto para los agricultores como para los consumidores. Además, la destrucción de los acuíferos superficiales fluviales y costeros, debida al exceso de bombeo y a la contaminación, agrava en gran medida la situación crítica del agua en numerosas ciudades.

El requerimiento de riego de una planta en una zona urbana, parte del hecho que el ambiente en el cual se desarrolla el cultivo en un muro, azotea o en general edificios está sujeto a condiciones diferentes de las de campo, por lo que se propone una modificación al coeficiente de cultivo por un coeficiente de cultivo urbano

$$ET_u = ET_0 \times K_{cu} \quad (1)$$

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial se mantiene el procedimiento recomendado por FAO (Allen *et al.*, 1998) y el coeficiente de cultivo urbano, atiende a tres sus parámetros (Costello y Jones, 1994; Costello, 2000)

$$K_{cu} = K_s \times K_{cl} \times K_{mc} \quad (2)$$

Siendo K_s , el factor del tipo de planta, K_d en función de la densidad y K_{mc} pretende medir el impacto del microclima; obviamente este último, si el ambiente en el jardín es el mismo del medio circundante será igual a 1.

Tabla 1. Coeficientes (Costello, 2010)

Concepto	Alto	Medio	Bajo
Ks	0.7 – 0.9	0.4 – 0.6	0.1 -0.3
Kd	1.1 – 1.3	1.0	0.5 – 0.9
Kmc	1.1 – 1.4	1.0	0.5 – 0.9

Biosistema Muro verde

Las fachadas verticales son aquellas que cumplen con la característica de que el material vegetal se implanta directamente sobre el suelo. Dichas fachadas vegetales, se pueden dividir, a su vez, en dos grupos:

- I. **Fachadas vegetales tradicionales**, aquellas que crecen sobre la superficie del edificio donde se encuentra implantado (Figura 2).



Figura 2. Fachada verde natural.

- II. Fachadas verticales con **sistema de apoyo externo**, esto es, jardines verticales que utilizan estructuras especialmente diseñadas, a base de cables, enrejados o mallas de acero inoxidable. Estas estructuras son independientes a la envolvente del edificio, y sirven para que las plantas crezcan verticalmente y cubran los parámetros, pero sin asociarse a la superficie del mismo (Figura 3).

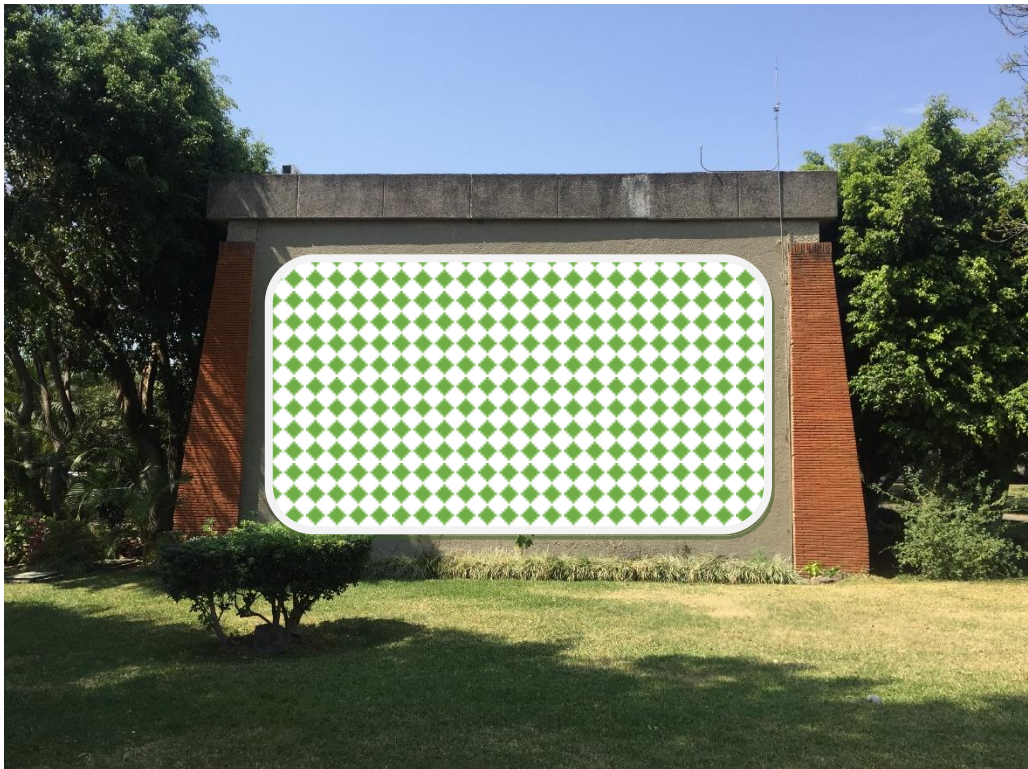


Figura 3. Fachada verde estructurada.



Este tipo de biosistemas registran un incremento en la instalación y desarrollo. Si bien es cierto surgen con objetivos estéticos, su implementación al menos en México es aun incipiente, en gran medida debido a que como se comentó, atienden principalmente aspectos paisajísticos y es posible que se crezca del componente agronómico, lo que origina tiempos de vida útil muy cortos, y a la postre el abandono.

Uno de los aspectos básicos para su mantenimiento es el consumo hídrico; se realiza una adaptación sobre la estimación del requerimiento hídrico atendiendo cuestiones climáticas, de la planta y sustrato, en una primera aproximación usada por CROPWAT para el cálculo.

Estimación de requerimientos hídricos

Se utiliza datos normales de las estaciones Progreso (17071) para la estimación de ETo y Precipitación. Con la adecuación de la precipitación efectiva, estimada como si fuera en un espacio horizontal. El tipo de suelo, fue la perlita la cual entre las ventajas es el bajo peso y absorción de agua, así como su liberación.

La vegetación seleccionada en este ensayo es con base a sedum spp y Graptosedum. Son especies de bajo consumo hídrico y sin específicas necesidades de mantenimiento. Es una especie con requerimientos lumínicos altos y medio de cultivo también reducido. Con estas características es posible mantener la planta siempre verde y lograr el ambiente deseado por un periodo de tiempo continuo, sin inversiones costosas.

Resultados y Discusión

Con los datos expuestos se hace la estimación de la ETo (Figura 4) utilizando CROPWAT (**Doorenbos y Pruitt**, 1976). Con el complemento del coeficiente de cultivo del jardín, se estima la ETreal y con ello se obtiene los requerimientos netos de agua en el muro verde; el caso que se ensaya, son 60 m² de un muro verde establecidos en una pared vertical (Figura 3). Los datos climáticos usados para la estimación de la ETo se llevan a cabo de manera similar a un cultivo, pero es necesario hacer la adecuación correspondiente a este tipo de biosistema (vertical) debido a que factores como precipitación efectiva (FAO) e insolación (Gómez y Chávez, 2004) pueden variar por la posición.

No obstante, una primera aproximación puede verse en la figura 4, donde se muestra los consumos mensuales de agua (l) en los 60 m² proyectados para coexistir en el edificio de manera vertical. Nótese que el mayor requerimiento de agua por la planta es en mayo, con cerca de 1600 litros, no obstante de acuerdo con los datos climáticos normales, en esta región en mayo ya inician el periodo de lluvia, aunque reducido en mayo (58.2 mm) es suficiente para los requerimientos de este tipo de planta.

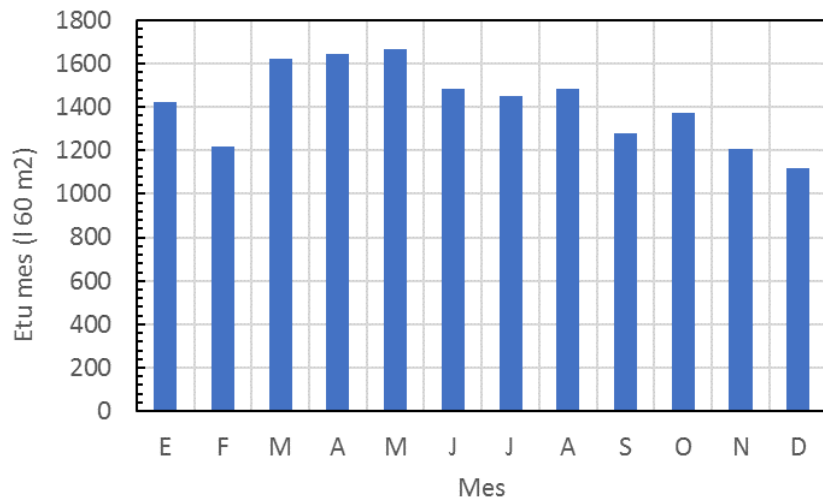


Figura 4. Evapotranspiración real mensual del sedum spp (l) en los 60 m².

En la figura 5 se estima el requerimiento de riego semanal en litros, para los 60 m² que es el área proyectada. De acuerdo a las condiciones locales, solo 6 meses son necesarios suplir mediante el riego los requerimientos hídricos del muro. El máximo consumo, como se comentó ocurre en mayo y se requieren proveer casi 400 litros por semana. La aplicación de este, estará supeditada al tipo de sistema de riego. De acuerdo a las características propias de biosistema, podrá ser distribuida mediante riego por goteo en forma diaria o intercalada.

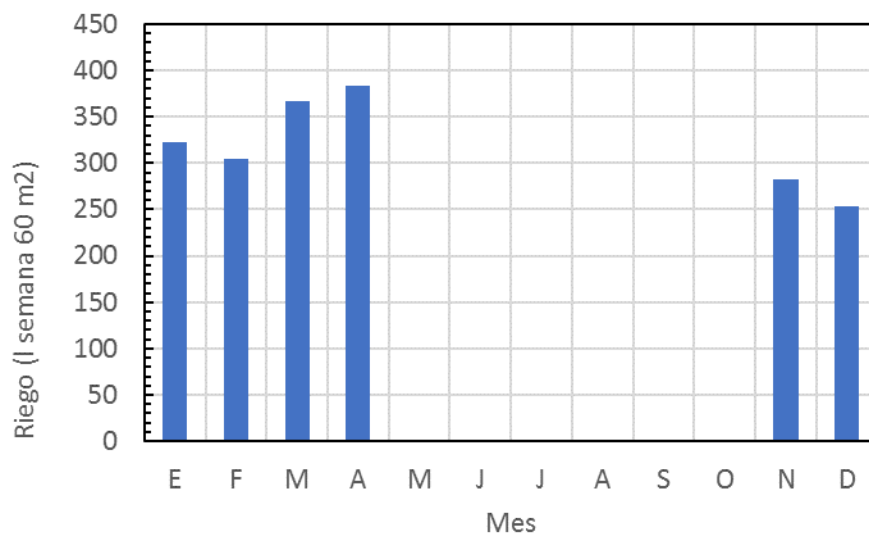


Figura 5. Requerimiento de riego semanal del muro verde.



Conclusiones

El creciente movimiento poblacional al sector urbano, aunado a la compleja designación sectorial de los recursos hídricos, contribuye en la búsqueda de alternativas para la mejora en la calidad de vida en las ciudades. La designación del agua para consumo humano gradualmente compite para riego de plantas de diferente índole, jardinería en primera instancia, pero, una tendencia a muros y azoteas verdes, no solo para jardinería sino para la producción de cultivos de porte bajo.

En este trabajo se estima la evapotranspiración real para una planta del tipo cactácea (*Sedum spp*), utilizando el procedimiento de FAO mediante CROPWAT. El coeficiente de cultivo, involucra el coeficiente de la especie, de la densidad y del microclima. Con estos datos y la precipitación, se estima el requerimiento de riego. Para la estimación de requerimientos de riego en zonas urbanas, es necesario calibrar parámetros del clima, como p_p y de la planta ($K_{c\text{jardin}}$).

Una actividad complementaria del presente trabajo, será la cuantificación de aguas blancas o jabonosas para el riego, lo cual además podrá ser abordado desde dos perspectivas: la primera como suplemento del riego y la segunda, el uso de especies para filtro de tales aguas.

Referencias Bibliográficas

- Al-Kodmany, (2018). The Vertical Farm: A Review of Developments and Implications for the Vertical City. *Buildings* 2018, 8, 24; doi:10.3390/buildings8020024.
- Análisis de las aguas residuales para su uso en la agricultura, R.M. Ayres and D.D. Mara, 1996
http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/labmanual/es/
- CELADE. (2012). World population and latin america and the caribbean population: changes and new (im) balances. *Astrolabio*, no. 8. 2012.
- Circuitos cortos de comercialización para alimentos ecológicos, Daniel López García, 19/02/2015.
<http://www.elsalmoncontracorriente.es/?Circuitos-cortos-de>
- Contreras F. et al (2003) Clasificación preliminar de especies de jardín según sus requerimientos hídricos en la región de Murcia. *Actas de Horticultura* nº 39. X Congreso Nacional de Ciencias Hortícola.



Costello L. R. y Jones K. S. (1994). Water use classification of landscape plants. A guide to the water needs of landscape plants. University of California Cooperative Extension.

Costello L. R. et al (2000). A guide to estimating irrigation water needs of landscape plantings in California. Part 1: The landscape coefficient method. Part 2: WUCOLS III. University of California Cooperative Extension.

Doorenbos J. y Pruitt W. O. (1976). Las necesidades de agua de los cultivos. FAO.

Gómez-Tagle, Ch. A. y Chavez Y. H. (2004). Cálculo de la distribución espacial de la insolación potencial en el terreno empleando MDE en un ambiente SIG. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. ISSN 0188-4611, Núm. 55, 2004, pp. 7-22*

Hacia un futuro con seguridad hídrica y alimentaria (*Towards a water and food secure future*), FAO, 2.015

<http://www.fao.org/documents/card/en/c/eb978434-dac0-4cd0-bcb3-f1f6f01773f9/>

La batalla de los supermercados llega a los productos frescos, María Sánchez, Madrid, 17/09/2016, Expansión
<http://www.expansion.com/empresas/2016/09/17/57dd4a65268e3e806f8b4639.html>.

ONU. (2007). Roadmapping for Advancing Integrated Water Resources Management (IWRM) Processes. ONU-Agua, GWP. 2007.

ONU. (2008). Status Report on Integrated Water Resources Management and Water Efficiency Plans. ONU-Agua. 2008.

ONU. (2009). Integrated Water Resources Management in Action. WWAP, DHI Water Policy, PNUMA-DHI Centro para el Agua y el Medio Ambiente.

<http://www.monsanto.com/global/lan/mejorar-la-agricultura/pages/poblaciones-en-aumento-retos-mayores.aspx>

<http://www.abc.es/sociedad/20130614/abci-poblacion-mundial-crecera-201306141214.html>