



Pontificia Universidad  
**JAVERIANA**  
Bogotá

# Estudio de la viabilidad del uso del *Salix humboldtiana* para humedales construidos de cero descarga para tratamiento de Aguas Residuales en la Sabana de Bogotá.

GRUPO DE INVESTIGACIÓN CIENCIA E INGENIERÍA  
DEL AGUA Y EL AMBIENTE

PONTIFICA UNIVERSIDAD JAVERIANA

---

FREDY MORENO, **JAIME A LARA BORRERO**

# Problema.



VIVIENDA DESCONECTADA DE LA RED DE ALCANTARILLADO OFICIAL EN LA SABANA DE BOGOTA.

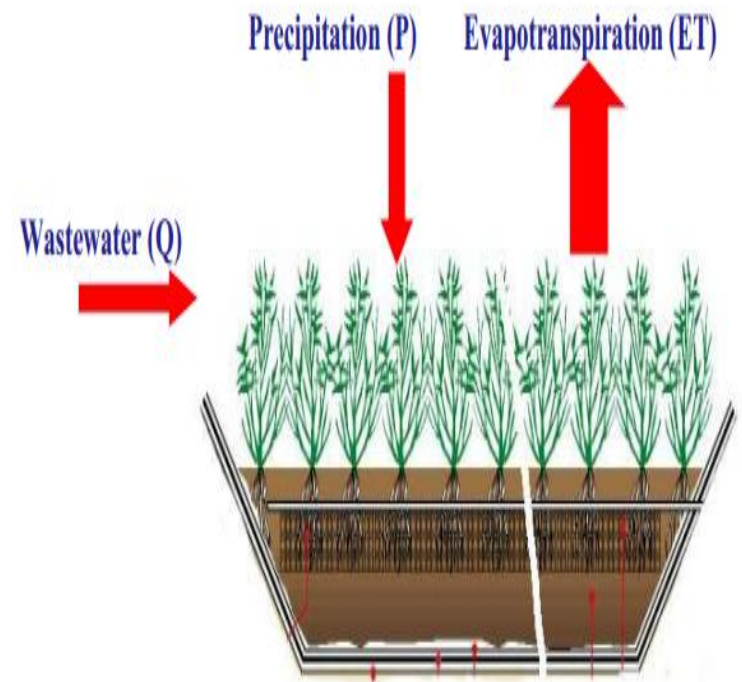


VIVIENDAS QUE DESCARGAN SUS AGUAS RESIDUALES A FUENTES HÍDRICAS CERCANAS. (EMBALSE DEL SAN RAFAEL LA CALERA).

# Humedales Zero Descarga HCD



Hans Brix, Carlos A Arias 2011



# Aplicaciones de los HCD

---

(I) Zonas con poca permeabilidad

(II) Cuando los estándares de nutrientes del efluente son muy estrictos, que puedan hacer el tratamiento muy costoso

(III) En casos donde se evidencie una amenaza grave a sistemas ambientales sensibles.

(IV) Uso ornamental de la vegetación empleada, especialmente para el tratamiento en lugares donde se requiera un escenario agradable como parte del diseño.

# Caso de estudio *Salix humboldtiana*



*Salix humboldtiana*

La especie más representativa del Sauce en Colombia es la *Salix humboldtiana*

Originaria de América central

Especie emblemática de la Sabana de Bogotá.

Se desarrolla entre 300 y 2800 msnm.

Soporta precipitaciones entre 600 y 3000 mm anuales

Altura promedio de la planta 20m.

Tiempo de vida aproximado 60 años.

(Infante-Betancour and Jara-Muñoz, n.d.).

# Llenado de Lisímetros



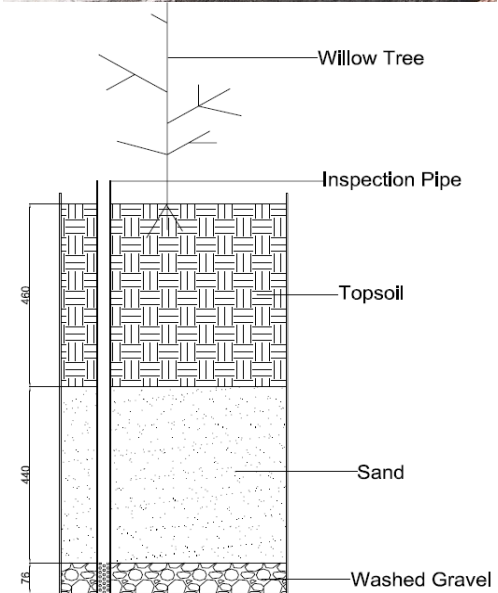
(75 mm) de Grava,  
granulometría 20-30  
mm



(440 mm) de arena  
fina, granulometría  
0,30-0.50 mm



(460 mm) de tierra  
negra de vivero,  
compuesta en más  
del 14% de materia  
orgánica.



# Siembra



El Sauce es una especie de fácil desarrollo de raíz se debe reproducir cortando una pequeña rama de un árbol padre, entre 20 y 30 cm de largo y dejar en agua mientras desarrolla las raíces.



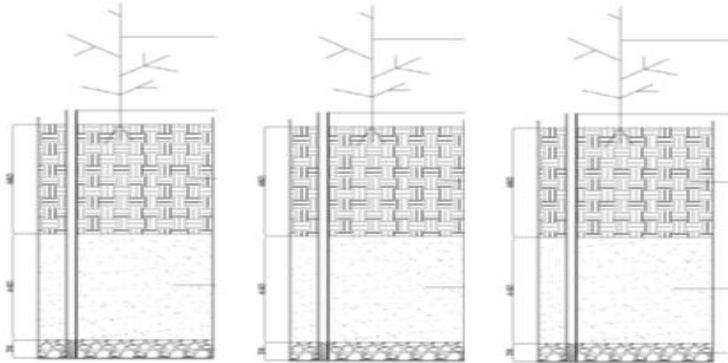
Por cuestión de tiempo para este ejercicio **las plantas se obtuvieron de un vivero**, se sembraron el 02/04/2015, pero el seguimiento se inició hasta la última semana de abril, ya que se presentaron problemas de filtración en algunos lisímetros las cuales requirieron un tiempo para su reparación.



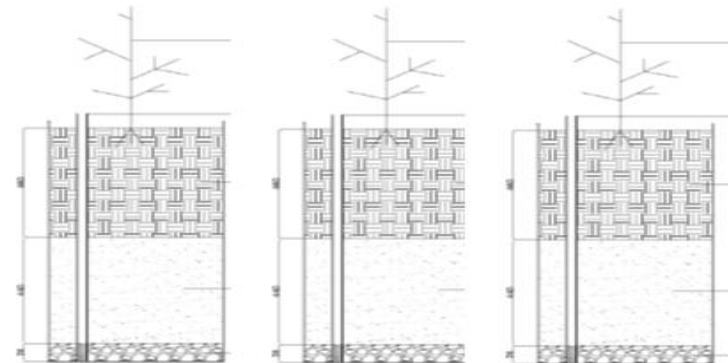


# Configuración de Lisímetros.

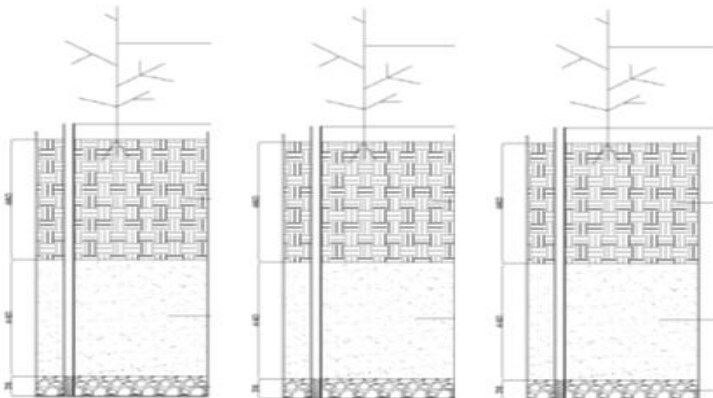
## ▶ 3 lisímetros 6meses AR



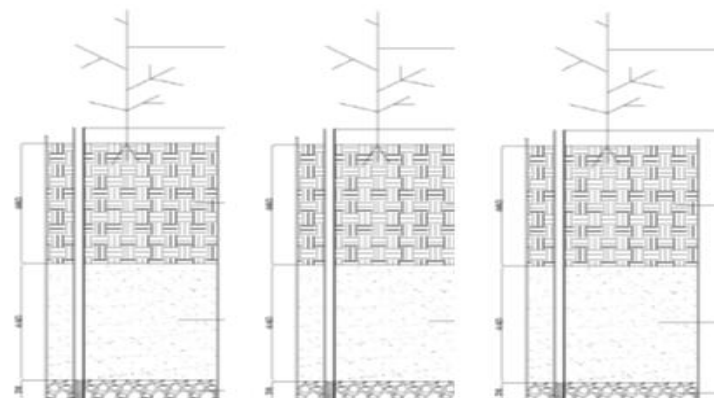
## 3 lisímetros 6meses AN



## ▶ 3 lisímetros 12meses AR



## ▶ 3 lisímetros 12meses AN



# Riego de los Lisímetros



Durante 25 semanas los Lisímetros se irrigaron cada 7 días.

Los lisímetros (AN) se irrigaron con agua enriquecida con nutrientes o fertilizante de origen orgánico a base de Nitrógeno (N), Fosforo (P) y Potasio (K), obtenido en vivero.

El agua residual se obtuvo de viviendas cercanas que descargan sus AR a un pozo séptico.

# Medición y Control

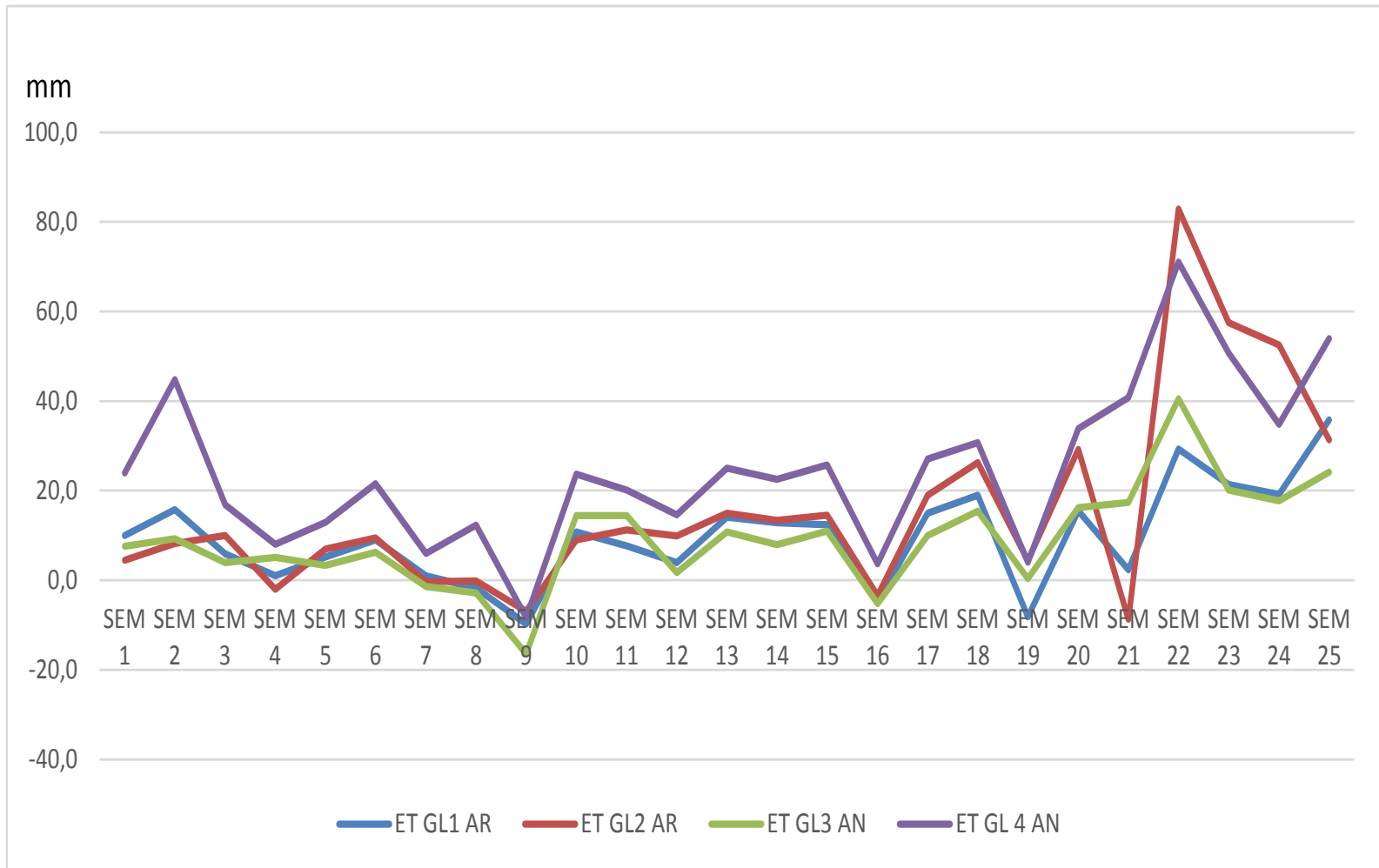


El valor de la ET se halló con la diferencia de Nivel en la mirilla de los lisímetros (LML) más la precipitación.

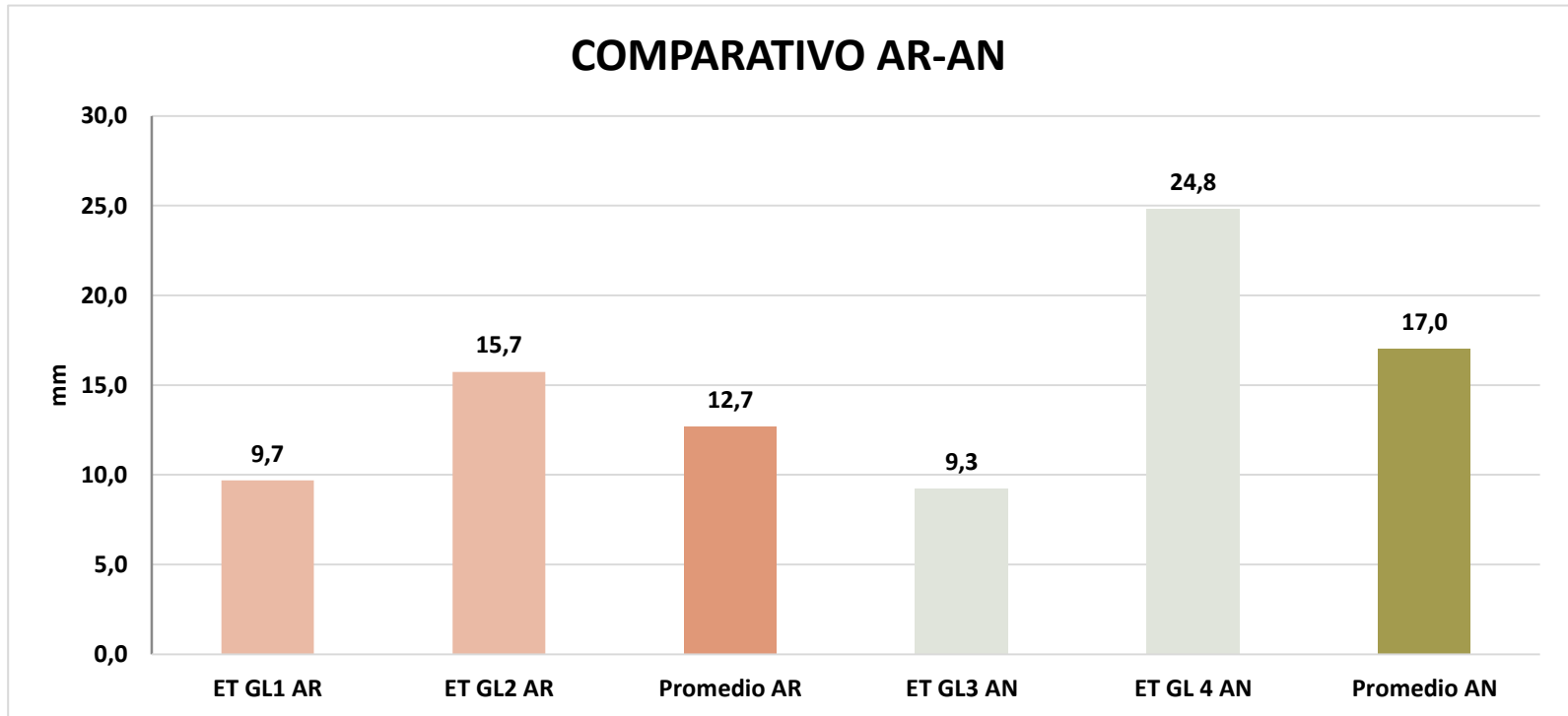
$$ET = LML * (fc) + P$$



# Comparación ET Lisímetros AR, AN.

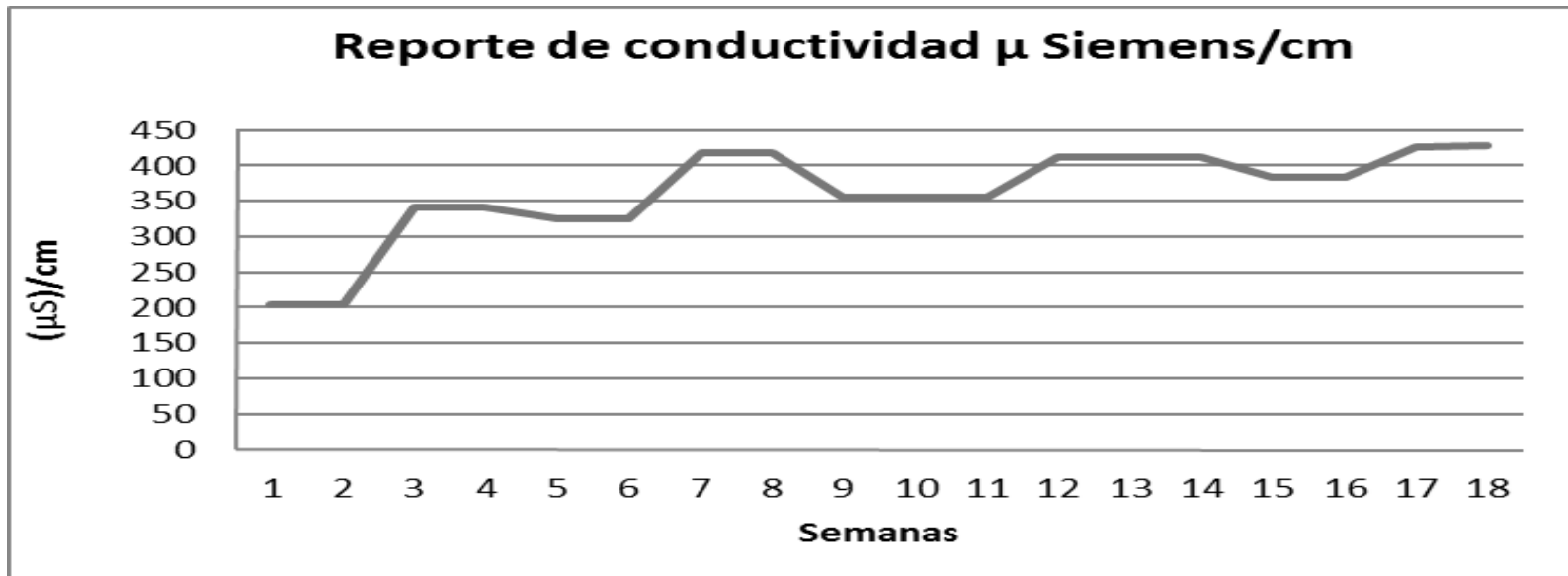


# Valor promedio por grupo de Lisímetros



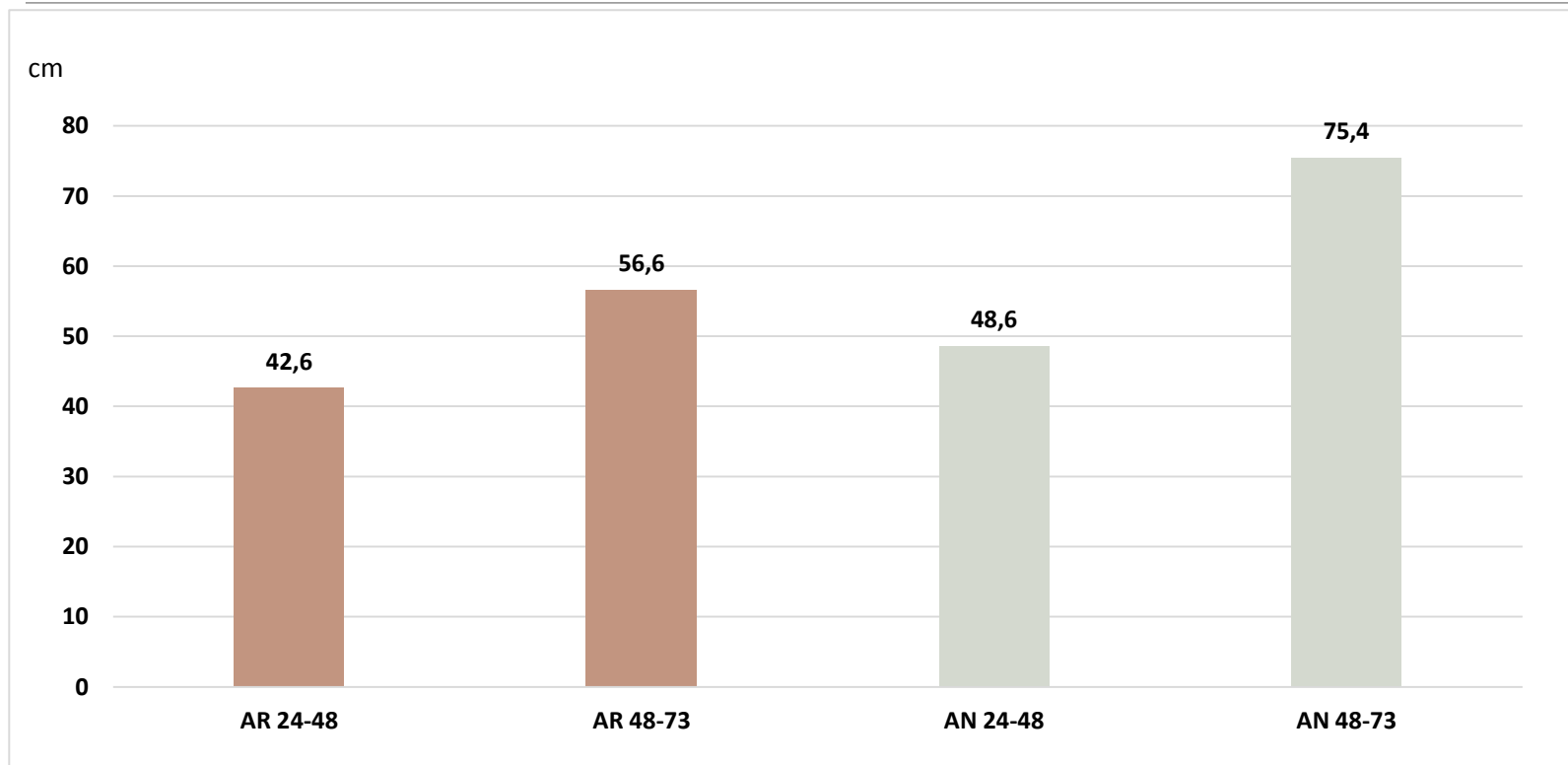
El mayor consumo se presentó en el Grupo de Lisímetros sembrados a 12 meses regados con Agua con Nutrientes, seguidos por el grupo de la misma edad regados con Agua Residual.

# Resistencia del *Salix humboldtiana* a las sales disueltas del agua residual doméstica.



Grupo de lisímetros regados con aguas residuales, la fuente de suministro era variable y las condiciones cambiaban cada semana. El *Salix Humboldtiana* soporto estas condiciones, al final no se presento acumulación de sales en los lisímetros.

# Crecimiento Promedio de las plantas de acuerdo al grupo de Lisímetros



Promedio del crecimiento de las ramas, por grupo de lisímetros, durante el periodo analizado, a partir del tamaño en el momento de la Siembra

# ET Reportada.

---

Para nuestro caso el valor final de ET para el grupo regado con AR es de **12,7 mm/semana; 662 mm/año** y con AN 884 mm/año.

S. J. Curneen y Gill (2014a), reportaron valores entre 600 y 1200 mm de ET año en la etapa de desarrollo de las plantas. proyecto desarrollado en tres años, en ocho casas de la ciudad de Irlanda, analizaron cuatro especies de Sauces, para ver cuál de ellas tiene un mejor desempeño para humedales a gran escala.

P Gregersen & Brix (2001), reporta ET de 1000 mm en el primer año.

Brix (2006), reporta ET del orden de 1500 mm año.

Otros experimentos realizados para dos años consecutivos con sauces, muestran evapotranspiraciones anuales de **620 a 890 mm/año sin fertilización** y 1190 a 1790 mm/año con fertilización (**Guidi, Piccioni, and Bonari 2008**).



# Aproximación calculo Área y Diseño HCD

---



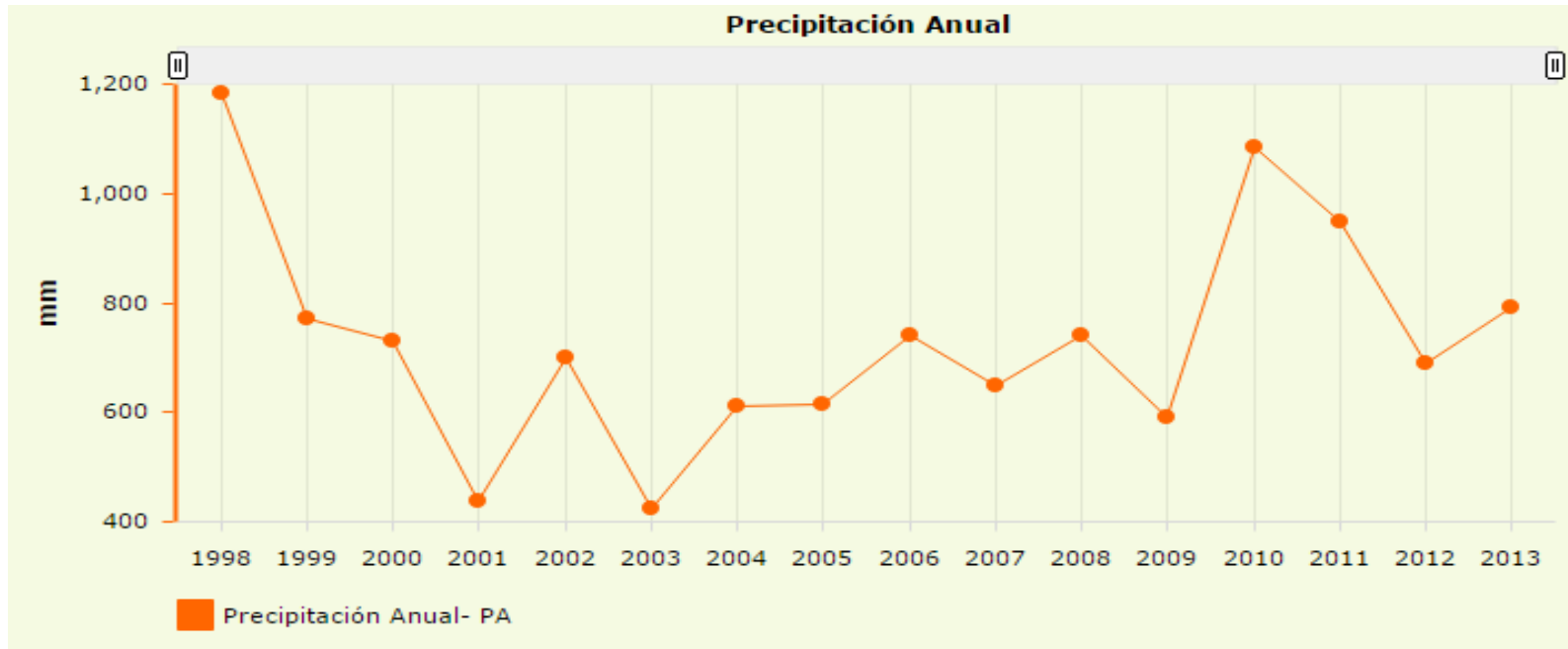
(Hans Brix, Carlos A Arias 2011)

En Białowiec, Wojnowska-Baryła, and Agopsowicz (2007), sembraron esquejes con una densidad de **9 plantas m<sup>2</sup>**.

Gregersen, P., & Brix, H. (2001), sembraron con una densidad de 5 plantas m<sup>2</sup> y en O'Hogain and McCarton (2010) se planto cada 25 cm, es decir **4 por m<sup>2</sup>**

Dado que el área del lisímetro es de 0,28 m<sup>2</sup> asumiremos una densidad de siembra de **4 plantas por m<sup>2</sup>**.

# Promedio de Lluvias



Según IDEAM el promedio de la precipitación Anual en un periodo de retorno de 20 años en Bogotá es de **731 mm/Año**.

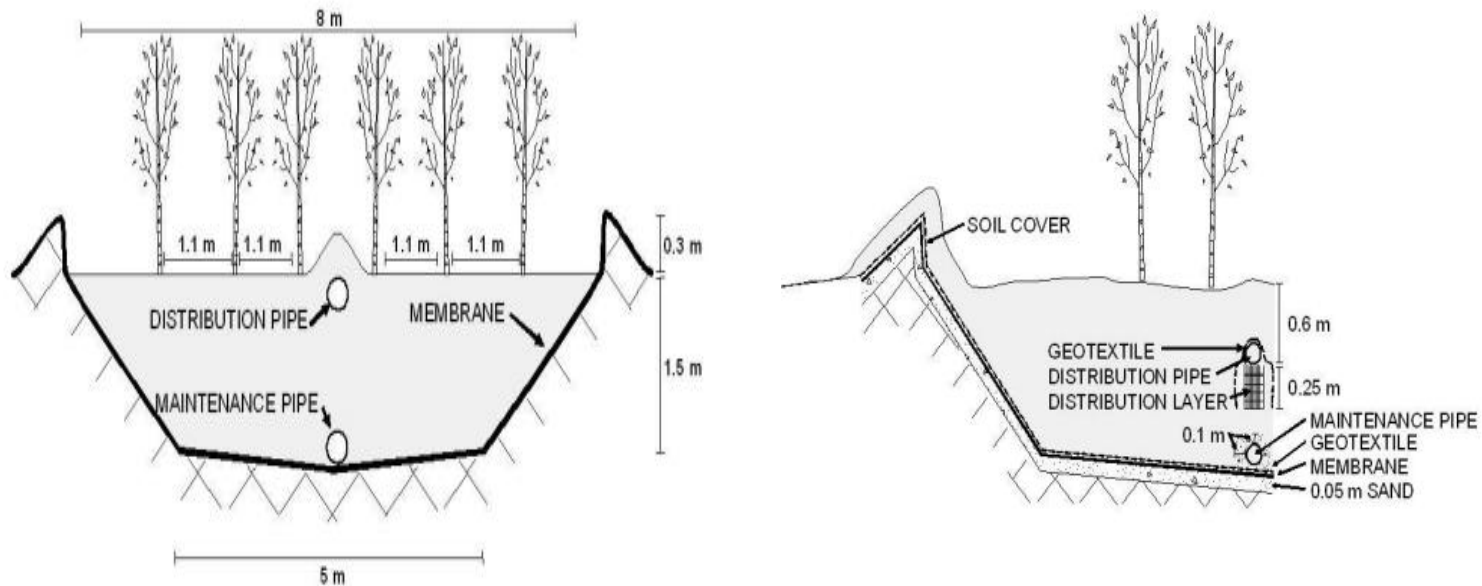
El valor mas alto anual registrado se presento en el 2010, 1049,8 litros

# Calculo, P Gregersen y Hans Brix (2001).

	4 plantas/m <sup>2</sup>	9 plantas/m <sup>2</sup>
ET por m <sup>2</sup> sembrado con Sauces	<b>2649 l/año/m<sup>2</sup></b>	5960 l/año/m <sup>2</sup>
Valor Promedio de lluvia últimos 20 años	<b>731 l/año</b>	731 l/año
Capacidad neta de ET m <sup>2</sup>	<b>1918 l/año/m<sup>2</sup></b>	5229l/año/m <sup>2</sup>
Consumo Anual de una persona (120l/hab/dia)	<b>43800 l/año</b>	43800 l/año
Área por habitante	<b>23 m<sup>2</sup></b>	8,4 m <sup>2</sup>
Una familia de 5 personas	<b>115 m<sup>2</sup></b>	42 m <sup>2</sup>

# Áreas típicas y Diseño en Dinamarca

Según Gregersen y Hans Brix (2001). En Dinamarca las áreas de superficie de los sistemas varían entre **150 y 500 m<sup>2</sup>**, para una familia simple de 5 personas, HansBrix y Carlos Arias (2001), hablan de áreas entre **120 y 300 m<sup>2</sup>** dependiendo del número de personas conectadas.



(Peder Gregersen, Gabriel, Brix, & Faldager, 2003 a,b)

# Conclusiones

---

Comparando la Evapotranspiración de la especie alimentada con agua residual, la cantidad de agua lluvia en la Sabana de Bogotá al año y las posibles descargas a que se vería sometido, se puede concluir que **es viable la construcción de sistemas evapotranspirativos con sauces de la especie *Salix humboldtiana*.**

El espacio requerido en una primera aproximación con los datos obtenidos para la construcción de un humedal de cero descargas en la sabana de Bogotá para una unidad habitacional simple de cinco personas, es de **115 m<sup>2</sup>**, y se requiere de un área libre de 8 m de ancho por 15 m de largo y una profundidad de 1,5 metros.

La evapotranspiración promedio de la especie si es alimentada con Aguas residuales en un periodo de 6 meses (en su primera etapa de desarrollo) por individuo es de **12,7 mm por semana** (662 mm/año),

---

El crecimiento y aspecto físico de los individuos alimentados con agua residual comparado con aquellos a los que se les suministro la dosis ideal de nutrientes, **no presentan diferencia significativa** lo que indica que la especie *Salix humboldtiana* asimilo muy bien las sales de las aguas residuales.

Aun manteniendo en contacto permanente la raíz del *Salix humboldtiana* con el agua esta condición no afecto el desarrollo de las raíces, lo que confirma sus condiciones como vegetación de ribera y apta para humedales.

Este seguimiento de 6 meses reporta un valor inicial pero la **demanda de agua de los lisímetros continua en aumento** lo cual quiere decir que se requiere de un tiempo más prolongado de seguimiento.

# Perspectivas

---

Se hace muy importante, realizar investigaciones más profundas, que permitan determinar los valores de ET para **cada piso térmico** en Colombia.

Desde el punto de vista económico es importante evaluar el **costo en materiales y construcción del HDC**.

Se necesita mayor investigación sobre la **capacidad de asimilación de Metales Pesados** de la especie *Salix humboldtiana* así como posibles usos de la biomasa producida por el sistema.

Finalmente se debería estudiar la posibilidad de diseñar una zonificación en la cual se establezcan las tasas de evapotranspiración, que permita, como se hace en Dinamarca, realizar un diseño estandarizado de las dimensiones de los humedales.

# Bibliografía

**Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006).** Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

**Burkhard, R., Roland, A., & Craig, A. (2000).** Techniques for water and wastewater management: a review of techniques and their integration in planning. *Urban Water*, 2(3), 197–221. doi:10.1016/S1462-0758(00)00056-X

**Białowiec, Andrzej, Irena Wojnowska-Baryła, and Marek Agopsowicz. 2007.** “The Efficiency of Evapotranspiration of Landfill Leachate in the Soil–plant System with Willow *Salix Amygdalina L.*” *Ecological Engineering* 30 (4): 356–61. doi:10.1016/j.ecoleng.2007.04.006.

**Curneen, S.J., and L.W. Gill. 2014.** “A Comparison of the Suitability of Different Willow Varieties to Treat on-Site Wastewater Effluent in an Irish Climate.” *Journal of Environmental Management* 133 (January): 153–61. doi:10.1016/j.jenvman.2013.12.004.

**Farooqi, I. H., Basheer, F., & Chaudhari, R. J. (2008).** **Constructed Wetland System (CWS) for Wastewater Treatment.** *Sengupta, M. and Dalwani, R. (Editors). 2008 Proceedings of Taal2007: The 12th World Lake Conference: 1004-1009.*

**Gregersen, P., & Brix, H. (2001).** Zero-discharge of nutrients and water in a willow dominated constructed wetland. *Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research*, 44(11-12), 407–412.

**H. Brix and C. A. Arias, (2005)** “Danish guidelines for small-scale constructed wetland systems for onsite treatment of domestic sewage,” *Water Sci. Technol.*, vol. 51, no. 9, pp. 1–9,.

**Infante-Betancour, J, and A Jara-Muñoz. n.d.** **Árboles Y Arbustos Más Frecuentes de La Universidad Nacional de Colombia.** *Universidad Nacional de Colombia.*

**Lara, J. (1999),** *Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales artificiales* [tesis de maestría], Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña, Máster en ingeniería y gestión ambiental.

**Vymazal, J. (2009).** The use constructed wetlands with horizontal sub-surface flow for various types of wastewater. *Ecological Engineering*, 35(1), 1–17. doi:10.1016/j.ecoleng.2008.08.016

**Vymazal, Jan. (2010).** Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Water*, 2(3), 530–549. doi:10.3390/w2030530



# **GRACIAS**

**laraj@javeriana.edu.co**