

# **SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA**

## **XX CONGRESO CHILENO DE HIDRAULICA**

### **EVAPOTRANSPIRACIÓN INVERNAL DESDE UN SUELO DEGRADADO SEMBRADO CON TRÉBOL ENANO Y BIOSÓLIDOS**

**ALVARO SUAZO SCHWENCKE<sup>1</sup>  
CAROLA ORELLANA MATAMALA<sup>2</sup>**

#### **RESUMEN**

En los suelos degradados el desarrollo de la vegetación está restringido. Los biosólidos se pueden aprovechar como acondicionadores del suelo que faciliten el poblamiento vegetal. La aplicación de biosólidos y el desarrollo vegetal modifican el balance hídrico local, por lo que se requiere estudiar sus efectos. Por ello el objetivo de este trabajo es analizar la influencia de la incorporación de biosólidos y del desarrollo de trébol enano (*Trifolium repens*) en la evapotranspiración que se registra durante el invierno. Esto se abordó mediante ensayos en lisímetros a los que se aplicó lodos en diferente concentración y se sembró trébol. Se registró variables como la infiltración y la humedad del suelo durante 30 días. Se observó que la incorporación de biosólidos al suelo modifica el balance hídrico, incrementando la infiltración y la humedad en el suelo, pero sin cambiar la evapotranspiración en forma significativa. El trébol enano (*Trifolium repens*) pudo germinar y crecer en invierno. La evapotranspiración registrada es en promedio un 35 % de lo registrado en verano.

---

<sup>1</sup> Profesor Asistente, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío - mail: [asuazo@ubiobio.cl](mailto:asuazo@ubiobio.cl)

<sup>2</sup> Ingeniero Civil Universidad del Bío-Bío.

## 1. INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural potencialmente renovable por su lenta formación, su fragilidad y la dificultad de recuperarlo cuando se pierde. Los suelos pueden sufrir degradación severa por una actividad intensiva y descuidada que incrementa los efectos de la erosión hídrica, la desertificación y la deficiencia de nutrientes, entre otros problemas. En Chile un 49% del suelo presenta algún nivel de erosión (CIREN, 2010). En particular la región del Biobío cuenta con un 32% de suelo con erosión y un 39% adicional tiene el potencial de erosionarse si se remueve la vegetación que la protege. Por ello se hace necesario tomar medidas para evitar o remediar la degradación del suelo. Mediante un programa de conservación de suelos se puede evitar las pérdidas físicas de suelos mediante la utilización de diferentes prácticas y contribuir a la incorporación de agua al perfil de suelo.

Por otro lado, ha ido creciendo la cantidad de biosólidos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales. El año 2010 en Chile se generaron 510.000 m<sup>3</sup> de lodos, de los cuales 39% se dispuso en rellenos sanitarios o vertederos municipales, y 16% en mono-rellenos (SISS, 2010). Esto satura los lugares en los que se disponen. Sin embargo, los biosólidos aportan un sustrato que facilita el crecimiento de especies vegetales sobre el suelo (Elliot y O'Connor, 2007), lo que ayuda a mitigar los efectos de su degradación.

La incorporación de biosólidos modifica la estructura del suelo con lo que se modifica el balance hídrico superficial (Suazo y Maldonado, 2009). En ese estudio se observó que una mayor dosis incrementa la infiltración, aumentando de un 8% del agua precipitada o regada sobre suelo desnudo y sin biosólidos, a un 16% al incorporar 46 ton/há de estos últimos. A su vez la evaporación disminuye de 160 a 126 mm/mes al aportar la cantidad de biosólidos indicada sobre el suelo sin vegetación (Maldonado, 2006).

Suazo y Maldonado (2009) señalan que al incorporar vegetación se aprecia el mismo efecto sobre la infiltración, pero en menor magnitud. La evapotranspiración alcanza a 132 mm/mes cuando se planta congona (*Aeonium spathulatum*) y a 129 mm/mes con la siembra de raigrás o ryegrass (*Lolium*), en suelo con 46 ton/há de biosólidos (Maldonado, 2006).

La evapotranspiración depende directamente de la radiación solar y de la temperatura (Samani, 2000). Además su magnitud varía según el tipo de vegetación y su etapa de crecimiento (FAO, 2006). Dado que el estudio anterior se realizó en verano, surge la pregunta si esto también se observaría en otra estación o temporada. En particular interesa analizar lo que ocurre en invierno, cuando tanto la evaporación como el crecimiento vegetal se reducen, debido a la menor radiación solar y a las temperaturas más bajas. Precisamente en esta época es más necesario que se desarrolle la vegetación que pueda proteger al suelo de las precipitaciones que son mayores y frecuentes.

En consecuencia es necesario analizar experimentalmente los efectos de la incorporación de vegetación y biosólidos en el balance hídrico, principalmente en la evapotranspiración. El objetivo general de este trabajo es precisamente realizar este análisis sembrando una gramínea en un suelo a escala de laboratorio durante el invierno.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

En las experiencias se utilizó biosólidos provenientes de la cancha de secado de la Planta de tratamiento de aguas servidas Biobío, ubicada en la comuna de Hualpén en la Provincia de Concepción. Estos lodos están estabilizados (D. 4/2009 MSGP), con una humedad de 75%.

Las experiencias se realizaron en lisímetros de drenaje de 30 cm de diámetro por 45 cm de alto con un suelo típico de la Provincia de Concepción (arena limosa). En la zona inferior, para que actuara como filtro, se puso 10 cm de arena. Sobre el estrato anterior se colocó 20 cm de suelo y luego 15 cm de mezcla suelo-lodo.

A dos lisímetros se aplicó 10 ton/há de biosólidos en base seca y en otros dos se usó 20 ton/há. Para comparar los efectos, a dos lisímetros no se les aplicó lodos. Se consideró la siembra de 12,5 g/m<sup>2</sup> de trébol enano (*Trifolium repens*). Se realizó un seguimiento del desarrollo del trébol desde su siembra a inicios de junio. No se realizó ningún corte del trébol durante la experiencia.

Después de la etapa de germinación y desarrollo inicial del trébol (30 días del mes de junio) se realizó un seguimiento diario de variables climáticas como temperatura máxima, mínima y precipitación durante el mes de julio. En los lisímetros se registró variables como infiltración, humedad superficial del suelo y altura media del trébol enano. La evapotranspiración (ET) se obtuvo del balance diario de agua en cada lisímetro:

$$ET = P - I - \Delta S \quad (1)$$

donde P es la precipitación diaria, I es la infiltración diaria y  $\Delta S$  es la variación de agua almacenada, estimada con la humedad registrada.

No se utilizó riego. El único aporte de agua fueron las precipitaciones registradas en el periodo.

La evapotranspiración obtenida se compara con la evapotranspiración de referencia (ETR) estimada según Hargreaves y Samani (Samani, 2000):

$$ETR = 0,0135 (T_{med} + 17,78) R_S \quad (2)$$

donde

$R_S$ : Radiación solar incidente [mm/día], que a su vez se obtiene de

$$R_S = R_0 K_T (T_{máx} - T_{mín})^{0,5} \quad (3)$$

$T_{med}$ ,  $T_{máx}$ ,  $T_{mín}$ : Temperatura media, máxima y mínima diaria, respectivamente [°C], las que se obtuvieron de los registros de la estación meteorológica del Observatorio Geodésico TIGO.

$R_0$ : Radiación solar extraterrestre [mm/día], que para el mes de julio en la latitud 36°50'S tiene un valor de 6,9 mm/día.

$K_T$ : Coeficiente adimensional, que para zonas costeras se recomienda un valor de 0,19.

La radiación solar normalmente se expresa en MJ/(m<sup>2</sup>·día), por lo que para obtenerla en mm/día se debe dividir por el calor latente de vaporización (2,45 MJ/kg) (FAO, 2006).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el periodo analizado la altura media de las plantas de trébol enano aumentó 1,1 cm en cada lisímetro (figura 1). Sin embargo la altura registrada fue más alta en los lisímetros con mayor cantidad de biosólidos aplicados, aunque la tasa de crecimiento en el lapso de tiempo estudiado fue similar en todos los casos (0,04 cm/día). La diferencia en tamaño se originó durante la germinación, en los primeros 10 días después de la siembra.

En la figura 2 se presenta la precipitación y la infiltración observada en los lisímetros con biosólidos y vegetación. El error asociado a este tipo de medición alcanza a 0,3 mm/mes. Durante el mes de julio se registró 103,4 mm de agua caída y el volumen infiltrado alcanzó a 47,1 y 54,9 mm en los lisímetros de 10 y 20 ton/ha, respectivamente. En este caso se replica lo obtenido por Suazo y Maldonado (2009), donde se concluye que una mayor dosis de biosólidos incrementa la infiltración. Al aplicar la prueba de hipótesis sobre la media de las diferencias de las observaciones pareadas, con un 99% de nivel de confianza, no se rechaza la hipótesis que la infiltración con 20 ton/ha es mayor a la de 10 ton/ha. Sin embargo la diferencia promedio alcanza sólo a 0,26 mm/día (7,8 mm/mes).

En todos los lisímetros la humedad superficial aumenta con la precipitación, variando en el rango de 29 a 50%, y se reduce cuando cesa la lluvia (figura 3). Si bien la tendencia es la misma, la humedad es siempre mayor en el lisímetro con mayor cantidad de biosólidos, lo que se asocia a una mayor capacidad de retención de agua en los lodos.

La evapotranspiración acumulada en el mes de julio fue de 42,1; 44,4 y 48,3 mm para los lisímetros con trébol y biosólidos a tasas de 0, 10 y 20 ton/há, respectivamente. Al aplicar la prueba de hipótesis sobre la media de las diferencias de las observaciones pareadas, con un 99% de nivel de confianza, no se rechaza la hipótesis que la evapotranspiración es mayor en la medida que se aplica una mayor cantidad de biosólidos. Sin embargo la diferencia diaria promedio es pequeña (ver figura 4).

La evapotranspiración observada en el verano por Suazo y Maldonado (2009) en lisímetros con biosólidos y ryegrass varió entre 2,5 y 5,7 mm/día. En el presente estudio la evapotranspiración invernal varió entre 0,4 y 3,1 mm/día. Si bien los valores medios de evapotranspiración en verano e invierno son diferentes (4,3 versus 1,5 mm/día), los mínimos registrados en estío fueron menores a los máximos registrados en la estación más fría.

La evapotranspiración observada en el lisímetro con trébol y sin biosólidos es mayor a la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar, estimada a partir de la temperatura según Samani (2000) (figura 5). Esta diferencia implica que con el trébol enano se evapotranspira más que en un suelo con césped establecido como el que se utiliza como referencia (FAO, 2006).

Sólo en el tercer y cuarto día se observa que la evapotranspiración observada no es menor a la radiación solar incidente. En esos días se registró el paso de un sistema frontal intenso, que se evidencia en las precipitaciones intensas (figura 2), la baja temperatura media y la pequeña oscilación térmica diaria registrada. En FAO (2006) se señala que la ecuación de Samani (2000), si bien es una buena estimación, tiene una tendencia a subestimar los valores de

evapotranspiración bajo condiciones de viento fuerte (mayor a 3 m/s). Precisamente en los dos días mencionados hubo un viento intenso, lo que condujo a que la estimación de la radiación solar incidente fuera menor a la evapotranspiración observada en los lisímetros.

#### **4. CONCLUSIONES**

Se observó que la incorporación de biosólidos al suelo modifica el balance hídrico. Una mayor dosis incrementa la infiltración y la humedad en el suelo. Sin embargo el incremento en la evapotranspiración no es significativo.

La evapotranspiración media en invierno es en promedio un 35 % del valor registrado en verano, en suelos sembrados con gramíneas.

El trébol enano (*Trifolium repens*) puede germinar y crecer en invierno, alcanzando valores de evapotranspiración mayores a los de referencia, pero menores a los de la radiación solar incidente.

#### **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece a la empresa de servicios sanitarios ESSBIO por el aporte de los biosólidos utilizados en las experiencias. Este trabajo fue financiado por la Dirección de Investigación de la Universidad del Bío-Bío, a través del proyecto de investigación interno DIUBB101214 3/R.

#### **REFERENCIAS**

- CIREN. 2010. Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile. Informe final. Centro de Información de Recursos Naturales.
- Decreto 4/2009 MSGP. Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Chile.
- Elliott, H.A. y G.A. O'Connor. 2007. Phosphorous management for sustainable biosolids recycling in the United States. *Soil Biology and Biochemistry*, 39 (6), 1318-1327.
- FAO. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje n°56. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
- Maldonado, L. 2006. Medición de evapotranspiración en mezclas de suelo-lodo. Proyecto de título. Ingeniería Civil. Universidad del Bío-Bío.
- Samani, Z. 2000. Estimating solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 126 (4), 265-267.
- SISS. 2010. Informe de gestión del sector sanitario 2010. Superintendencia de Servicios Sanitarios, Chile.
- Suazo, A. y L. Maldonado. 2009. Influencia de la aplicación de biosólidos en el balance hídrico superficial. XIX Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica. Valparaíso.

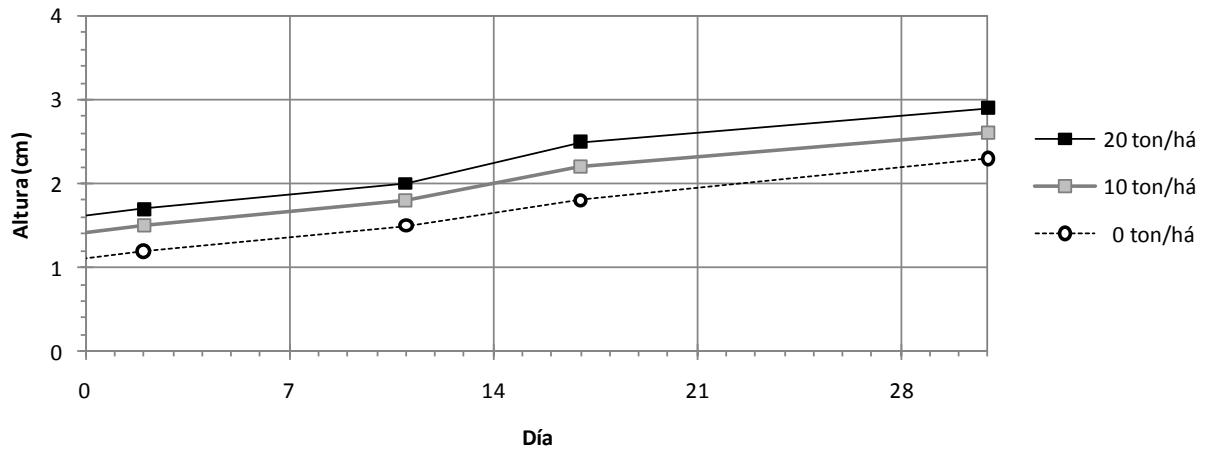


Figura 1. Altura del trébol en lisímetros con diferente tasa de biosólidos durante julio.

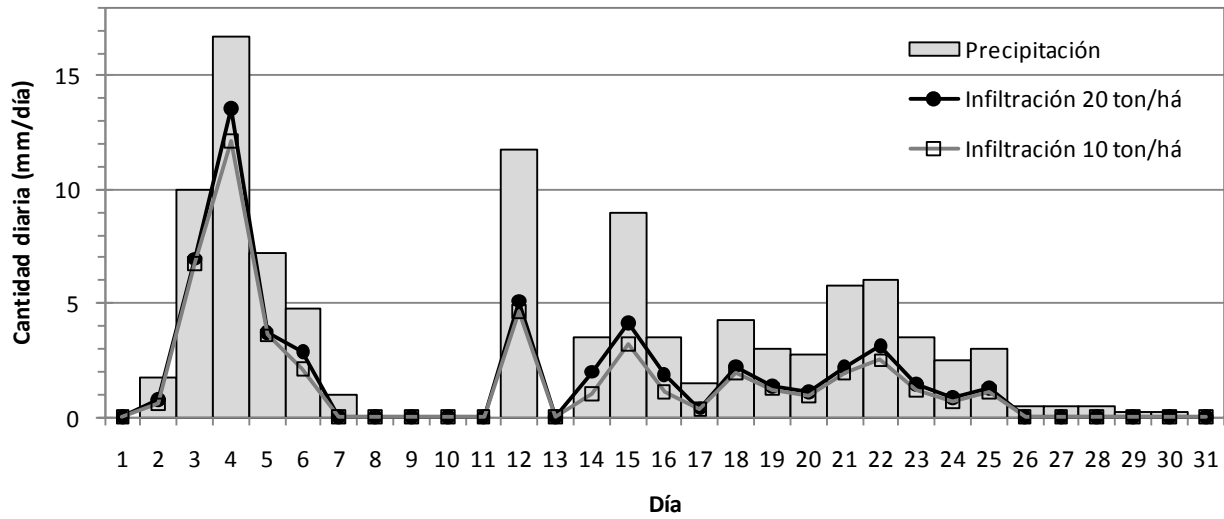


Figura 2. Evolución de la infiltración en lisímetros con biosólidos y trébol durante julio.

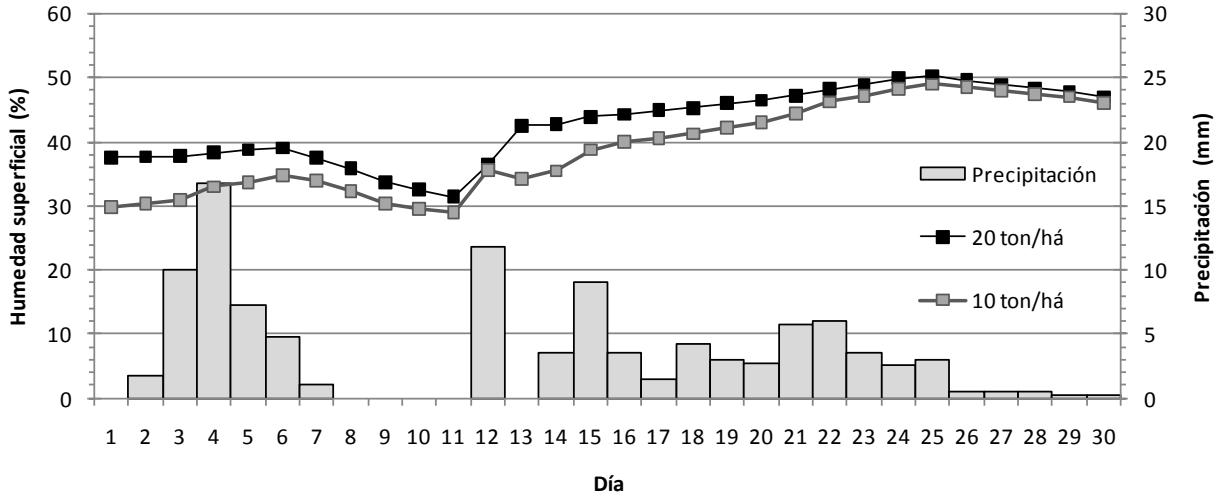


Figura 3. Evolución de la humedad superficial en lisímetros con trébol y biosólidos durante julio.

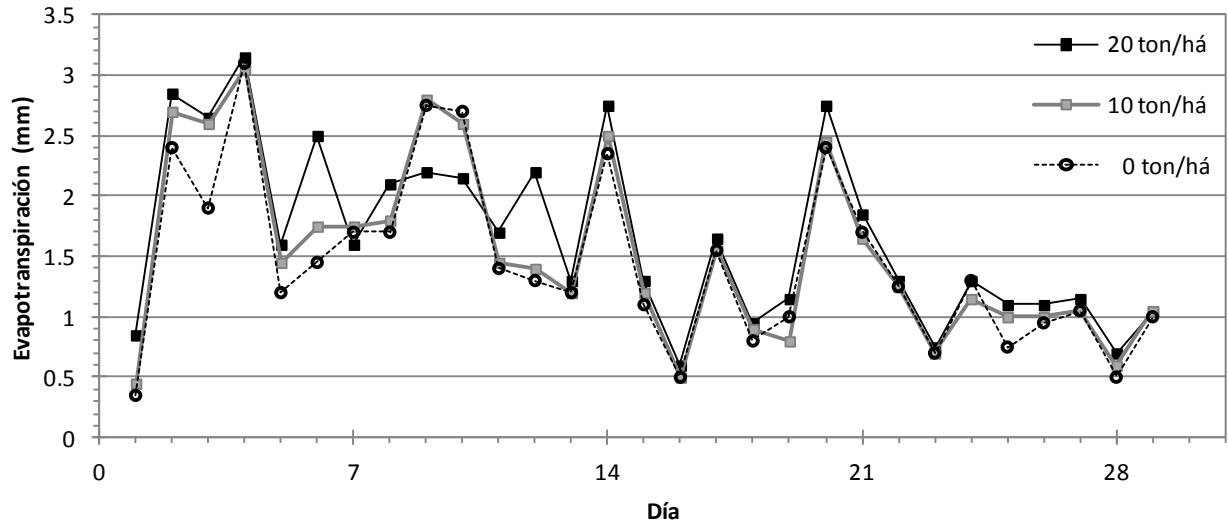


Figura 4. Evolución de la evapotranspiración en lisímetros con trébol y biosólidos durante julio.

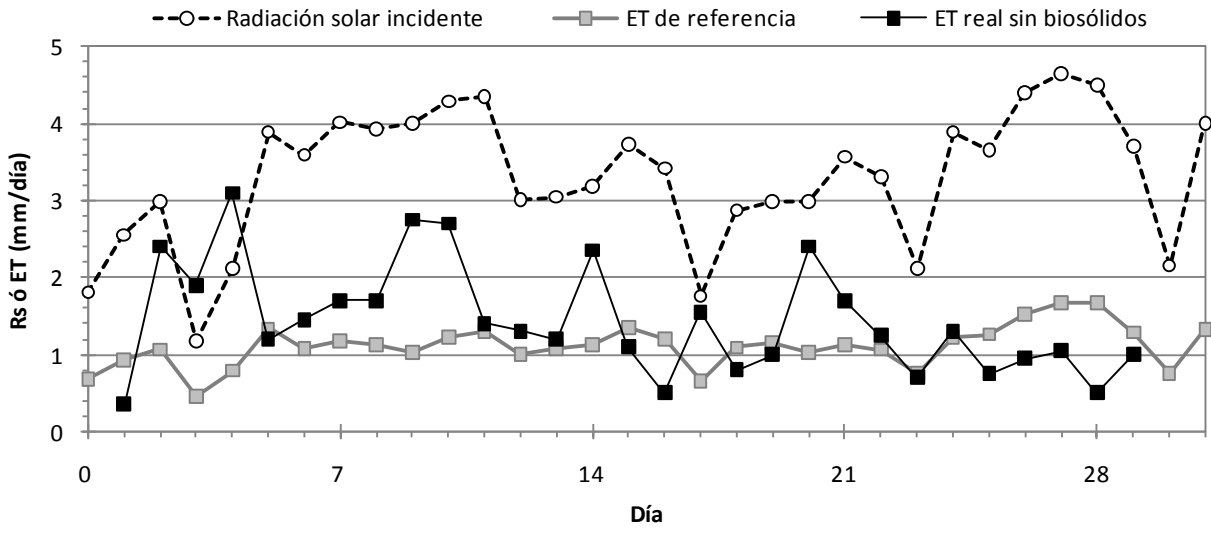


Figura 5. Comparación de la evapotranspiración real sin biosólidos con la de referencia y con la radiación solar incidente estimada según Samani (2000).