

RESUMEN DE TESIS

Tesis (en Holandés) por Lennert Nachtergaele

Universidad de Gante, Bélgica

Departamento de gestión del suelo

“Idoneidad de las posibles enmiendas de suelo en el sector deportivo”

Aquellos clubes que practican deporte en superficies de césped natural desean tener siempre una superficie de juego de alta calidad. La calidad de la cancha depende de la forma en la que ha sido construida y en la que es mantenida lo que a su vez depende del presupuesto asignado. A menudo se añaden acondicionadores de suelo en la capa superior para potenciar ciertas características físicas, biológicas y/o químicas del suelo.

El objetivo de esta tesis de L. Nachtergaele era triple:

1. Contemplar los acondicionadores de suelo disponibles en el mercado y enumerar sus supuestos beneficios y precios de coste respectivos.
2. Estudiar el efecto de estos acondicionadores de suelo en el crecimiento del césped en invernadero.
3. Relacionar los beneficios observados de los acondicionadores de suelo con su precio unitario, la tasa de aplicación y el presupuesto total necesario al plantar el césped deportivo durante la construcción de la cancha.

El acondicionador de suelo TerraCottem® Turf también fue incorporado en el trabajo de investigación de la tesis y obtuvo los mejores resultados de todos. Este documento resume las conclusiones de ese trabajo de investigación. Es posible obtener más información consultando los apéndices o a través de info@terracottem.com.

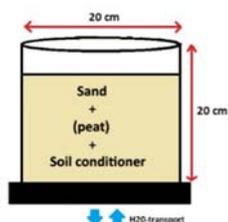


Ensayo realizado en ILVO

(Instituto para la Investigación en Agricultura y Pesca), Merelbeke, Bélgica

1. Preparación del ensayo

- 33 tratamientos, con una total de 132 contenedores.
- Cada tratamiento = M32 – arena¹ + acondicionador de suelo (+ turba²)
- Control = M32 – arena + turba (mezcla 90/10) + fertilizante³.
- Los acondicionadores de suelo se pueden clasificar de la siguiente manera:
 - Acondicionadores de suelo orgánicos: turba, residuos-GFT⁴, fibra de coco, lodo seco;
 - Acondicionadores de suelo inorgánicos: polímeros hidroabsorbentes, zeolita, lava, bentonita, diatomita;
 - Acondicionadores de suelo compuestos: **TerraCottem® Turf (TCT)**, biodress, cocodur;
- Se analizaron 8 parámetros:
 - Crecimiento del césped (producción de biomasa = recortes de césped);
 - Crecimiento radicular (producción de biomasa);
 - Eficiencia del uso del agua (producción de biomasa en relación con el consumo de agua);
 - Cobertura del suelo;
 - Actividad microbiológica;
 - Conductividad hidráulica saturada K_s;
 - Capacidad de retención de agua (CRA);
 - Densidad;



¹ Arena especial para la implantación de césped deportivo

² Una mezcla de arena/turba en proporción 90/10, según los criterios belgas “Ganda” (Ver

³ Un fertilizante estándar con 20-3-5

⁴ Residuos biodegradables domésticos procedentes de vegetales, frutas y jardines.

2. Resultados

Debajo se puede observar la tabla resumen presentada por L. Nachtergaele en su disertación sobre la tesis. TerraCottem® Turf tuvo un efecto positivo en 7 de los 8 parámetros analizados y fue el mejor de todos los acondicionadores de suelo.

Acondicionador de suelo	Crecimiento del césped	Crecimiento radicular	Eficiencia en uso de agua	Cobertura del suelo	Microbiología	Ks	Capacidad Retención Agua (CRA)	Densidad aparente
Turba								
Residuos - GFT								
Fibra de coco								
Lodo seco								
Polímeros								
Zeolita								
Lava								
Bentonita								
Diatomita								
TCT								
Biodress								
Cocodor								



Efecto positivo



Efecto neutro



Efecto negativo

2.1 Crecimiento del césped (producción de biomasa = recortes de césped)

TerraCottem® Turf tuvo un efecto positivo significativo ($P < 0,05$) en la producción de biomasa:

- A 120g/m², se observó más del doble de materia seca en comparación con el sustrato de control: **+205%**;
- A 240g/m²: **+241%**;

2.2 Crecimiento radicular (producción de biomasa)

TerraCottem® Turf tuvo un efecto positivo significativo ($P < 0,05$) en el desarrollo radicular: **+252%** en comparación con el control;

2.3 Uso Eficiente del Agua (producción de biomasa en relación con el consumo de agua)

TerraCottem® Turf tuvo un efecto positivo significativo ($P < 0,05$) en la eficiencia en el uso del agua:

- A 120g/m²: **+57%** en comparación con el control en la capa superior 90/10;
- A 240g/m²: **+68%**;

2.4 Cobertura del suelo

Mediante el uso de un software de análisis de imágenes, ninguno de los acondicionadores de suelo mostró un efecto positivo sobre las coberturas del suelo aunque se podían observar claramente diferencias visuales. Una explicación posible podría ser que las luces artificiales del invernadero produjeran una sobreexposición de las imágenes que “confundiera” al software.

2.5 Actividad microbiológica

La incorporación de TerraCottem® Turf **incrementó** la **actividad biológica del suelo**.

2.6 Conductividad hidráulica saturada Ks

La incorporación de TerraCottem® Turf **incrementó** la **conductividad hidráulica saturada** de la capa superior.

2.7 Capacidad de Retención de Agua (CRA)

TerraCottem® Turf tuvo un efecto positivo significativo ($P < 0,05$) en las características de humedad del suelo:

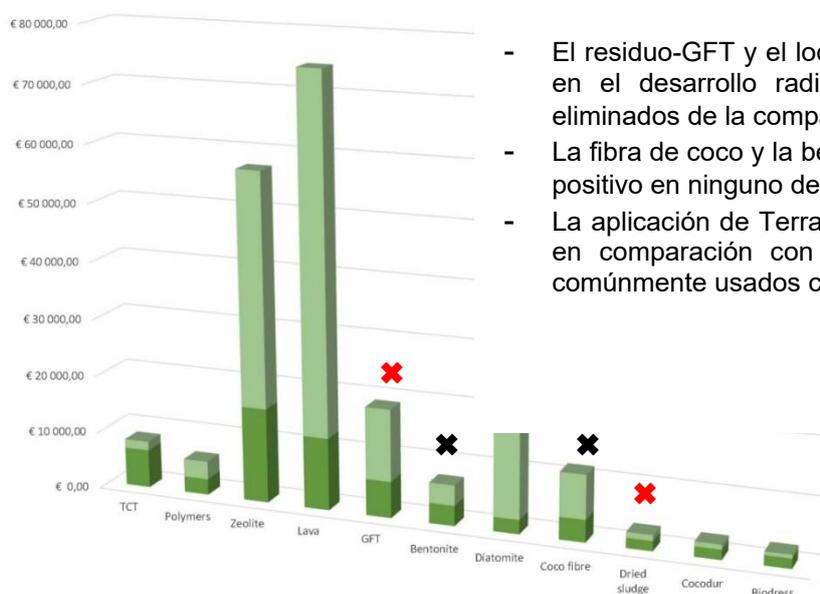
- A 120g/m²: un incremento del **+84%** del agua disponible para la planta en la capa superior;

2.8 Densidad

La incorporación de TerraCottem® Turf **redujo** la **densidad** de la capa superior. Esto se produjo para la mayoría de los acondicionadores de suelo usados y puede ser debido a que no hay desgaste por el uso de los jugadores en los contenedores (hecho que sí está presente en las condiciones del campo de juego).

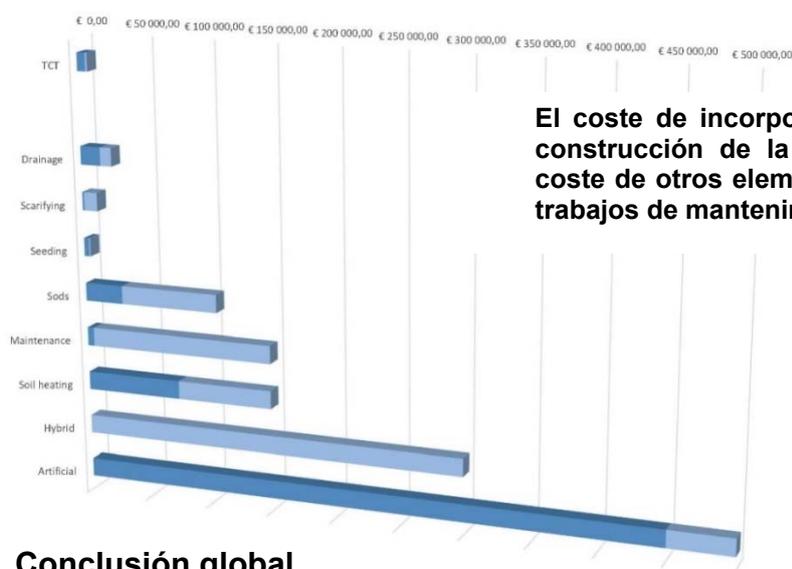
3. Análisis Coste/Beneficio

Los precios usados fueron los proporcionados por los fabricantes de cada acondicionador de suelo. Independientemente de los parámetros examinados para "2. Resultados", L. Nachtergaele calculó los **precios de aplicación** teniendo en cuenta las tasas de aplicación mínimas y máximas recomendadas:



- El residuo-GFT y el lodo seco tuvieron un efecto negativo en el desarrollo radicular y por lo tanto pueden ser eliminados de la comparación: ✗;
- La fibra de coco y la bentonita no mostraron ningún efecto positivo en ninguno de los parámetros analizados: ✗;
- La aplicación de TerraCottem® Turf es la más económica en comparación con otros acondicionadores de suelo comúnmente usados como la zeolita o la lava.

L. Nachtergaele entrevistó a varios contratistas en Bélgica y les preguntó los precios objetivos para algunos criterios comunes de mantenimiento y construcción:



El coste de incorporar TerraCottem® Turf durante la construcción de la cancha en comparación con el coste de otros elementos estándar de construcción y trabajos de mantenimiento.

**NATURE
JUST GOT
BETTER**


4. Conclusión global

El trabajo de investigación realizado para esta tesis corrobora la eficiencia en costes del acondicionador de suelo TerraCottem® Turf en comparación con otros acondicionadores de suelo comúnmente usados.

APÉNDICES

“Idoneidad de las posibles enmiendas de suelo en el sector deportivo”



1. Crecimiento del césped (producción de biomasa = recortes de césped)

1.1 Conclusión

TerraCottem® Turf tuvo un efecto positivo significativo ($P < 0,05$) en la producción de biomasa:

- A 120g/m², se observó más del doble de materia seca en comparación con el sustrato de control: **+205%**;
- A 240g/m²: **+241%**;

1.2 Método

El césped se cortó semanalmente. Los recortes fueron recogidos para cada contenedor y se secaron durante 24 horas a 104° C. Al final del ensayo se calculó la producción de biomasa en peso seco acumulado por contenedor.

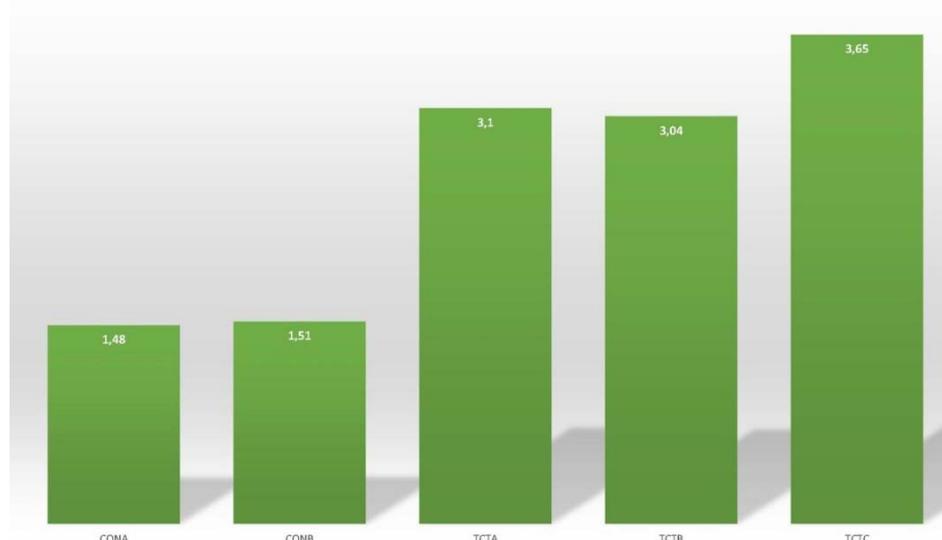
1.3 Tratamientos con TerraCottem®

Tratamientos (*)	M32 arena	Turba	TerraCottem® Turf
CONA	100%	-	-
CONB	90%	10%	-
TCTA	100%	-	120g/m ²
TCTB	90%	10%	120g/m ²
TCTC	90%	10%	240g/m ²

(*) Todos los tratamientos siguieron un régimen de fertilización estándar con un fertilizante líquido 20-3-5.

1.4 Resultados

Producción de biomasa en peso seco (g)



No se observó ningún efecto significativo ($P < 0,05$) en la producción de biomasa en peso fresco entre las capas superiores con y sin turba (CONB vs. CONA y TCTB vs. TCTA). La incorporación de TerraCottem® Turf incrementó significativamente ($P < 0,05$) la producción de biomasa en peso fresco (TCTA vs. CONA y TCTB vs. CONB). La aplicación de una tasa doble de TerraCottem® Turf incrementó la producción de biomasa en peso fresco.

2. Crecimiento radicular (producción de biomasa)

2.1 Conclusión

TerraCottem® Turf tuvo un efecto positivo significativo ($P < 0,05$) en el desarrollo radicular: **+252%** en comparación con el control en la capa superior 90/10.

2.2 Método

Al final del ensayo, se obtuvieron muestras de los contenedores con una broca de agujeros ($\varnothing 10\text{cm}$ = la mitad del diámetro de los contenedores). Las muestras de raíces se lavaron sobre un tamiz de 1,7 mm y se secaron durante 24 horas a 104°C . La densidad de las raíces por contenedor se calcula en g/dm^3 .



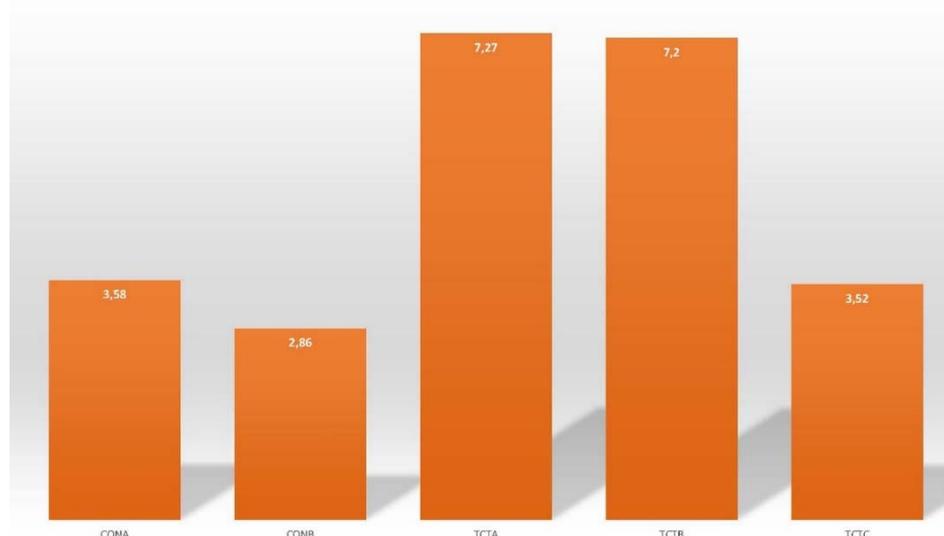
2.3 Tratamientos con TerraCottem®

Tratamientos (*)	M32 arena	Turba	TerraCottem® Turf
CONA	100%	-	-
CONB	90%	10%	-
TCTA	100%	-	120g/m ²
TCTB	90%	10%	120g/m ²
TCTC	90%	10%	240g/m ²

(*) Todos los tratamientos siguieron un régimen de fertilización estándar con un fertilizante líquido 20-3-5.

2.4 Resultados

Densidad radicular en peso seco (g/dm^3)



No se observó ningún efecto significativo ($P < 0,05$) en la densidad radicular en peso seco entre las capas superiores con y sin turba (CONB vs. CONA y TCTB vs. TCTA). La incorporación de TerraCottem® Turf incrementó significativamente ($P < 0,05$) la densidad radicular en peso seco (TCTA vs. CONA y TCTB vs. CONB). La aplicación de una tasa doble de TerraCottem® Turf no parece haber tenido ningún efecto en la densidad radicular en peso seco.

Las imágenes ilustran las muestras antes de ser lavadas. Las muestras CONA carecen por completo de estructura: la arena suelta se cayó de las muestras de raíces. Aunque la adición de turba no pareció afectar a la densidad radicular en peso seco, las muestras CONB parece que mantienen la integridad de su estructura radicular mejor. Este efecto fue mucho más evidente cuando se añadió TerraCottem® Turf en la capa superior, tanto con turba (TCTB) como sin ella (TCTA). La mejor estructura fue observada cuando se usó una tasa de aplicación de TerraCottem® Turf doble (TCTC).



CONA



CONB



TCTA



TCTB



TCTC

3. 2.3 Uso Eficiente del Agua (producción de biomasa en relación con el consumo de agua)

3.1 Conclusión

TerraCottem® Turf tuvo un efecto positivo significativo ($P < 0,05$) en la eficiencia en el uso del agua:

- A 120g/m²: **+57%** en comparación con el control en la capa superior 90/10;
- A 240g/m²: **+68%**;

3.2 Método

El Uso Eficiente del Agua (UEA) es la relación entre la producción de biomasa en peso seco y el uso del agua:

$$\frac{\text{Producción de Biomasa en Peso Seco (g)}}{\text{Uso del agua (l)}}$$

- Producción de Biomasa en Peso Seco

El césped se cortó semanalmente. Los recortes fueron recogidos para cada contenedor y se secaron durante 24 horas a 104° C. Al final del ensayo se calculó la producción de biomasa en peso seco acumulado por contenedor.

- Uso del agua

Al comenzar los ensayos, todos los contenedores fueron saturados durante 24 horas. Pasadas las 24 horas (permitiendo el libre drenaje del exceso de agua), los contenedores fueron pesados. Este peso = 100%. Durante el ensayo, los contenedores fueron pesados regularmente. A medida que se pierde agua por evaporación, el peso de los contenedores desciende gradualmente. Cuando el peso cae por debajo del 70% del peso inicial, se añade agua hasta que los contenedores alcanzan el 90% del peso inicial. La cantidad acumulada de agua de riego se calcula como tal.

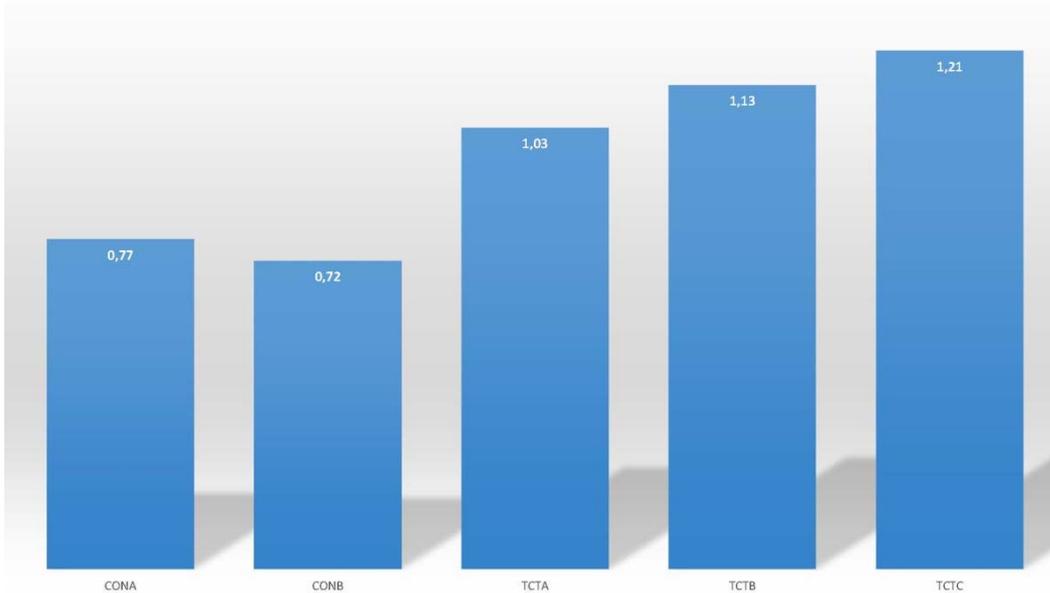
3.3 Tratamientos de TerraCottem®

Tratamientos (*)	M32 arena	Turba	TerraCottem® Turf
CONA	100%	-	-
CONB	90%	10%	-
TCTA	100%	-	120g/m ²
TCTB	90%	10%	120g/m ²
TCTC	90%	10%	240g/m ²

(*) Todos los tratamientos siguieron un régimen de fertilización estándar con un fertilizante líquido 20-3-5.

3.4 Resultados

Eficiencia del Uso del Agua en peso seco (g/l)



No se observó ningún efecto significativo ($P < 0,05$) en la Eficiencia del Uso del Agua en peso seco entre las capas superiores con y sin turba (CONB vs. CONA y TCTB vs. TCTA). La incorporación de TerraCottem® Turf incrementó significativamente la Eficiencia de Uso del Agua (TCTA vs. CONA y TCTB vs. CONB). La incorporación de más TerraCottem® Turf incrementó aún más la Eficiencia de Uso de Agua en peso seco (TCTC vs. TCTB).

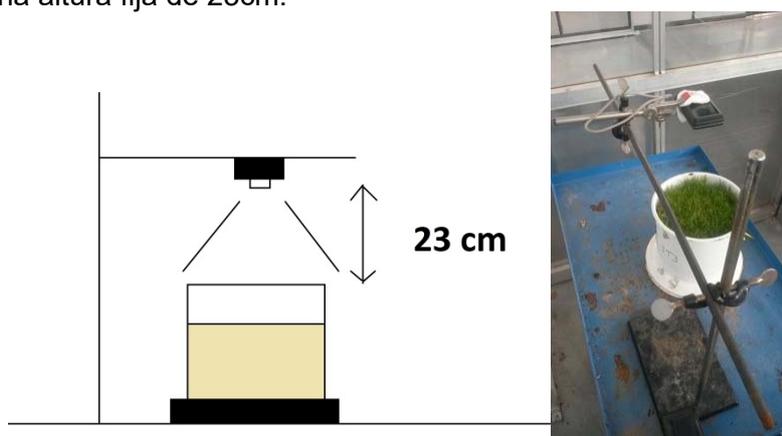
4. Cobertura del suelo

4.1 Conclusión

Mediante el uso de un software de análisis de imágenes, ninguno de los acondicionadores de suelo mostró un efecto positivo sobre las coberturas del suelo aunque se podían observar claramente diferencias visuales. Una explicación posible podría ser que las luces artificiales del invernadero produjeran una sobreexposición de las imágenes que “confundiera” al software.

4.2 Método

Durante el ensayo, el césped fue cortado a intervalos regulares. Después de cortarlo, se tomó una imagen digital a una altura fija de 23cm.



Las fotos fueron analizadas usando el software “GreenCropTracker”. Este software calcula la “fracción de cubierta verde” (o la “fracción vegetal VF”). Esta es la tasa de cobertura en cada recipiente sobre la base de un histograma – valor umbral de base. Se calcularon los parámetros:

- VF³ (%): cubierta 3 semanas después de la plantación;
- VF¹⁰ (%): cubierta 10 semanas después de la plantación;
- VF^{50%}: el número de semanas hasta que la cubierta del recipiente alcanza el 50%;

4.3 Tratamientos de TerraCottem®

Tratamientos (*)	M32 arena	Turba	TerraCottem® Turf
CONA	100%	-	-
CONB	90%	10%	-
TCTA	100%	-	120g/m ²
TCTB	90%	10%	120g/m ²
TCTC	90%	10%	240g/m ²

(*) Todos los tratamientos siguieron un régimen de fertilización estándar con un fertilizante líquido 20-3-5.

4.4 Resultados

En la mayoría de los casos no se observaron diferencias significativas ($P < 0,05$) tanto en VF³, como en VF¹⁰ ni en VF^{50%}. Como se ha indicado más arriba, una posible explicación podría ser que las luces artificiales del invernadero produjeran una sobreexposición de las imágenes que “confundiera” al software.

5. Actividad Microbiológica

5.1 Conclusión

La aplicación de TerraCottem® Turf **incrementó la actividad biológica del suelo.**

5.2 Método

Hay una relación directa entre la biomasa microbiana y la actividad microbiana del suelo. Esta última afecta a la liberación de nutrientes en el suelo y por lo tanto al crecimiento del césped.

El método usado en este ensayo fue "fumigación". En pocas palabras, durante este tratamiento carbono orgánico proveniente de las células de los microorganismos, es liberado utilizando la siguiente fórmula:

$$C_{microbial} \left(\frac{mg}{kg \text{ suelo seco}} \right) = \frac{C_{microbial} \left(\frac{\mu g}{L} \right) \times (V_{extracto(L)} + V_{en \text{ el suelo}(L)})}{DS(g)} \times K_c \times 1000 \quad [8]$$

5.3 Tratamientos de TerraCottem®

Tratamientos (*)	M32 arena	Turba	TerraCottem® Turf
CONA	100%	-	-
CONB	90%	10%	-
TCTA	100%	-	120g/m ²
TCTB	90%	10%	120g/m ²
TCTC	90%	10%	240g/m ²

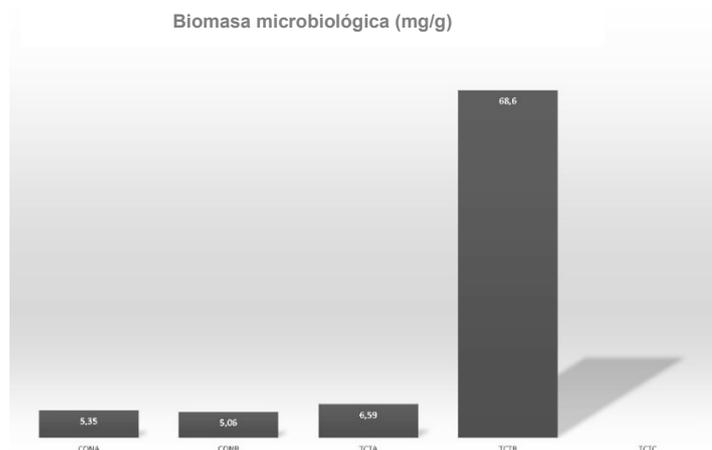
(*) Todos los tratamientos siguieron un régimen de fertilización estándar con un fertilizante líquido 20-3-5.

5.4 Resultados

No fue posible usar todos los resultados en el análisis de datos debido a errores o a resultados "imposibles"¹ (por ejemplo, los resultados de TCTC). Además, se observaron altas desviaciones estándar entre los diferentes tratamientos.

No se observaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre la actividad microbiana en las capas superiores con y sin turba (CONB vs. CONA), lo que resulta "extraño" porque es de esperar que la adición de materia orgánica (turba) incremente el desarrollo microbiano.

La incorporación de TerraCottem® Turf incrementó significativamente ($P < 0,05$) la producción de biomasa microbiana (TCTA vs. TCTB). El incremento es espectacular especialmente en la capa superior con turba (TCTB vs. CONB).



¹ Esto puede ser debido a una fumigación incompleta o la presencia de raíces que necesitaban ser eliminadas por adelantado.

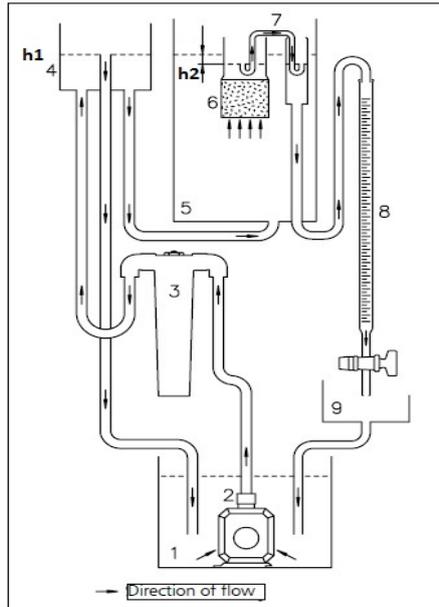
6. Conductividad hidráulica saturada K_s

6.1 Conclusión

La aplicación de TerraCottem® Turf **incrementó** la **conductividad hidráulica saturada** de la capa superior.

6.2 Método

La capacidad de un suelo para permitir que el agua pase a través del él se llama permeabilidad. Ésta es medida poniendo muestras de suelo (en anillos Kopecky) en un permeámetro de laboratorio:



Este aparato está diseñado específicamente para medir la conductividad hidráulica saturada K_s . Las muestras saturadas (1) son colocadas bajo la influencia de una carga de agua constante (2). Un flujo de agua hacia arriba (3) es forzado a través de las muestras sobre la base de la ley de los vasos comunicantes. El K_s (m/s) se puede calcular mediante la fórmula:

$$K_s = Q \frac{L}{\Delta h A} \quad [4],$$

donde, Q es la velocidad de flujo (m^3/s), Δh la diferencia de altura (m), L la longitud de la muestra de suelo y A su superficie (m^2). Debe hacerse una corrección por la temperatura del agua.

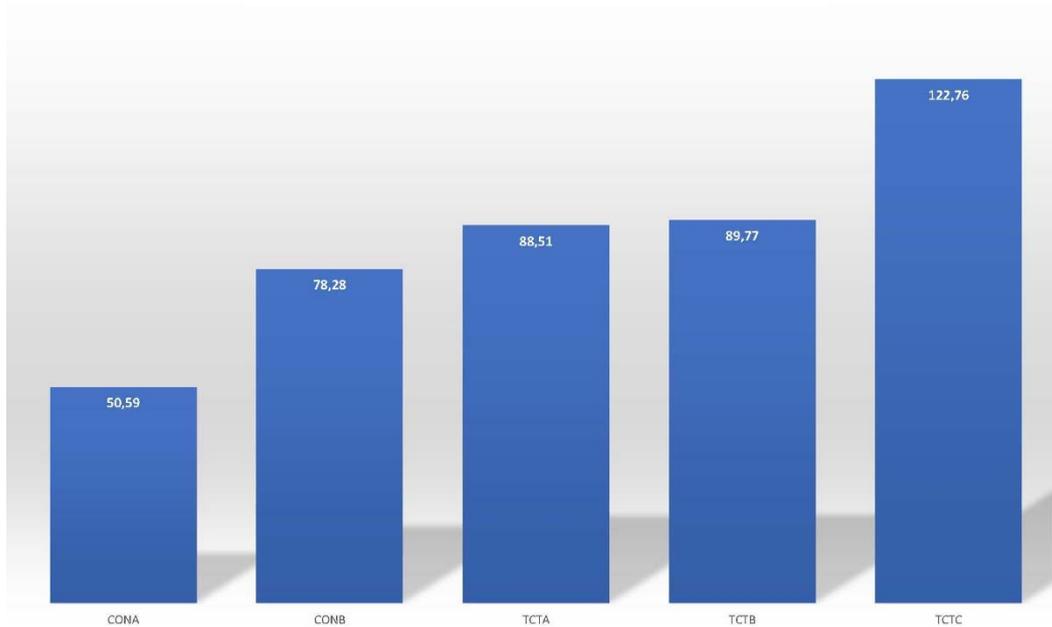
6.3 Tratamientos de TerraCottem®

Tratamientos (*)	M32 arena	Turba	TerraCottem® Turf
CONA	100%	-	-
CONB	90%	10%	-
TCTA	100%	-	120g/m ²
TCTB	90%	10%	120g/m ²
TCTC	90%	10%	240g/m ²

(*) Todos los tratamientos siguieron un régimen de fertilización estándar con un fertilizante líquido 20-3-5.

6.4 Resultados

Conductividad Hidráulica Saturada (m/s)



La adición de turba aumentó significativamente ($P < 0,05$) la conductividad hidráulica saturada de la capa superior de control (CONB vs. CONA). Lo mismo se cumple para la incorporación de TerraCottem® Turf, tanto en la capa superior con turba (TCTB vs. CONB) como sin turba (TCTA vs. CONA). Cuando se realiza una segunda aplicación de TerraCottem® Turf la conductividad hidráulica saturada se incrementa incluso más (TCTC vs. TCTB).

7. Capacidad de retención de agua (CRA)

7.1 Conclusión

TerraCottem® Turf tuvo un efecto positivo significativo ($P < 0,05$) en las características de humedad del suelo:

- A 120g/m^2 : un incremento del **+84%** del agua disponible para la planta en la capa superior;

7.2 Método

El agua del suelo está sujeta a diferentes fuerzas: capilaridad, gravitación, adhesión, cohesión y ósmosis. Éstas determinan la disponibilidad de agua para las plantas y se expresan en la “matriz potencial”. La relación entre la matriz potencial (o la altura de presión h) y el contenido volumétrico de agua en el suelo θ_v se denomina curva de retención de humedad (o curva – pF).

Se tomó una muestra de recipientes y se colocaron en un lecho de arena al que se le aplicaron diferentes presiones: -10, -30, -50, -70 y -100 cm. Después del equilibrio y para cada valor de presión, el contenido de humedad volumétrica se midió pesando las muestras. Se realizó la misma prueba con mayor presión, pero ahora las muestras se colocaron en placas de presión intermedias. Se usó el modelo matemático de van Genuchten para ajustar los conjuntos de datos y trazar las curvas – pF, usando el software MATLAB.

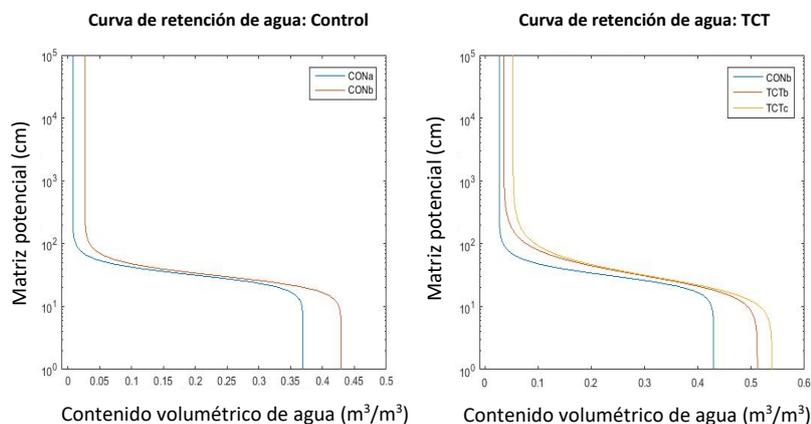
El contenido de humedad en la “capacidad de campo FC” ($pF = 2$) y el “punto de marchitez PWP” ($pF = 4.2$) se pueden determinar a partir de estos gráficos. Además, el “agua disponible para la planta PAWC” se calcula como la diferencia en contenido de humedad entre FC y PWP: toda la humedad por debajo de FC (drenaje libre) y por encima de PWP (unido a la fuerza en el suelo) no es accesible para las raíces del césped.

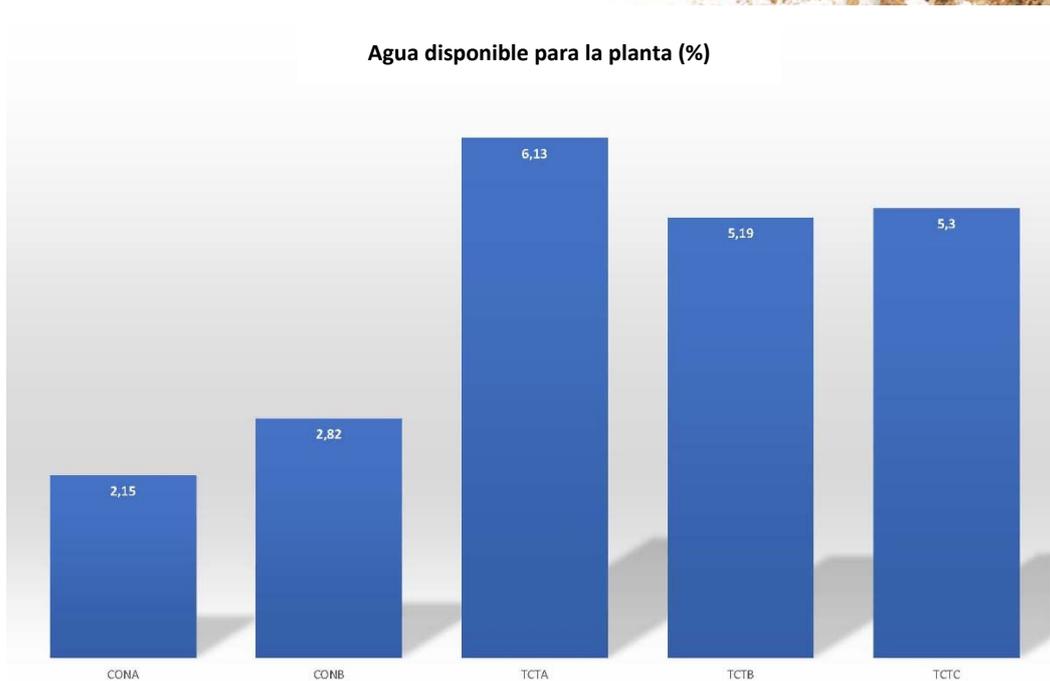
7.3 Tratamientos de TerraCottem®

Tratamientos (*)	M32 arena	Turba	TerraCottem® Turf
CONA	100%	-	-
CONB	90%	10%	-
TCTA	100%	-	120g/m^2
TCTB	90%	10%	120g/m^2
TCTC	90%	10%	240g/m^2

(*) Todos los tratamientos siguieron un régimen de fertilización estándar con un fertilizante líquido 20-3-5.

7.4 Resultados





La adición de turba incrementó el agua disponible para la planta (CONB vs. CONA), sin embargo, no lo hizo de manera significativa ($P < 0,05$). Por otro lado, la incorporación de TerraCottem® Turf casi triplicó el agua disponible para la planta (PAW) en la capa arenosa superior (TCTA vs. CONA) y casi duplicó el agua disponible para la planta (PAW) en la capa superior 90/10 (TCTB vs. CONB). Una doble aplicación no parece haber tenido un efecto extra en el agua disponible para la planta (PAW).

8. Densidad aparente

8.1 Conclusión

La aplicación de TerraCottem® Turf **redujo** la **densidad aparente** de la capa superior. Esto se produjo para la mayoría de los acondicionadores de suelo usados y puede ser debido a que no hay desgaste por el uso de los jugadores en los contenedores (hecho que sí está presente en las condiciones del campo de juego).

8.2 Método

La densidad aparente (en g/cm³) puede calcularse como la masa seca del suelo (en g, las muestras de suelo se secaron a 105°C durante 24h) por volumen (en cm³):

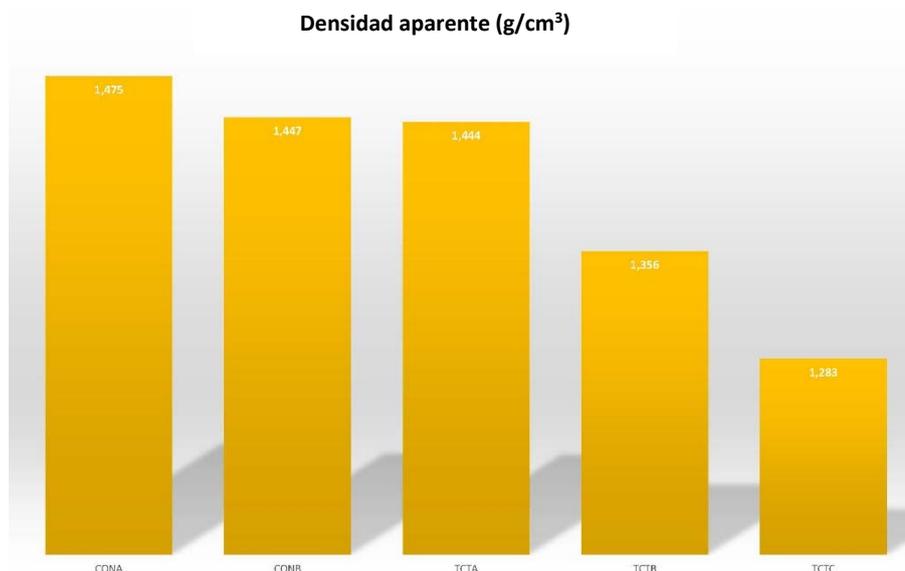
$$\rho = \frac{m_s}{V} \quad [1]$$

8.3 Tratamientos de TerraCottem®

Tratamientos (*)	M32 arena	Turba	TerraCottem® Turf
CONA	100%	-	-
CONB	90%	10%	-
TCTA	100%	-	120g/m ²
TCTB	90%	10%	120g/m ²
TCTC	90%	10%	240g/m ²

(*) Todos los tratamientos siguieron un régimen de fertilización estándar con un fertilizante líquido 20-3-5.

8.4 Resultados



La adición de turba redujo significativamente ($P < 0,05$) la densidad aparente de la capa superior (CONB vs. CONA). Lo mismo ocurre al incorporar TerraCottem® Turf (TCTA vs. CONA y TCTB vs. CONB). Finalmente, una doble aplicación de TerraCottem® Turf redujo aún más la densidad aparente ($P < 0,05$) de una forma significativa (TCTC vs. TCTB).