

**Efecto de un agente humectante sobre las condiciones de humedad del suelo y calidad de césped del fairway en una cancha de golf utilizando dos frecuencias de riego en Santa Cruz, Guanacaste.**

**Resumen**

La provincia de Guanacaste presenta graves problemas de sequía durante la época seca. Es importante buscar alternativas que permitan desarrollar las actividades turísticas con bajo consumo de agua. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de un agente humectante en la dinámica del almacenamiento del agua en el suelo y las condiciones del césped de una cancha de golf con dos frecuencias de riego en las condiciones edafoclimáticas de la época seca de Hacienda Pinilla en el cantón de Santa Cruz, Guanacaste y se desarrolló durante los meses de enero a julio de 2019. La parcela experimental se ubicó en el *apron* de cada hoyo. Se realizó un arreglo de tratamientos de 2x2, combinando dos frecuencias de riego con el uso o no del agente humectante y un testigo sin riego ni agente humectante. Se evaluó la retención de humedad y el agua disponible en cada hoyo. También, se determinó el contenido de humedad volumétrica a 6 y 11 cms, con el que se calculó el IABC. Además, se evaluó el aspecto general del césped por medio de una escala de calidad visual y se hizo una caracterización edafológica en cada hoyo. Los suelos encontrados se clasificaron tentativamente como Alfisoles, con texturas arcillosas. El diseño experimental utilizado no permitió evaluar el efecto del agente humectante como una ventaja para la conservación de humedad en el campo de golf ni permitió identificar o evaluar diferencias entre las dos frecuencias de riego utilizadas, tanto en conservación de humedad del suelo, así como en la calidad de césped del campo de golf estudiado.

Efecto de un agente humectante sobre las condiciones de humedad del suelo y calidad de césped del *fairway* en una cancha de golf utilizando dos frecuencias de riego en Santa Cruz, Guanacaste.

Cinthy de los Ángeles Rodríguez Bejarano

PRÁCTICA DIRIGIDA PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AGRÓNOMO CON EL GRADO DE LICENCIADO EN AGRONOMÍA

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS

ESCUELA DE AGRONOMÍA

AÑO 2020

## HOJA DE FIRMAS

Efecto de un agente humectante sobre las condiciones de humedad del suelo y calidad de césped del *fairway* en una cancha de golf utilizando dos frecuencias de riego en Santa Cruz, Guanacaste.

Cinthy de los Ángeles Rodríguez Bejarano

PRÁCTICA DIRIGIDA PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AGRÓNOMO CON EL GRADO DE LICENCIADO EN AGRONOMÍA



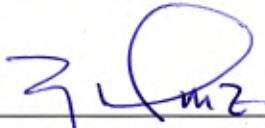
\_\_\_\_\_  
Sisgo Rachith Acuña Chinchilla, M.Sc.

DIRECTOR DE  
PRÁCTICA DIRIGIDA



\_\_\_\_\_  
Jorge Armando Leiva Sanabria, Ph.D.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



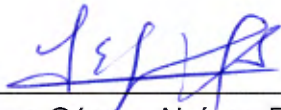
\_\_\_\_\_  
Gustavo Díaz Gutiérrez, M.Sc.

MIEMBRO DE TRIBUNAL



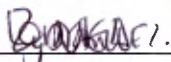
\_\_\_\_\_  
Gerardo Emilio Chacón Naranjo, M.Sc.

MIEMBRO DE TRIBUNAL



\_\_\_\_\_  
Luis Enrique Gómez Alpizar, Ph.D.

DIRECTOR DE ESCUELA



\_\_\_\_\_  
Cinthy de los Ángeles Rodríguez Bejarano

SUSTENTANTE

2020

**Índice**

Índice de abreviaturas.....	iv
Índice de cuadros .....	v
Índice de figuras .....	vi
Introducción .....	1
Objetivos.....	4
Objetivo general .....	4
Objetivos específicos.....	4
Antecedentes.....	5
Hacienda Pinilla.....	5
Marco Teórico.....	6
Características del césped y el campo para golf.....	6
Almacenamiento de agua en el suelo .....	8
Tensión superficial del agua .....	10
Sistema de riego.....	11
Agentes humectantes de suelo.....	12
Materiales y métodos.....	14
Ubicación de la investigación.....	14
Diseño experimental .....	14
Variables evaluadas .....	17
Resultados.....	22
Discusión .....	32
Conclusiones .....	37
Recomendaciones .....	38
Anexos.....	40
Literatura consultada .....	45

**Índice de abreviaturas**

$\mu\text{m}$ : Micrómetro

cm: Centímetro

etc.: Etcétera

ha: Hectárea

HP: Caballo de fuerza

IABC: Índice de Área Bajo la Curva

L.ha<sup>-1</sup>: Litros por hectárea

mm: Milímetro

m<sup>2</sup>: Metro cuadrado

m<sup>3</sup>: Metro cúbico

NTEP: National Turfgrass Evaluation Program

PGA: Professional Golfers Association

PSI: Libra por pulgada cuadrada

S.A.: Sociedad anónima

s.f.: Sin fecha

TDR: Reflectometría en el dominio temporal

Trat.: Tratamiento

US: Estados Unidos

## Índice de cuadros

Cuadro 1. Funciones y tamaños de los poros del suelo, modificado de Angella <i>et al.</i> , (2016) .....	9
Cuadro 2. Tratamientos de acuerdo a frecuencia de riego y uso de agente humectante, asignados al azar a hoyos del campo de golf. ....	16
Cuadro 3. Densidad aparente obtenida de muestras en cilindros en cada hoyo .	22
Cuadro 4. Porcentaje real de riego aplicado en cada tratamiento y el testigo de acuerdo al dato de lámina de riego óptima (Calvo, 2005). ....	24
Cuadro 5. Índice de área bajo la curva de la media de humedad volumétrica en cada uno de los tratamientos (n=6).....	27
Cuadro 6. Características edafológicas de los suelos en los hoyos muestreados (Fuente: Jorge Leiva, Ph.D, 2020) .....	31

## Índice de figuras

Figura 1. Fotografía del césped Bermuda Tifway 419 en comparación con un cuarto de dólar estadounidense que mide 24 mm de diámetro (The grass outlet, 2018). .....	8
Figura 2. Representación de las fuerzas que dan origen a la tensión superficial (Szigety <i>et al.</i> 2012). .....	11
Figura 3. Ubicación geográfica de Hacienda Pinilla en Santa Cruz, Guanacaste. Fuente: Google Earth, 2019.....	14
Figura 4. Diseño experimental representando la ubicación de los tratamientos escogida aleatoriamente. En negro número de hoyo y en rojo número de tratamiento. Fuente: Hacienda Pinilla. ....	16
Figura 5. Fórmula para calcular área bajo la curva de una serie de datos (Fuente: Navarro-Flores, 2012). .....	19
Figura 6. a) Caja utilizada por Gómez y Leandro (2014) para la evaluación de fitotoxicidad en el césped. b) Caja utilizada en las evaluaciones de la presente investigación.....	20
Figura 7. Escala de evaluación visual de calidad de césped en el cual 9 es la nota más alta de apariencia y 1 es la nota más baja para un césped muerto. ....	20
Figura 8. Gráfico de retención de humedad volumétrica. ....	23
Figura 9. Media ( $\pm$ error estándar) de humedad volumétrica presente a 11 cm de profundidad durante 6 semanas en cada uno de los tratamientos (Riego:Humectante) (n=30). .....	25
Figura 10. Media ( $\pm$ error estándar) de humedad volumétrica presente a 6 cm de profundidad durante 6 semanas en cada uno de los tratamientos (Riego:Humectante) (n=30) .....	26
Figura 11. Frecuencia relativa de aparición de las clases comprendidas en la escala de evaluación visual del césped en los tratamientos (Riego:Humectante) (n=6) .....	28
Figura 12. Descripción con barreno holandés del perfil del suelo en: a) Hoyo 3, b) Hoyo 7, c) Hoyo 10, d) Hoyo 11 y e) y Hoyo 15. ....	30

## **Introducción**

Todas las actividades del ser humano implican el consumo del recurso hídrico y la actividad más demandante es la agricultura. Según la FAO (2002), para el final del siglo XX la producción agrícola empleaba en promedio un 70% del agua utilizada en el mundo y estimó que para el 2030 ese porcentaje aumentará al menos un 14%.

En el caso de Costa Rica, durante los meses de época seca disminuye la cantidad de precipitaciones. En estas condiciones, las producciones agrícolas aumentan su demanda para el crecimiento de cultivos y por ende aumentan la presión a las fuentes de agua. Este déficit en el balance hídrico se agrava en regiones costeras de altas temperaturas y problemas frecuentes de sequía como la zona de Guanacaste, donde las precipitaciones son casi nulas de enero a abril (Blanco, 2019). Las principales actividades en las que se sustenta la economía de esta provincia son agricultura, ganadería, pesca, comercio, alojamiento y servicios de comida (INEC, 2011). Las últimas tres actividades económicas mencionadas giran en torno a la gran cantidad de turistas que visitan la zona por sus atractivos naturales y variada oferta de actividades lúdicas a realizar (CATURGUA, 2018). De acuerdo a datos del ICT, en Guanacaste se encuentran aproximadamente el 20% de los establecimientos de hospedaje en el país y el turismo en la provincia genera al menos 7 mil empleos directos e indirectos (Flores, 2017). Una de esas actividades que atraen gran cantidad de turismo a la zona de Guanacaste es el golf profesional y recreativo (Solís, 2017; Herrera, 2018).

Contar con una cancha de golf apropiada le permite a las empresas turísticas formar una reputación que atrae a un importante nicho de usuarios como son los golfistas. Muchas son las variables que influyen sobre la percepción del golfista de la calidad de una cancha de golf como recinto deportivo, tales como ubicación, diseño arquitectónico, recorrido de la cancha y calidad de



atención. Sin embargo, para la mayoría de jugadores de golf, la variable más importante para evaluar la calidad del recinto deportivo es el estado de la cancha en cuanto a apariencia y calidad del césped (Fernández y Boubeta *et al.* 2013).

El buen estado del césped de una cancha de golf requiere un mantenimiento intensivo que aborde de forma integral la nutrición, el manejo fitosanitario, las prácticas culturales de poda, aireación y el riego. Éste último adquiere especial importancia pues se necesitan volúmenes elevados de agua para su mantenimiento. De acuerdo a Durán *et al.* 2001 en su estudio realizado en España, el promedio de consumo de agua de una cancha estándar de golf de 18 hoyos con área de 40 a 45 hectáreas, se encuentra entre 1500 y 2000 m<sup>3</sup> al día durante la época de máxima irrigación, mientras que Hernández y Picón (2013), mencionan que una cancha de golf en Costa Rica consume entre 750 y 1750 m<sup>3</sup> al día (entre 1,7 y 3,9 mm al día en un campo de golf de 45 ha). La gran cantidad de agua de riego utilizada en las canchas de golf representa un problema a nivel económico, pues involucra grandes inversiones en construcción y mantenimiento de sistemas de riego, además de las facturas elevadas por concepto de consumo de agua. También es un problema a nivel ambiental, pues puede provocar agotamiento de acuíferos y consecuentemente aumentar el riesgo de contaminación por entrada de agua salina a los pozos ubicados en zonas costeras (Durán *et al.* 2001).

Como alternativa para solucionar el problema anterior se pueden utilizar los agentes humectantes. Estos son sustancias tensoactivas que agregadas al agua permiten la filtración y percolación del agua en el suelo y reducen las pérdidas por evaporación. Estos productos permiten mantener la humedad en el suelo durante más tiempo (Jaramillo, 2006). Por lo tanto, el correcto uso de un agente humectante puede permitir mantener una cancha de golf en buen estado para los jugadores al tiempo que se reduce la cantidad de agua de riego necesaria (Miller, 2007).

Históricamente, el agua en Costa Rica no ha sido de difícil acceso, no es hasta hace algunos años que se ha empezado a presentar escasez y se ha venido tomando conciencia de la importancia de cuidar el recurso hídrico aún en un país tan húmedo como el nuestro (Pérez, 2020). Por este motivo, el uso de agentes humectantes para ayudar en el manejo del riego en canchas de golf es una opción que se está empezando a explorar. No existen muchas opciones de marcas comerciales y casas importadoras de estos productos en el país, así como tampoco se han desarrollado investigaciones que avalen sus condiciones de uso y resultado en zonas tropicales (González, 2018).

Con base en lo anterior, se realizó la presente práctica dirigida con el objetivo de evaluar el efecto de un agente humectante sobre la humedad volumétrica en los primeros centímetros del suelo y el aspecto general del césped en una cancha de golf regada con dos diferentes frecuencias en las condiciones edafoclimáticas de la época seca de Hacienda Pinilla, Guanacaste.

## **Objetivos**

### Objetivo general

Evaluar el efecto de un agente humectante en la dinámica del almacenamiento del agua en el suelo y las condiciones del césped de una cancha de golf con dos frecuencias de riego en las condiciones edafoclimáticas de la época seca de Hacienda Pinilla en el cantón de Santa Cruz, Guanacaste.

### Objetivos específicos

- Evaluar el uso de un agente humectante y la variación en las frecuencias de riego para la conservación del contenido volumétrico de agua en los primeros 11 centímetros del suelo en una cancha de golf bajo dos condiciones de riego.
- Verificar si la variación en las frecuencias de riego y el uso de un agente humectante permite conservar un buen aspecto general del césped durante la época seca en una cancha de golf.
- Definir si la variación en las frecuencias de riego y la utilización de un humectante son una alternativa viable y eficaz para el manejo eficiente del agua de riego en canchas de golf.

## **Antecedentes**

### Hacienda Pinilla

La Hacienda se ubica en Tamarindo, Santa Cruz. Fue comprada en 1973 por el estadounidense H.G. Patillo quien se encargó de desarrollar el proyecto bajo el nombre de Agroganadera Pinilla S.A. Dentro de las 1800 ha de la propiedad se encuentran dos hoteles, condominios de lujo y residencias conectadas entre sí por caminos pavimentados. Además, cuenta con un sistema de distribución de agua administrado por la ASADA Malinches de Pinilla, una cancha de golf, una cancha de tenis, una zona de establos, un club de playa, tres restaurantes y una planta de tratamiento de aguas negras. Además, es reconocida por sus esfuerzos en materia ambiental que le han proporcionado Bandera Azul Ecológica por la limpieza de sus 6 kilómetros de playa y Bandera Blanca por su sistema de agua potable y manejo de aguas residuales (Hacienda Pinilla, 2017; Tico Times, 2017).

En Costa Rica existen 12 canchas de golf profesionales de campeonato internacional entre los cuales está la cancha de golf de Hacienda Pinilla (Anagolf | Asociación Nacional de Golf, 2012). Esta fue diseñada por el arquitecto Mike Young. Es una cancha de par 72 con una distancia de juego de 6583 metros repartidos en 18 hoyos (Hacienda Pinilla s.f.). Se encuentra certificado como un Santuario de Audubon Cooperative que se le entrega a las canchas de golf comprometidos con la protección y preservación del medio ambiente mejorando la eficiencia y minimizando el daño potencial que pueden causar las operaciones en una cancha de golf (Audubon International - Audubon Cooperative Sanctuary Program for Golf, 2017).

Se han planteado preocupaciones ambientales respecto a la construcción y manejo de las canchas de golf especialmente por el impacto en las fuentes de agua cercanas a nivel nacional e internacional (Hernández y Picón, 2013; Badawi *et al.*, 2016). La cancha de Hacienda Pinilla no se escapa de esta realidad,

particularmente por encontrarse en una zona con déficit hídrico durante los meses de verano (Quesada-Hernández *et al.*; 2020).

## **Marco Teórico**

### Características del césped y el campo para golf

Las especies de césped utilizado para las canchas de golf deben poseer alta densidad de hojas, de tallos muy finos y un sistema radical bien desarrollado que permita un correcto anclaje al suelo y posea una alta tasa de rebrote. Además se busca que sean resistentes al pisoteo, la invasión por otras especies y los cortes bajos y frecuentes. Es importante que posean un color verde intenso y presenten alta resistencia a plagas y enfermedades, además de una fácil adaptación al clima y las condiciones del sustrato que faciliten las labores fitotécnicas (Hernández *et al.*, 2007).

El primer golpe a la bola se da desde una zona de césped llamada *tee* y el agujero donde debe entrar la bola se encuentra en una zona de césped de condiciones ideales llamado *green*. Además, en la zona entre los dos anteriores se encuentra el *fairway* cuyo césped no está tan finamente podado como el *green* y el *rough* que es la zona perimetral del *fairway* y que usualmente se permite crecer sin cuidados adicionales. Además, la zona de *apron* o *ante-green*, es la zona del *fairway* que se encuentra más cercana al *green*, cuyo césped se mantiene un poco más alto que el *green* y más bajo que el resto del *fairway* (Ballantine, 2016).

El cuidado del césped en las canchas de golf se basa en constantes podas y otras prácticas de mantenimiento como irrigación, fertilización, corte vertical, aireación y renovación de arena (Tidåker *et al.*, 2017). El *green* es la zona de mayor importancia para el juego, pues los cambios mínimos en su condición afectan de manera drástica la velocidad y dirección que pueda tomar la bola. Desde los años sesenta, la USGA (United States Golf Association) publicó una

serie de normas para la construcción y manejo del *green* en canchas de golf profesionales que se mantienen hasta el día de hoy. Uno de los aspectos más importantes para desarrollar un *green* en óptimas condiciones para el juego es la instalación de una capa de arena previo a la siembra, lo que facilita el drenaje adecuado y la aireación de las raíces (USGA, 2018). Inicialmente se instala la arena únicamente bajo la zona del *green*, sin embargo, es común que las labores de corta frecuente vayan provocando que esta zona disminuya su tamaño y parte de la capa de arena quede debajo del límite externo del *green*, en la zona del *appron* (Oatis, 2010).

El césped utilizado en el *fairway* de la cancha de golf de Hacienda Pinilla es el Bermuda Tifway 419 (Fig. 1), una especie híbrida de *Cynodon dactylon* y *Cynodon transvaalensis*. Este césped posee las características deseadas para una cancha deportiva de alta calidad. Tiene color oscuro, alta tolerancia a la sequía y a la salinidad, adaptación a un gran rango de tipos de suelos, con valores de pH entre 5,5 y 7,5. Además es tolerante al alto tránsito y posee hojas finas con alta densidad (Moken, 2009). El mayor porcentaje de su sistema radicular se encuentra ubicado en los primeros 90 cm del suelo, pero se han encontrado raíces de hasta 180 cm de profundidad (Monje, 2006). De acuerdo a Jewsbury (2017), la mayor cantidad de raíces absorbentes se encuentran ubicadas en los primeros 10 centímetros del suelo.



Figura 1. Fotografía del césped Bermuda Tifway 419 en comparación con un cuarto de dólar estadounidense que mide 24 mm de diámetro (The grass outlet, 2018).

#### Almacenamiento de agua en el suelo

El suelo está constituido por una fase sólida donde se encuentran las partículas minerales y orgánicas y el espacio poroso constituido por los poros que se forman entre esas partículas. Este espacio poroso es la zona de almacenamiento del agua y del aire en el suelo. Por lo tanto, el tamaño y distribución de las partículas define el tamaño y distribución de los poros y la facilidad de circulación del aire y agua (Gisbert *et al.*, 2012). Las características de los poros definen la dinámica que tendrá el agua dentro de un suelo. Por lo general, en un suelo con partículas grandes como los arenosos, el agua tendrá mayor espacio de circulación y por tanto mayor velocidad de infiltración. Esto se debe a que los suelos de textura gruesa contienen, por lo general, un mayor porcentaje de macroporos. Lo contrario ocurre en un suelo con partículas pequeñas como el arcilloso, donde la mayor cantidad de espacio poroso está compuesto por microporos cuyas características de sus poros dificultan el movimiento del agua (Gisbert *et al.*, 2012). Los macroporos ( $> 60 \mu\text{m}$ ) permiten que el agua percole con facilidad, mientras que los microporos ( $0,2$  a  $60 \mu\text{m}$ )

retienen el agua en el suelo y para liberarla requieren una diferencia de potencial hídrico. En el Cuadro 1, se detalla la dinámica del agua dependiendo del tamaño de los poros según Angella *et al.*, (2016).

Cuadro 1. Funciones y tamaños de los poros del suelo, modificado de Angella *et al.*, (2016)

<b>Tamaño de los poros (mm diámetro)</b>	<b>Descripción de los poros</b>	<b>Funciones de los poros</b>
<0,0002	Residual	Retienen agua que las plantas no pueden usar
0,0002-0,05	Almacenamiento	Retienen agua que las plantas pueden usar
>0,05	Transmisión	Permite que el agua drene y que entre el aire
>0,1 a 0,3	Enraizamiento	Permite que las raíces de las plantas penetren libremente
0,5-3,5	Canal de lombrices	Permiten que el agua drene y que entre el aire
2-50	Nidos de hormigas y canales	Permiten que el agua drene y que entre el aire

El agua que ocupa la fracción de los microporos es la que puede ser utilizada por las plantas, se conoce como agua capilar y se mantiene retenida en el suelo por la acción de la tensión superficial del agua; mientras que la fracción del agua que ocupa los macroporos se conoce como agua gravitacional y es desplazada hacia abajo por la fuerza de gravedad (Angella *et al.*, 2016, Tuffour *et al.*, 2018).



El agua dentro del suelo se comporta de acuerdo a lo que se conoce como la curva de retención de humedad, la cual inicia desde el punto de saturación en el cual se encuentran llenos de agua todos los espacios porosos y se desplaza conforme el suelo va perdiendo su contenido hídrico. Dentro de esa curva de humedad se encuentra un volumen de agua que puede ser aprovechado por las plantas, el cual se conoce como agua disponible total. Al ser el agua de los microporos la única que puede ser aprovechada por las raíces de las plantas, el límite superior de ese volumen de agua inicia cuando ha drenado toda el agua posible por acción de la gravedad. A ese punto se le conoce como Capacidad de Campo. El límite inferior del agua disponible total es el punto en el cual existe tan poca agua dentro de los poros del suelo que imposibilita su absorción por las raíces de las plantas y se conoce como Punto de Marchitez Permanente (Angella *et al.*, 2016; Calow, 1998, Nemes *et al.*, 2011).

Para medir la humedad presente en el suelo existen muchos métodos no destructivos (sonda de neutrones, resistividad eléctrica, bloques de yeso). Sin embargo, actualmente la que se considera más adecuada es la reflectometría en el dominio temporal o TDR. Esta mide el tiempo de ida y vuelta de un impulso electromagnético entre sus puntas paralelas de metal, lo que a su vez está condicionada por el contenido de humedad en el suelo, por lo que, calcula de forma indirecta el porcentaje de humedad presente (Pantebre *et al.*, 2001).

### Tensión superficial del agua

Esta propiedad se refiere al fenómeno físico que ocurre en los líquidos que provoca que su superficie se comporte como una membrana bajo tensión, que junto al fenómeno de adhesión-cohesión, son los responsables de mantener el agua capilar retenida en el suelo. La tensión superficial se debe a que las moléculas de un líquido que se encuentran bajo la superficie están en interacción con moléculas homogéneas por lo que las fuerzas de atracción entre ellas son

iguales en todas direcciones, pero las moléculas que se encuentran cerca de la superficie son atraídas con mayor fuerza hacia el centro del líquido pues las moléculas en la fase gaseosa se encuentran más dispersas que la fase líquida (Fig. 2) (Szigety *et al.* 2012). Las fuerzas de cohesión son las que mantienen unidas las moléculas de agua entre sí, mientras que las fuerzas de adhesión son las que unen al agua con moléculas diferentes, provocando que se adhiera y humedezca las superficies (Eisenberg *et al.*, 2005).

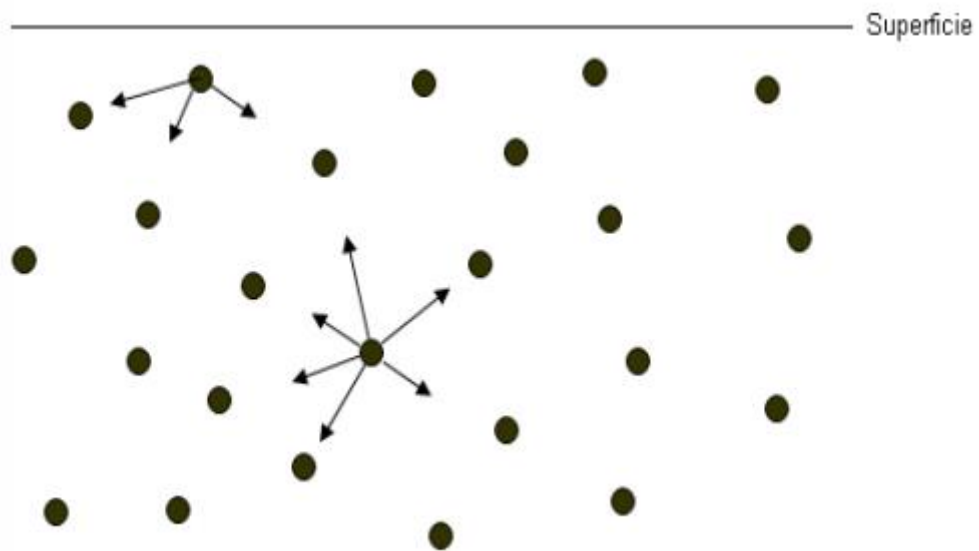


Figura 2. Representación de las fuerzas que dan origen a la tensión superficial (Szigety *et al.* 2012).

### Sistema de riego

El sistema de riego utilizado en la cancha de golf de Hacienda Pinilla es por aspersión. Cada hoyo es recorrido por un entramado de tuberías sobre las cuales se montaron los aspersores cada 25 metros aproximadamente. El sistema es bombeado por dos conjuntos motor-bomba de 75 HP marca Flowtronex que presurizan el sistema a 758 kPa (7,58 Bar). En los *fairways* de la cancha se

encuentran instalados aspersores marca Toro serie 750 con boquillas negras, las cuales descargan en promedio 13,7 m<sup>3</sup> por hora en un radio aproximado de 30 metros (Toro, 1997). Durante los meses de época seca, únicamente se riegan los greens y los tees, al ser las zonas de juego más importantes. Estas son regadas alrededor de una o dos veces al día dependiendo de la apariencia y calidad que presente el césped. El resto de la cancha permanece sin riego durante toda la época seca debido a la poca disponibilidad de agua en la zona.

#### Agentes humectantes de suelo

La repelencia de un suelo al agua puede ocurrir por compactación, compuestos orgánicos hidrofóbicos u otras características físicas. Los compuestos hidrofóbicos pueden ser hidrocarburos no polares prácticamente insolubles o hidrocarburos polares con un extremo de la cadena de carbono hidrofílica y la otra hidrofóbica. Estos suelos usualmente son tratados con moléculas orgánicas que reducen la tensión superficial del agua llamados surfactantes, las cuales son anfifílicas, lo que implica que poseen grupos funcionales hidrofílicos e hidrofóbicos. Estas sustancias tienen la capacidad de moverse a través de los horizontes o capas del suelo, dependiendo de las propiedades que posea el surfactante utilizado y el suelo aplicado, además de la concentración que se utilice (Lehrsch *et al.* 2012, Lehrsch y Sojka 2011).

Existen estudios e investigaciones que se han realizado con el objetivo de comparar la eficiencia de diversos tipos de agentes humectantes. Por ejemplo, Mitra *et al.* (2006); en California, Estados Unidos, encontraron que en la zona tratada con agente humectante aumentó el área superficial humedecida en un 43% en comparación con el testigo sin agente humectante. Además, Gómez y Leandro (2014), realizaron un estudio en España donde concluyeron que el agente humectante no es necesario para el mantenimiento de un *green* para un césped bajo condiciones adecuadas de clima y riego. Mientras que Ou y Latin

(2018) realizaron un estudio en Indiana, Estados Unidos donde encontraron que el uso de agentes humectantes no favorece la distribución uniforme de fungicidas en el césped de golf. Sin embargo, estos estudios se han realizado en otras latitudes, mientras que en Costa Rica no existe información disponible sobre estudios de este tipo. Es necesario realizar pruebas bajo las condiciones edafoclimáticas de nuestro país, para tener una referencia válida y tomar decisiones adecuadas respecto al uso de los agentes humectantes como complemento al manejo de los sistemas de irrigación.

## Materiales y métodos

### Ubicación de la investigación

La práctica dirigida se realizó en la cancha de golf de Hacienda Pinilla, ubicado en Tamarindo, Santa Cruz, Guanacaste (Fig. 3) durante los meses de enero a junio del 2019. La parcela experimental se ubicó en la zona del *fairway* de cuatro hoyos distintos para evitar interferencias entre los tratamientos.

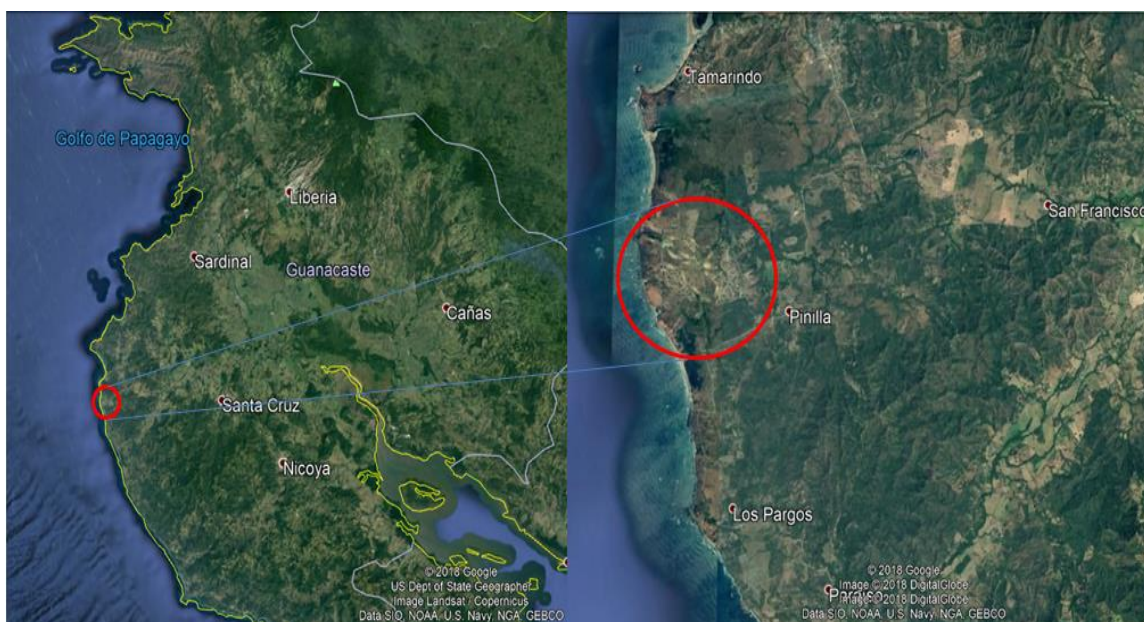


Figura 3. Ubicación geográfica de Hacienda Pinilla en Santa Cruz, Guanacaste.  
Fuente: Google Earth, 2019

### Diseño experimental

Para los tratamientos se utilizaron cuatro hoyos y las parcelas experimentales se ubicaron específicamente en la zona de *apron* de cada hoyo. Además se utilizó una parcela en el *apron* de un hoyo adicional como testigo. El tamaño de la parcela experimental varió de acuerdo al tamaño del *apron* en cada hoyo.

A continuación se detallan las áreas de cada uno de los *aprons* de los tratamientos:

- Hoyo 3: 1826 m<sup>2</sup>
- Hoyo 7: 2035 m<sup>2</sup>
- Hoyo 10: 808 m<sup>2</sup>
- Hoyo 11: 992 m<sup>2</sup>
- Hoyo 15 : 1104 m<sup>2</sup>

Se programaron los sistemas de riego de cada hoyo dependiendo del tratamiento que se le asignó (Cuadro 2). Cada riego se programó por un tiempo de 15 minutos, una o dos veces a la semana dependiendo del tratamiento. Se calculó la lámina de riego teórica óptima y la real aplicada de acuerdo a la fórmula (Anexo 1). El resto de la cancha de golf se mantuvo sin riego y se asignó otro hoyo de la cancha de golf donde no se regó para tomar las muestras de control

Se realizó un arreglo de tratamientos de 2x2, combinando dos frecuencias de riego con el uso o no del agente humectante. La numeración de los tratamientos fue asignada aleatoriamente y se realizó un diagrama del diseño experimental de acuerdo a la ubicación de cada tratamiento dentro de la cancha de golf de Hacienda Pinilla (Cuadro 2 y Fig. 4).

Cuadro 2. Tratamientos de acuerdo a frecuencia de riego y uso de agente humectante, asignados al azar a hoyos del campo de golf.

Frecuencia de riego	Uso de agente humectante	Hoyo	Tratamiento (Riego:Humectante)
Una vez a la semana	Sí	7	T1 (1:1)
	No	15	T2 (1:0)
Dos veces a la semana	Sí	11	T3 (2:1)
	No	3	T4 (2:0)
Sin riego	No	Testigo (0:0)	



Figura 4. Diseño experimental representando la ubicación de los tratamientos escogida aleatoriamente. En negro número de hoyo y en rojo número de tratamiento. Fuente: Hacienda Pinilla.

Se utilizó el agente humectante LESCO Ecosential Moisture Manager, compuesto en un 50% por alcoholes azucarados, polisacáridos y sales neutras de ácido alpha hidroxipropionico que actúan como agentes humectantes y un 15% de surfactantes no iónicos (LESCO Technologies LLC, s.f.). Su uso se basó en el supuesto de que las instrucciones de uso incluidas en la etiqueta son las que facilitan el correcto funcionamiento del producto y ya fueron comprobadas previamente por sus fabricantes. Siguiendo el mismo principio, la dosis y frecuencia de aplicación del agente humectante en la práctica fue la recomendada según la etiqueta. Se aplicaron  $9 \text{ L.ha}^{-1}$  de producto comercial de manera mensual por medio de un spray boom facilitado por Hacienda Pinilla.

#### Variables evaluadas

**Retención de humedad:** Se tomó una muestra no disturbada con cilindro a 4 cm de profundidad en cada uno de los hoyos para obtener la densidad aparente. Además, se tomaron muestras no disturbadas con cilindro de 1 cm de profundidad, las cuales fueron llevadas al Laboratorio de Recursos Naturales del CIA donde se les realizó un análisis de retención de humedad a cuatro potenciales matriciales (-33, -500, -1000 y -1500 kPa). Con esos datos se calculó el agua disponible (-33 kPa a -1500 kPa) y el agua fácilmente disponible (-33 kPa a -500 kPa) en cada hoyo.

Previo al inicio de los muestreos, se realizó la calibración del equipo de sonda y TDR disponibles, generando una curva de calibración por medio de la comparación con el método gravimétrico tradicional. Para esto se tomaron lecturas con los equipos en zonas disponibles de la cancha de golf y se obtuvieron las muestras físicas en cilindro que fueron pesadas en campo y posteriormente procesadas en el laboratorio para obtener sus humedades por el



método gravimétrico. Además, de esas mismas muestras se obtuvo la densidad aparente para hacer la conversión a humedad volumétrica y poder hacer la curva de calibración con los datos obtenidos con el TDR y la sonda. En el caso del TDR se realizó un riego de saturación en una zona de poco tránsito del campo de golf y al día siguiente se tomaron tres muestras de cilindro y tres lecturas de humedad a cinco horas distintas. En el caso de la sonda se tomaron dos muestras de cilindro y dos lecturas de humedad en cada uno de los cinco hoyos donde se realizaron los tratamientos.

Cada parcela experimental se dividió en una cuadrícula con cuadros de 5x5 m (25 m<sup>2</sup>) cada uno y posteriormente se escogieron cada semana 10 cuadros al azar como repeticiones.

**Contenido de humedad:** Una vez a la semana, durante 6 semanas, se tomaron 3 réplicas en 10 puntos al azar de lectura de TDR por tratamiento a 11 cm de profundidad y 3 réplicas en 10 puntos al azar de lectura con sonda de humedad por tratamiento a 6 cm de profundidad. En total se tomaron 60 datos de humedad por tratamiento semanalmente. Para el procesamiento de datos se utilizó el análisis descriptivo de las medias y sus errores estándar.

Además, se realizó el análisis del Índice del Área Bajo la Curva (IABC) (Fig. 5). Esto debido a que las evaluaciones sucesivas de las unidades no son totalmente independientes entre sí, pues el dato obtenido en una semana está correlacionado con el dato obtenido en la semana anterior, por lo tanto, el IABC permite seguir la lógica de que el dato de humedad obtenido en la primera evaluación se correlaciona gradualmente con cada uno de los datos obtenidos en las semanas siguientes, por tanto permite reducir el efecto del tiempo (Navarro-Flores, 2012).

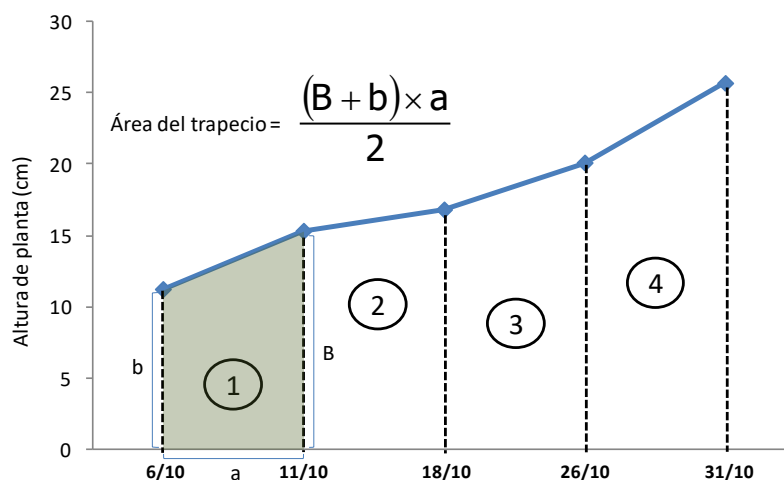


Figura 5. Fórmula para calcular área bajo la curva de una serie de datos (Fuente: Navarro-Flores, 2012).

**Aspecto general del césped:** Una vez a la semana, durante 6 semanas, se tomaron 10 puntos al azar de muestreo en cada tratamiento para evaluar el aspecto general del césped, tomando fotografías y evaluando posteriormente la uniformidad, densidad y color con una escala visual del 1 al 9 de acuerdo al método del programa norteamericano de evaluación del césped (NTEP por sus siglas en inglés), en el cual 9 es la nota más alta de apariencia y 1 es la nota más baja para un césped muerto (Fig. 7) (Krans y Morris, 2007; Morris y Shearman, s.f.).

La toma de fotografías se basó en la metodología utilizada por Gómez y Leandro (2014) para la evaluación de fitotoxicidad en césped de golf (Fig. 6a). Se utilizó un marco hecho con una caja de cartón de 30 cm de altura, 30 cm de ancho y 45 cm de largo, a la que se le hizo una ventana en la parte superior (Fig. 6b). El agujero se utilizó para colocar el celular, cada semana se utilizó el mismo teléfono celular y se fotografió utilizando el flash para estandarizar las condiciones lumínicas de las muestras. El uso de la caja permite además asegurar que no existiera variación en la altura de cada fotografía.

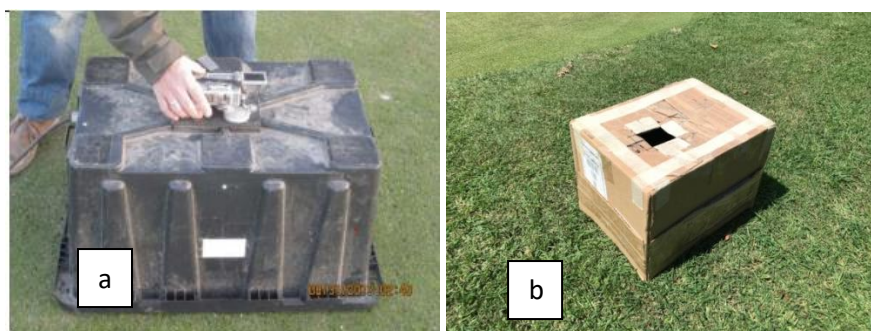


Figura 6. a) Caja utilizada por Gómez y Leandro (2014) para la evaluación de fitotoxicidad en el césped y b) Caja utilizada en las evaluaciones de la presente investigación.

A continuación se presenta la escala de evaluación visual del césped que fue utilizada para clasificar su apariencia general, construida de acuerdo a la metodología propuesta por el NTEP (Krans y Morris, 2007) (Fig. 7).

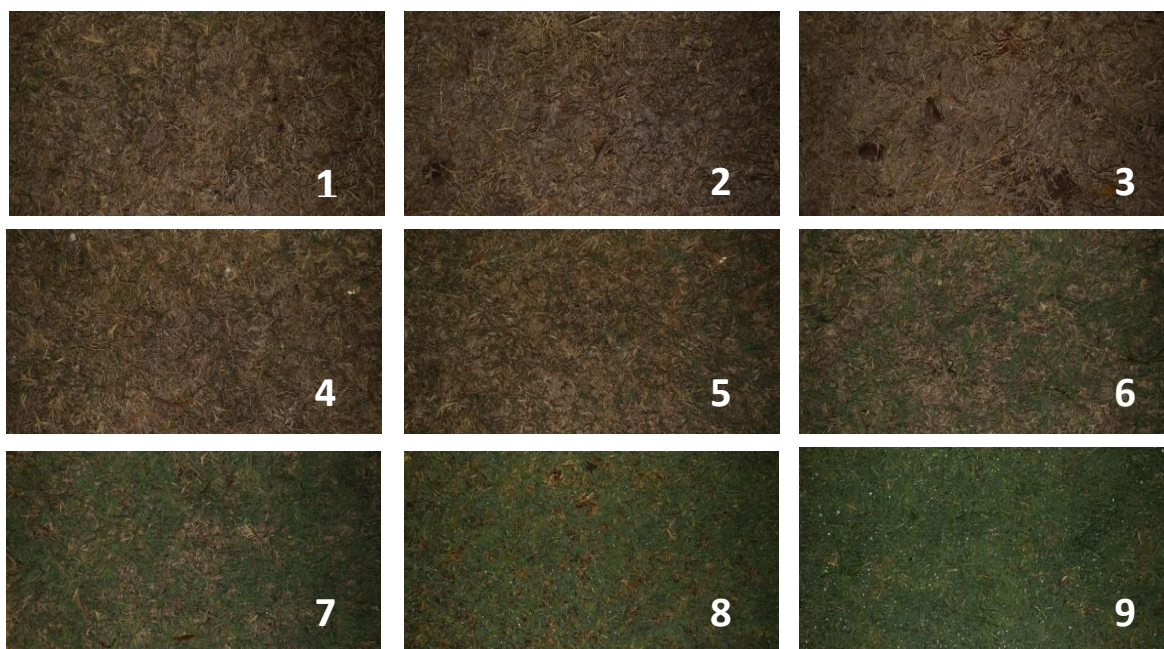


Figura 7. Escala de evaluación visual de calidad de césped en el cual 9 es la nota más alta de apariencia y 1 es la nota más baja para un césped muerto.

**Caracterización edafológica:** Se realizó una perforación en cada uno de los hoyos para identificar el perfil edáfico a profundidades entre 90 y 130 cm. Las muestras fueron tomadas en sitios del hoyo que permitieran una idea general de las características edáficas de las zonas donde fueron realizados los tratamientos. Las perforaciones fueron realizadas con un barreno manual tipo holandés. Posteriormente se realizó una evaluación de la textura del suelo por medio del tacto (Anexo 2), se midió la profundidad de los horizontes maestros (A, B, C) y sus colores dominantes con una Tabla Munsell.

## Resultados

### Retención de humedad:

La densidad aparente obtenida varió desde 1,2 a 1,4 g/cm<sup>3</sup> y se utilizó para la conversión de las humedades gravimétricas obtenidas con los instrumentos de medición a humedades volumétricas para su mejor comprensión (Cuadro 3). Además, de las muestras enviadas a laboratorio se obtuvo el agua disponible (-33 kPa a -1500 kPa) y el agua fácilmente disponible (-33 kPa a -500 kPa) en términos de humedad volumétrica. En ambos casos se obtuvo que el Hoyo 10 (Testigo) fue el que conservó mayor humedad volumétrica, mientras que los hoyos 7 y 15 (T1 y T2) conservaron la menor humedad (Cuadro 3).

Cuadro 3. Densidad aparente, agua disponible (-33 kPa a -1500 kPa) y agua fácilmente disponible (-33 kPa a -500 kPa) obtenidas de muestras en cilindros en cada hoyo.

Tratamiento	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Agua disponible (%)	Agua fácilmente disponible (%)
Hoyo 7 (T1)	1,4	32	27
Hoyo 15 (T2)	1,4	30	26
Hoyo 11 (T3)	1,3	41	34
Hoyo 3 (T4)	1,2	42	39
Hoyo 10 (Testigo)	1,2	46	42

Las curvas de retención de humedad construidas con los datos obtenidos de las muestras en cada hoyo muestran que a -33 kPa de succión (Capacidad de Campo), el rango de humedad volumétrica obtenida en los hoyos va de 66 a 96%. Mientras que a -1500 kPa (Punto de Marchitez Permanente), de succión el rango de humedad va de 20 a 54%. El hoyo que presentó la curva con los porcentajes menores de humedad volumétrica a succiones dadas fue el 10,

mientras que el que presentó mayores porcentajes de humedad fue el hoyo 3 (Fig. 8).

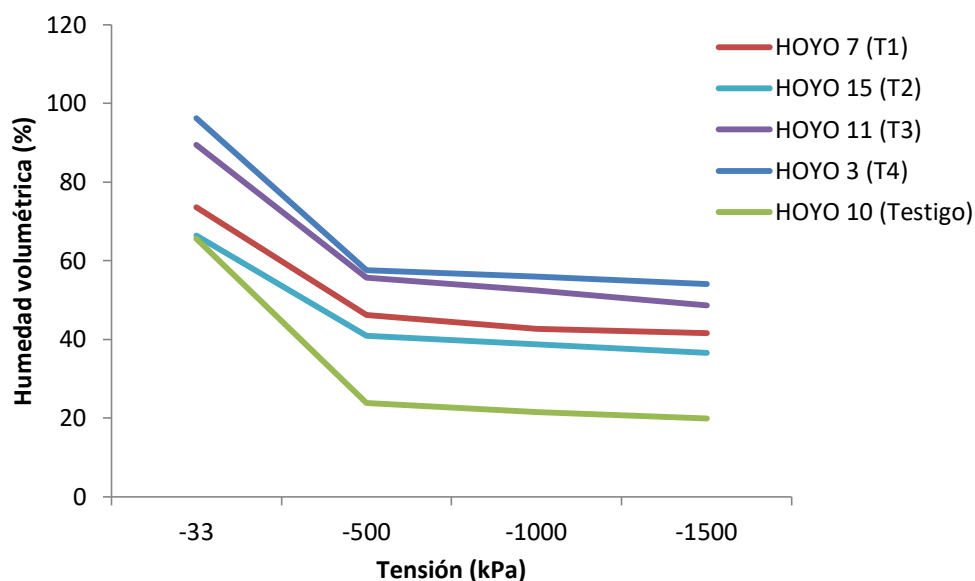


Figura 8. Retención de humedad volumétrica en los suelos estudiados de acuerdo al hoyo y su respectivo tratamiento.

De acuerdo a datos climáticos obtenidos por medio de la estación climática del Instituto Meteorológico Nacional presente en Hacienda Pinilla (IMN, 2015) y al agua útil obtenida de los datos de retención de humedad (Fig. 8), el riego mínimo adecuado, para las condiciones del césped en Hacienda Pinilla es de 35 mm semanales (Rodríguez, 2016; Calvo, 2005) (Anexo 1). En los riegos que se realizaron en cada tratamiento solamente se aplicaron 1,2 mm una o dos veces a la semana dependiendo del tratamiento asignado, lo cual es un porcentaje bajo de la lámina de riego requerida (Cuadro 4).

Cuadro 4. Porcentaje real de riego aplicado en cada tratamiento y el testigo de acuerdo al dato de lámina de riego óptima (Calvo, 2005).

<b>Tratamiento (Riego:Humectante)</b>	<b>Riego teórico óptimo por semana (mm)</b>	<b>Riego real por semana (mm)</b>	<b>Porcentaje del riego aplicado (%)</b>
T1 (1:1)	35	1,2	3,5
T2 (1:0)	35	1,2	3,5
T3 (2:1)	35	2,4	6,9
T4 (2:0)	35	2,4	6,9
Testigo (0:0)	35	0	0

Contenido de humedad:

De acuerdo a la humedad obtenida a 11 cm de profundidad durante las 6 semanas, se puede observar que el tratamiento 4 fue el que conservó una mayor humedad en cada semana, junto con el tratamiento 2 en las semanas 2 y 5 (Fig. 9).

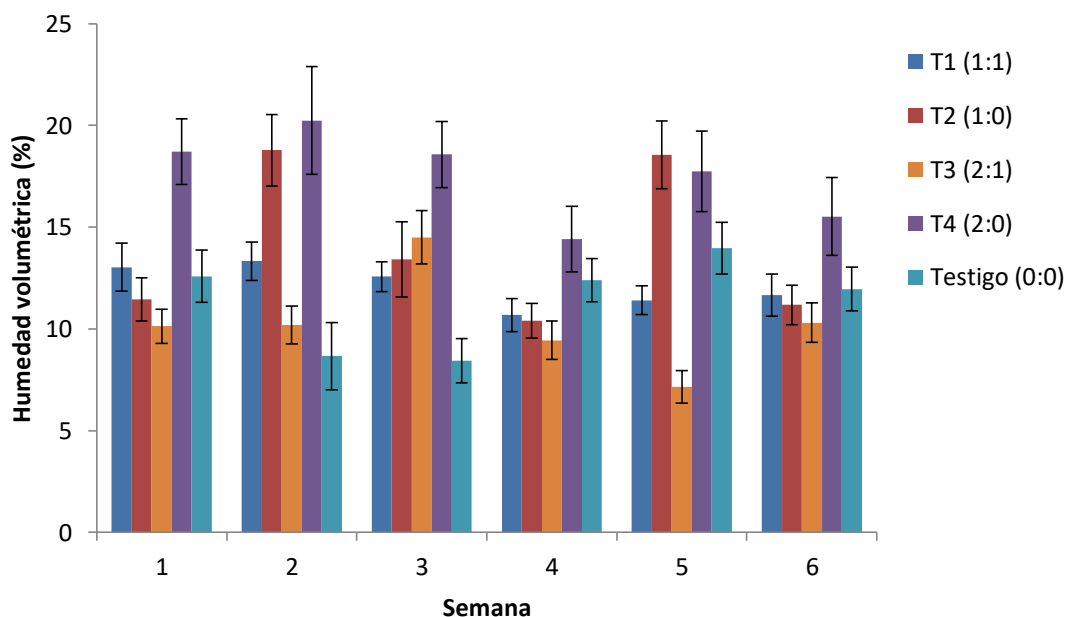


Figura 9. Media ( $\pm$  error estándar) de humedad volumétrica presente a 11 cm de profundidad durante 6 semanas en cada uno de los tratamientos (Riego:Humectante) (n=30).

A la profundidad de 6 cm en las semanas 1 y 3 no se observaron diferencias entre las humedades en los diferentes tratamientos. En la semana 2, el tratamiento 4 fue el que presentó una mayor conservación de humedad mientras que en la semana 4 fue el testigo y en la semana 5 fue el tratamiento 2. El tratamiento 3 fue el que presentó una menor humedad en las semanas 5 y 6 (Fig. 10).



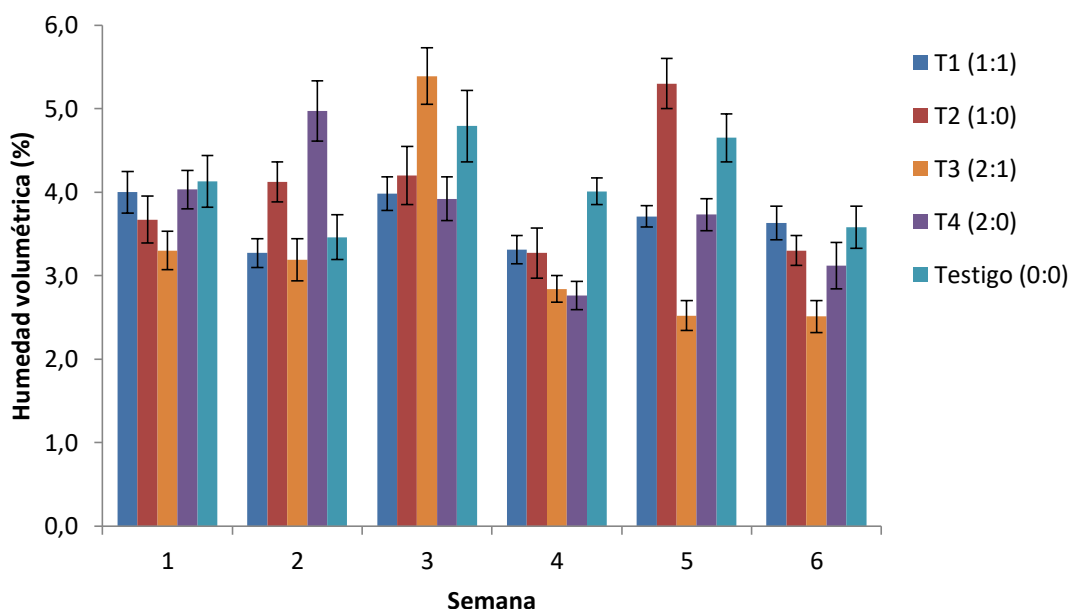


Figura 10. Media ( $\pm$  error estándar) de humedad volumétrica presente a 6 cm de profundidad durante 6 semanas en cada uno de los tratamientos (Riego:Humectante) (n=30)

En todos los tratamientos se conservó mayor humedad a mayor profundidad (Fig. 9 y 10). Sin embargo, a la misma profundidad hubo diferencias entre los tratamientos en algunas semanas. A la profundidad de 11 cm (Figura 9), en las semanas que se encontraron diferencias fueron los tratamientos sin agente humectante (2 y 4) los que conservaron mayor humedad, mientras que los tratamientos con agente humectante (1 y 3) y el testigo conservaron la menor humedad. A la profundidad de 6 cm (Figura 10), se encontró un comportamiento similar en las semanas en que se encontraron diferencias en las medias de humedad volumétrica entre los tratamientos, siendo el tratamiento con agente humectante (1 y 3) el que presentó menor humedad comparado al tratamiento sin agente humectante (2 y 4), en las semanas 2, 3 y 5. En las semanas en que se encontraron diferencias, a los 11 cm de profundidad, los tratamientos conservaron mayor contenido de humedad respecto al testigo, mientras que a los

6 cm de profundidad ocurrió lo inverso y los tratamientos conservaron menor contenido de humedad respecto al testigo.

De acuerdo al índice de área bajo la curva (IABC) obtenida de las medias de humedad durante las 6 semanas en cada una de las dos profundidades a las que fueron medidas, se observa que el IABC es mayor a la profundidad de 11 cm comparado a la profundidad de 6 cm. A la profundidad de 11 cm, fue el tratamiento 4 el que conservó mayor contenido de humedad y el tratamiento 3 conservó la menor humedad. Mientras que a la profundidad de 6 cm, el testigo conservó la mayor humedad y nuevamente el tratamiento 3 conservó la menor (Cuadro 5).

Cuadro 5. Índice de área bajo la curva de la media de humedad volumétrica en cada uno de los tratamientos (n=6)

<b>IABC</b>	<b>Profundidad</b>	
	<b>11 cm</b>	<b>6 cm</b>
<b>Tratamiento</b>		
<b>(Riego:Humectante)</b>		
<b>T1 (1:1)</b>	60,3	18,1
<b>T2 (1:0)</b>	72,5	20,4
<b>T3 (2:1)</b>	51,5	16,8
<b>T4 (2:0)</b>	88,1	19,0
<b>Testigo (0:0)</b>	55,8	20,8

#### Aspecto general del césped:

De acuerdo al método de evaluación de césped propuesto por el NTEP (Krans y Morris, 2007), las clases de mayor calidad de césped son la 8 y la 9, mientras que las clases de menor calidad por su apariencia son la 1 y la 2. Solamente los tratamientos 2, 4 y el testigo presentaron aparición de muestras de

alta calidad. Además, el tratamiento 1 fue el que presentó una mayor frecuencia relativa de aparición de las clases de menor calidad. A pesar de que el tratamiento 4 obtuvo muestras con alta calidad, la mayor frecuencia relativa de aparición la obtuvo en las clases de menor calidad comparado al tratamiento 3 que no obtuvo muestras de alta calidad pero su mayor frecuencia relativa de aparición se encontró en clases de calidad media alta (4-7) (Figura 11).

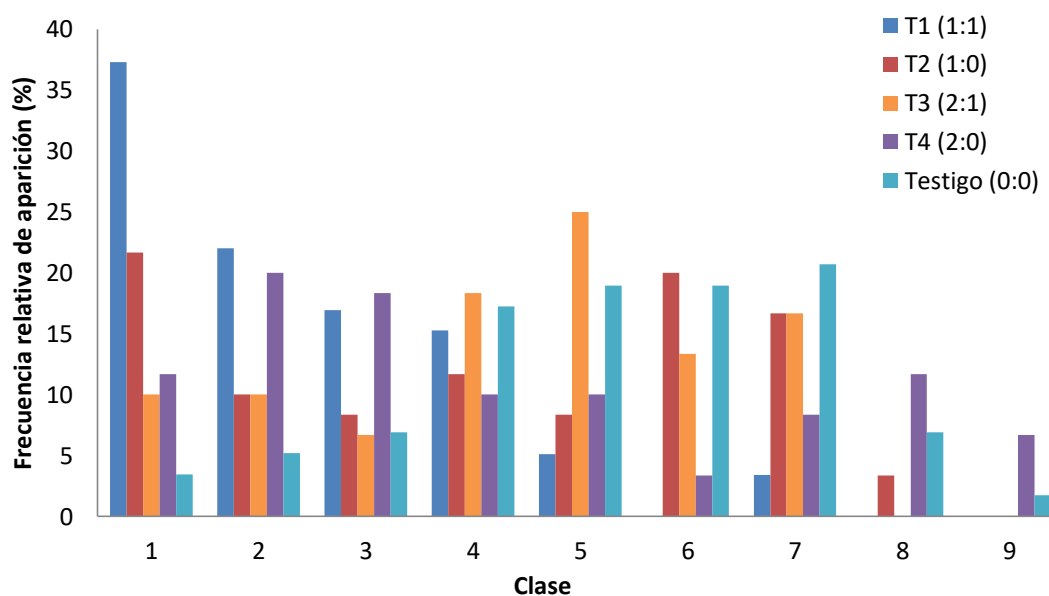


Figura 11. Frecuencia relativa de aparición de las clases comprendidas en la escala de evaluación visual del césped en los tratamientos (Riego:Humectante) (n=6)

#### Caracterización edafológica:

No se encontró una variabilidad edáfica importante entre los 5 hoyos muestreados donde se ubicaron las parcelas experimentales. El horizonte A de los hoyos 3 y 7 presenta textura Arcillosa, mientras que en los hoyos 10, 11 y 15 presenta textura Franco Arcillosa (Figura 12). Todos los suelos muestreados

presentaron la misma clasificación tentativa de Gran Grupo Haplustalfs, los cuales son Alfisoles con horizontes distinguibles y un régimen de humedad ústico. Lo anterior coincide con el mapa de Órdenes de Suelos de Costa Rica desarrollado por Mata *et al.* (2013) (Anexo 3). Además son suelos rojizos, de textura arcillosa, altos en bases de intercambio y fertilidad, que se originan a partir de materiales parentales ígneos (Cuadro 6) (Soil Survey Staff, 2014; 2015).

A nivel de Subgrupo, se encontraron dos hoyos con suelos clasificados tentativamente como Oxyaquic y tres hoyos con suelos clasificados tentativamente como Typic (Cuadro 6). La diferencia entre estas dos clasificaciones radica en el nivel de drenaje presente en los suelos. Los hoyos 3 y 7 (Fig. 12a y 12b) clasificados como Oxyaquic, presentan un color indicador de mal drenaje entre 75 y 100 cm de profundidad en el perfil (Soil Survey Staff, 2015). Los hoyos 10, 11 y 15 (Fig. 12c, 12d y 12e) se pueden considerar como bien drenados, según la Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff, 2014).



Figura 12. Descripción con barreno holandés del perfil del suelo en: a) Hoyo 3, b) Hoyo 7, c) Hoyo 10, d) Hoyo 11 y e) Hoyo 15.

Cuadro 6. Características edafológicas de los suelos en los hoyos muestreados  
(Fuente: Jorge Leiva, Ph.D, 2020)

Área	Horizonte	Prof. Inicial (cm)	Prof. Final (cm)	Textura	Color 1	Color 2	Clasificación Tentativa
<b>Hoyo 7 (Tratamiento 1)</b>	Ap	0	16	Arcillosa	10YR 3/2		Oxyaquic Haplustalfs
	Bt1	16	51	Arcillosa	7.5YR 4/4		
	Btg2	51	84	Arcillosa	5YR 5/6	10YR 6/6 (20%)	
	Cg1	84	120	Franco arcillo arenosa	5YR 5/6	10YR 5/6 (15%)	
<b>Hoyo 15 (Tratamiento 2)</b>	Ap	0	19	Franco arcillosa	10YR 3/2		Typic Haplustalfs
	AB	19	48	Arcillosa	7.5YR 4/4		
	Bt1	48	69	Arcillosa	5YR 4/6		
	Bt2	69	90	Arcillosa	5YR 5/6		
<b>Hoyo 11 (Tratamiento 3)</b>	Ap	0	39	Franco arcillosa	10YR 3/2		Typic Haplustalfs
	AB	39	69	Arcillosa	7.5YR 4/4		
	Bt1	69	108	Arcillosa arenosa	5YR 4/6		
	Bt2	108	125	Arcillosa arenosa	5YR 5/6		
<b>Hoyo 3 (Tratamiento 4)</b>	Ap	0	18	Arcillosa	10YR 3/2		Oxyaquic Haplustalfs
	Bt1	18	48	Arcillosa	7.5YR 4/6		
	Bt2	48	82	Arcillosa	5YR 6/6		
	Cg1	82	104	Franco arcillo arenosa	10YR 6/4	10YR 6/1 (10%)	
	Cg2	104	130	Franco arcillo arenosa	10YR 6/3	10YR 6/1 (15%)	
<b>Hoyo 10 (Testigo)</b>	Ap	0	22	Arcillosa	10YR 3/2		Typic Haplustalfs
	AB	22	33	Arcillosa	7.5YR 4/4		
	Bt1	33	74	Arcillosa	5YR 4/6		
	Bt2	74	122	Arcillosa	5*YR 5/6		

## Discusión

De acuerdo a los datos de humedad obtenidos, el Hoyo 10 (Testigo) presentó la mayor agua disponible entre CC y PMP (-33 kPa a -1500 kPa), mismo comportamiento que se reflejó en el agua fácilmente disponible (-33 kPa a -500 kPa) (Cuadro 3). Según los datos de textura obtenidos, este Hoyo fue el único que presentó una textura meramente arcillosa en todos sus horizontes (Cuadro 6). Esto coincide con lo esperado, pues los suelos arcillosos retienen mayor humedad debido a su alta superficie específica (Henríquez y Cabalceta, 2012). Sin embargo, según los datos de retención de humedad, este hoyo fue el que presentó menor conservación de humedad a una succión dada (Fig. 8). Este hallazgo difiere con lo esperado de acuerdo a la teoría, puesto que en general los suelos arcillosos son los que presentan valores más altos en las curvas de retención (Henríquez y Cabalceta, 2012). Sin embargo, Bonilla y Cancino (2001) evidenciaron que solamente la variable textura no presenta suficiente correlación con la retención de humedad en un suelo, puesto que la dinámica del agua involucra gran cantidad de otros factores, como por ejemplo densidad aparente, densidad específica, capacidad de intercambio de bases, distribución del tamaño de partículas e incluso con variables de fertilidad como contenido de calcio (Coronado y González, 2009). Esto coincide con lo descrito por Iturria (2017), quien indica que en suelos propensos a la formación de grietas por su alto contenido de arcillas, tienden a generarse vías de flujo preferencial a través de los macroporos, por lo que disminuye la capacidad de retención de humedad.

Se esperaba que el testigo fuera el que mostrara una menor conservación de humedad pues se mantuvo sin riego y en la figura 8 se puede observar que es el que menos conserva humedad a una succión dada. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, el testigo presentó conservación de humedad a ambas profundidades, incluso superando a algunos de los tratamientos a la profundidad de 11 cm (Figura 9). Esto se puede deber a un error metodológico. Los



tratamientos se ubicaron en las zonas del *appron* de cada hoyo, el cual es el límite del *green*. Al ser el *green* la zona más importante de juego, se tiene bajo mantenimiento constante (Oatis, 2010). Durante la época que se realizó el experimento, el *green* del hoyo 10 fue afectado por un brote de coyolillo (*Cyperus* sp.), el cual debió ser aplicado en varias ocasiones con un herbicida para su eliminación. El producto utilizado se acompañó de un riego corto en la semana previa al inicio de los muestreos, en la semana 3 y en la semana 5 (González, 2018). Por la cercanía del *green* con la zona experimental, esas aplicaciones pudieron tener un efecto borde y afectar la cantidad de humedad presente en la zona del *appron* según lo detallado en la figura 9, donde se observa un aumento de humedad de la semana 3 a la 5 en el testigo y en la figura 10 donde la mayor humedad del testigo se encontró en las semanas 3 y 5. Esa humedad captada por el efecto borde en el *appron* del Hoyo 10, sumada a la facilidad con que el sistema radicular tiene acceso al agua en ese suelo (Cuadro 3), le permitieron al Testigo mostrar una ventaja en las frecuencias relativas de aparición de las clases de mayor calidad, en comparación con los tratamientos (Fig. 11).

De acuerdo a los datos de media de humedad obtenidos (Fig. 9 y 10), se evidencia que hubo una mayor conservación de humedad a mayor profundidad del suelo. Esto se ve reflejado también en el área bajo la curva de los datos de humedad obtenidos en el total del tiempo que se realizaron las mediciones (Cuadro 5). Lo anterior indica que el agua de riego aplicada a los tratamientos sí estaba percolando a algunos centímetros de profundidad. Sin embargo, de acuerdo al Cuadro 4, el césped fue irrigado con un porcentaje bajo de la lámina recomendada, por lo que se esperaba una menor humedad a mayor profundidad. Además, un porcentaje tan bajo de la lámina aplicada, eventualmente debería provocar que el césped se marchite en su totalidad. Es posible que la presencia de humedad a mayor profundidad y la conservación del verdor en algunas zonas del césped se atribuya nuevamente al efecto borde. Como se mencionó



anteriormente, el *green* es el área de mayor importancia en la cancha de golf y se mantuvo con riego frecuente durante las semanas de evaluación para evitar su pérdida (González, 2018). Es posible que esos riegos afectaran la zona del *apron*, permitiendo al césped más cercano al borde mantenerse vivo (Fig. 11) y reflejar la humedad observada en los datos obtenidos (Fig. 9 y 10)

A mayor profundidad radical existe menor pérdida por evaporación (Balugani *et al.*, 2018), lo cual también explica la mayor humedad a los 11 cm de profundidad (Fig. 9). La diferencia en la conservación de humedad entre las dos profundidades puede deberse a que a medida que el suelo se va secando, por efecto de la evaporación, se retiene eléctricamente el agua (Chávez *et al.*, 2013), por lo que esa humedad podría no ser captada por los instrumentos de medición utilizados. Además, la mayor cantidad de raíces absorbentes de un césped se encuentran en los primeros centímetros del suelo (Jewsbury, 2017). Lo anterior concuerda con lo observado en campo al tomar las muestras en cilindros, donde se detalló un sistema radicular superficial, por lo que es posible que el agua fuera absorbida rápidamente por las raíces de los primeros centímetros de profundidad

El uso de agente humectante en las condiciones específicas edafoclimáticas y de manejo cultural del campo de golf en Hacienda Pinilla y según la metodología utilizada, no favoreció la conservación de humedad en el suelo (Fig. 9 y 10). En el aspecto general del césped (Fig. 11), nuevamente se reflejó que el uso de agente humectante en las condiciones específicas de Hacienda Pinilla no mostró ventajas, por el contrario, no mejoró la conservación de humedad y el césped presenta un aspecto de menor calidad a nivel general.

De acuerdo al IABC (Cuadro 5), se evidencia que los surfactantes de infiltración presentes en los tratamientos no presentaron ventaja de percolación frente al riego sin agentes humectantes, por el contrario, la presencia de agentes humectantes favoreció la pérdida de humedad. Las sustancias conocidas como

surfactantes se encuentran formados por dos extremos con características físico-químicas distintas: la cabeza hidrofílica que se une a las moléculas de agua para romper la tensión superficial y el ancla lipofílica que se une a la materia orgánica presente en el suelo. Es posible que la ruptura de la tensión superficial en el agua de riego causada por la cabeza hidrofílica del humectante favoreciera la pérdida por evaporación al romper las fuerzas que mantienen unidas las moléculas de agua entre sí (Karnok *et al.*, 2004; Manzur y Cardoso, 2015). También se ha reportado que el uso de agentes humectantes puede presentar cierto nivel de fitotoxicidad al ser absorbido por las raíces (Jaramillo, 2006).

Los agentes humectantes usualmente están formados por dos tipos de sustancias: los surfactantes de infiltración y los surfactantes de hidratación. Los surfactantes de infiltración están formados por una mayor cabeza hidrofílica y una menor ancla lipofílica, por lo que rompen la tensión superficial del agua y permiten que percole con mayor facilidad sin unirse a las superficies de los coloides del suelo. Mientras que los de hidratación tienen una menor cabeza hidrofílica, lo que permite que exista una mayor disponibilidad de agua y una ancla lipofílica más larga, por lo que, son los encargados de que la humedad sea retenida a la materia orgánica del suelo y se mantenga por más tiempo en la zona de interés donde se encuentran las raíces (Riojas *et al.*, 2011; Avilan, 2007; Karnok *et al.*, 2004). Es importante considerar que los agentes humectantes de golf son utilizados comúnmente para el uso en las zonas más delicadas de juego (*tee* y *green*), las cuales se construyen sobre bases de arena (Oatis, 2010). Por lo que, estas sustancias podrían estar diseñadas con anclas lipofílicas de mayor tamaño que le permitan unirse a la matriz del suelo con mayor facilidad para un correcto desempeño en arena y no en un suelo altamente arcilloso como el encontrado en Hacienda Pinilla (Cuadro 6).

En los muestreos de caracterización de suelos se encontraron dos hoyos con un color indicativo de mal drenaje (Fig. 12a y 12b). Sin embargo, la

profundidad de la presencia del suelo mal drenado no es una variable que afecte los primeros centímetros del perfil donde se realizó el procedimiento experimental. Todos los suelos muestreados se pueden clasificar como Alfisoles (Cuadro 6). De acuerdo a Ndzana *et al.* (2018) y al Soil Survey Staff (2015), una de las características de estos suelos es la presencia de un horizonte argílico formado por la acumulación de arcillas, tal y como se pudo corroborar con el análisis textural en el que se detectaron suelos mayormente arcillosos (Cuadro 6). Las arcillas influyen en las propiedades del suelo, como la retención de agua, por su alta capacidad de intercambio catiónico, tamaño coloidal y gran área superficial (Hopkins, 2003; Ndzana *et al.* 2018). El tamaño de partículas provoca que los suelos arcillosos tengan gran cantidad de espacio poroso para el almacenaje de agua, pero ese espacio poroso está compuesto principalmente de microporos, los cuales retienen el agua con elevada tensión en el suelo y para liberarla requieren una gran diferencia de potencial hídrico (Gisbert *et al.*, 2012; Tang *et al.*, 2016). Lo anterior implica que el Punto de Marchitez Permanente (PMP) y el agua útil para las plantas se presenta a altos porcentajes de humedad volumétrica en un suelo arcilloso. Esto se refleja en las curvas de retención obtenidas en los suelos muestreados (Figura 8), donde el agua útil se encuentra en humedades volumétricas arriba del 20%. Todos los tratamientos y el testigo se encontraron en promedio por debajo de ese PMP registrado en las curvas de retención (Fig. 9 y 10). En ninguna de las semanas se encontró una humedad volumétrica adecuada para su absorción por parte del césped. Esto se relaciona directamente con lo obtenido en el Cuadro 4, donde se puede observar que todos los tratamientos fueron irrigados con un porcentaje muy inferior al adecuado para las características edafoclimáticas de la zona. Con estos resultados, es posible que una de las razones por las que el césped se mantiene vivo en la zona del *apron*, como se mencionó anteriormente, sea el efecto borde obtenido de los riegos frecuentes en la zona del *green*.

## **Conclusiones**

- El diseño experimental utilizado no permitió evaluar el efecto del agente humectante como una ventaja para la conservación de humedad en el campo de golf de Hacienda Pinilla.
- Los datos obtenidos no permiten identificar o evaluar diferencias entre las dos frecuencias de riego utilizadas, tanto en conservación de humedad del suelo, así como en la calidad de césped del campo de golf estudiado.
- No fue posible contar con un número adecuado de repeticiones reales. Lo cual implica que los resultados obtenidos no deben ser extrapolados y son únicamente aplicables para las condiciones edáficas y climatológicas propias del campo de golf de Hacienda Pinilla.

## Recomendaciones

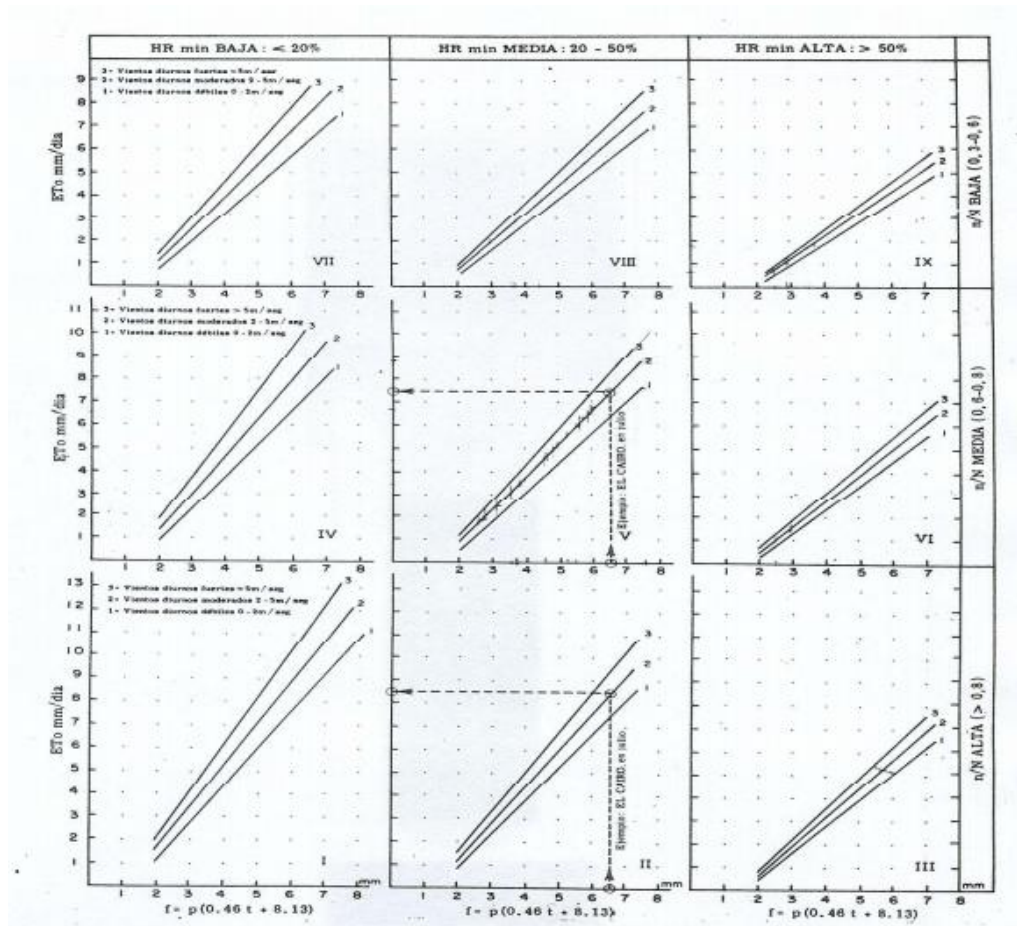
- Mejorar el método de riego que se utiliza, incluyendo un correcto cálculo de la lámina de riego y regar de acuerdo a las necesidades del césped. En el Anexo 4 se observa un ejemplo de cálculo de riego adecuado, de acuerdo a los datos obtenidos de las muestras.
- Una vez que se mejore la metodología de riego, se recomienda volver a diseñar un experimento que permita conocer el desempeño del agente humectante en la conservación de la humedad en campo.
- En caso de realizar un experimento en condiciones similares, se recomienda hacer pruebas experimentales con mayor cantidad de marcas comerciales de agentes humectantes.
- También se deben buscar zonas del campo de golf donde se puedan evitar posibles efectos de borde con zonas que requieran tratamientos y riegos diferentes a los aplicados experimentalmente.
- Se recomienda tomar al menos 6 a 7 puntos de retención de humedad a las muestras no disturbadas para poder ajustar un modelo matemático a la construcción de la curva de humedad.
- Es importante también considerar la inclusión de una mayor cantidad de variables hidrológicas del suelo que permitan describir correctamente el comportamiento de un agente humectante en campo, como por ejemplo contenido de materia orgánica, velocidad de infiltración, flujo preferencial, densidad de partículas, caracterización de estructura física, etc.
- Para futuros estudios, se puede considerar incluir todos los tratamientos en un mismo hoyo, separados entre sí por una distancia suficiente para eliminar el efecto de borde. Esto permitiría disminuir el efecto individual que tuvo cada hoyo con sus características específicas sobre el tratamiento que se le asignó. Esto se debe repetir en al menos 3 hoyos para mantener un número adecuado de repeticiones reales.

- Se debe considerar utilizar zonas del campo de golf de menor tránsito y juego que el *appron*, para evitar que se limite la toma de muestras y el estudio de los suelos por encontrarse en una zona altamente comercial del campo.

## Anexos

## ANEXO 1

Método gráfico para el cálculo de evapotranspiración potencial, de acuerdo al método de Blaney y Criddle, modificado por Calvo (2005).



$$(f) = p(0.46 \cdot T_m + 8.13)$$

(f): factor de uso consuntivo de Blaney y Criddle

p: porcentaje de horas luz diarias en el periodo considerado (% anual)

Tm: Temperatura media diaria en el periodo considerado (°C)

**Fórmula para el cálculo de lámina de riego aplicada, modificado de Calvo (2005).**

$$Lr=d/a*t$$

Lr: Riego aplicado (mm)

d: Descarga por aspersor (l/min)

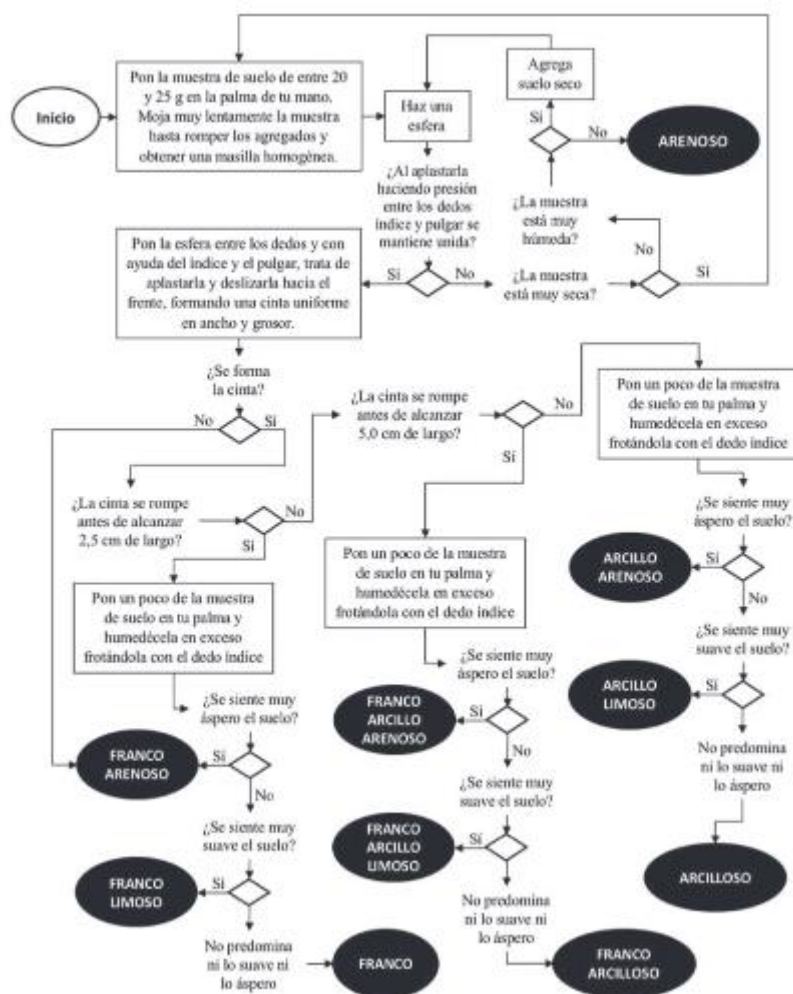
a: Área cubierta por aspersor (m<sup>2</sup>)

t: tiempo de riego (min)



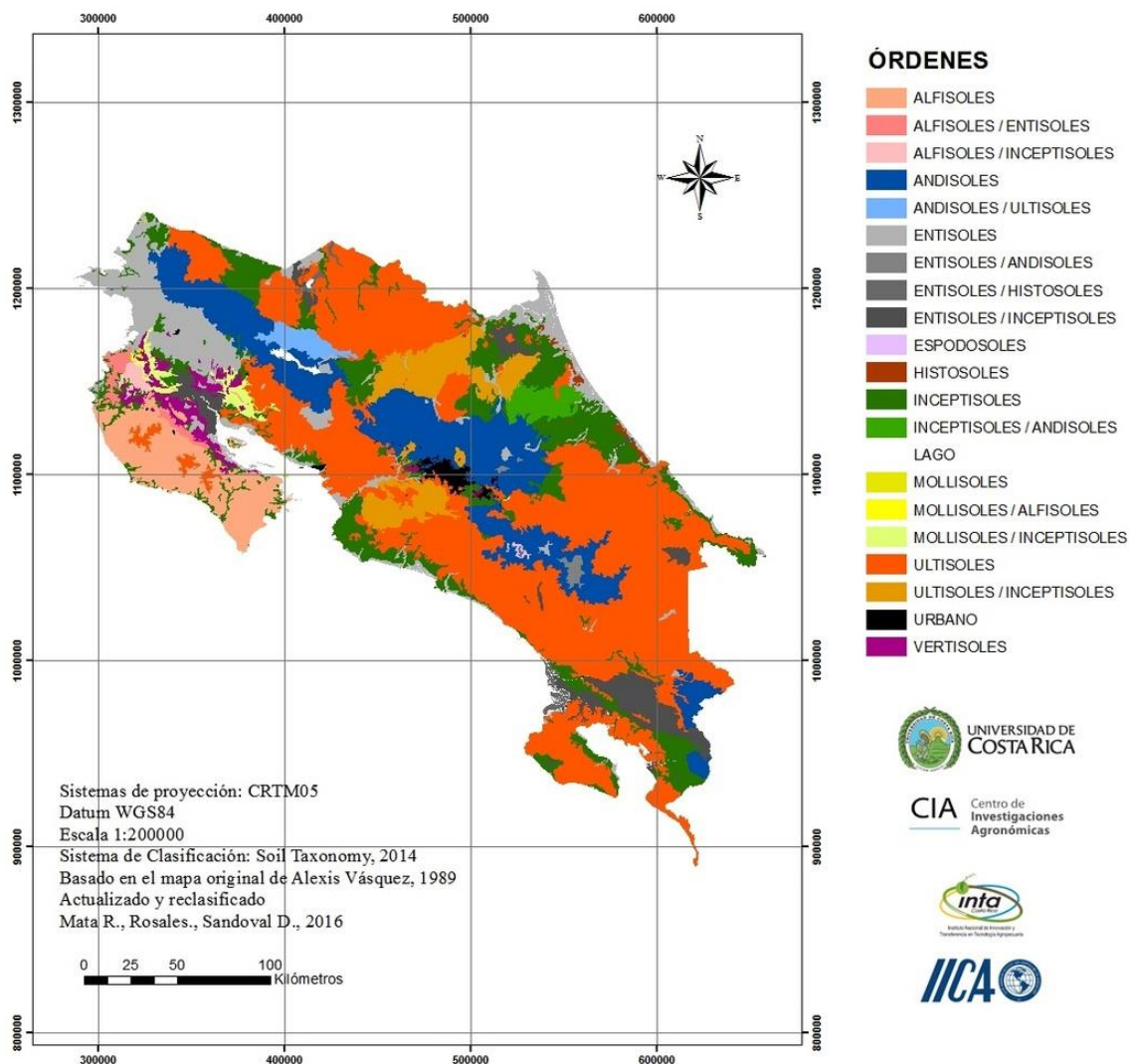
## ANEXO 2

## Método para determinar textura de suelos al tacto (Lozano-Rivas, 2016).



## ANEXO 3

**Mapa de Órdenes de Suelos de Costa Rica (Vásquez, 1989; modificado por Mata y Rosales, 2016).**



## ANEXO 4

### Fórmula para el cálculo de la lámina de riego

$$LR = (CC - PMP) / 100 * Da * Pr$$

LR: Lámina de riego (L)

CC: Capacidad de campo (%)

PMP: Punto de marchitez permanente (%)

Da: Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)

Pr: Profundidad de raíces (cm)

Fuente: Calvo, 2005; Monje, 2006.

### Cálculo de frecuencia de riego recomendada de acuerdo al hoyo

Tratamiento	CC		DENSIDAD	Eto	Lámina bruta		Agotamiento	Lámina	Kc	Frecuencia	
	-33 kPa	-1500 kPa			g/cm <sup>3</sup>	mm	cm	mm		permissible	neta
HOYO 7 (T1)	<b>53</b>	<b>30</b>	1,4	5,0	3,14	31,4	0,6	18,8	1,0	3,8	90,4
HOYO 15 (T2)	<b>47</b>	<b>26</b>	1,4	5,0	3,01	30,1	0,6	18,1	1,0	3,6	86,8
HOYO 11 (T3)	<b>69</b>	<b>37</b>	1,3	5,0	4,04	40,4	0,6	24,2	1,0	4,8	116,2
HOYO 3 (T4)	<b>80</b>	<b>45</b>	1,2	5,0	4,18	41,8	0,6	25,1	1,0	5,0	120,5
HOYO 10 (Testigo)	<b>55</b>	<b>17</b>	1,2	5,0	4,75	47,5	0,6	28,5	1,0	5,7	136,7

## Literatura consultada

Anagolf | Asociación Nacional de Golf. 2012. (en línea, sitio web). Consultado 1 dic. 2019. Disponible en <https://www.anagolf.org/site/>

Angella, G; Frías, C; Salgado, R. 2016. Conceptos Básicos de las Relaciones Agua-Suelo-Planta. (Serie Divulgación) 93:34.

Audubon International. 2017. ACSP for Golf (en línea, sitio web). Consultado 22 feb. 2017. Disponible en <https://auduboninternational.org/acsp-for-golf/>.

Avilan Ayala, A. 2007. Implementación de surfactantes como método de tratamiento para aguas subterráneas contaminadas con DNAPLs (en línea). Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Disponible en [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/112](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/112).

Badawi, N; Rosenbom, AE; Jensen, AMD; Sørensen, SR. 2016. Degradation and sorption of the fungicide tebuconazole in soils from golf greens. Environmental Pollution 219:368-378. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.10.045>.

Ballantine, J. 2016. Diccionario de Golf Inglés-Español (en línea). s.l., English&Golf Experience. Consultado 26 sep. 2019. Disponible en <https://es.scribd.com/document/340334195/Diccionario-20de-20Golf-20Ingl-C3-A9s-Espa-C3-B1ol-pdf>.

Balugani, E; Lubczynski, MW; van der Tol, C; Metselaar, K. 2018. Testing three approaches to estimate soil evaporation through a dry soil layer in a semi-arid area. Journal of Hydrology 567:405-419. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.10.018>.

Blanco, P. 2019. Guanacaste en la encrucijada frente al clima (en línea, sitio web). Consultado 31 oct. 2020. Disponible en <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2019/07/10/guanacaste-en-la-encrucijada-frente-al-clima.html>.

Bonilla M., C; Cancino V., J. 2001. Soil water content estimation using pedotransfer functions. *Agricultura Técnica* 61(3):326-338. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0365-28072001000300008>.

Calow, P. 1998. Soil moisture (en línea). *The encyclopedia of ecology and environmental management*. . s.l., Blackwell Publishers. Consultado 28 jun. 2020. Disponible en [http://ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr:2048/login?qurl=https%3A%2F%2Fsearch.credoreference.com%2Fcontent%2Fentry%2Fbkeem%2Fsoil\\_moisture%2F0%3Finstitutio%3D7919](http://ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr:2048/login?qurl=https%3A%2F%2Fsearch.credoreference.com%2Fcontent%2Fentry%2Fbkeem%2Fsoil_moisture%2F0%3Finstitutio%3D7919).

Calvo Gamboa, L. 2005. Métodos de riego: Un enfoque práctico para el diseño. 1°. San José, ACCS. 168 p.

CATURGUA. 2018. Actividades y atracciones en guanacaste (en línea, sitio web). Consultado 5 oct. 2018. Disponible en <https://caturgua.com/es/sobre-guanacaste/actividades-y-atracciones-turisticas-en-guanacaste>.

Chávez, JAA. 2013. Soil-water retention curve and beginning of monitoring in Tierra Blanca Joven (TBJ) = Curva de retención suelo-agua e inicio de monitoreo en Tierra Blanca Joven (TBJ) (en línea). s.l., s.e. Consultado 30 ago. 2020. Disponible en <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/view/13105/12377>.

Coronado, JG; González, HM. 2009. Correlaciones entre la curva de retención de humedad y propiedades físico-químicas de los suelos de La Habana. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 18(2):40-46.

Durán, JJ; Fernández, ML; Ruiz, RMM; Ardila, PAR. 2001. Las aguas subterráneas y los campos de golf. Una aproximación integradora (en línea). *In V* Simposio sobre el Agua en Andalucía, Vol. 2, 2001, ISBN 84-8249-459-8, págs. 61-68. s.l., Universidad de Almería. p. 61-68. Consultado 26 sep. 2019. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1204102>.

Eisenberg, D; Kauzmann, W; Kauzmann, W. 2005. *The Structure and Properties of Water*. s.l., OUP Oxford. 315 p.

FAO. 2002. EL AGUA Y LA AGRICULTURA (en línea, sitio web). Consultado 15 feb. 2017. Disponible en <http://www.fao.org/WorldFoodSummit/sideevents/papers/Y6899S.htm>.

Fernández, DA; Boubeta, JR. 2013. Evaluación de la calidad percibida de los servicios deportivos en el ámbito universitario. *Revista de Psicología del Deporte*. 22:111-121.

Flores, B. 2020. Guanacaste sostiene el turismo nacional (en línea, sitio web). Consultado 24 nov. 2020. Disponible en <https://www.larepublica.net/noticia/guanacaste-sostiene-el-turismo-nacional>.

Gisbert Blanquer, JM; Ibañez Asensio, S; Moreno Ramón, H. 2012. El espacio poroso del suelo (en línea). Consultado 26 sep. 2019. Disponible en <https://riunet.upv.es/handle/10251/16873>.

Gómez, D; Leandro, P. (2014). Efecto de los Agentes Humectantes en la zona radical y en la Incidencia de Manchas Secas Localizadas (LDS) (en línea). Valencia, Universitat Politècnica de València. 42 p. (Final). Disponible en <http://www.rfegolf.es/ArticulosDocumento/Comit%C3%A9%20Green%20Section/2014/Green%20Section/Publicaciones/Informe%20final%20estudio%20agentes%20humectantes%202014.pdf>.

González, D. 2018. Superintendente golf Hacienda Pinilla. s.l., s.e.

Hacienda Pinilla. 2017. Golf - Hacienda Pinilla | Premium Beach Properties & Rentals (en línea, sitio web). Consultado 21 feb. 2017. Disponible en <http://www.haciendapinilla.com/golf/#2>.

Henríquez, C; Cabalceta, G. 2012. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. s.l., s.e. 112 p.

Hernández, LA; Suárez, J; Gómez, A; Martín, GJ; Medina, R; Hernández, AF. 2007. El césped, un producto basado en el conocimiento Turfgrass, a product based on knowledge. Pastos y forrajes 30:61-71.

Hernández-Ulate, A; Picón, J. 2013. Huella hídrica en tierras secas: el caso del turismo de sol y playa en Guanacaste (Costa Rica). Revista de Ciencias Ambientales 45. DOI: <https://doi.org/10.15359/rca.45-1.4>.

Herrera, W. 2018. Revista internacional eligió los mejores campos de golf de Costa Rica (en línea). s.l., s.e.; 8 may. Consultado 18 oct. 2020. Disponible en <https://www.larepublica.net/noticia/revista-internacional-eligio-los-mejores-campos-de-golf-de-costa-rica>.

Hopkins, DG; Franzen, DW. 2003. Argillic Horizons in Stratified Drift. Soil Science Society of America Journal 67(6):1790-1796. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2003.1790>.

INEC. 2011. X censo nacional de población y VI de vivienda 2011: características económicas. 1a ed. San José, INEC. 444 p.

Instituto Meteorológico Nacional. (2015). Promedios de datos climáticos Hacienda Pinilla. s.l., ASADA Malinches de Pinilla.

Iturria Aguinaga, I. 2017. Dinámica del flujo preferencial de agua en suelos agrícolas de Navarra (en línea) (En accepted: 2017-04-20t12:49:39z). . Consultado 8 dic. 2020. Disponible en <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/handle/2454/24108>.

Jaramillo, DFJ. 2006. Repelencia al agua en suelos: Una síntesis. (Serie Ciencias de la tierra) 30(115):18.

Jewsbury, G. 2017. Cubresuelos: Césped y otros (en línea) (En accepted: 2017-06-10t14:11:49z). . Consultado 30 ago. 2020. Disponible en <https://ansenuza.unc.edu.ar/comunidades/handle/11086.1/1168>.

Karnok, KJ; Xia, K; Tucker, KA. 2004. Wetting agents: What are they, and how do they work. *Golf Course Management* 72(6):84–86.

Khaddour, G; Riedel, I; Andò, E; Charrier, P; Bésuelle, P; Desrues, J; Viggiani, G; Salager, S. 2018. Grain-scale characterization of water retention behaviour of sand using X-ray CT. *Acta Geotechnica* 13(3):497-512. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11440-018-0628-7>.

Krans, J; Morris, K. 2007. Determining a Profile of Protocols and Standards used in the Visual Field Assessment of Turfgrasses: A Survey of National Turfgrass Evaluation Program-Sponsored University Scientists (en línea). *Applied Turfgrass Science* . Disponible en <https://pubag.nal.usda.gov/pubag/downloadPDF.xhtml?id=12191&content=PDF>.

Lehrsch, G; Sojka, RE; Koehn, AC. 2012. Surfactant effects on soil aggregate tensile strength. *Publications from USDA-ARS / UNL Faculty* :199-206. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.06.015>.



Lehrsch, GA; Sojka, RE. 2011. Water quality and surfactant effects on the water repellency of a sandy soil. *Journal of Hydrology* 403:58-65. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.03.040>.

Leiva, J. 2020. Datos Hacienda Pinilla. s.l., s.e.

LESCO Technologies LLC. 2009. Moisture Manager Product Specifications (en línea). s.l., s.e. Consultado 25 ene. 2017. Disponible en [http://www.moisturemanager.com/literature/MM\\_specifications.pdf](http://www.moisturemanager.com/literature/MM_specifications.pdf).

Lozano-Rivas, WA. 2016. Suelos: guía de prácticas simplificadas en campo y laboratorio (en línea). Universidad Piloto de Colombia. Colombia, s.e. 90 p. Consultado 29 nov. 2020. Disponible en <http://www.digitaliapublishing.com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr:2048/a/52128/suelos--guia-de-practicas-simplificadas-en-campo-y-laboratorio>

Manzur, A; Cardoso, J. 2015. Velocidad de evaporación del agua. *Revista mexicana de física E* 61(1):31–34.

Mata, R; Rosales; Sandoval, D. 2016. Mapa de Ordenes de Suelos Costa Rica. s.l., CIA.

Miller, JP. 2007. Sensor-based irrigation and wetting agent application effects on a sand-based putting green (en línea). M.S. Ann Arbor, United States, s.e. 46 p. Consultado 12 jul. 2020. Disponible en <http://search.proquest.com/docview/304897387/abstract/AF1B27213C94BCFPQ/1>.

Mitra, S; Vis, E; Kumar, R; Plumb, R; Fam, M. 2006. Wetting agent and cultural practices increase infiltration and reduce runoff losses of irrigation water. *Biologia* 61(19):S353-S357. DOI: <https://doi.org/10.2478/s11756-006-0188-4>.

Moken, J. 2009. The influence of nitrogen fertigation rate and frequency on Tifway 419 hybrid bermudagrass and nitrate leaching using subsurface drip irrigation (en línea). s.l., ProQuest Dissertations Publishing. . Consultado 22 oct. 2020. Disponible en <http://search.proquest.com/docview/305182009/?pq-origsite=primo>.

Monje, R. 2006. Manejo de céspedes con bajo consumo de agua (en línea). 2°. s.l., Junta de Andalucía (Jardinería y Floricultura). 107 p. Disponible en [https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337163240Manejo\\_de\\_cxsped.es.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337163240Manejo_de_cxsped.es.pdf).

Morris, K; Robert, S. s. f. NTEP Turfgrass Evaluation Guidelines (en línea). s.l., s.e. Disponible en <https://www.ntep.org/pdf/ratings.pdf>.

Navarro-Flores, J. 2012. La técnica del área bajo la curva (en línea) (En accepted: 2012-02-17t16:45:41z). . Consultado 18 oct. 2020. Disponible en <http://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/585>.

Ndzana, GM; Huang, L; Wang, JB; Zhang, ZY. 2018. Characteristics of clay minerals in soil particles from an argillic horizon of Alfisol in central China. Applied Clay Science 151:148-156. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.10.014>.

Nemes, A; Pachepsky, YA; Timlin, DJ. 2011. Toward Improving Global Estimates of Field Soil Water Capacity. Soil Science Society of America Journal 75(3):807-812. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2010.0251>.

Oatis, D. 2010. La evolución de un putting green. Green section record :7. Consultado 10 de nov 2020. Disponible en <https://studylib.es/doc/5907920/la-evoluci%C3%B3n-de-un-putting-green>

Ou, L; Latin, R. 2018. Influence of Management Practices on Distribution of Fungicides in Golf Course Turf. Agronomy Journal 110(6):2523-2533. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2018.02.0115>.

Pantebre, JCT; Marçay, MSD. 2001. Utilidad de la técnica TDR para la medida de la variación espacial y temporal de la humedad del suelo en campos de golf. *Edafología* 8(3):10.

Pérez, KM. 2020. El agua de Costa Rica aún tiene muchos retos, y oportunidades, por cumplir. Text (en línea, sitio web). Consultado 31 oct. 2020. Disponible en <https://www.tec.ac.cr/hoyeneltec/2020/03/20/agua-costa-rica-aun-tiene-muchos-retos-oportunidades-cumplir>.

Quesada-Hernández, LE; Hidalgo, HG; Alfaro, EJ. 2020. Asociación entre algunos índices de sequía e impactos socio-productivos en el Pacífico Norte de Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales* 54(1):16-32. DOI: <https://doi.org/10.15359/rca.54-1.2>.

Riojas, H; Moroyoqui, P; Mondaca, I; Balderas, J. 2011. Influencia de los Surfactantes en la Remediación de Suelos Contaminados con Hidrocarburo (en línea). s.l., Universidad Militar de Nueva Granada. Consultado 30 ago. 2020. Disponible en <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/2066/1593>.

Rodríguez, C. (2016). Mantenimiento y riego de jardines de residenciales de manera sostenible durante la época seca en Hacienda Pinilla, Guanacaste. Hacienda Pinilla, UCR. 7 p.

Soil Survey Staff . 2014. Claves para la Taxonomía de Suelos. 12 ed. Departamento de Agricultura de Estados Unidos. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. 399 p.

Soil Survey Staff. 2015. Illustrated guide to soil taxonomy, version 2. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, Nebraska. 681 p.

Solís, M. 2017. El golf se viste de fiesta en Costa Rica con el Guanacaste Classic (en línea). s.l., s.e.; 20 jul. Consultado 18 oct. 2020. Disponible en <https://www.periodicomensaje.com/deportes/1804-el-golf-se-viste-de-fiesta-en-costa-rica-con-el-guanacaste-classic>.

Szigety, E; Viau, J; Ferreira, MAT; Gibbs, H. 2012. Tensión superficial: un modelo experimental con materiales sencillos. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias 9(3):393-400.

Tang, L; Chen, H; Song, J. 2016. Process of pore pressure diffusion in saturated clay soil and impact of adsorbed water. Geosciences Journal 20(5):649-665. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12303-016-0002-4>.

The grass outlet. 2018. 419 Tifway Bermuda Grass - Farm to Home Delivery. (en línea, sitio web). Consultado 8 nov. 2018. Disponible en <https://thegrassoutlet.com/shop/419-tifway-bermuda-grass/>.

THE TORO COMPANY. 1997. 750 Series Rotary Sprinkler INSTALLATION & SERVICE INSTRUCTIONS (en línea). s.l., s.e. Consultado 5 nov. 2018. Disponible en <https://www.centuryequip.com/media/TechTips/Toro%20750%20Series%20Sprinklers.pdf>.

Tico Times. 2017. From Pasture to Paradise: Hacienda Pinilla. (en línea, sitio web). Consultado 22 feb. 2017. Disponible en <https://ticotimes.net/2012/05/17/from-pasture-to-paradise-hacienda-pinilla>.

Tidåker, P; Wesström, T; Kätterer, T. 2017. Energy use and greenhouse gas emissions from turf management of two Swedish golf courses. Urban Forestry & Urban Greening 21:80-87. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.11.009>.

Tuffour, HO; Asare, J; Nutakor, GM. 2018. Prediction of infiltration from soil hydraulic properties. EURASIAN JOURNAL OF SOIL SCIENCE (EJSS) 7(1):64-72. DOI: <https://doi.org/10.18393/ejss.336816>.

USGA. 2018. Building the USGA putting green: Tips for success. s.l., s.e. 31 p.