



FACULTAD DE AGRONOMÍA  
**Universidad Nacional de La Pampa**

Trabajo Final de Graduación

**HIDROFOBICIDAD EN UN SUELO DEL CALDENAL:  
DETERMINACIÓN, ORIGEN Y MANEJO**

Autores:

DALMASSO, Lucas Pablo

PORTA SIOTA, Fernando

Directora:

Lic. HEPPER, Estela Noemí

Co-directora:

Lic. LARROULET, María Sofía

Ingeniería Agronómica

**Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa**

Año: 2015

## INDICE

Resumen .....	2
Palabras clave .....	2
Abstract .....	3
Key words .....	3
Introducción .....	4
Hipótesis .....	9
Objetivos.....	9
Materiales y métodos .....	11
Sitio de muestreo .....	11
Modificación de un método para la determinación del grado de repelencia .....	11
Origen de la hidrofobicidad.....	13
Manejo de la hidrofobicidad superficial del suelo.....	16
Análisis estadístico de los datos .....	17
Resultados y discusión .....	18
Modificación de un método para la determinación del grado de repelencia .....	18
Origen de la hidrofobicidad .....	22
Manejo de la hidrofobicidad superficial de suelo.....	25
Conclusiones.....	28
Bibliografía.....	29

## RESUMEN

En suelos del área del caldenal pampeano se detectó hidrofobicidad en los primeros centímetros del perfil. Los objetivos planteados fueron: establecer un protocolo para la determinación del grado de repelencia del suelo al agua; corroborar el efecto de una quema controlada sobre ésta variable en suelos con diferente vegetación; determinar la presencia de sustancias hidrofóbicas en la capa de broza en parches de vegetación no forrajera bajo caldén; evaluar las características de dichas sustancias hidrofóbicas y determinar si el rolado selectivo tiene incidencia sobre la hidrofobicidad superficial detectada. Se estudiaron muestras de suelo y de broza de un Haplustol Éntico de textura franco arenosa con diferentes tipos de vegetación. Se determinó el grado de repelencia y la persistencia de la repelencia al agua en muestras de los tratamientos pre y post quema, testigo y rolado selectivo. Se extrajeron las sustancias hidrofóbicas de la broza y se evaluaron por espectrofotometría sus características. El protocolo establecido para la determinación del grado de repelencia al agua, donde se incorporó el tamizado de las muestras permitió disminuir la variabilidad detectada en determinaciones previas. La quema controlada en general aumentó los niveles de hidrofobicidad superficial en función del tipo de vegetación dominante. La broza generada por *Prosopis caldenia* Burkart, produce hidrofobicidad en la superficie del suelo. Las sustancias hidrofóbicas presentes en la misma, poseen un alto grado de humificación y de grupos funcionales ácidos. La descomposición de la broza, puede liberar compuestos hidrofóbicos y generar superficies repelentes al agua. La práctica de rolado provoca disminución de la hidrofobicidad del suelo, debido a la abrasión de los agregados hidrofóbicos.

PALABRAS CLAVE: repelencia al agua, quema controlada, rolado selectivo, parches de vegetación.

## ABSTRACT

Hydrophobicity is a condition observed in the superficial layer of soils from the area of caldén (*Prosopis caldenia*) forest included in La Pampa province, Argentina. In view of such a problem, the present work was aimed to: (1) design a protocol for determining the degree of soil water repellency; (2) evaluate the effect of land controlled burning on water repellency of soils covered by different kinds of vegetation; (3) assess the presence of hydrophobic substances in the plant litter layer of non-fodder vegetation patches under caldén trees; (4) evaluate the nature of those hydrophobic substances; and (5) ascertain whether selective roller-chopping affects the observed hydrophobicity of soil superficial layer. Samples for the study were taken from an entic haplustoll soil having a sandy loam texture and plant litter from different kinds of vegetation. The determinations of water repellency degree and persistence were performed on samples from treatments that involved control, pre-burning, post-burning and roller-chopping experimental conditions. Hydrofobic substances were extracted from plant litter and their chemical characteristics evaluated by spectrophotometry. The protocol assayed in this work for assessing the degree of soil water repellency, which included a step for sample sieving, was superior to previous ones because of allowing determinations to be less variable. In general, controlled burning promoted an increase in soil superficial layer hydrophobicity that varied depending on the type of dominant vegetation. Plant litter accumulated under caldén trees is the cause of hydrophobicity in the soil superficial layer. That material contains hydrophobic substances with a high capacity of humification and many acidic functional groups. Decomposition of plant litter can produce hydrophobic substances which generate water repellency in soil surface areas. Roller-chopping lowered soil hydrophobicity because of its abrasive effect on soil aggregates.

KEY WORDS: water repellency, controlled burning, selective roller-chopping, vegetation patches.

## INTRODUCCIÓN

En el bosque de caldén (*Prosopis caldenia* Burkart) pampeano, el estudio de la captación de agua por el suelo es de suma importancia, ya que éste pertenece a la región Semiárida Pampeana Central donde las precipitaciones anuales limitan, principalmente, la productividad del pastizal natural. En este ambiente se llevan a cabo investigaciones tendientes a evaluar propiedades edáficas relacionadas con el ingreso del agua al perfil, tales como parámetros de hidrofobicidad o repelencia al agua y de infiltración y escurrimiento. Doerr *et al.* (2000) mencionan al género *Prosopis* como responsable de aportar sustancias que generan hidrofobicidad en los suelos. Hepper *et al.* (2013) trabajando en un suelo Haplustol Éntico de textura franco arenosa de la región semiárida pampeana, detectaron que la hidrofobicidad, se vio influenciada por la vegetación predominante sobre la superficie. Estos autores clasificaron al suelo con predominancia de especies forrajeras como ligeramente repelente al agua, mientras que a los suelos con vegetación no forrajera bajo caldén y con vegetación arbustiva como fuertemente repelentes, de acuerdo a la clasificación propuesta por Dekker & Ritsema (2000).

La repelencia al agua o hidrofobicidad de un suelo podría deberse a la acumulación de ciertos tipos de compuestos orgánicos hidrofóbicos, los cuales no presentan un grado de alteración muy avanzado, es decir, no se corresponden con humus propiamente dicho. Dentro de los compuestos que generan hidrofobicidad se mencionan compuestos alifáticos de cadena larga, alcoholes, ésteres de ceras con cadenas extensas de polimetileno. Además en suelos repelentes al agua han sido aislados ácidos grasos, alcanos, fitoles, derivados de fitol y esteroides (Ma'shum *et al.*, 1988). La afinidad o repelencia de una superficie sólida con el agua es el resultado de las fuerzas intermoleculares de naturaleza electrostática que se establecen en la interfase sólido-líquido, éstas no sólo actúan entre moléculas de iguales características

(fuerzas de cohesión), sino también entre moléculas de distintas características (fuerzas de adhesión). Una gota de agua penetra en el suelo cuando el ángulo de contacto suelo/agua es menor o igual a  $90^\circ$ , si éste es mayor de  $90^\circ$  el suelo impide el ingreso de la gota. La disminución de la tensión superficial de una sustancia sólida reduce su humedecimiento, mientras que la reducción en la tensión superficial del líquido aplicado al sólido, lo aumenta. Se reconoce que la repelencia al agua es un fenómeno de superficie específica. Una situación que puede restarle importancia al fenómeno de superficie específica es que las partículas o los agregados no tienen que estar recubiertos completamente con sustancias hidrofóbicas para que el suelo, en su conjunto, se manifieste como tal (Bisdorn *et al.*, 1993; Dekker, 1998; Doerr *et al.*, 2000).

Existen dos tipos de repelencia, la natural y la inducida. La primera depende de la textura, acidez y tipo de cobertura vegetal (Fabres, 2001) y se ve incrementada con aumentos de la materia orgánica y disminuida con aumentos en los contenidos de arcilla y limo de los suelos (Harper *et al.*, 2000). Los compuestos hidrofóbicos pueden producirse por el metabolismo y/o la descomposición de organismos, principalmente vegetales y microbianos (Doerr *et al.*, 2000). Las plantas hacen el mayor aporte de sustancias potencialmente generadoras de repelencia al agua en el suelo. Prácticamente todos sus órganos contienen compuestos hidrofóbicos que pasan al suelo, ya sea por su descomposición, parcial o total, por lavado de las superficies vegetales vivas o porque fluyen hacia el suelo en forma de exudados. La hidrofobicidad generada de esta forma se encuentra comúnmente en la superficie del suelo. Cuando éste está recubierto de una capa de broza, con mayor frecuencia la hidrofobicidad se ubica en el contacto entre los dos materiales, afectando la fracción mineral del mismo, aunque la broza también puede presentarse hidrofóbica (Jaramillo Jaramillo, 2005). Gallace *et al.* (2012), trabajando con suelos del caldenal, encontraron que el

grado de repelencia fue mayor cuando se evaluó la superficie del suelo con la cobertura de broza aportada por la vegetación y menor cuando al mismo suelo se le retiró dicha cobertura. Esto evidencia que en este suelo la hidrofobicidad tiene su origen en la capa que lo recubre formada por inter-mezclas de partículas minerales del suelo con materia orgánica fresca, como restos de raíces, hojas, tallos (Bisdorn *et al.*, 1993). Por este motivo, la acumulación excesiva de broza debería evitarse, una forma de hacerlo sería favoreciendo su rápida descomposición por medio de alguna práctica de laboreo que permita una buena aireación de la capa superficial del suelo (Jaramillo Jaramillo, 2011).

La hidrofobicidad también puede ser inducida en el suelo por incendios, quemas y procesos de calentamiento o secado (DeBano, 2000; Dekker & Ritsema, 2000). En la región del caldenal, el uso del fuego en condiciones controladas y acotadas es una práctica de manejo que está muy arraigada en los productores agropecuarios, quienes la utilizan con el fin de incrementar la producción ganadera, controlar plagas y enfermedades y reducir el peligro de fuegos accidentales o espontáneos. Hepper *et al.* (2010) concluyeron que el uso de una quema controlada puede producir disminución de la infiltración de agua en el suelo con cobertura vegetal dominada por especies no forrajeras, debido al aumento de repelencia superficial natural y por la formación de una capa hidrofóbica a 1 cm de profundidad. Durante la combustión de la vegetación y restos vegetales se libera energía calórica que se transmite a la interfase suelo-broza y al cuerpo del suelo generándose, en algunos casos, un importante gradiente de temperatura, por ejemplo, en una quema se han registrado temperaturas de 850°C en la interfase mientras que a 5 cm de profundidad no superaron los 150°C. Este cambio abrupto de temperatura puede producir la condensación de sustancias hidrofóbicas, volatilizadas durante la quema de material orgánico, sobre partículas minerales del suelo y

originar una capa hidrofóbica a una profundidad que puede variar entre 0,5 y 5 cm por debajo de la superficie (DeBano, 2000, Parsons *et al.*, 2010).

La presencia de repelencia al agua en los suelos puede generar grandes pérdidas en la producción agropecuaria y forestal por reducción de la infiltración, lo que resulta en una menor disponibilidad de agua para las plantas. La velocidad de infiltración del agua en suelos con repelencia es menor que en aquellos suelos no repelentes (Ritsema *et al.*, 1993), esto origina esorrentía superficial, flujo lateral, y asociado a ello aumento de la erosión, con riesgo de pérdidas de nutrientes y contaminación de las aguas superficiales. También puede producirse el flujo preferencial de agua y patrones de humedecimiento irregulares, lo que reduce el volumen de suelo húmedo de los horizontes superficiales donde se da el mayor desarrollo radical y por lo tanto menor cantidad de agua disponible para las plantas, afectándose también la germinación de las semillas (Jaramillo Jaramillo, 2011).

En la ecoregión del Espinal, distrito del Caldén, la ganadería es la principal actividad productiva, la práctica de pastoreo con herbívoros domésticos genera modificaciones en la estructura de la cubierta vegetal y en la dinámica de las comunidades vegetales dependiendo de la intensidad y frecuencia del pastoreo (Sala, 1988; Facelli *et al.*, 1988; Milchunas *et al.*, 1988; Laycock, 1991). La estructura del caldenal ha sufrido modificaciones como consecuencia de la incorporación del ganado doméstico y por incendios, entre otros factores. Un efecto no deseado del mal manejo del bosque de caldén ha sido el incremento en la densidad de especies leñosas, comúnmente denominado arbustización del bosque (“fachinal”), con la consecuente disminución de la productividad. Un tratamiento mecánico utilizado para controlar la densidad de leñosas es el rolado selectivo, que consiste en el pasaje de un rolo cortador traccionado por tractor o topadora. El rolado aplasta los estratos leñosos bajos y medianos (“fachinal”) y deja en pie un cierto número de árboles y arbustos de distinta edad y



tamaño, de acuerdo al deseo del operador (Kunst *et al.*, 2008). Esta práctica de manejo podría disminuir la hidrofobicidad superficial del suelo ya que contribuiría a aumentar la aireación y con ello la tasa de descomposición de los restos orgánicos. Por otra parte, el laboreo del suelo puede tener un efecto de abrasión entre los agregados hidrofóbicos con lo que se removerían recubrimientos orgánicos y se reduciría el grado de repelencia (Jaramillo Jaramillo, 2011).

Para medir la repelencia al agua varios autores han propuesto utilizar variables estimadoras de esta propiedad tales como el grado o severidad de la repelencia y la persistencia de la misma. La primera se definió como el grado de resistencia que opone el suelo al humedecimiento durante un tiempo limitado de contacto entre la fase sólida y líquida. Una forma de estimarlo es mediante el ángulo de contacto, medición que requiere de instrumental específico y presenta varias dificultades como el hecho de que al transcurrir el tiempo de contacto el ángulo se va modificando. Watson & Letey (1970) propusieron usar la tensión superficial de un líquido que logra humedecer el suelo con un ángulo de 90°. Para determinar el grado de repelencia, se utiliza la concentración molar o porcentaje de alcohol en una solución de etanol en agua cuya gota penetra al suelo en un tiempo de 5 s o 10 s (King, 1981; Watson & Letey, 1970; Dekker & Ritsema, 1994). Por otra parte, para evaluar la persistencia de la repelencia al agua se propone medir el tiempo que tarda una gota de agua en ingresar al suelo y humedecerlo, estimando así la estabilidad de la repelencia, método conocido como WDPT (water drop penetration time). En estudios realizados en suelos del caldenal, los valores de ambos índices presentaron una gran variabilidad espacial, aun dentro de la misma muestra, lo que puede deberse a la metodología utilizada (Hepper *et al.*, comunicación personal). La medición del grado de repelencia se realizó sobre las muestras disturbadas sin tamizar, con lo que varía la rugosidad de la superficie sobre la que se determina dicha variable. Roy & Mc Gill (2002) proponen un protocolo para la determinación

de este índice que, entre otras variantes, busca disminuir dicha rugosidad mediante el tamizado de la muestra.

### ***Hipótesis***

- El tamizado de las muestras previo a la medición del grado de repelencia al agua reducirá la rugosidad de la superficie del suelo, lo que permitirá disminuir la variabilidad detectada en mediciones realizadas previamente de esta propiedad edáfica.
- Por efecto de una quema controlada aumentará la hidrofobicidad superficial natural del suelo.
- En la broza proveniente del caldén hay sustancias hidrofóbicas, las que en contacto con partículas minerales del suelo pueden recubrirlas y generar superficies repelentes al agua.
- El movimiento del suelo producido por el rolado selectivo permitirá reducir la capa hidrofóbica detectada en los primeros 2,5 cm del perfil.

### ***Objetivos***

- Establecer un protocolo para la determinación del grado de repelencia al agua del suelo que permita disminuir la variabilidad encontrada en esta variable edáfica en estudios previos.
- Corroborar el efecto de una quema controlada sobre el grado de repelencia al agua en suelos del caldenal pampeano con diferente vegetación predominante.
- Determinar la presencia de sustancias hidrofóbicas en la capa de broza que cubre al suelo con vegetación no forrajera bajo caldén. Para esto, se deberá establecer un protocolo para la extracción de estas sustancias de la broza.

- Evaluar cualitativamente las características de las sustancias hidrofóbicas provenientes del extracto de broza.
- Determinar si la aplicación del método mecánico de rolado selectivo tiene incidencia sobre la hidrofobicidad superficial natural, detectada en suelos del caldenal.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Sitio de muestreo*

Se estudiaron muestras de suelo y de broza tomadas en el establecimiento Bajo Verde, propiedad de la UNLPam, que está ubicado en la ecoregión del Espinal, distrito del Caldén, en la provincia de La Pampa (36° 29' S 64° 37' O). Este distrito se encuentra entre las isohietas de 450 y 600 mm, las precipitaciones poseen una distribución mayoritaria primavera-estival con alta variabilidad. El suelo del sitio de estudio fue clasificado como Haplustol Éntico de textura franco-arenosa.

### *Modificación de un método para la determinación del grado de repelencia*

Se utilizaron muestras de suelo que fueron tomadas en dos momentos: previo a una quema controlada (pre-quema) que se realizó en un potrero de 20 ha dentro del establecimiento Bajo Verde en abril de 2008 y al día siguiente de la misma (post-quema). Se prepararon muestras compuestas a partir de tres submuestras de suelo tomadas en 5 parches dominados por especies no forrajeras bajo caldén (NF), 5 parches dominados por especies forrajeras (F) y 5 parches con predominancia de vegetación arbustiva (rebrotos de *Prosopis caldenia*) (A) (Figura 1).



**Figura 1.** Parche dominado por especies forrajeras (A), no forrajeras bajo caldén (B) y arbustivas (C).

Para la determinación del grado de repelencia al agua (GR), se utilizó como base el protocolo de Roy & Mc Gill (2002), con la modificación de tamizar el suelo por malla de 2 mm y variando la forma de expresar el resultado. Se optó por registrar el porcentaje más bajo de etanol en la solución acuosa que penetra en el suelo en 5 segundos (Dekker, 1998). El protocolo seguido se presenta a continuación:

1. Preparar soluciones acuosas de etanol con concentraciones expresadas como porcentaje del mismo de 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 12,5; 15; 17,5; 20; 22,5; 25; 27,5; 30; 32,5 y 35 %, respectivamente.
2. Tamizar por malla de 2 mm a las muestras de suelo seco al aire, colocarlas en cajas de Petri, teniendo presente que deben ser suficientemente grandes como para contener una cantidad adecuada de muestra, debido a que se tendrán que colocar todas las gotas de solución que sean necesarias sin que se presenten interferencias entre ellas. Realizar 3 repeticiones por muestra de suelo.
3. Nivelar suavemente la superficie de la muestra, de manera que al colocar la gota tenga contacto con toda la superficie de suelo, asegurando que no penetre a través de grietas presentes en la muestra.
4. Comenzar la prueba con agua destilada y continuar con las soluciones de etanol en concentraciones crecientes.
5. Colocar rápidamente la gota de agua o de algunas de las soluciones de etanol, lo más cercana posible a la superficie de la muestra, sin disturbarla.
6. Iniciar el conteo del tiempo al momento en que la gota tome contacto con la superficie del suelo y suspenderlo a los 5 segundos. Si al cabo de ese tiempo la gota entró al suelo finalizar la determinación con esa muestra. Si la gota no entró, continuar con la solución de concentración superior.

7. Expresar los resultados en porcentaje de la solución de alcohol. El valor obtenido se obtiene del promedio de las determinaciones realizadas en cada muestra de suelo, acompañado por su desviación estándar.
8. Debido a que el GR es sensible a la temperatura, equilibrar previamente las soluciones y las muestras a la misma temperatura ambiente antes de hacer la prueba, y el valor de dicha temperatura debe ser registrado junto con el grado de repelencia.

Para clasificar a los suelos estudiados en función del GR se utilizaron las clases de grado de repelencia propuestas por Jaramillo (2011) que agrupa a los suelos en 6 clases en función de un rango de concentración de la solución de etanol (Tabla 1).

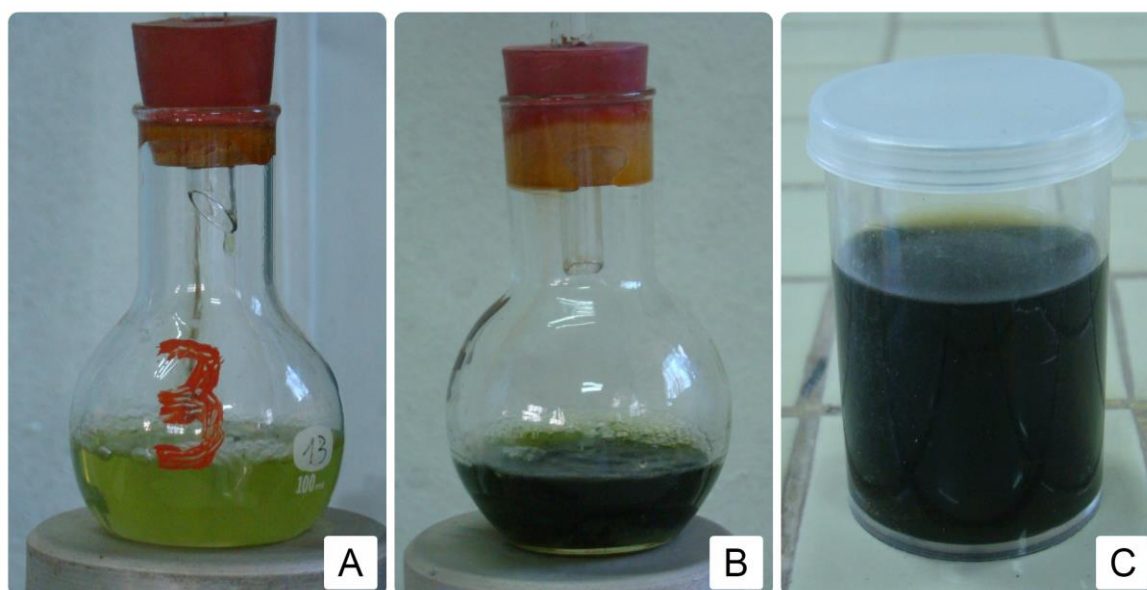
**Tabla 1.** Clase de grado de repelencia según valor de concentración de la solución de etanol.

Clase	Rango de valores según concentración de etanol (%)
No repelente	0
Ligeramente repelente	1-3
Moderadamente repelente	4-6
Fuertemente repelente	7-14
Severamente repelente	15-20
Extremadamente repelente	>20

### ***Origen de la hidrofobicidad***

Se tomaron muestras compuestas de broza superficial de 5 parches de suelos con cobertura vegetal dominada por especies no forrajeras bajo caldén (NF). Sobre estas muestras se procedió a la extracción de lípidos hidrofóbicos, para ello se adaptó el protocolo propuesto por Ma'Shum *et al.* (1988) el que se utiliza para extraer estas sustancias pero en muestras de suelo. De cada muestra de broza se tomaron 3 submuestras y se tamizaron por 250  $\mu\text{m}$  (tamiz N° 60), con el objetivo de eliminar el suelo presente en las muestras. Posteriormente se molieron con molinillo tipo café y tamizaron por 1000  $\mu\text{m}$  (tamiz N°18) para uniformar

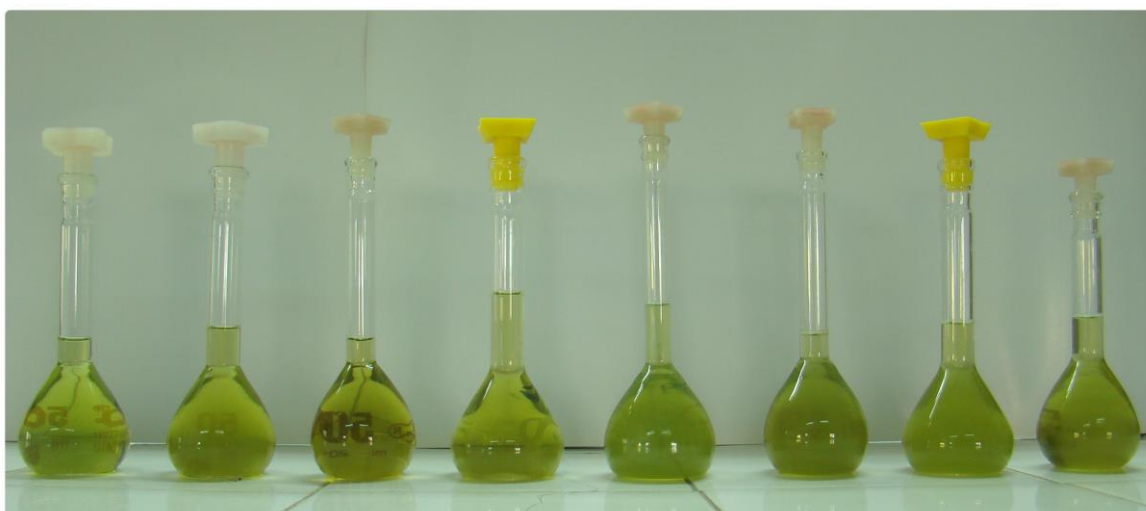
tamaño de partícula. De cada submuestra, se pesaron 5 g en un cartucho de papel de filtro de poro medio y se procedió a la extracción de los compuestos presentes en la misma en un equipo Butt. Dicha extracción se llevó a cabo con 50 mL de una mezcla de isopropanol-amoníaco (7:3 V/V) (figura 2). Se seleccionó este extractante debido a que, fue el más eficaz en términos de su capacidad para extraer los compuestos hidrofóbicos (Ma'Shum *et al.*, 1988). Los extractos fueron llevados a sequedad, utilizando para esto un manto calefactor, de forma tal que en los recipientes solo quedara el residuo extraído. Éste, se redisolvió en 3 mL de cloroformo, y se utilizó para impregnar 10 g de suelo no hidrofóbico, en una proporción de 300  $\mu$ L de cloroformo por gramo de suelo. Para lograr que todo el suelo entre en contacto con los compuestos provenientes de la extracción, se mezcló manualmente con varilla de vidrio y se lo dejó secar bajo campana a temperatura ambiente.



**Figura 2.** Extractos de sustancias hidrofóbicas con solución de isopropanol-amoníaco (7:3 V/V) en balón Butt en los primeros 15 minutos de iniciada la extracción (A), luego de 6 horas (B) y recipiente con la mezcla finalizado el tiempo de extracción (C).

A cada muestra de broza, antes y después de la extracción y a cada muestra de suelo impregnada con el extracto, se le determinó el grado de repelencia con el protocolo propuesto por Roy & McGill (2002) modificado.

Para realizar la caracterización de las sustancias hidrofóbicas extraídas de la broza, en los extractos diluidos en agua destilada en relación (1:10), se determinó con espectrofotómetro la absorbancia a 465 nm ( $E_4$ ) y a 665 nm ( $E_6$ ) (Figura 3). Se catalogó a las sustancias extraídas de acuerdo al sistema de clasificación de los ácidos húmicos de Kumada (1987), quien propuso un sistema de clasificación de los ácidos húmicos, teniendo como uno de los parámetros de clasificación el  $\Delta \log k = \log E_4 - \log E_6$ . Un menor valor de  $\Delta \log k$  implica que la sustancia evaluada tiene un mayor grado de humificación, mayor número de grupos funcionales ácidos y mayor hidrofobicidad.



**Figura 3.** Dilución de los extractos en agua (1:10) para determinación de absorbancia por espectrofotometría.

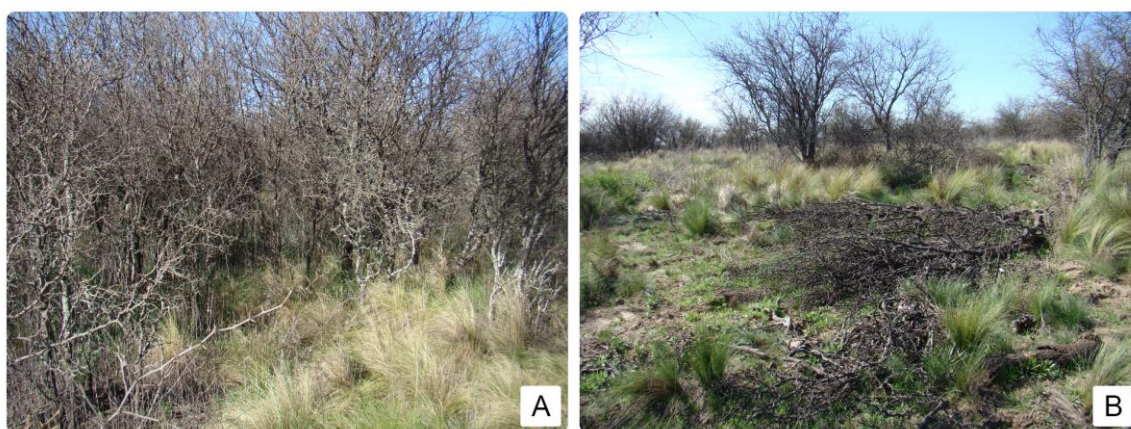
Según la primera aproximación de Kumada, los ácidos húmicos se pueden clasificar en 4 categorías, de acuerdo con sus propiedades espectroscópicas UV-VIS, así:

- Tipo A: presenta  $\Delta \log k < 0,6$ .
- Tipo B: presenta  $\Delta \log k$  entre 0,6 y 0,8.
- Tipo Rp: presenta  $\Delta \log k$  entre 0,8 y 1,1.
- Tipo Po: presenta picos de absorción en el espectro cerca a 615, 570 y 450 nm.

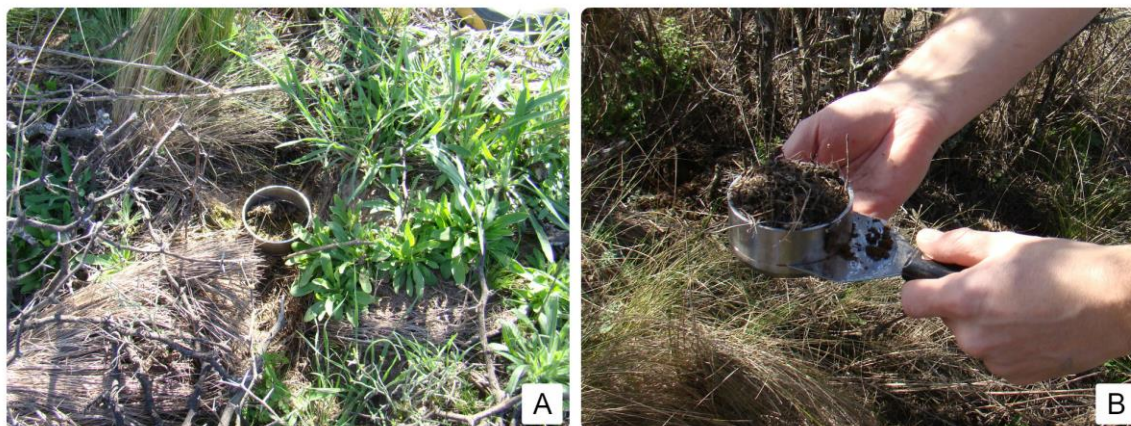


### ***Manejo de la hidrofobicidad superficial del suelo***

Sobre 50 ha de un potrero de 200 ha se realizó en noviembre de 2013 un rolado selectivo (Figura 4). Dentro de estas 50 ha y en la zona donde no se efectuó este disturbio mecánico (testigo), se tomaron muestras de suelo. Tanto en el suelo rolado como en el testigo se tomaron 5 muestras compuestas de los primeros 2,5 cm del perfil en parches de vegetación arbustiva (el muestreo se realizó específicamente debajo de arbustos de *Prosopis caldenia* Burkart) (Figura 5). Dichas muestras se acondicionaron en el laboratorio según los requerimientos de los parámetros a evaluar. Para determinar el efecto del rolado sobre la hidrofobicidad superficial se determinó el porcentaje de humedad edáfica por gravimetría (HG), el grado de repelencia al agua, con el protocolo estandarizado previamente y la persistencia de la repelencia al agua con el test del tiempo de penetración de la gota de agua al suelo (WDPT) (Dekker & Ritsema, 1994).



**Figura 4.** Parche testigo dominado por especies arbustivas (A) y área donde se realizó el rolado selectivo (B).



**Figura 5.** Toma de muestras a 2,5 cm de profundidad en la condición de rolado selectivo (A) y en el testigo (B).

El sistema de clasificación de la persistencia de la repelencia al agua que más se utiliza hoy para determinar este fenómeno es el que propusieron Dekker & Jungerius (1990) (Tabla 2).

**Tabla 2.** Clase y nivel de persistencia de repelencia al agua y rango de valores según el tiempo de penetración de la gota de agua (WDPT) expresada en segundos (s).

Clase	Nivel de persistencia de la repelencia al agua	WDPT (s)
0	No repelente al agua	<5
1	Ligeramente repelente al agua	5-60
2	Fuertemente repelente al agua	60-600
3	Severamente repelente al agua	600-3600
4	Extremadamente repelente al agua	>3600

### *Análisis estadístico de los datos*

Para analizar si los valores de GR fueron afectados por los tratamientos de quema controlada y de rolado selectivo se analizaron los datos mediante análisis de medias basadas en dos muestras con el método t-Student, con un nivel de significación de 0,05. Los valores medios del WDPT fueron transformados a escala logarítmica con base 10 y analizadas por medio de análisis de la varianza ( $p < 0,05$ ). Se utilizó el programa InfoStat/Profesional versión 2011 (Universidad Nacional de Córdoba Estadística y Biometría F.C.A., 2011).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Modificación de un método para la determinación del grado de repelencia*

Los valores de grado de repelencia obtenidos con el protocolo utilizado se presentan en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Grado de repelencia al agua (GR) y clase de repelencia en función del GR, antes y después de la quema (pre-quema y post-quema) y en suelos bajo diferentes parches de vegetación: forrajera (F), no forrajera (NF) y arbustiva (A).

Época	Parches	Muestras	Repeticiones de GR			Media de GR (DE)*	Clase
					(%)		
PRE – QUEMA	F	1	0	0	0	0	No Repelente #
		2	0	0	0	0	No Repelente #
		3	0	0	0	0	No Repelente #
		4	0	0	0	0	No Repelente #
		5	0	0	0	0	No Repelente #
	NF	1	10	12,5	15	12,5±2,5	Fuertemente Repelente
		2	2	2	3	2,3±0,6	Ligeramente Repelente #
		3	0	0	0	0	No Repelente #
		4	1	1	0	0,7±0,6	Ligeramente repelente
		5	0	0	0	0	No Repelente #
	A	1	0	0	0	0	No Repelente #
		2	1	1	2	1,3±0,6	Ligeramente Repelente #
		3	0	0	0	0	No Repelente #
		4	3	3	6	4±1,7	Moderadamente Repelente
		5	0	0	0	0	No Repelente #
POST – QUEMA	F	1	6	6	8	6,7±1,1	Fuertemente repelente
		2	4	7	6	5,7±1,5	Moderadamente Repelente
		3	0	1	1	0,7±0,6	Ligeramente repelente
		4	0	0	0	0	No Repelente #
		5	0	0	0	0	No Repelente #
	NF	1	25	20	22,5	22,5±2,5	Extremadamente Repelente
		2	17,5	17,5	20	18,3±1,4	Severamente Repelente #
		3	17,5	20	17,5	18,3±1,4	Severamente Repelente #
		4	1	1	3	1,7±1,1	Ligeramente Repelente #
		5	10	12,5	15	12,5±2,5	Fuertemente Repelente
	A	1	3	4	4	3,7±0,6	Moderadamente repelente
		2	6	7	9	7,3±1,5	Fuertemente Repelente
		3	6	9	7	7,3±1,5	Fuertemente Repelente
		4	4	5	5	4,7±0,6	Moderadamente Repelente #
		5	7	9	12,5	9,5±2,8	Fuertemente Repelente #

# Las determinaciones del GR para cada repetición corresponden a la misma clase según la clasificación de Roy & Mc Gill (2002).

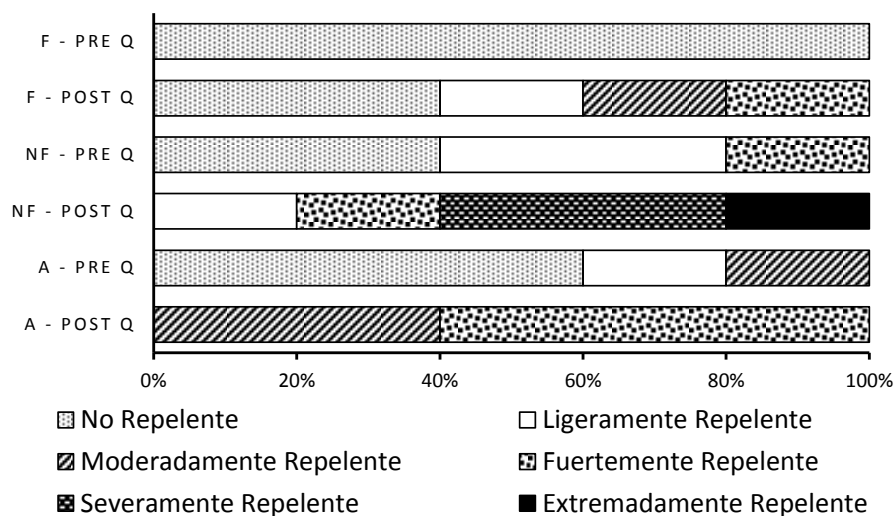
\*(DE) Desvío Estándar.

El GR de las muestras de suelo clasificadas como no repelentes presentó los mismos valores para todas las repeticiones, a pesar de que las determinaciones se realizaron a diferentes temperaturas (entre 18 °C y 24 °C), ya que las condiciones de trabajo no permitieron mantener constante la temperatura ambiente. En cambio, los suelos clasificados como repelentes al agua presentaron cierta variación en el valor de GR entre repeticiones. Estas variaciones no estarían relacionadas con cambios en la tensión superficial del líquido debido a que un aumento de temperatura debería disminuir la tensión superficial y por lo tanto el tiempo de ingreso de la gota de líquido al suelo (King, 1981). Por otra parte, si bien la temperatura debería mantenerse constante durante la determinación, Richardson (1984), propone un rango de temperaturas de trabajo entre 18-23 °C.

En el proyecto de investigación en que se enmarca este trabajo final de graduación, se realizaron determinaciones previas del GR, observándose gran variación de los valores entre repeticiones de una misma muestra de suelo. De 30 muestras analizadas, sólo en 10 se obtuvieron valores de GR para las tres repeticiones, que permiten ubicarla en la misma clase de acuerdo a este índice de hidrofobicidad (Hepper, comunicación personal). En contraste con estos resultados, en el presente trabajo se encontró que, en 19 de las 30 muestras analizadas, las tres repeticiones permitieron ubicarlas en la misma clase según el grado de repelencia. Las diferencias encontradas entre ambos resultados radican en el tamizado previo de la muestra de suelo. Roy & Mc Gill (2002) indican que mediante el tamizado se disminuye la rugosidad de la superficie del suelo, y esto contribuye a disminuir la variabilidad en la determinación de GR, por lo que se confirma la hipótesis propuesta para el presente trabajo.

Con los valores de GR obtenidos mediante el protocolo propuesto se analizó el efecto de una quema controlada sobre la hidrofobicidad del suelo. En la Figura 6 se muestra la frecuencia relativa de las clases del grado de repelencia de los diferentes parches de

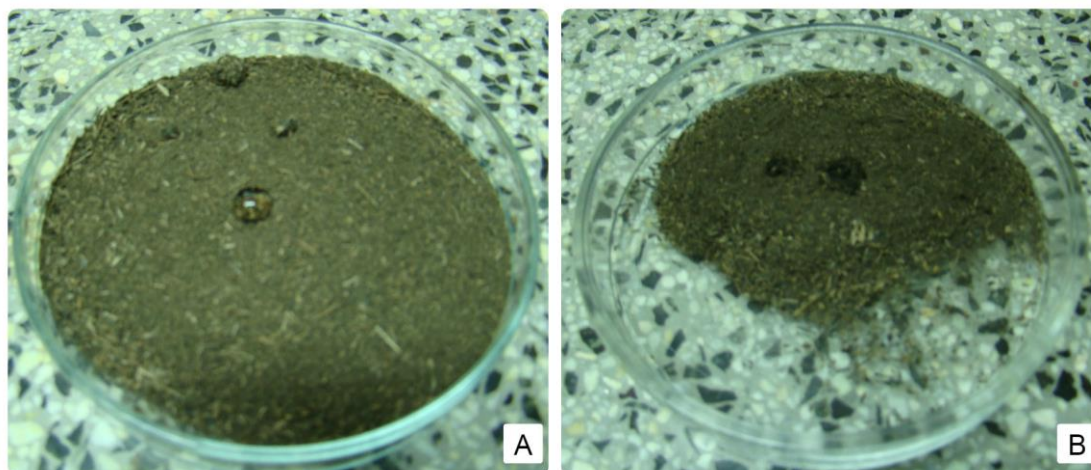
vegetación antes y después de una quema controlada. En el parche de forrajeras, antes de la quema controlada, el 100 % de las muestras de suelo no presentaron repelencia al agua, mientras que por efecto del fuego se redujo al 40%. Las muestras restantes se clasificaron como ligeramente, moderadamente y fuertemente repelente en un 20 % para cada una, respectivamente. Sin embargo, al realizar la comparación entre las medias de GR antes (0) y después de la quema ( $2,6 \pm 3,1$ ) no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ). En los parches de no forrajeras y arbustivas todas las muestras de suelo analizadas presentaron una intensificación en el nivel de hidrofobicidad después de la quema (Fig. 6). El mayor efecto se produjo en el suelo con predominancia de no forrajeras donde el 60% de las muestras desarrollaron repelencia severa o extrema. Para el caso del parche de arbustivas, el 40 % de las muestras analizadas se clasificaron como moderadamente repelentes, mientras que el 60 % restante se las clasificaron como fuertemente repelentes. Al realizar la comparación entre las medias de GR para parches de no forrajeras y arbustivas antes de la quema ( $3,1 \pm 5,0$ ;  $1,1 \pm 1,7$ ) y después de la quema ( $14,7 \pm 7,7$ ;  $6,5 \pm 2,6$ ), se encontraron aumentos significativos ( $p < 0,05$ ). Estos resultados coinciden con los de Doerr *et al*, (1998), quienes indican que la quema de broza proveniente de especies de *Pinus* y *Eucalyptus*, genera parches extremadamente repelentes al agua en la superficie del suelo. Esto se debería a que, al combustionar la broza, se volatilizan sustancias orgánicas hidrofóbicas que se re-depositan en la superficie de las partículas minerales presentes en los primeros centímetros del suelo. Estos procesos originan nuevas superficies hidrofóbicas o intensifican las ya existentes (DeBano, 2000).



**Figura 6.** Frecuencia relativa de las clases de repelencia en función del grado de repelencia para los siguientes tratamientos: F – PRE Q: Forrajera pre quema; F – POST Q: Forrajera post quema; NF – PRE Q: No Forrajera pre quema; NF – POST Q: No Forrajera post quema; A – PRE Q: Arbustiva pre quema; A – POST Q:

### *Origen de la hidrofobicidad*

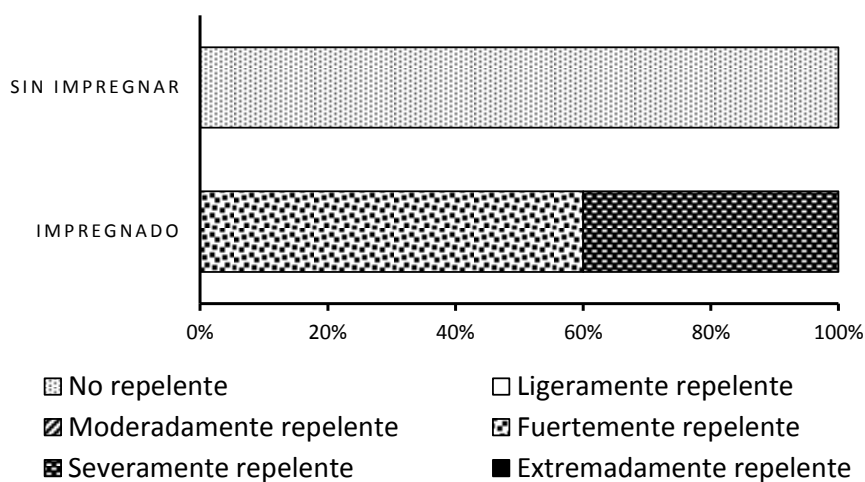
El grado de repelencia de la broza antes de la extracción con la mezcla isopropanol-amoníaco fue de 30 % y luego de la misma fue de 0 %, lo que demuestra la presencia de compuestos altamente hidrofóbicos en la broza (Fig. 7). Roberts y Carbon (1972) afirman que depósitos de materiales orgánicos frescos pueden producir repelencia al agua en el suelo. Así mismo, Crockford *et al.* (1991), Bisdom *et al.* (1993) y Franco *et al.* (1995) han comprobado que hay una estrecha relación entre la repelencia al agua que exhiben los suelos y la cantidad de materia orgánica relativamente fresca y finamente dividida que tenga ese suelo.



**Figura 7.** Gota de agua en broza previo a la extracción (A) y luego de la extracción (B).

Cuando muestras de suelo no hidrofóbico fueron impregnadas con los extractos conteniendo sustancias hidrofóbicas, se generó hidrofobicidad en dichos suelos. En la Figura 8 se observa que el total de los suelos sin tratar se clasificaron como no repelentes, mientras que luego de ser impregnados el 60% de los suelos se clasificó como fuertemente repelente y los restantes como severamente repelentes. Esto demuestra que el género *Prosopis* aporta sustancias que generan hidrofobicidad en los suelos (Doerr *et al.*, 2000). De acuerdo a los resultados podemos inferir que cuando los restos vegetales y microbianos presentes en la broza sufren el proceso de descomposición, se podrían liberar compuestos hidrofóbicos (Doerr *et al.*, 2000) que pueden generar alta repelencia al agua detectada en la superficie de los suelos del caldenal (Gallace *et al.*, 2012). Horne y McIntosh (2000) concluyen en su trabajo que la repelencia al agua en el suelo está controlada por la composición o naturaleza del material que se encuentra en la superficie más externa de los recubrimientos orgánicos y no por las características globales de la materia orgánica total que tenga el suelo.





**Figura 8.** Frecuencia relativa de las clases de repelencia en función del grado de repelencia para suelos no hidrofóbicos sin tratar y luego de ser impregnados con extractos provenientes de la broza.

Las sustancias orgánicas presentes en los extractos de broza se encontraron dentro de la categoría A de la clasificación propuesta por Kumada (1987) (Tabla 4). Un menor valor de  $\Delta \log k$  implica que la sustancia evaluada tiene un mayor grado de humificación, mayor número de grupos funcionales ácidos y mayor hidrofobicidad. Esto explica los altos valores del grado de repelencia de los suelos luego que fueran impregnados con los extractos de broza.

**Tabla 4.** Valores de absorbancia a 465 nm y 665 nm (E4 y E6 respectivamente) de los extractos obtenidos de muestras de broza, diferencia entre el logaritmo decimal de E4 y E6 ( $\Delta \log k$ ) y categoría de las sustancias orgánicas extraídas según la clasificación de Kumada (1987).

Muestra de broza		E4	E6	$\Delta \log k$	Categoría
1	1	0,258	0,142	0,259	A
	2	0,503	0,336	0,175	A
	3	0,545	0,402	0,132	A
2	1	0,331	0,203	0,212	A
	2	0,505	0,367	0,138	A
	3	0,238	0,145	0,215	A
3	1	0,327	0,146	0,350	A
	2	0,377	0,228	0,218	A
	3	0,467	0,358	0,115	A
4	1	0,307	0,160	0,283	A
	2	0,562	0,360	0,193	A
	3	0,336	0,220	0,183	A
5	1	0,513	0,336	0,183	A
	2	0,373	0,229	0,211	A

### *Manejo de la hidrofobicidad superficial del suelo*

En la tabla 5 se presentan los valores de parámetros relacionados con la repelencia al agua de los suelos: WDPT, GR y HG para el tratamiento testigo y rolado selectivo en parches con dominancia de especies arbustivas. La media estimada de WDPT fue significativamente menor ( $p < 0,05$ ) en el tratamiento de rolado selectivo, tardando menos tiempo en ser humedecido el suelo por la gota de agua. También se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos rolado selectivo y testigo con relación al grado de repelencia. Para la humedad gravimétrica no se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos, por lo que esta variable no estaría influyendo en la hidrofobicidad del suelo.

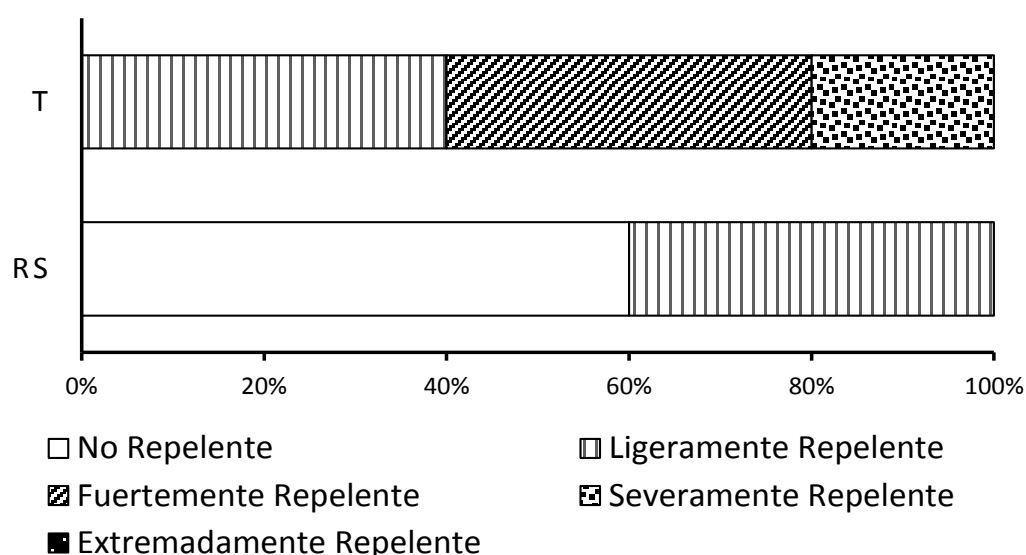
**Tabla 5.** Grado de repelencia (GR), Persistencia de la repelencia al agua (WDPT) y humedad gravimétrica (HG) para muestras de suelo en la condición testigo y rolado selectivo. Los valores corresponden al promedio de cinco sub-muestras.

Tratamiento	GR ( $\pm$ DE) (%)	WDPT ( $\pm$ DE)* (s)	HG ( $\pm$ DE) (%)
Testigo	19,2 $\pm$ 5,4 a	100 $\pm$ 6 a	11,5 $\pm$ 3,7 a
Rolado Selectivo	5,8 $\pm$ 6,4 b	4 $\pm$ 5 b	15,3 $\pm$ 4,4 a

\*Medias retransformadas.

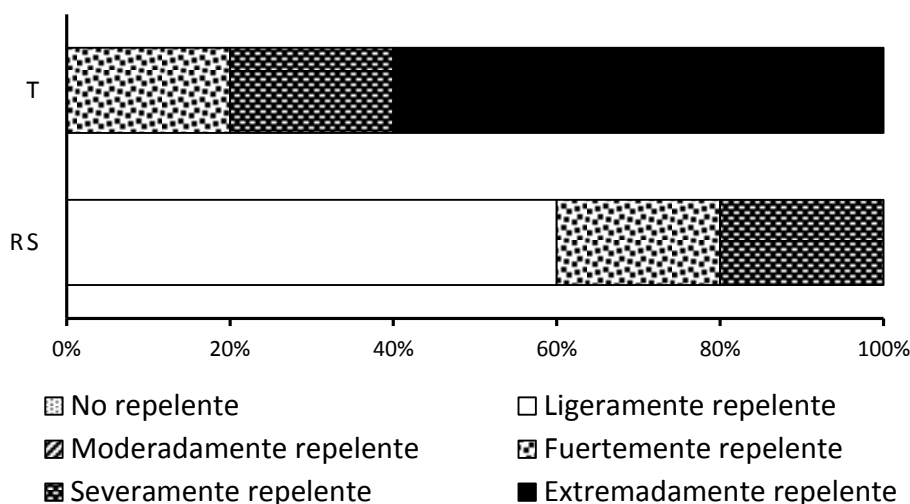
Letras distintas para un mismo parámetro indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ ).

En la Figura 9 se observa la proporción de las clases de repelencia en función de la persistencia de la repelencia al agua para los dos tratamientos. El 40 % de las muestras testigo pertenecieron a la clase ligeramente repelentes, otro 40 % a fuertemente repelentes y el 20 % restante a la clase severamente repelentes. Para el tratamiento de rolado selectivo, el 60 % de las muestras se clasificó como no repelentes al agua y el otro 40 % ligeramente repelentes. El disturbio ocasionado por el rolo triturador disminuyó la frecuencia de las muestras que presentaban persistencia de la repelencia al agua y en otras la eliminó.



**Figura 9.** Frecuencia relativa de las clases de repelencia en función de la persistencia de la repelencia al agua según la clasificación de Dekker & Jungerius (1990) para muestras de suelo en el tratamiento testigo (T) y rolado selectivo (RS).

La Figura 10 muestra la proporción de las clases de repelencia de acuerdo al GR para los tratamientos testigo y rolado selectivo. Desaparece la frecuencia de la clase extremadamente repelente luego del uso del rolo en parches con dominancia de especies arbustivas. Asimismo, para esta condición, el 60% de las muestras se clasifican como ligeramente repelentes a diferencia del testigo que no presenta esta clase.



**Figura 10.** Frecuencia relativa de las clases del grado de repelencia al agua para muestras de suelo en el tratamiento testigo (T) y rolado selectivo (RS) en parches con dominancia de especies arbustivas.

Podemos decir que la práctica de rolado selectivo generaría disminución en la hidrofobicidad superficial. Jaramillo Jaramillo (2011), plantea que el laboreo del suelo puede tener un efecto de abrasión entre los agregados hidrofóbicos con lo que se removerían recubrimientos orgánicos y se reduciría el grado de repelencia. En el presente trabajo, el disturbio provocado por la cuchilla del rolo produciría el mismo efecto.

## CONCLUSIONES

El tamizado de las muestras previo a la determinación del grado de repelencia al agua, redujo la rugosidad de la superficie del suelo, lo que permitió disminuir la variabilidad detectada al momento de las mediciones de esta propiedad edáfica para una misma muestra de suelo.

El uso del fuego como herramienta de control de la vegetación genera, aumento de los niveles de hidrofobicidad superficial en función del tipo de vegetación dominante. En parches de suelo con predominancia de especies arbustivas y no forrajeras bajo caldén se observó un incremento de la hidrofobicidad en mayor medida que en el parche con predominancia de vegetación forrajera.

La broza proveniente de individuos de *Prosopis caldenia*, genera hidrofobicidad en la superficie del suelo. Las sustancias hidrofóbicas presentes en la misma, poseen un alto grado de humificación y de grupos funcionales ácidos. Por esto, la descomposición de esta broza, puede liberar compuestos hidrofóbicos, que, en contacto con partículas minerales del suelo pueden recubrirlas y generar superficies repelentes al agua.

La práctica de rolado provocaría la disminución de la hidrofobicidad del suelo, debido a la abrasión de los agregados hidrofóbicos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bisdom, E.B.A.; L.W. Dekker & J.F.T. Schoute. 1993. Water repellency of sieve fractions from sandy soils and relationships with organic material and soil structure. *Geoderma*. 56: 105-118.
- Crockford, H.; S. Topalidis & D.P. Richardson. 1991. Water repellency in a dry sclerophyll eucalypt forest - measurements and processes. *Hydrological Processes*. 5: 405-420.
- DeBano, L.F. 2000. The role of fire and heating on water repellency in wildland environments: a review. *J. Hidrology* 231-232:195-206.
- Dekker, L.W. 1998. Moisture variability resulting from water repellency in Dutch soils. Doctoral thesis. Wageningen Agricultural University. The Netherlands. 240p.
- Dekker, L.W. & P.D. Jungerius. 1990. Water repellency in the dunes with special reference to the Netherlands. *Catena Supplement* 18: 173-183.
- Dekker, L.W. & C.J. Ritsema. 1994. How water moves in a water repellent sandy soil. I. Potential and actual water repellency. *Water Resour. Res.* 30 (9): 2507-2517.
- Dekker, L.W. & C.J. Ritsema. 2000. Wetting patterns and moisture variability in water repellent Dutch soils. *J. Hidrology* 231-232:148-164.
- Doerr, S.H.; R.A. Shakesby & R.P.D. Walsh. 1998. Spatial variability of soil hydrophobicity in fire-prone eucalyptus and pine forests, Portugal. *Soil Sci.* 163: 313-324.
- Doerr, S.H.; R.A. Shakesby & R.P.D. Walsh. 2000. Soil water repellency, its characteristics, causes and hydrogeomorphological consequences. *Earth Sci. Rev.* 51: 33-65.
- Doerr, S.H. & A.D. Thomas. 2000. The role of soil moisture in controlling water repellency: new evidence from forest soils in Portugal. *J. Hydrol.* 231-232: 134-147.

- Fabres, T. 2001. Variación de la humectación de los suelos según intensidad de uso y propiedades de la materia orgánica. Tesis Lic. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. 66 p.
- Facelli, J.M.; R. León & A. Deregibus. 1988. Community structure in grazed and ungrazed grassland sites in the flooding Pampa Argentina. *Am. Midl. Nat.*, 1: 125-133.
- Franco, C.M.M.; M.E. Tate & J.M. Oades. 1995. Studies on non-wetting sands. I. The role of intrinsic particulate organic matter in the development of water-repellency in non-wetting sands. *Aust. J. Soil Res.* 33: 253-263.
- Gallace, M.E.; E.N. Hepper, & A.M. Urioste. 2012. Hidrofobicidad en un haplustol éntico bajo dos coberturas vegetales. XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas en CD (ISBN 978-987-1829-11-8).
- Harper, R.; I. Mc Kissock; R. Gilkes; D. Carter & P. Blackwell. 2000. A multivariate framework for interpreting the effects of soil properties, soil mangement and landuse on water repellency. *Journal of Hydrology*, 231-232: pp 371-383.
- Hepper, E.N.; A.M. Urioste; V. Belmonte & E.F.A. Morici. 2010. Hidrofobicidad inducida por fuego e infiltración de agua en un suelo franco arenoso con diferente vegetación dominante. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas pág. 16.
- Hepper, E.N.; M.S. Larroulet; V. Belmonte & A.M. Urioste. 2013. Propiedades edáficas de un suelo del caldenal pampeano en parches con diferente vegetación. *Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam Vol 23 N° 2:5-15.*
- Horne, D.J. & J.C. McIntosh. 2000. Hydrophobic compounds in sands in New Zealand-extraction, characterisation and proposed mechanisms for repellency expression. *J. Hydrol.* 231-232: 35-46.

- InfoStat. 2011. InfoStat, versión 2011. Grupo InfoStat, F.C.A., Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Jaramillo Jaramillo, D.F. 2005. Humedad crítica y repelencia al agua en Andisoles bajo cobertura de *Pinus patula*. En Prensa. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín.
- Jaramillo Jaramillo, D.F. 2011. Repelencia al agua en Andisoles de Antioquía. Editorial Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C. Colombia. 220p.
- King, P.M. 1981. Comparison of methods for measuring severity of water repellence of sandy soils and assessment of some factors that affect its measurement. *Aust. J. Soil Res.* 19: 275-285.
- Kumada, P.J. 1987. Relaciones hídricas de suelos y plantas. Edutex S.A. México. 538 p.
- Kunst C.; R. Ledesma & M. Navall. 2008. RBI: Rolado Selectivo de Baja Intensidad. Ediciones INTA, pp. 139.
- Laycock, W.A. 1991. Stable states and thresholds of range conditions on North American rangelands: A viewpoint. *J. Range Manage*, 44: 424-433.
- Ma'Shum, M. ; M. Tate; G. Jones & J. Oades. 1988. Extraction and characterization of water-repellent material from Australian soils. *J. Soil Sci.* 39: 99-110.
- Milchunas, D.G., O.E. Sala & W.Q. Lauenroth. 1988. A generalized model of effects of the grazing by large herbivores on grassland community structure. *Am. Nat.* 132: 87-106.
- Parsons A.; P.R. Robichaud; S.A. Lewis; C. Napper & J.T. Clark. 2010. Field Guide for Mapping Post-Fire Soil Burn Severity. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-243. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. P. 49.
- Richardson J.L. 1984. Field observation and measurement of water repellency for soil surveyors. *Soil Surv. Horiz.* 25(2): 32-36.



- Ritsema, C.L.; L.W. Decker; J.M.H. Hendrickx & W. Hamminga. 1993. Preferential flow mechanism in a water repellent sandy soil. *Water Resour. Res.* 29 (7): 2183-2193.
- Roberts, F.J. & B.A. Carbon. 1972. Water repellence in sandy soils of south-western Australia. *Aust. J. Soil Res.* 10: 35-42.
- Roy, J.L. & W.B. Mc Gill. 2002. Assessing soil water repellency using the molarity of ethanol drop-let (MED) test. *Soil Sci.* 167: 83-97.
- Sala, O.E. 1988. The effect of herbivory on vegetation structure. In Verger, M.J.A.; P.J. Van der Aart; H.J. During & J.T. Verhoeven (Eds.) *Plant form and vegetative structure: adaptation, plasticity, and relation to herbivory*, pp: 317-330. S.P.B. Academy Publis. The Hague.
- Watson, C.L. & J. Letey. 1970. Indices for characterizing soil water repellency based upon contact angle-surface tension relationships. *Soil Sci. Soc. Am. P.* 34: 841-844.