



**INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN  
CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA A.C.**

**POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**“Efectos de fuego en la cobertura vegetal y  
procesos ecohidrológicos de un pastizal semiárido  
en el centro de México”**

Tesis que presenta

**Edith Maldonado Burgos**

Para obtener el grado de

**Maestra en Ciencias Ambientales**

Codirectores de tesis

Dra. Elisabeth Huber-Sannwald, IPICYT

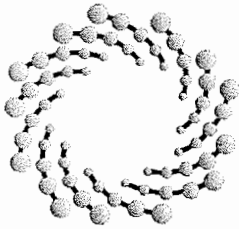
Dr. Víctor Manuel Reyes Gómez, INECOL

Asesores

Dr. José Tulio Arredondo Moreno, IPICYT

Dr. Carlos Alfonso Muñoz Robles, UASLP

San Luis Potosí, San Luis Potosí, Octubre del 2015.



IPICYT

## Constancia de aprobación de la tesis

La tesis "*Efectos de fuego en la cobertura vegetal y procesos ecohidrológicos de un pastizal semiárido en el centro de México*" presentada para obtener el Grado de Maestro en Ciencias Ambientales fue elaborada por **Edith Maldonado Burgos** y aprobada el **treinta de octubre de dos mil quince** por los suscritos, designados por el Colegio de Profesores de la División de Ciencias Ambientales del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

**Dra. Elisabeth Huber-Sannwald**

Codirectora de la tesis

**Dr. Víctor Manuel Reyes Gómez**

Codirector de tesis

**Dr. José Tulio Arredondo Moreno**

Miembro del Comité Tutorial

**Dr. Carlos Alfonso Muñoz Robles**

Miembro del Comité Tutorial



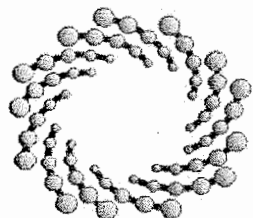
## **Créditos Institucionales**

Esta tesis fue elaborada en el Laboratorio de Ecología y Cambio Ambiental Global de la División de Ciencias Ambientales del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., bajo la dirección de la Dra. Elisabeth Huber-Sannwald.

Durante la realización del trabajo el autor recibió una beca académica del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (No. 296802) y del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

Este trabajo fue realizado gracias al apoyo de CONACYT, a través del proyecto SEP-CONACYT 2009-01-132649.

El autor de esta tesis recibió recursos financieros por parte de la División de Ciencias Ambientales del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C. para la divulgación de los resultados parciales de la investigación en un congreso internacional.



**IPICYT**

# Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

## Acta de Examen de Grado

El Secretario Académico del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., certifica que en el Acta 026 del Libro Primero de Actas de Exámenes de Grado del Programa de Maestría en Ciencias Ambientales está asentado lo siguiente:

En la ciudad de San Luis Potosí a los 30 días del mes de octubre del año 2015, se reunió a las 11:00 horas en las instalaciones del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., el Jurado integrado por:

**Dr. Carlos Alfonso Muñoz Robles**  
**Dr. José Tulio Arredondo Moreno**  
**Dra. Elisabeth Huber- Sannwald**

**Presidente**  
**Secretario**  
**Sinodal**

**UASLP**  
**IPICYT**  
**IPICYT**

a fin de efectuar el examen, que para obtener el Grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

sustentó la C.

**Edith Maldonado Burgos**

sobre la Tesis intitulada:

*Efectos de fuego en la cobertura vegetal y procesos ecohidrológicos de un pastizal semiárido en el centro de México.*

que se desarrolló bajo la dirección de

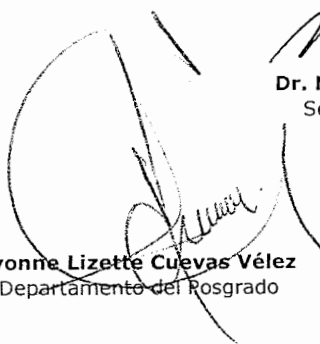
**Dra. Elisabeth Huber- Sannwald**  
**Dr. Víctor Manuel Reyes Gómez (INECOL)**

El Jurado, después de deliberar, determinó

**APROBARLA**

Dándose por terminado el acto a las 13:15 horas, procediendo a la firma del Acta los integrantes del Jurado. Dando fe el Secretario Académico del Instituto.

A petición de la interesada y para los fines que a la misma convengan, se extiende el presente documento en la ciudad de San Luis Potosí, S.L.P., México, a los 30 días del mes de octubre de 2015.

  
**Mtra. Ivonne Lizette Cuevas Vélez**  
Jefa del Departamento del Posgrado

  
**Dr. Marcial Bonilla Marín**  
Secretario Académico



## **Dedicatorias**

Dedico este trabajo de dos años a mi madre María Edith Maldonado Burgos que siempre ha creído en mí y me ha apoyado incondicionalmente. Te amo madre eres mi principal motivación.

Agradezco y dedico también este trabajo a mi hermosa familia; tíos, primos, sobrinos que siempre han estado conmigo en las buenas y malas, siempre felices de mis pequeños logros.

A mi abuelo; donde quiera que estés, siempre serás una motivación en mi vida, el ejemplo de que no se necesita un grado para ser una persona con valores y obtener todo lo que quieres en la vida. Te amo por siempre abuelo.

A mis amigos: Torres, Nacho, Karla, Janet, Erika, Carlos Manuel, Edgar, Ramón, Edgardo, Lupita Arzápalo, Profe Ildfonso que son y serán siempre parte de mi vida.

A mi novio Gustavo por todo su apoyo incondicional, por su paciencia ante todos los días de desesperación y vivir conmigo este proceso de “madurar”; por sacarme las mejores sonrisas y también por darme la mano y llorar conmigo en los momentos difíciles. Te amo y amo tu esencia.

A todos esos días de diversión, desesperación por querer volver a casa, a esos días de éxito y logros, y a los días donde todo parecía oscuro. A Dios.

A mi perro Kiara.

## **Agradecimientos**

Agradezco a la Dra. Elisabeth Huber-Sannwald por la oportunidad de colaborar en su grupo de investigación, por su confianza, por toda su paciencia, dedicación, apoyo y su excelente trato durante el transcurso de este proyecto.

Al Dr. Víctor Manuel Reyes Gómez (INECOL) por su atenta disposición y excelente trato al colaborar como mi codirector de tesis, por sus consejos del trabajo en campo, los cálculos, y sus importantes aportaciones y comentarios a este trabajo y su disposición en ayudarme en todo momento.

Al Dr. Tulio Arredondo Moreno (IPICYT) por sus importantes aportaciones y comentarios a este trabajo y su disposición en ayudarme en todo momento.

Al Dr. Carlos Alfonso Muñoz Robles (UASLP) por su ayuda en la elaboración de este documento y su disposición en ayudarme en todo momento.

A los técnicos académicos de la División de Ciencias Ambientales: M. en C. Dulce I. Partida Gutiérrez, M. en C. Guillermo Vídriales Escobar y a M. en C. Juan Pablo Rodas Ortiz.

A Jorge Hernández Martínez, a Antonio Arias Durón y a Ruby Guzman Hernández por el apoyo brindado en el trabajo de campo, su colaboración fue indispensable en el desarrollo experimental de mi proyecto.

Al Dr. Miguel Luna Luna y al Sitio experimental Vaquerias del INIFAP por permitirnos realizar el trabajo de campo en sus áreas de estudio.

Como mención especial, agradezco a la red Ambiente y Sustentabilidad del INECOL -Chihuahua, en el marco del proyecto operativo (20021-10336) por su aportación con el infiltrómetro de aspersion electrónico que nos ayudo a realizar la experimentación de simulación de lluvia indispensable en el proyecto.

## Contenido

ABSTRACT .....	14
RESUMEN .....	15
1. INTRODUCCIÓN.....	16
2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	27
2.1 Sitio de estudio .....	27
2.2 Metodología .....	28
2.2.1 Caracterización de cobertura del suelo .....	28
2.2.2 Estimación de características abióticas de la superficie de suelo .....	31
2.2.3 Protocolo para establecer las intensidades de lluvia .....	34
2.2.4 Simulación de lluvia .....	35
2.2.5 Método Beerkan para calcular la percolación de agua en el suelo .....	37
2.3 Diseño experimental .....	40
2.4 Análisis estadísticos.....	42
3. RESULTADOS .....	44
3.1 Tipo de cobertura del suelo .....	44
3.2 Distribución espacial de diferentes tipos de cobertura en las parcelas.....	44
3.3 Microtopografía de micrositios formados por macollos de <i>Bouteloua gracilis</i> y <i>Muhlenbergia rigida</i> .....	46
3.3.1 Microdepresiones de parcelas.....	46
3.3.2 Tortuosidad .....	47
3.3.3 Rugosidad .....	48
3.4 Potencial de retención de agua en suelo desnudo .....	48
3.5 Características físicas de suelo .....	49

3.5.1 Textura .....	49
3.5.2 Porosidad .....	49
3.6 Coeficiente de escorrentía de agua .....	51
3.6.1 Hidrogramas de escorrentía.....	51
3.6.2 Periodo de retención de agua en la superficie de la parcela.....	52
3.6.3 Retención de agua antes de escorrentía en la superficie de la parcela	52
3.6.4 Porcentaje de escorrentía ( $K_e$ ) .....	53
3.7 Conductividad hidráulica del suelo a saturación ( $K_s$ ).....	54
3.8 Correlación entre el coeficiente de escorrentía y variables bióticas y abióticas.....	54
3.9 Correlación entre la percolación y variables abióticas .....	55
4. DISCUSIÓN .....	57
4.1 Cobertura del suelo.....	57
4.2 Características de superficie de suelo .....	58
4.3 Características físicas del suelo.....	60
4.4 Porcentaje de escorrentía.....	61
4.5 Percolación de agua en el suelo.....	62
4.6 Relación de variables abióticas y bióticas con los porcentajes de escorrentía y percolación de agua en el suelo .....	64
5. CONCLUSIÓN .....	66
6. BIBLIOGRAFÍA .....	67
ANEXOS .....	74
Anexo 1. Método de Beerkan .....	74
Anexo 2. Modelo de Brooks y Corey.....	76
Anexo 3. ANOVA para el porcentaje de cobertura basal de las parcelas de <i>Bouteloua gracilis</i> y <i>Muhlenbergia rigida</i> con y sin fuego .....	77



Anexo 4. ANOVA para el porcentaje de cobertura de mantillo de las parcelas de <i>Bouteloua gracilis</i> y <i>Muhlenbergia rigida</i> con y sin fuego .....	77
Anexo 5. ANOVA para el porcentaje de cobertura de suelo desnudo de las parcelas de <i>Bouteloua gracilis</i> y <i>Muhlenbergia rigida</i> con y sin fuego .....	77
Anexo 6. Distribución espacial de las parcelas de <i>Bouteloua gracilis</i> y <i>Muhlenbergia rigida</i> con y sin fuego en el programa ArcGIS 9.3 .....	78
Anexo 7. ANOVA para el índice de tortuosidad de las parcelas de <i>Bouteloua gracilis</i> y <i>Muhlenbergia rigida</i> con y sin fuego .....	80
Anexo 8. ANOVA para el índice de rugosidad de las parcelas de <i>Bouteloua gracilis</i> y <i>Muhlenbergia rigida</i> con y sin fuego .....	80
Anexo 9. ANOVA para el potencial de agua retenida en suelo desnudo para las parcelas de <i>Bouteloua gracilis</i> y <i>Muhlenbergia rigida</i> con y sin fuego (transformación log) .....	81
Anexo 10. ANOVA para la fracción de arena media del suelo para <i>Bouteloua gracilis</i> y <i>Muhlenbergia rigida</i> con y sin fuego .....	81
Anexo 10a. ANOVA para la fracción de arena gruesa del suelo para <i>Bouteloua gracilis</i> y <i>Muhlenbergia rigida</i> con y sin fuego .....	81
Anexo 10b. ANOVA para la fracción de arena fina del suelo para <i>Bouteloua gracilis</i> y <i>Muhlenbergia rigida</i> con y sin fuego .....	81
Anexo 10c. ANOVA para la fracción de arcilla del suelo para <i>Bouteloua gracilis</i> y <i>Muhlenbergia rigida</i> con y sin fuego .....	82
Anexo 10d. ANOVA para la fracción de limo del suelo en micrositios de <i>Bouteloua gracilis</i> y <i>Muhlenbergia rigida</i> con y sin fuego .....	82
Anexo 11. ANOVA para la porosidad del suelo en micrositios de <i>Bouteloua gracilis</i> y <i>Muhlenbergia rigida</i> con y sin fuego (transformación <i>logit</i> ) .....	82
Anexo 12. Hidrogramas de escorrentía para los diferentes tratamientos .....	83

Anexo 13. ANOVA para el periodo de retención de agua antes de la escorrentía en parcelas de <i>Bouteloua gracilis</i> y <i>Muhlenbergia rigida</i> con y sin fuego con covariable humedad.....	85
Anexo 14. ANOVA para el agua retenida antes de la escorrentía en parcelas de <i>Bouteloua gracilis</i> y <i>Muhlenbergia rigida</i> con y sin fuego con covariable humedad (condición inicial) .....	85
Anexo 15. ANOVA para el porcentaje de escorrentía en parcelas de <i>Bouteloua gracilis</i> y <i>Muhlenbergia rigida</i> con y sin fuego con covariable humedad (condición inicial) .....	86
Anexo 16. ANOVA para el coeficiente de conductividad hidráulica a saturación para micrositios con vegetación y suelo desnudo de <i>Bouteloua gracilis</i> y <i>Muhlenbergia rigida</i> con y sin fuego .....	87
Anexo 17. Análisis de correlación de Pearson para factores abióticos y bióticos con el porcentaje de escorrentía ( $K_e$ %) para <i>Bouteloua gracilis</i> con fuego.....	87
Anexo 18. Análisis de correlación de Pearson para factores abióticos y bióticos con el porcentaje de escorrentía ( $K_e$ %) para <i>Muhlenbergia rigida</i> con fuego...	87
Anexo 19. Análisis de correlación de Pearson para factores abióticos y bióticos con el porcentaje de escorrentía ( $K_e$ %) para <i>Bouteloua gracilis</i> sin fuego .....	88
Anexo 20. Análisis de correlación de Pearson para factores abióticos y bióticos con el porcentaje de escorrentía ( $K_e$ %) para <i>Muhlenbergia rigida</i> sin fuego....	88
Anexo 21. Análisis de correlación de Pearson para factores abióticos y bióticos con el porcentaje de escorrentía ( $K_s$ mm/h) para <i>Bouteloua gracilis</i> con fuego y micrositio con vegetación.....	88
Anexo 22. Análisis de correlación de Pearson para factores abióticos y bióticos con el porcentaje de escorrentía ( $K_s$ mm/h) para <i>Bouteloua gracilis</i> con fuego y micrositio sin vegetación.....	88
Anexo 23 Análisis de correlación de Pearson para factores abióticos y bióticos con el porcentaje de escorrentía ( $K_s$ mm/h) para <i>Muhlenbergia rigida</i> con fuego y micrositio con vegetación.....	89

Anexo 24 Análisis de correlación de Pearson para factores abióticos y bióticos con el porcentaje de escorrentía ( $K_s$ mm/h) para <i>Muhlenbergia rigida</i> con fuego y micrositio sin vegetación .....	89
Anexo 25. Análisis de correlación de Pearson para factores abióticos y bióticos con el porcentaje de escorrentía ( $K_s$ mm/h) para <i>Bouteloua gracilis</i> sin fuego y micrositio con vegetación.....	89
Anexo 26. Análisis de correlación de Pearson para factores abióticos y bióticos con el porcentaje de escorrentía ( $K_s$ mm/h) para <i>Bouteloua gracilis</i> sin fuego y micrositio sin vegetación.....	89
Anexo 27. Análisis de correlación de Pearson para factores abióticos y bióticos con el porcentaje de escorrentía ( $K_s$ mm/h) para <i>Muhlenbergia rigida</i> sin fuego y micrositio con vegetación.....	90
Anexo 28. Análisis de correlación de Pearson para factores abióticos y bióticos con el porcentaje de escorrentía ( $K_s$ mm/h) para <i>Muhlenbergia rigida</i> sin fuego y micrositio sin vegetación.....	90
Anexo 29. ANOVA para la biomasa de raíces en micrositos de parcelas de <i>Bouteloua gracilis</i> y <i>Muhlenbergia rigida</i> con y sin fuego. ....	90
Anexo 30. Cálculos de conductividad hidráulica a saturación para todos los tratamientos .....	90

## Lista de Cuadros

Cuadro 1. Diseño para características bióticas y abióticas de los micrositios .....	40
Cuadro 2. Coeficiente de escorrentía de agua de lluvia .....	41
Cuadro 3. Diseño para determinación de la conductividad hidráulica a saturación por método de Beerkan .....	41
Cuadro 4. LSmeans ( $\pm 1$ error estándar) del porcentaje de cobertura basal, porcentaje de mantillo y porcentaje de suelo desnudo en los micrositios caracterizados por <i>Bouteloua gracilis</i> y <i>Muhlenbergia rigida</i> en parcelas con y sin fuego. ....	44
Cuadro 5. LSmeans ( $\pm 1$ error estándar) de tortuosidad y rugosidad de los micrositios asociados a macollos de <i>Bouteloua gracilis</i> y <i>Muhlenbergia rigida</i> .....	48
Cuadro 6. LSmeans ( $\pm 1$ error estándar) de textura de suelo (%): arcilla, limo, arena fina, arena media, arena gruesa, en las especies anidadas al fuego. ....	50

## Lista de figuras

Figura 1. Sitio de estudio ubicado en los Llanos de Ojuelos, Jalisco, México. ....	27
Figura 2. Tratamientos en el sitio de estudio INIFAP con régimen de pastoreo moderado; para <i>B. gracilis</i> a) con fuego, b) sin fuego y <i>M. rigida</i> c) con fuego, d) sin fuego.....	29
Figura 3. Representación del mallado sobre la unidad experimental de 1 metro cuadrado. ....	30
Figura 4. Medición de la microtopografía del suelo en cada parcela con estadal y un nivel topográfico .....	30
Figura 5. Representación de medición de la tortuosidad. ....	33
Figura 6. Representación de medición de la rugosidad .....	33
Figura 7. Simulador de lluvia .....	36
Figura 8. Diagrama del simulador de lluvia .....	36
Figura 9. Instalación de cilindro para método Beerkan in situ .....	38
Figura 10. Medición <i>in situ</i> de la infiltración por método Beerkan .....	38
Figura 11. Distribución espacial (1 x 1 m) de diferentes tipos de coberturas de suelo en micrositios generados por macollos de <i>Bouteloua gracilis</i> y <i>Muhlenbergia rigida</i> considerando los tratamientos.....	46
Figura 12. Microdepresiones de micrositios en cada tratamiento.....	47
Figura 13. LSmeans del volumen de retención de agua en suelo desnudo en parcelas de <i>B. gracilis</i> y <i>M. rigida</i> sin y con fuego.....	49
Figura 14. LSmeans del porcentaje de porosidad de suelo para los micrositios con <i>B. gracilis</i> y <i>M. rigida</i> con y sin fuego .....	50
Figura 15. Hidrográmas de escorrentía para: a) <i>B. gracilis</i> a intensidades altas (49 mm/h), b) <i>B. gracilis</i> a intensidades bajas (15 mm/h), c) <i>M. rigida</i> a intensidades altas (49 mm/h), d) <i>M. rigida</i> a intensidades bajas (15 mm/h).....	51
Figura 16. LSmeans del contenido de agua retenida antes de la escorrentía en las parcelas de <i>Bouteloua gracilis</i> y <i>Muhlenbergia rigida</i> sin y con fuego .....	52
Figura 17. LSmeans de coeficiente de escorrentía para A: intensidad alta (49 mm/h) y B: intensidad baja (15 mm/h) considerando micrositios de <i>Bouteloua gracilis</i> y <i>Muhlenbergia rigida</i> con y sin fuego.....	53

Figura 18. LSmeans de percolación en micrositios con A: cobertura vegetal y B: en suelo desnudo considerando las dos especies *Bouteloua gracilis* y *Muhlenbergia rigida* sin y con fuego..... 54

## ABSTRACT

### Fire effects on vegetation cover and ecohydrological processes in a semiarid grassland in central Mexico

Keywords: *Bouteloua gracilis*, *Muhlenbergia rigida*, bare soil, ecohydrology, fire, runoff, percolation

The research presented in this thesis focuses on the effects of prescribed fire on the ecohydrological role of dominant grass species in a moderately grazed semiarid grassland of Ojuelos, Jalisco. In particular, the objective of this project was to determine and compare the effect of prescribed fire on plant basal and litter cover of *Bouteloua gracilis* and *Muhlenbergia rigida* on run-off dynamics considering different rainfall intensities. We determined percentage runoff ( $K_e$ ) by applying rainfall simulation with two representative intensities (49 mm/h and 15 mm/h) in five 1 x 1 m plots covered by one of the grass species both in burned and unburned paddocks. Additionally, we determined water percolation with the Beerkan method in microsites covered by *B. gracilis* and *M. rigida* and in associated bare soil in the same paddocks. We determined biotic and abiotic variables of surface soil along with the soil physical properties, which all potentially influence runoff and water percolation. Percentage runoff ( $K_e$ ; %) was significantly influenced by rain intensity and species nested within fire ( $P=0.0003$ ), in that at high intensities of rain burned plots had higher percentage runoff than unburned plots ( $P<0.05$ ), however this response was more pronounced for *B. gracilis* than for *M. rigida* plots. At low rain intensities, fire treatment enhanced runoff only in *B. gracilis* plots. Percolation ( $K_s$ ; mm/h) was higher in *M. rigida* microsites with and without fire ( $P<0.05$ ), and in associated bare soil microsites it was lower than in presence of vegetation. The two grass species significantly influence ecohydrological processes of these grasslands both at the tussock level considering their inherent growth characteristics and at the community/ecosystem level, because of their influence on basal and soil cover, microtopography and thus heterogeneous distribution characterizing these grasslands.

## RESUMEN

### Efectos de fuego en la cobertura vegetal y procesos ecohidrológicos de un pastizal semiárido en el centro de México

**Palabras clave:** *Bouteloua gracilis*, *Muhlenbergia rigida*, suelo desnudo, ecohidrología, fuego, escorrentía, percolación

Este trabajo de investigación hace referencia al efecto del fuego prescrito en el papel ecohidrológico de las especies de gramíneas dominante en el pastizal semiáridos de Ojuelos, Jalisco. El objetivo de este proyecto fue conocer y comparar el efecto del fuego sobre la cobertura vegetal (basal) y de mantillo en la dinámica de escorrentía por simulación de lluvia bajo dos intensidades representativas (49 mm/h y 15 mm/h) en cinco parcelas de 1 x 1 m de *Bouteloua gracilis* y *Muhlenbergia rigida* y la percolación de agua (por método Beerkan) en micrositios similares en un pastizal semiárido con pastoreo moderado. Se consideraron variables bióticas y abióticas de superficie de suelo y propiedades físicas del suelo, las cuales potencialmente influyen en la escorrentía y la percolación de agua en el suelo. Se determinó el porcentaje de escorrentía ( $Ke$ ;%) y la percolación ( $Ks$ ; mm/h) para dos especies de gramíneas claves en el pastizal con distintas morfologías de macollo y formas de crecimiento. Para el porcentaje de escorrentía hubo una interacción significativa de intensidad x especie (fuego) ( $P=0.0003$ ). A intensidad alta de lluvia, las parcelas con fuego presentaron mayor porcentaje de escorrentía que sin fuego y esto se manifestó más en parcelas con *B. gracilis* que con *M. rigida* ( $P<0.05$ ). A intensidad baja de lluvia, el efecto de fuego en el aumento de escorrentía se observó únicamente en las parcelas de *B. gracilis*. La percolación fue mayor en micrositios de *M. rigida* con y sin fuego ( $P < 0.05$ ) que en los de *B. gracilis* y en general fue mayor que en los micrositios de suelo desnudo para las dos especies. Las dos especies influyen en los procesos ecohidrológicos a dos escalas; a nivel de macollo por sus características inherentes de crecimiento y a nivel de comunidades/ecosistemas por su influencia en la cobertura y microtopografía de suelo y por ende por su distribución heterogénea caracterizando a los pastizales.



## 1. INTRODUCCIÓN

A nivel global, las zonas áridas y semiáridas (“drylands”) ocupan aproximadamente un 45 % de la superficie terrestre, son extensas en todos los continentes y soportan un tercio de la población de la tierra (Falkenmark y Rockstrom 2004; Newman *et al.*, 2006; Ravi *et al.*, 2010). Las zonas áridas y semiáridas se caracterizan por precipitaciones medias anuales de entre 150 mm y 500 mm (McGinnies *et al.*, 1963); existen tres principales características hidroclimáticas que definen a estos “drylands”: a) la precipitación es tan baja que el agua es el factor más limitante en todos los procesos biológicos, b) la precipitación es altamente variable en tiempo y espacio, y c) la variación en la precipitación es impredecible (Noy Meir, 1973). Las zonas áridas, semiáridas y seco-subhúmedas se definen climáticamente por su bajo índice de aridez ( $< 0.65$ ), que corresponde a la relación entre la precipitación y la evapotranspiración medias anuales como consecuencia de las altas temperaturas del aire, baja humedad y alta radiación solar (Safriel *et al.*, 2005).

El ciclo hidrológico es un término descriptivo, que explica la circulación del agua entre la atmósfera, océano y tierra (Bonan, 2008). En las zonas áridas y semiáridas la entrada vertical de agua en forma de lluvia (precipitación) es retenida por el área foliar y basal de la vegetación (interceptación), de donde evapora y regresa a la atmósfera. Otra parte de la lluvia llega a la superficie del suelo, entrando en los poros superficiales y moviéndose verticalmente en la matriz del suelo (infiltración), donde la conductividad del agua es más alta en la zona radicular. El agua infiltrada llega al subsuelo por acción de la gravedad a lo que se le denomina percolación. En caso de saturación hídrica del suelo, es decir, cuando todos los poros de suelo están ocupados por agua o en caso de la presencia de una costra física casi impermeable, el agua que llega a la superficie de suelo fluye lateralmente sobre la superficie (escorrentía). La cobertura vegetal y su distribución influyen significativamente en estos procesos hidrológicos y por lo tanto en la disponibilidad de agua en el suelo (Seyfried *et al.*, 2005). Además, la cobertura vegetal formada por árboles, arbustos y/o gramíneas puede prolongar la

disponibilidad del agua en suelo por la sombra y reducción de evaporación que se genera debajo de sus doseles (Slatyer, 1967; Qashu *et al.*, 1972).

Fundamentalmente son las características de la superficie del suelo las que determinan la relación lluvia-intercepción-escorrentía-infiltración entre suelo y vegetación (Cassenave y Valentín, 1989; Reyes-Gómez, 2005) en el sentido de que la distribución espacial, estructura y el crecimiento de la vegetación, influyen directamente en los procesos hidrológicos. Para el estudio de esta interacción entre la vegetación y los procesos hidrológicos se recurre a la ecohidrología; que es una ciencia interdisciplinaria que busca entender como la hidrología interactúa con el funcionamiento de los ecosistemas por el papel funcional de la cobertura y composición de la vegetación y del suelo en la redistribución horizontal y vertical del agua (Porporato y Rodríguez-Iturbe, 2002). En particular, se ocupa de examinar la interacción entre las propiedades del ecosistema que influyen en los procesos hidrológicos para vincular la dinámica de los flujos y almacenes de agua con las lluvias. En las zonas áridas y semiáridas los suelos son los almacenes de agua más importantes, y la dinámica de su tamaño depende de las características biológicas, químicas y físicas de suelo (Chen, 1992; Duan *et al.*, 2004; Xiao *et al.*, 2003). Finalmente, el objetivo de la ecohidrología es comprender las características entrelazadas de clima, suelo y vegetación que caracterizan un bioma y relaciona la dinámica hidrológica a la respuesta espacio-temporal de la vegetación en una región (Rodríguez-Iturbe, 2000).

La cobertura vegetal, la zona radicular y el mantillo (factores bióticos) incrementan la infiltración en zonas áridas (Tadmor y Shanan, 1969) evitando la erosión del suelo por la reducción del impacto de las gotas de lluvia y modificaciones físicas o químicas en la superficie del suelo (Lyford y Qashu, 1969). La vegetación puede reducir las fuerzas de las gotas de agua de lluvia mediante la intercepción por el dosel (Durán y Rodríguez, 2008), lo que reduce la escorrentía (Ziegler y Giambelluca, 1998; Wainwright *et al.*, 2002; Rey, 2003; Puigdefabregas, 2005; Durán *et al.*, 2008). Además, diferentes morfologías y estructuras de la vegetación tienen diferentes efectos sobre la erosión del suelo y los flujos de agua en el suelo

(Van Dijk *et al.*, 1996; Bochet *et al.*, 2006). Van Dijk *et al.* (1996) demostraron que la altura de la planta y la cobertura basal, eran características clave que afectan flujos de agua y la retención de sedimentos. Por lo tanto, la estructura de la vegetación puede controlar la cantidad de agua que entra y que se almacena en el suelo.

Bochet *et al.*, (2006) mostraron un estudio en la zona semiárida del este de España con tres especies dominantes representativas de la vegetación de matorral del mediterráneo (pasto perenne, arbusto de hoja perenne, pasto anual) con diferentes estructuras de dosel y fenología, y fueron elegidas para determinar el efecto de la morfología de la planta en la escorrentía y pérdida de suelo. Hubo mayores tasas de escorrentía en sitios con ausencia de vegetación que en sitios con estos tres grupos funcionales presentes. También se observó que la influencia de la morfología de los tres grupos de planta tuvo efectos significativos sobre la escorrentía y erosión de suelo. La mayor eficiencia en la reducción de la erosión fue el arbusto de hoja perenne, debido a que su dosel es relativamente denso, dando lugar a una capa gruesa de mantillo en la superficie del suelo. El pasto perenne, con una densa cubierta de dosel en forma de paraguas, también redujo significativamente la pérdida de suelo y la escorrentía. Por último, el micrositio con el pasto anual presentó mayores tasas de escorrentía y erosión de suelo ya que la estructura presenta generalmente un dosel y macollo más abierto, y una delgada capa de mantillo en el suelo.

Sin embargo, no solo la estructura de la vegetación puede tener efectos sobre el flujo del agua, también las propiedades de los eventos de lluvia como la duración y la intensidad, pueden influir en la interceptación, la evaporación, infiltración, el encharcamiento y el flujo superficial (Hawke *et al.*, 2006; Struthers *et al.*, 2007). En el mismo estudio de Bochet *et al.*, (2006), con las tres especies dominantes representativas de vegetación de matorral mediterráneo, se determinó el efecto de la intensidad de lluvia sobre la escorrentía y la erosión en estos tres micrositios (> 1m<sup>2</sup> aprox.) Los resultados mostraron que con la simulación de lluvia a intensidades menores de 25 mm/h, no se presentó mucha escorrentía ni hubo casi

erosión bajo la vegetación en micrositios con 55 por ciento de cobertura, mientras que con intensidades superiores a 100 mm/h, si se presentó erosión incluso para los micrositios con cobertura vegetal hasta del 90% independientemente del tipo de cobertura. Las propiedades físicas que gobiernan los procesos de movimiento y distribución del agua precipitada y deposición de sedimentos en las zonas áridas están definidas por la cobertura vegetal y sus características particulares (Wilcox *et al.*, 2003).

El suelo como factor abiótico actúa como un almacén temporal del agua de lluvia infiltrada. El suelo también regula la infiltración, percolación y escorrentía de agua en el suelo (Noy Meir, 1993). La escorrentía en las superficies arenosas y pedregosas es generalmente menor que en suelos arcillosos y limosos (Evenari *et al.*, 1971). En suelos arcillosos y/o limosos característicos de las zonas áridas y semiáridas el agua no penetra más allá de 30 cm, lo que favorece a las plantas con raíces poco profundas (Noy Meir, 1970). La microtopografía de la superficie de suelo describe el microrelieve que modifica la superficie de contacto y afecta los flujos vertical (infiltración) y horizontal (escorrentía) de agua, lo cual afecta la disponibilidad del agua en el suelo (Allmaras *et al.*, 1966; Dunkerley, 2004). Las microdepressiones de la superficie del suelo funcionan como almacén temporal del agua (potencial de agua retenida en el suelo) cuando la intensidad de la precipitación supera la capacidad de infiltración y se comienza a acumular agua en forma de charcos (Mitchell y Jones, 1976; Dexter, 1977; Moore y Larson, 1979). La rugosidad y tortuosidad son otros factores abióticos importantes en el flujo del agua. La rugosidad se refiere al recorrido que efectúa el agua escurrida brincando los elementos (obstáculos) que encuentra a su paso y la tortuosidad se refiere al recorrido que efectúa el agua cuando escurre rodeando los obstáculos (macollos, piedras, etc.) que encuentra a su camino (Moore y Larson, 1979).

Para poder monitorear y cuantificar los procesos ecohidrológicos en diferentes ecosistemas, Reyes *et al.* (2007) y Viramontes-Olivas *et al.* (2008), propusieron una metodología utilizando simulación de lluvia e infiltración controlada. Los trabajos de los autores mencionados, se realizaron con el objetivo de caracterizar

la función hidrológica de la superficie del terreno en la cuenca del río Conchos, ubicada en el estado de Chihuahua. Generaron hidrográmas que describen la dinámica del flujo de agua en función del tiempo, para estimar los coeficientes de infiltración ( $K_i$  en %) y de escorrentía ( $K_e$  en %) y la variable conductividad hidráulica a saturación ( $K_s$  en mm/h) del suelo, que es una de las propiedades físicas de los suelos derivada de la ley de *Darcy*, y sirve como indicador de la capacidad para transferir agua superficial a través del perfil poroso (percolación) mediante el método de infiltración controlada de Beerkan (Lassabatère *et al.*, 2006). En el estudio de Viramontes-Olivas *et al.* (2008), la vegetación y la materia orgánica fueron buenos indicadores de una mayor infiltración. La parte media de la cuenca obtuvo un grado mayor de infiltración que la parte baja, lo que propone un gradiente en los servicios hidrológicos de la cuenca. Los resultados conjuntos de estos trabajos, ponen en evidencia la importancia ambiental de la cubierta vegetal y composición biofísica del terreno en los procesos ecohidrológicos superficiales. En general, se demostró que  $K_s$  es un indicador de la condición superficial del suelo y que refleja en buena forma los servicios ambientales del terreno.

En América, los pastizales naturales forman un ecosistema importante de las zonas áridas y semiáridas. Su vegetación es dominada por gramíneas perennes (Johnson *et al.*, 2003) que están adaptadas al pastoreo por grandes ungulados nativos, una alta variabilidad de precipitación y alta incidencia de sequías prolongadas y incendios naturales (Gertenbach y Potgieter 1975; Watkinson y Powell 1997). Estos conforman los principales factores bajo los cuales evolucionaron las gramíneas que contribuyen a la estructura y el funcionamiento de los pastizales semiáridos (Milchunas *et al.*, 2008).

Como el clima está acoplado a la cobertura vegetal a escala regional, la pérdida de la vegetación por cambios de uso de suelo como el pastoreo intensivo, aumenta el albedo, lo que disminuye la temperatura de superficie, reduce los flujos convectivos, y las lluvias del monzón (Foley *et al.* 2003, Xue *et al.* 2004). Una alta intensidad de pastoreo implica una reducción de la cobertura vegetal y del contenido de materia orgánica en el suelo. Cuando la reducción de la cobertura

vegetal y el contenido de materia orgánica cruza un umbral crítico, la pérdida de suelo por erosión hídrica y eólica puede reducir la profundidad del suelo (por lo tanto la capacidad de almacenamiento de humedad en el suelo) e impedir la recuperación de la productividad de la vegetación (D'Odorico y Porporato, 2006). Por las limitaciones hídricas y largos periodos de pastoreo, la cobertura vegetal basal de los pastizales semiáridos, alcanza entre 10 y 40%, incrementando los interespacios entre los manchones de vegetación (Hook *et al.*, 1991) a lo que se le denomina suelo desnudo. Esta cobertura abierta sin vegetación vascular entre los macollos de gramíneas, crea condiciones micro-climáticas distintas (interespacios) a los de los macollos (Schlesinger *et al.*, 1996). Conforme la zona de suelo desnudo entre los macollos de gramíneas aumenta, también lo hace la interconexión de éstos, lo que conlleva a un incremento proporcional de la velocidad del flujo de escorrentía especialmente bajo condiciones de pendiente (Huang *et al.*, 2007; Dunne *et al.*, 2011; Vega y Montaña, 2011). Ésta pendiente se comporta como un mosaico de superficies de suelo desnudo (áreas de escorrentía) que actúan como fuente de sedimentos, nutrientes y agua para los parches de vegetación que actúan como sumideros (ej. Sánchez y Puigdefabregas, 1994; Calvo *et al.* 2003).

La actividad humana ha sido un factor primordial en la modificación del sistema ecohidrológico, a través del cambio de uso de suelo por la agricultura, la industria, el transporte, las comunicaciones y el desarrollo y diversos tipos de manejo de los ecosistemas (Vitousek, 1994; Fries *et al.*, 2004). La modificación de las propiedades físicas del suelo debido al pastoreo, en conjunto con la reducción de la cobertura vegetal, frecuentemente resultan en un decremento de la tasa de infiltración e incremento en la erosión, especialmente a altas tasas de intensidad de pastoreo (Blackburn, 1984; Li *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2004). El pastoreo puede alterar la tasa de infiltración del agua en el suelo, debido a la remoción de la cubierta vegetal y por el pisoteo del ganado (Di *et al.*, 2001). La vegetación y la cobertura del mantillo sirven para proteger la superficie del suelo del impacto de la gota de lluvia y modifican la densidad aparente, el contenido de materia orgánica y la agregación del suelo. La reducción en la tasa de infiltración como resultado del

pastoreo ha sido atribuida: a la pérdida de la cubierta vegetal, el decremento de la cobertura por mantillo, el incremento del suelo desnudo y al incremento de la densidad aparente como resultado del pisoteo (McCalla *et al.*, 1984; Di *et al.*, 2001; Drewry y Paton, 2005).

Un disturbio natural de los pastizales es el fuego, aunque las prácticas de manejo de fuego han alterado los regímenes naturales del mismo (Luna, 2009). Hay muchos relatos de la ocurrencia de incendios y su papel como una fuerza determinante en el desarrollo, la estructura y la función de pastizales (Sauer, 1951; Wright, 1974; Taylor, 2003; Sparks *et al.*, 2005). Sauer (1951) afirmó que el fuego era más importante que el clima en el mantenimiento de los pastizales, y propuso que las praderas sin árboles son el producto de los incendios repetidos establecidos por los aborígenes y asentamientos humanos. La ocurrencia de incendios en los pastizales naturales se atribuye a las características de las grandes áreas de vegetación continua, al libre flujo del viento, baja humedad y periodos de sequía recurrentes (Vogl, 1979; Barbour *et al.*, 1980; Wright y Bailey, 1982). Los efectos del fuego no son predecibles, y las respuestas de la vegetación podrían variar dependiendo de la condición y la gestión del incendio antes, durante y después de la quema (Stoddart y Smith, 1943; Wright y Bailey, 1982). El fuego prescrito ha sido empleado en los ecosistemas de pastizal semiárido como herramienta para el manejo y control de especies no deseadas, especialmente de las arbustivas (Luna, 2009; Ravi *et al.*, 2009). Un evento de quema produce efectos en varios procesos del ecosistema de pastizal, mientras que la recuperación del mismo depende de la integridad de la comunidad biótica previo y posterior al fuego (Pellant *et al.*, 2005). La alteración de la estructura física del suelo (rugosidad y estabilidad), y la capacidad de retención hídrica (alterada por la liberación y condensación de sustancias vegetales como aceites y resinas que forman una capa hidrofóbica) incrementan en conjunto la escorrentía superficial y la erosión de suelo (Ravi *et al.*, 2009; Madsen *et al.*, 2012).

En México, los ecosistemas áridos y semiáridos cubren actualmente el 54% de la superficie del territorio (Cervantes, 2005), donde el 6.4% corresponde a los

pastizales naturales semiáridos (CONABIO, 2009). La gramínea *Bouteloua gracilis* (navajita) es la especie clave del pastizal semiárido norteamericano incluyendo México (Medina *et al.*, 2007, Lauenroth *et al.*, 2008). Se trata de una gramínea C<sub>4</sub>, perenne corta de 60 cm, con macollos compactos que dependiendo de la edad, pueden encontrarse fragmentados aunque altamente adaptados morfológica y fisiológicamente a la sequía, pastoreo y fuego (Lauenroth *et al.*, 2008). En áreas con disturbio, *Bouteloua gracilis* (*B. gracilis*) puede ser reemplazada por *Bouteloua scorpioides* Lag., *Bouteloua hirsuta* Lag., *Aristida divaricata* Humb. & Bonpl. ex Willd, *Lycurus phleoides* Kunth o *Muhlenbergia rigida* (*M. rigida*) Kunth (Medina *et al.*, 2007). En los últimos 50 años, el pastizal semiárido de México se encuentra entre los biomas que más ha sufrido por la expansión creciente de la población rural, la extracción excesiva e incontrolada de sus recursos naturales, la introducción de gramíneas de origen africano (Melgoza *et al.*, 1998), la expansión de la frontera agrícola, y la urbanización (Palacio Prieto *et al.*, 2000; Velásquez *et al.*, 2002; Huber-Sannwald, 2003). La conversión de los pastizales naturales a otros usos del suelo, provoca una pérdida de la cobertura vegetal y cambios en la composición de especies (Chapin *et al.*, 2008), causando alteraciones en la cobertura y estructura de las comunidades vegetales y en las funciones del ecosistema (Belsky, 1992; Noy Meir, 1995; Houghton y Goodale, 2004). Durante las últimas décadas, los cambios de uso de suelo en los pastizales de México, han modificado la cobertura y composición vegetal, en específico la abundancia de las gramíneas dominantes en estos ecosistemas, las cuales poseen por su abundancia potencialmente importantes funciones ecohidrológicas tales como la intercepción de lluvia, almacenamiento de agua en suelo y drenaje profundo (Newman *et al.*, 2006).

Siendo ecosistemas semiáridos, con limitaciones de agua, es importante conocer la dinámica ecohidrológica en función a los diferentes manejos de uso del suelo y de la cobertura vegetal en los pastizales. Aún se desconoce el papel que tienen en este sentido los grupos de gramíneas nativas en los diversos ambientes donde coexisten (Lebgue, 2002). Aunque existen estudios sobre ecohidrología en pastizales semiáridos de México (ej. Serna *et al.*, 2002), no existe conocimiento



detallado sobre como el manejo del fuego influye en la cobertura, morfología y estructura de los macollos de especies de gramíneas y su influencia en procesos ecohidrológicos. Aún no existen estudios donde se determina la eficiencia de las plantas nativas a nivel individuo y la importancia de su morfología en procesos de infiltración, escorrentía y percolación en regiones semiáridas donde la vegetación es a menudo escasa y distribuida en un mosaico de parches de vegetación o plantas aisladas e interespacios. Esta falta de información contrasta con la gran cantidad de estudios que hacen hincapié en la importancia de la distribución irregular de la vegetación y de los procesos que actúan en la escala de parche, en el transporte de sedimentos y flujos de agua a escalas espaciales más grandes (ej. Bergkamp, 1998; Puigdefábregas *et al.*, 1999; Bochet *et al.*, 2000) y en el buen funcionamiento del ecosistema (ej. Ludwig y Tongway, 1995; Maestre y Cortina, 2004).

Dicho lo anterior, se consideró importante entender efectos a nivel de micrositios creados por macollos de distintas especies porque así la abundancia y distribución espacial de diferentes gramíneas podría influir en procesos ecohidrológicos a escala de la comunidad y en el funcionamiento de los pastizales. Por lo que nos planteamos las siguientes preguntas de investigación para examinar los procesos ecohidrológicos en un pastizal en el Centro de México con *B. gracilis* y *M. rigida* como especies dominantes, con potreros con distintos tratamientos de fuego prescrito en 2010: 1) ¿Cómo el fuego afecta la cobertura (basal, mantillo y el suelo desnudo) y distribución espacial de la misma en micrositios asociados a *B. gracilis* y *M. rigida*?, 2) ¿Cómo el fuego altera los factores abióticos del suelo (textura del suelo, microtopografía, microdepresiones, tortuosidad, rugosidad, porosidad) de los micrositios de *B. gracilis* y *M. rigida*?, 3) ¿Cómo difiere el porcentaje de escorrentía ( $K_e$ ) de agua en micrositios asociados a *B. gracilis* y *M. rigida* en función de una intensidad alta (49 mm/h) y baja (15 mm/h) de lluvia simulada (representativas al sitio) bajo condiciones de suelos secas y húmedas. 4) ¿Cómo difiere la percolación ( $K_s$ ) de agua en el suelo bajo macollos de *B. gracilis* y *M. rigida* en comparación a suelo desnudo con y sin fuego?, 5) ¿Qué correlación

existe entre las variables bióticas y abióticas del suelo con el porcentaje de escorrentía y percolación para cada tratamiento?

Las hipótesis planteadas fueron:

Para el porcentaje de escorrentía ( $K_e$ ):

Hipótesis 1: Sin fuego prescrito y a baja intensidad de lluvia en condiciones secas y húmedas del suelo, ambas especies (*B. gracilis* y *M. rigida*) presentarán menores porcentajes de escorrentía por la cobertura vegetal y presencia de mantillo en comparación a los sitios con fuego.

Hipótesis 2: Con fuego prescrito, la escorrentía de agua en el suelo, será mayor a ambas intensidades y ambas condiciones de suelo (seca y húmeda) en micrositios con *B. gracilis* debido a su bajo dosel y macollos fragmentados (promotores de escorrentía) que en micrositios de *M. rigida* con mayor tamaño de dosel y de macollo compacto.

Para la percolación en función de la conductividad hidráulica a saturación ( $K_s$ ):

Hipótesis 3: Para ambas especies (*B. gracilis* y *M. rigida*) con y sin fuego, la percolación de agua en el suelo será mayor en micrositios con cobertura vegetal que en los micrositios sin cobertura vegetal.

Hipótesis 4: En micrositios con presencia de cobertura vegetal, las parcelas de *M. rigida* con y sin fuego, tendrán mayor percolación de agua en el suelo que en parcelas de *B. gracilis* con y sin fuego, por el gran tamaño de macollos y alta acumulación de mantillo de *M. rigida*.

Hipótesis 5: En micrositios ausentes de cobertura vegetal, la percolación de agua en las parcelas de *M. rigida* y *B. gracilis* sin fuego será mayor, que en parcelas de *M. rigida* y *B. gracilis* con fuego por la alteración de la estructura física del suelo y la baja capacidad de retención hídrica causada por la posible formación de una capa hidrofóbica en el suelo a causa del fuego.

El objetivo general de este estudio fue conocer y comparar el efecto del fuego sobre la cobertura vegetal (basal) y de mantillo en la dinámica de escorrentía por simulación de lluvia bajo dos intensidades representativas (49 mm/h y 15 mm/h) y la percolación de agua (por método Beerkan) en micrositios de *B. gracilis* y *M. rigida* en los pastizales semiáridos de Ojuelos, Jalisco.

Los objetivos específicos fueron:

- 1) Caracterizar la superficie de cada micrositio de *B. gracilis* y *M. rigida* por la cobertura vegetal basal, mantillo y suelo desnudo; por su microtopografía (microdepresiones, tortuosidad, rugosidad), potencial de retención de agua en el suelo desnudo y por su característica física de suelo (textura, porosidad) en presencia y ausencia de fuego, para relacionar estas variables a los procesos ecohidrológicos.
- 2) Generar los hidrográmas de escorrentía para todas las parcelas e intensidades de lluvia y estimar el volumen de agua retenida y el periodo de retención de agua en las parcelas antes de que ocurriera la escorrentía y compararlo entre tratamientos.
- 3) Comparar los porcentajes de escorrentía ( $K_e$ ; %) en parcelas entre *B. gracilis* y *M. rigida* y fuego bajo la intensidad alta (48 mm/h) e baja (15 mm/h) de lluvia a condiciones seca (primer simulación) y húmedas (30 minutos después de la primer simulación) del suelo.
- 4) Determinar y comparar los coeficientes de conductividad hidráulica ( $K_s$ ; mm/h) para conocer la percolación de agua el suelo bajo cobertura vegetal de *B. gracilis* y *M. rigida* así como para suelo desnudo en todos los tratamientos.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Sitio de estudio

La región de estudio se localiza en la subprovincia geográfica de los Llanos de Ojuelos (21° 49' N, 101° 37' W, 2200 m.s.n.m.), Jalisco la cual alberga la zona de pastizal mediano abierto en su distribución más meridional de Norteamérica, ubicada a 2200 m.s.n.m. (Aguado *et al.*, 1998). La región presenta un clima semiárido con una precipitación media anual de  $424 \pm 11$  mm (últimos 30 años) distribuidos principalmente entre junio y septiembre, seguido de 6 a 9 meses secos, con lluvias de invierno <5% de la precipitación total anual (García, 2003). Las temperaturas medias anuales son  $17.5 \pm 0.5$  °C, con temperaturas medias mensuales oscilando entre 2.2 °C para meses más frío y de 26.8 °C para los meses más cálidos (conjunto de datos a la estación meteorológica de Sitio Experimental Vaquerías, INIFAP). La topografía del área se caracteriza por la predominancia de valles y colinas poco pronunciadas, cuyos suelos son clasificados como Xerosoles háplicos asociados con litosoles y planosoles éútrico y phaeozems háplicos con litosoles. Los suelos son de poca profundidad con dos horizontes (0 a 25 cm y de 25 a 40 cm) y cuyas texturas varían de arcilla limosa a francoarenosa, mostrando una capa cementada de caliche a 50 cm de profundidad (COTECOCA, 1979).



Figura 1. Sitio de estudio ubicado en los Llanos de Ojuelos, Jalisco, México. Imagen de Google Earth, 2013

Es un pastizal natural recuperado desde hace 50 años, que ha sido utilizado anteriormente para agricultura, aunque no existen registros sobre cultivos o manejo. Actualmente el sitio se encuentra bajo un régimen de pastoreo moderado (8-10 ha/unidad animal (UA) por año) y quema prescrita (en el 2010). A pesar de

que este sitio tiene una alta cobertura vegetal de *Bouteloua gracilis*, ha sido sustituido en gran medida por especies de gramíneas evitadas por el ganado como *Muhlenbergia rigida* (Kunth) Trin., entre otros (Delgado-Balbuena *et al.*, 2012) (Figura 1).

## **2.2 Metodología**

### **2.2.1 Caracterización de cobertura del suelo**

Debido a la presencia de parches de vegetación, se seleccionaron cinco parcelas de 1 x 1 m con macollos representativos de *B. gracilis* y de *M. rigida* en dos potreros con pastoreo moderado. Uno de los potreros recibió un tratamiento de fuego prescrito en 2010 y el otro fungió como control. Se insertaron un total de 20 cuadros de hierro para delimitar las parcelas de escorrentía (Figura 2). Dentro de cada parcela, se determinó la cobertura y composición vegetal superficial. Cada punto de muestreo se clasificó bajo los criterios de Casanave y Valentin (1989), que proponen distinguir entre suelo desnudo, costra biológica de suelo, grava, mantillo, vegetación aérea y basal. Para estimar el porcentaje de diferentes tipos de cobertura y la microtopografía del suelo, se colocó una malla a 30-40 cm de altura sobre la parcela de un metro cuadrado marcada con líneas de 5 cm de distancia entre cada una para el eje “y” y “x” resultando en 400 puntos (Figura 3). Con el uso de un estadal graduado en milímetros y un nivel topográfico (Wild-Heerbrugg, 1994), se registró la cobertura basal que se clasificó en las especies de las gramíneas y otras herbáceas, mantillo y suelo desnudo para fines de este estudio, donde los 400 puntos corresponden al 100 por ciento y cada 4 cuadros de 5 cm equivalen a 1% del área de la parcela, con lo cual se obtuvo el porcentaje de cada tipo de cobertura para cada micrositio. El nivel topográfico se colocó en función a la pendiente y con él se realizó la lectura del microrelieve del suelo en el vértice izquierdo tomando las 400 coordenadas correspondientes (x, y, z) donde z es la altura medida con el nivel (Figura 4). La estimación de la microtopografía nos sirvió para obtener las microdepresiones en el suelo para cada parcela.

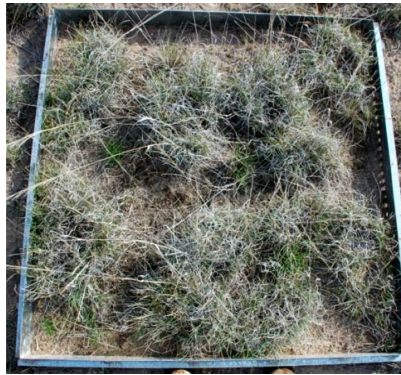
a



b



c



d



Figura 2. Parcelas de escorrentía con las diferentes gramíneas en potreros sin y con fuego en el sitio de estudio INIFAP, Vaquerías, Jalisco con régimen de pastoreo moderado. Para *B. gracilis* a) con fuego, b) sin fuego y para *M. rigida* c) con fuego, d) sin fuego. Parcelas miden 1 x 1 m.

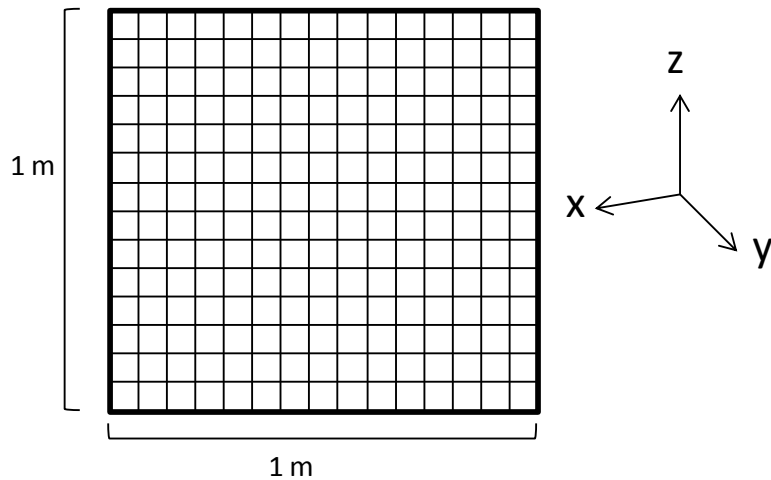


Figura 3. Representación del mallado sobre la unidad experimental de 1 metro cuadrado con distribución de las líneas transecto de 5 cm de distancia.

a



b

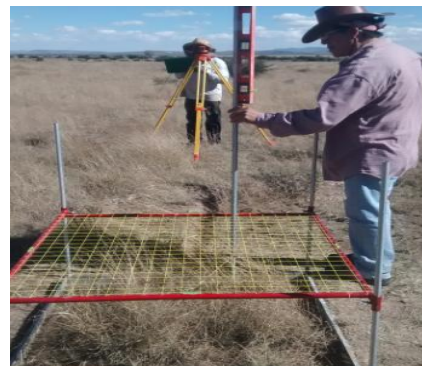


Figura 4. Medición de la microtopografía del suelo en cada parcela con un estadal y un nivel topográfico (Wild-Heerbrugg, 1994); a) mallado de 400 puntos con las tres coordenadas (eje x, eje y, eje z = estadal); b) medición de la microtopografía en campo y caracterización de cobertura en cada parcela.

### 2.2.2 Estimación de características abióticas de la superficie de suelo

Las propiedades físicas de la superficie de suelo que influyen en la escorrentía son los obstáculos que inhiben el flujo de agua y se expresan como microdepresiones, potencial de retención de agua en suelo desnudo, índices de rugosidad y tortuosidad. Las microdepresiones de cada parcela se determinaron con las lecturas de la microtopografía de suelo para 400 puntos que se graficaron con el programa ArcGIS 9.3. Con la determinación de las dimensiones de las microdepresiones se obtuvo el potencial de retención de agua en la superficie del suelo desnudo en términos de volumen ( $\text{cm}^3$ ) de cada parcela. Este volumen de agua corresponde al agua acumulada potencialmente en los interespacios ausentes de vegetación perenne (suelo desnudo) en forma de “charco de agua” en cada parcela. Con el mismo programa ArcGIS 9.3, se obtuvo las gráficas de distribución espacial de la cobertura de suelo para cada parcela.

La porosidad del suelo se obtuvo en campo con una muestra de suelo seco adyacente al cilindro de percolación con un densímetro de  $169.64 \text{ cm}^3$  y después a partir de la relación de la densidad aparente y la densidad real en el suelo según la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000:

$$P = \left[ \frac{d_r - d_a}{d_r} \right] 100$$

Donde:

$d_r = \text{densidad real (g)}$ ,  $d_a = \text{densidad aparente (g)}$

La densidad real del suelo se mandó a analizar en el Laboratorio de Física de Suelo del COLPOS (campus México, Texcoco) con el método del picnómetro según la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000:

$$d_r = \frac{m_s}{v_s}$$

Donde:

$m_s = \text{masa de sólidos (g)}$



$v_s = \text{volumen de sólidos}(cm^3)$

La densidad aparente se calculó en el Laboratorio Ecología y Cambio Ambiental Global del IPICYT para cada tratamiento con un densímetro de 169.64 cm<sup>3</sup> y a partir de la relación según la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000:

$$d_a = \frac{m_{60^\circ C}}{v_d}$$

*Donde:*

$m_{60^\circ C} = \text{peso de suelo seco a } 60^\circ C \text{ hasta peso constante (g)}$

$v_d = \text{volumen de densímetro (cm}^3\text{)}$

Adicionalmente se tomaron 30 g de suelo para determinar 5 diferentes fracciones granulométricas del suelo: arcilla (<0.002 mm), limo (0.05 - 0.1 mm), arena fina (0.25 - 0.1 mm), arena media (0.5 – 0.25 mm), y arena gruesa (1 0.5 mm); éstos análisis de textura de suelo se mandaron a hacer al Laboratorio de Física de Suelo del COLPOS (campus México, Texcoco) según la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000.

Los índices de tortuosidad y rugosidad se midieron mediante el método de cadena dentro de cada parcela (Liñares *et al.*, 1998). Para medir la tortuosidad (Figura 5), se colocó una cadena de metal en un extremo de la parcela y se realizó el recorrido de manera perpendicular al pendiente dentro de la parcela con la cadena rodeando los elementos que encuentre en su camino, posterior a esto se mide la longitud que recorrió la cadena y se relacionó esta longitud con la longitud de la parcela. Para cada índice se realizaron 5 repeticiones por parcela.

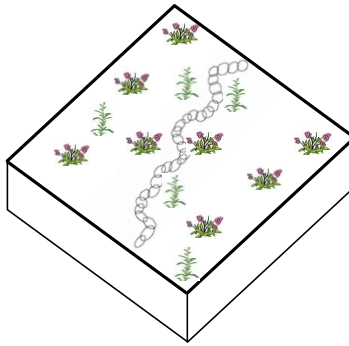


Figura 5. Representación de medición de la tortuosidad con el método de la cadena (Liñares *et al.*, 1998).

La fórmula para el cálculo de la tortuosidad está dada por la siguiente ecuación:

$$T = \frac{D_r T}{DL}$$

Donde:

- $D_r T$  = distancia que recorre el agua rodeando obstáculos (cm)
- $DL$  = distancia de medición (cm), en este caso, longitud de la parcela (1 m)

Para medir la rugosidad (Figura 6) se usó una cadena metálica de longitud conocida y de un extremo de la parcela se deslizó sobre todo el material o materia que se encontró en su paso. Posteriormente se midió la longitud que recorrió la cadena en la parcela.

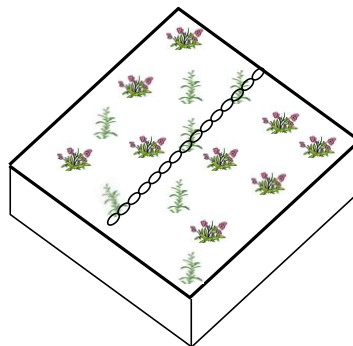


Figura 6. Representación de medición de la rugosidad con el método de la cadena (Liñares *et al.*, 1998)

La fórmula para el cálculo de de la rugosidad está dada por la siguiente ecuación:

$$R = \frac{D_r R}{DL}$$

*Donde:*

- $D_r R$  = distancia que recorre el agua brincando obstáculos (cm)
- $DL$  = distancia de medición (cm), en este caso, longitud de la parcela (1 m)

### **2.2.3 Protocolo para establecer las intensidades de lluvia**

El protocolo de simulación de lluvia se estableció a partir de las láminas de lluvia (mm) y la duración de los eventos (min.) registrados por la estación meteorológica automática (EMA) ubicada en el Campo Experimental de INIFAP, Vaquerías, Jalisco de los que se tienen registro desde diciembre del 2010 hasta el año 2014 en intervalos de 10 minutos. Primero se hizo una compilación de las duraciones donde hubo registro de lámina de lluvia. Posteriormente se realizó una agrupación de los eventos de lluvia (mm/h) para conocer el acumulativo de cantidad de lámina de lluvia por registro diario a lo largo de cada año (2010, 2011, 2012 y 2013). Se estimó la duración y la intensidad (mm/h) de lluvia más frecuentes en estos 4 años y se calculó el promedio de los eventos de alta y baja intensidad de lluvia en cada año. Estos datos se compararon con las intensidades y duraciones de eventos de lluvias del año 2010, de donde se tiene registro previo de escorrentía (en las parcelas de escorrentía de 1 m<sup>2</sup> que se encuentran colocadas en la estación INIFAP) correspondientes a intensidades altas y bajas de lluvia. Se tomaron los registros de las intensidades y duraciones de lluvia promedio de los que coincidían con los registros de las camas de escurrimiento para asegurar la cuantificación de escorrentía en parcelas donde se hicieron las simulaciones de lluvia. Con este criterio, se estimó un promedio de una intensidad alta y otra baja representativa a los eventos de lluvia reales presentados en los últimos 4 años con las duraciones representativas correspondientes. Por lo que se decidió aplicar una intensidad de lluvia baja de 15 mm/h en un lapso de una hora con treinta minutos; y como intensidad alta de 49 mm/h con una duración de treinta minutos la cual representa la lámina promedio de la precipitación.

#### **2.2.4 Simulación de lluvia**

Para cada tratamiento se colocaron 5 parcelas de escorrentía de hierro de 1m<sup>2</sup> con un total de 20 parcelas. Se estimó la dirección de la pendiente y se insertaron las parcelas con el tubo de salida de agua en la dirección de la pendiente (Figura 7). Se simularon dos eventos de lluvia con la misma intensidad (alta y baja) para evaluar el efecto del estado de humedad inicial del suelo en la escorrentía e infiltración, tomando un tiempo de 30 minutos entre cada aplicación, para permitir la infiltración de agua excedente del suelo de la parcela antes de aplicar la segunda simulación de lluvia para el estado húmedo del suelo. Únicamente se realizaron dos repeticiones de cada intensidad debido a que las condiciones climáticas (precipitaciones) no nos permitieron realizar las 5 repeticiones para cada intensidad de lluvia.

El principio de un simulador de lluvia es la simulación de una lluvia parecida a la natural. El evento a simular es a partir de un aspersor, donde según la apertura o ángulo del giro se define la intensidad de lluvia. El simulador de lluvia utilizado es de un solo aspersor (ORSTOM: Asseline-Valentín, 1978) de balanceo. El mecanismo de control es mediante una cabeza electrónica modelo: EID 340 (Deltalab ref: EID 340). Mediante la cabeza electrónica se determina y controla la intensidad de lluvia (Asseline, 1988; Viramontes-Olivas *et al.*, 2008). El sistema de alimentación de energía eléctrica y flujo de agua es el mismo descrito por Miranda-Ojeda (2006) y Sánchez-Fernández (2006). Del aspersor, el agua cae sobre el suelo de la parcela de escorrentía en forma de lluvia (Figura 8). La intensidad del evento y su duración se programan por un control electrónico mejor conocido como “cerebro”. Antes y después de cada simulación se realizó una calibración del equipo con 10 lecturas programando el cerebro electrónico a la intensidad establecida. Para esta calibración se colocó una base metálica sobre la parcela de escorrentía.

a



b



c



d



Figura 7. Simulador de lluvia a) colocación de parcelas de escorrentía de 1 m<sup>2</sup>; b) instalación del simulador de lluvia; c) aspersor de agua, d) tubo se salida de agua de escorrentía y lamina para calibración de la simulación.

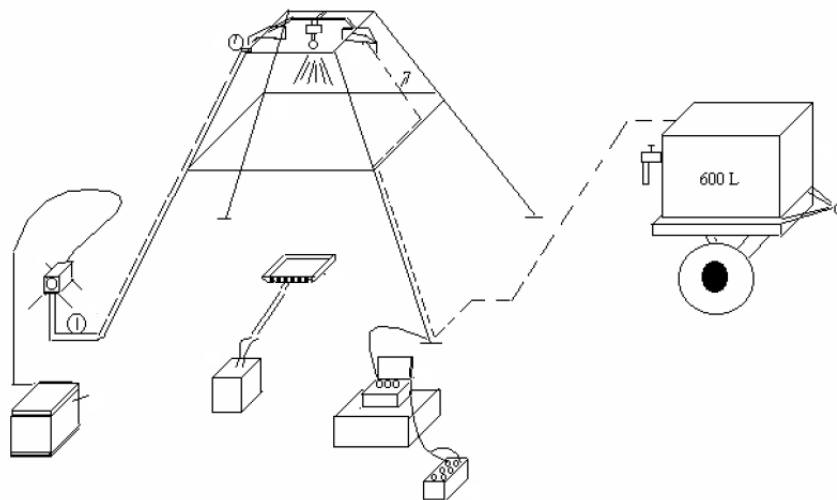


Figura 8. Diagrama del simulador de lluvia (IRD-DELTALAB)

Con los datos registrados en el transcurso de una simulación de lluvia se puede generar los hidrográmas de escorrentía para determinar el porcentaje de escorrentía a partir de la lámina precipitada ( $L_p$ ), mientras que la lámina escurrida ( $L_e$ ) es calculada mediante el volumen de escorrentía recolectado en recipientes durante el protocolo de simulación. Con la diferencia entre estos dos valores se estima la lámina infiltrada ( $L_i$ ); con estos datos se calcula el coeficiente de escorrentía ( $K_e$ ) (Betancourt-Yanez *et al.*, 2000; Miranda-Ojeda, 2006; Sánchez-Fernández, 2006; Reyes-Gómez *et al.*, 2007; Viramontes-Olivas *et al.*, 2008). Una vez recolectados los datos (volumen total de escorrentía en función del tiempo) se procede a la construcción de los hidrogramas de escorrentía, esto con el fin de representar gráficamente el comportamiento hidrodinámico de la superficie del suelo.

### **2.2.5 Método Beerkan para calcular la percolación de agua en el suelo**

El método Beerkan *in situ*, (Lassabatère *et al.*, 2006) estudia la evolución del proceso de infiltración, con el fin de determinar la conductividad hidráulica a saturación ( $K_s$  de los primeros 15 cm de profundidad de suelo), que traduce la facilidad o “resistencia” del suelo por dejar pasar agua, reflejando el papel del mismo en la captación de agua de lluvia (servicio o función hidrológica). En la literatura relacionada con la teoría sobre las propiedades hidráulicas del suelo se menciona que en la naturaleza es precisamente el suelo, el soporte físico del proceso de infiltración, donde se cumple esa formalización generalizada, que siempre es descrita mediante ecuaciones empíricas o basadas teóricamente en leyes físicas (Hillel, 1980).

El método *in situ* de Beerkan consiste en insertar seis cilindros de PVC con 25 cm de diámetro y 30 cm de altura en el sitio de estudio a 10 cm sobre el nivel del suelo (Figura 9). Los cilindros se ordenaron en forma de las manecillas del reloj, uno en medio y los demás alrededor a una distancia mínima de 1 m uno del otro. Para cada tratamiento se colocaron cinco cilindros dentro de los macollos de *B. gracilis* y *M. rigida* y un cilindro en un interespacio entre los macollos de una especie sobre suelo desnudo (Figura 10).

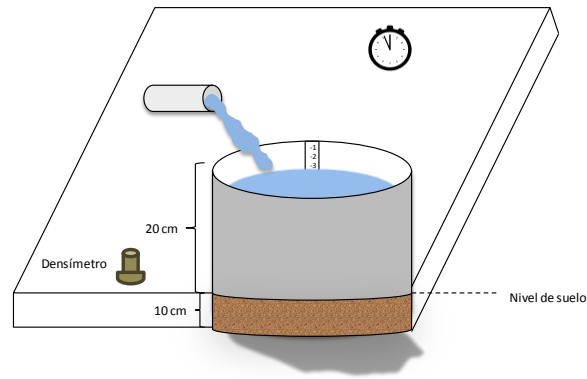


Figura 9. Instalación de cilindro para método Beerkan in situ (Lassabatère et al., 2006).

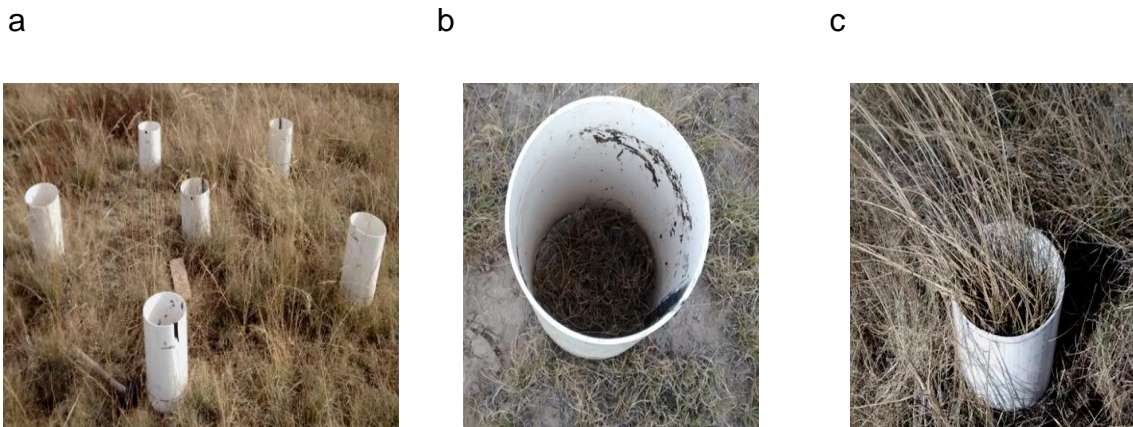


Figura 10. Medición *in situ* de la infiltración por método Beerkan; a) instalación de los 6 cilindros de infiltración controlada; b) cilindro colocado sobre macollo de *B. gracilis* para el tratamiento con fuego; c) cilindro colocado sobre macollo de *M. rigida* para el tratamiento sin fuego.

A cada cilindro se le aplicó una lámina constante de agua hasta llevar al suelo a condición de saturación, mientras se registró la lámina infiltrada en función del tiempo. Se realizaron mediciones de volumen de agua infiltrada en series de tiempo de 1 min para 40 lecturas para cada cilindro, se estableció 40 min porque en ese lapso de tiempo se consideró que se alcanza el régimen constante de infiltración de agua en el suelo.

Con los valores de infiltración en función del tiempo, se construyen las curvas de infiltración de la evolución de la infiltración bajo carga constante de agua, determinada con mediciones de campo por el método Beerkan (Anexo 1). A esa curva corresponden parámetros de forma en tiempo e infiltración ( $\alpha_t, \alpha_I$ ), empleados en el modelo Brooks y Corey (Anexo 2). La teoría de la infiltración en los suelos, considerada en el método aplicado, muestra la existencia de la relación ligada a los parámetros de textura y de porosidad de suelo (Findeling, 2001). Al suelo donde se aplicó el experimento de infiltración, se le determinó la granulometría de 5 fracciones de suelo descrito en la sección anterior: arcilla (<0.002 mm), limo (<0.05 mm), arena fina (<0.25 mm), arena media (<0.5 mm), arena gruesa (<1 mm).

Con los valores de granulometría, se obtuvieron los parámetros de forma ( $nm$ ) que se emplearon en la estimación de  $K_s$  con base al modelo de Brooks y Corey (De Condapa, 2000) (Anexo 2). El parámetro  $\alpha$  mide la importancia relativa de la gravedad y la capilaridad en el movimiento del agua. Los valores menores de  $\alpha$  corresponden a suelos de textura fina y los valores mayores a suelos de textura gruesa (ver detalle de adimensionalización en Reyes-Gómez, 2002; Findeling, 2001 y De Condapa, 2000) (Anexo 2). La relación que liga los coeficientes de  $\alpha_t$  y  $\alpha_I$ , para la determinación de  $K_s$  está dada por el modelo siguiente:

$$K_s = \frac{\alpha_t}{\alpha_I} \left[ 1 - \left( \frac{\theta_0}{\theta_s} \right)^\eta \right]^{-1}$$

Donde:

- $K_s$  = conductividad hidráulica (m/s)
- $\theta_0$  = humedad inicial ( $mm^{-3}$ )
- $\theta_s$  = humedad a saturación ( $mm^3$ )
- $\alpha_t$  = parámetro adimensional de infiltración ( $m^{-1}$ )
- $\alpha_I$  = parámetro adimensional de tiempo ( $t^{-1}$ )
- $\eta$  = parametro de forma de la curva de conductividad hidráulica



### 2.3 Diseño experimental

Para esta investigación se contempló un estudio experimental en sitios con tratamientos con y sin fuego prescrito en 2010 en dos potreros con pastoreo moderado.

Cuadro 1. Diseño para características bióticas y abióticas de los micrositios

Diseño para determinar las características bióticas y abióticas de los micrositios		
Variables de respuesta:		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- tortuosidad (cm.cm<sup>-1</sup>)</li> <li>- rugosidad (cm.cm<sup>-1</sup>)</li> <li>- potencial de retención de agua en suelo desnudo (cm<sup>3</sup>)</li> <li>- textura de suelo (%)</li> <li>- porosidad (%)</li> <li>- humedad (%)</li> <li>- cobertura de suelo (%)</li> </ul>		
Factores	Niveles	Descripción de Niveles
Especie anidado a fuego	4	con fuego / <i>Bouteloua gracilis</i>
		con fuego / <i>Muhlenbergia rigida</i>
		sin fuego / <i>Bouteloua gracilis</i>
		sin fuego / <i>Muhlenbergia rigida</i>
Repeticiones	5	por micrositio
Total	20	Muestras

Cuadro 2. Coeficiente de escorrentía de agua de lluvia

Diseño para la determinación de escorrentía con simulación de lluvia		
Variables de respuesta: - Coeficiente de escorrentía ( $K_e$ , %) - Periodo de retención de agua antes de escorrentía ( $h$ ) - Agua retenida antes de escorrentía ( $mm$ )		
Factores	Niveles	Descripción de Niveles
Especie anidado a fuego	4	con fuego / <i>Bouteloua gracilis</i>
		con fuego / <i>Muhlenbergia rigida</i>
		sin fuego / <i>Bouteloua gracilis</i>
		sin fuego / <i>Muhlenbergia rigida</i>
Intensidad de lluvia	2	Alta (48 mm/h)
		Baja (15 mm/h)
Condiciones de humectación del suelo	2	condición seca
		condición húmeda
Repeticiones	2	por micrositio
Total	32	Simulaciones

Cuadro 3. Diseño para determinación de la conductividad hidráulica a saturación por método de Beerkan

Diseño para determinación de la conductividad hidráulica a saturación por método de Beerkan		
Variable de respuesta: - Conductividad hidráulica a saturación ( $K_s$ , mm/h)		
Factores	Niveles	Descripción de Niveles
Especie anidado a fuego	4	con fuego / <i>Bouteloua gracilis</i>
		con fuego / <i>Muhlenbergia rigida</i>
		sin fuego / <i>Bouteloua gracilis</i>
		sin fuego / <i>Muhlenbergia rigida</i>
Micrositios (2)	1	suelo desnudo
	5	con vegetación
Repeticiones	5	Muestras
Total	120	Cilindros de percolación

## 2.4 Análisis estadísticos

Cada variable biótica (cobertura basal, mantillo, suelo desnudo) y abiótica (potencial de retención de agua en suelo desnudo, agua retenida antes de escorrentía, periodo de retención de agua antes de la escorrentía, tortuosidad, rugosidad y porosidad) del suelo se analizaron con un análisis de varianza (ANOVA) multifactorial anidado con el factor fijo de fuego prescrito (con y sin fuego) y especie (*B. gracilis* y *M. rigida*) anidado al fuego (Cuadro 1). Para determinar si existen diferencias significativas entre las combinaciones de tratamientos en caso de interacciones significativas se aplicó la prueba *post-hoc* de Tukey para la comparación de medias mejor conocida por sus siglas en inglés como LSmeans y se reportó el LSmeans y un error estándar ( $\pm 1$  error estándar) de cada variable de respuesta. Se realizaron pruebas de normalidad para todas las variables de respuesta con la prueba de Wilk's Lambda; se realizó una transformación *logarítmica* para la variable potencial de retención de agua en suelo desnudo y una transformación *logit* ( $\log(P/[1-P])$ ) para el análisis de porosidad de suelo.

La variable de respuesta porcentaje de escorrentía (*Ke*) (Cuadro 2) se analizó con un análisis de varianza (ANOVA) multifactorial anidado con los factores fijo de manejo de fuego (con y sin fuego), especie (*B. gracilis* y *M. rigida*) anidado en fuego, y intensidad (alta, baja) y se incorporó la humedad inicial del suelo como covariable. La variable de respuesta conductividad hidráulica a saturación (*Ks*) se analizó con un análisis de varianza (ANOVA) multifactorial anidado con los factores fijo de manejo de fuego (con y sin fuego), especie (*B. gracilis* y *M. rigida*) anidado en fuego, y micrositio (suelo desnudo/cobertura vegetal) (Cuadro 3). Para determinar si existen diferencias significativas entre las combinaciones de tratamientos en caso de interacciones significativas se aplicó la prueba *post-hoc* de Tukey para la comparación de medias mejor conocida por sus siglas en inglés como LSmeans y se reportó el LSmeans y un error estándar ( $\pm 1$  error estándar) de cada variable. Se realizaron pruebas de normalidad con la prueba de Wilk's Lambda para todas las variables de respuesta. Para identificar las variables explicativas sobre el porcentaje de escorrentía (*Ke* %) y la conductividad hidráulica

a saturación ( $K_s$  mm/h) se realizó un análisis de correlación lineal de Pearson. Las variables explicativas abióticas son: textura, porosidad, potencial de retención de agua en suelo desnudo, periodo de agua retenida antes de la escorrentía, volumen de retención de agua antes de la escorrentía, tortuosidad, rugosidad; las variables explicativas bióticas son: porcentaje de cobertura basal, mantillo y suelo desnudo. Todos los diseños planteados tienen  $n=5$  y se consideró un nivel de confianza de  $1-\alpha=95\%$ . Todos los análisis estadísticos fueron ejecutados en el programa SAS versión 9.2 (SAS Institute Inc., Cary, NC. USA).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Tipo de cobertura del suelo

La cobertura se distinguió entre cobertura basal de los macollos de *B. gracilis*, *M. rigida* y de otras especies perennes presentes; el mantillo de *B. gracilis*, *M. rigida* y otras especies; y el suelo desnudo. La cobertura basal difirió entre especies anidadas al fuego (especies (fuego);  $P = 0.0001$ ; Anexo 3; Cuadro 4). La cobertura basal fue mayor en todos los micrositios de *B. gracilis* que en los de *M. rigida*; y en el caso de *B. gracilis*, la cobertura basal fue mayor en tratamientos con fuego que sin fuego. La cobertura por mantillo difirió entre especies anidadas al fuego (especies (fuego);  $P = 0.0001$ ; Anexo 4; Cuadro 4), donde hubo mayor porcentaje de mantillo en micrositios de *M. rigida* sin fuego que en micrositios de *B. gracilis* con fuego. No hubo diferencias en la cobertura de suelo desnudo comparando los micrositios de las dos especies ( $P > 0.05$ ), únicamente hubo un efecto significativo del fuego (fuego;  $P = 0.0002$ ; Anexo 5; Cuadro 4).

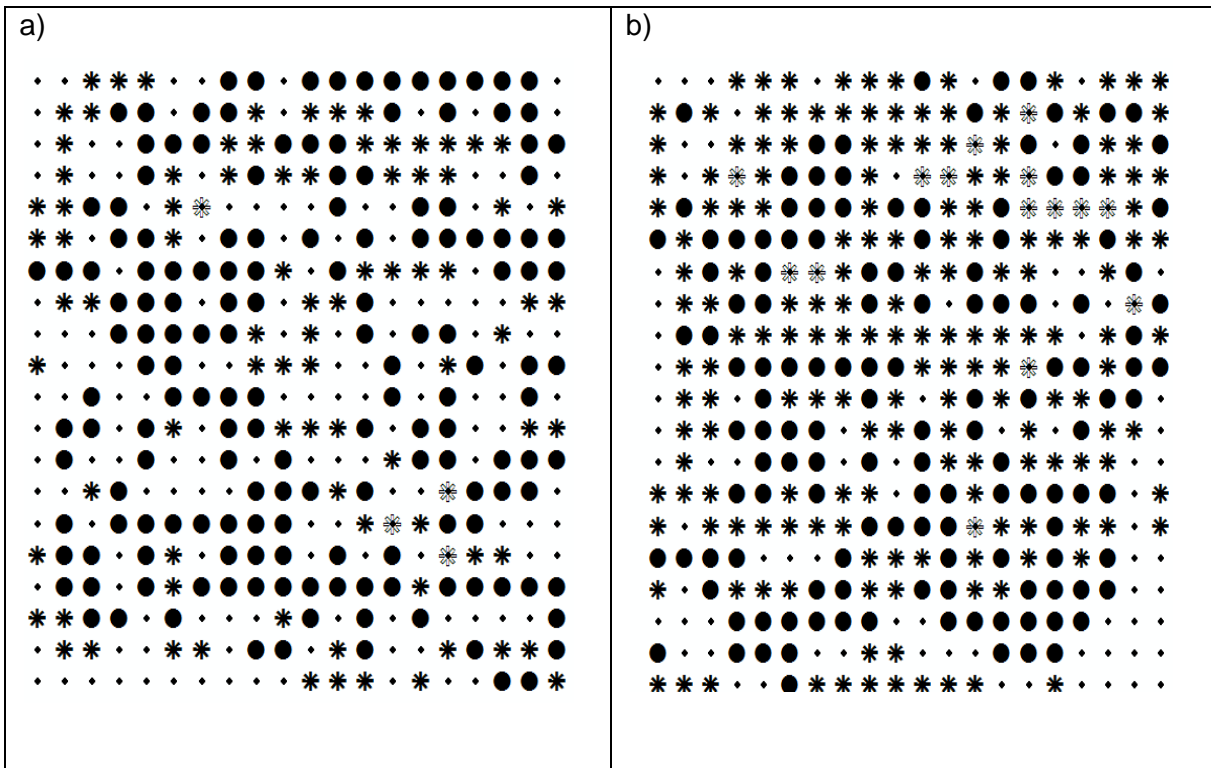
Cuadro 4. LSmeans ( $\pm 1$  error estándar) del porcentaje de cobertura basal, porcentaje de mantillo y porcentaje de suelo desnudo en los micrositios caracterizados por *Bouteloua gracilis* y *Muhlenbergia rigida* en parcelas con y sin fuego (N=5). Las letras diferentes representan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (Prueba de Tukey;  $P < 0.05$ ).

Porcentaje cobertura (%)	<i>B. gracilis</i>		<i>M. rigida</i>	
	con fuego	sin fuego	con fuego	sin fuego
Basal	48.95 $\pm$ 2.54a	41.20 $\pm$ 2.54b	31.60 $\pm$ 2.54c	24.40 $\pm$ 2.54c
Mantillo	25.20 $\pm$ 2.76a	43.00 $\pm$ 2.76b	38.10 $\pm$ 2.76b	64.15 $\pm$ 2.76c
Suelo desnudo	25.85 $\pm$ 2.99	15.80 $\pm$ 2.99	30.30 $\pm$ 2.99	11.45 $\pm$ 2.99

#### 3.2 Distribución espacial de diferentes tipos de cobertura en las parcelas

A partir del levantamiento detallado de la cobertura específica del suelo (planta, mantillo, suelo desnudo) en cada parcela, se pudo representar la distribución espacial de los elementos que cubren la superficie de suelo en cada micrositio. En

los micrositios con *B. gracilis* con fuego (Figura 11a) hubo poca presencia de mantillo y la cobertura basal de *B. gracilis* y de otras especies era relativamente baja; lo que resultó en una considerable distribución de suelo desnudo entre los macollos abiertos (presentan fragmentación en su cobertura basal y formación de interespacios) de *B. gracilis*. Los micrositios con *B. gracilis* sin fuego (Figura 11 b) estuvieron caracterizados por macollos más compactos (no presentaron fragmentación en su cobertura basal) y mayor abundancia de mantillo de *B. gracilis* y de otras especies; por lo tanto el área de suelo desnudo fue menor. Para el caso de *M. rigida* con fuego (Figura 11 c), los macollos fueron menos densos en su cobertura basal (tamaño del macollo) en comparación con los presentes en los micrositios sin fuego (Figura 11 d); además hubo mayor proporción de área de suelo desnudo en parcelas con fuego que sin fuego y en parcelas sin fuego hubo gran abundancia de mantillo y cobertura basal de *M. rigida* y de otras especies. En general se observó que en las parcelas sin fuego se presentó una asociación de otras especies perennes con *B. gracilis* y *M. rigida* en cada micrositio (Figura 11, todas las parcelas en Anexo 6).



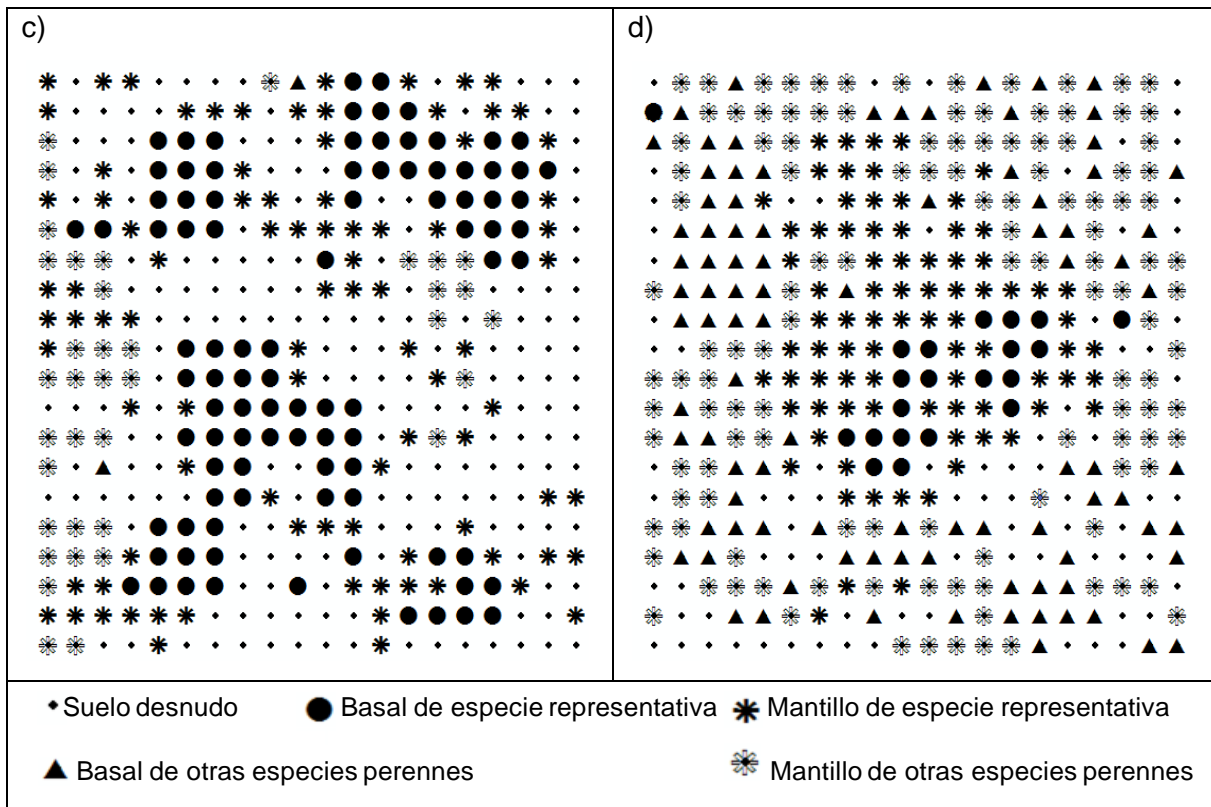


Figura 11. Distribución espacial (1 x 1 m) de diferentes tipos de cobertura de suelo en micrositios asociados a macollos de *Bouteloua gracilis* y *Muhlenbergia rigida* considerando los tratamientos a) *B. gracilis* con fuego; b) *B. gracilis* sin fuego, c) *M. rigida* con fuego, d) *M. rigida* sin fuego.

### 3.3 Microtopografía de micrositios formados por macollos de *Bouteloua gracilis* y *Muhlenbergia rigida*

#### 3.3.1 Microdepressiones de parcelas

En Figura 12 se presentan una parcela representativa de cada micrositio; los puntos más altos de relieve corresponden a los macollos de la vegetación. En las parcelas de *B. gracilis* con fuego (Figura 12 a) el punto más alto de la superficie de suelo fue de 5.2 cm, considerado el nivel máximo de depresión de ésta parcela; la depresión mínima fue de 0.3 cm, con una diferencia de 4.9 cm de altura entre la depresión máxima y mínima alcanzada. En la parcela de *B. gracilis* sin fuego (Figura 12 b), visualmente hubo mayor microdepressiones en comparación con las observadas en *B. gracilis* con fuego, la depresión mínima fue de 0.00021 cm y el punto más alto de la superficie del suelo alcanzó 6.69 cm, con una diferencia de 6.68 cm de altura entre la depresión máxima y mínima alcanzada. Para la parcela

de *M. rigida* con fuego (Figura 12 c), el punto más alto de la superficie del suelo fue de 6.6 cm considerado el nivel máximo de depresión de ésta parcela; la depresión mínima fue de 0.002 cm, con una diferencia de 6.598 cm de altura entre la depresión máxima y mínima alcanzada. En la parcela de *M. rigida* sin fuego (Figura 12 d), visualmente hubo mayores depresiones en comparación con la de *M. rigida* con fuego; donde el punto más alto de la superficie de suelo fue de 7.8 cm considerado como el nivel máximo de depresión de esta parcela; la depresión mínima fue de 0.000012 cm, teniendo una diferencia de 7.79 cm de altura entre la depresión máxima y mínima alcanzada.

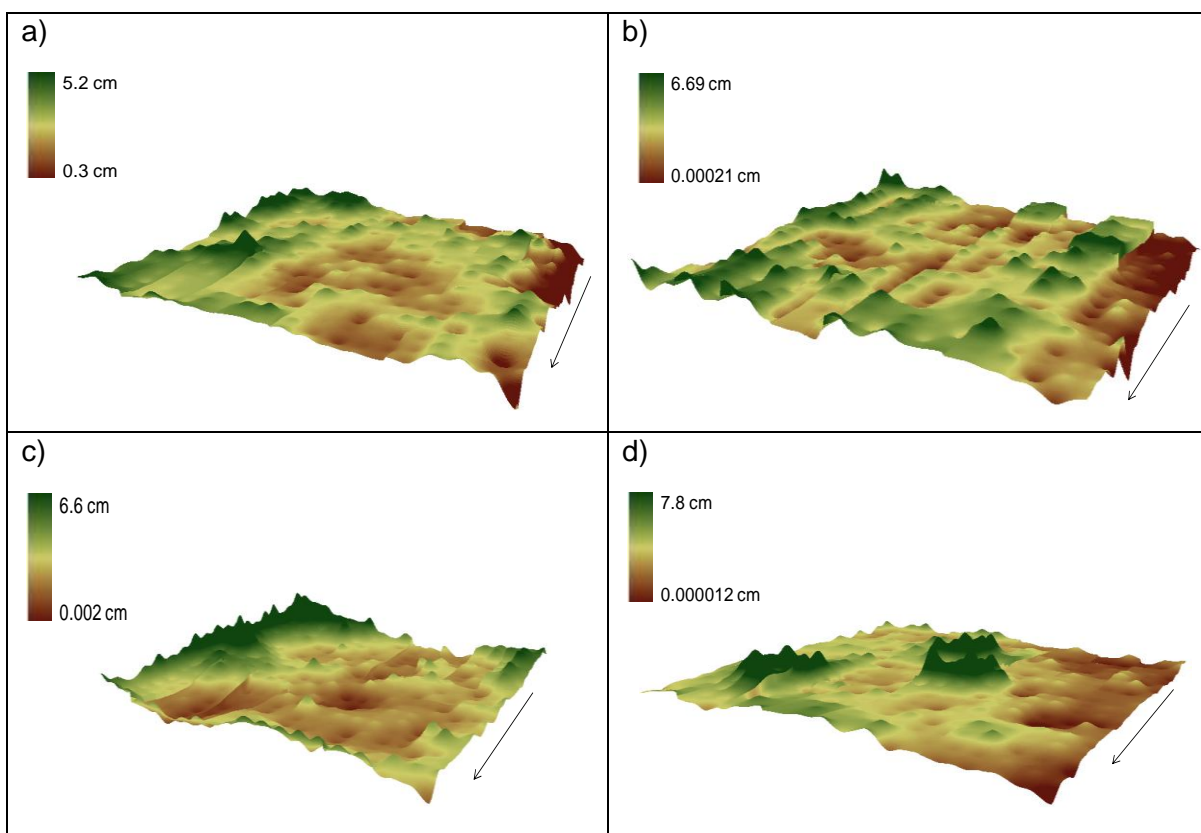


Figura 12. Microdepresiones de micrositos representativos de cada tratamiento; a) *B. gracilis* con fuego; b) *B. gracilis* sin fuego, c) *M. rigida* con fuego, d) *M. rigida* sin fuego.

### 3.3.2 Tortuosidad

Las especie y el tratamiento de fuego tuvieron un efecto significativo en la tortuosidad del suelo (especies (fuego);  $P= 0.0001$ , Anexo 7; Cuadro 5). Para *B.*



*gracilis*, el índice de tortuosidad fue mayor en micrositios sin fuego que con fuego mientras para *M. rigida* el tratamiento de fuego no afectó a la tortuosidad y en general ella fue mayor que en los micrositios de *B. gracilis*.

### 3.3.3 Rugosidad

Las especie y el tratamiento de fuego (especies (fuego);  $P= 0.0022$ , Anexo 8; Cuadro 5) tuvieron un efecto significativo sobre la rugosidad del suelo. En los micrositios de *B. gracilis* sin fuego el índice de rugosidad fue mayor que en ausencia de fuego, y en micrositios de *M. rigida* con y sin fuego, el índice de rugosidad fue mayor que en *B. gracilis* sin fuego.

Cuadro 5. LSmeans ( $\pm 1$  error estándar) de tortuosidad y rugosidad de los micrositios asociados a macollos de *Bouteloua gracilis* y *Muhlenbergia rigida*, (n=5). Las letras diferentes representan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (Prueba de Tukey,  $P < 0.05$ )

Variables (cm.cm <sup>-1</sup> )	<i>B. gracilis</i>		<i>M. rigida</i>	
	con fuego	sin fuego	con fuego	sin fuego
Tortuosidad	1.073 $\pm$ 0.019b	1.163 $\pm$ 0.019b	1.216 $\pm$ 0.019c	1.255 $\pm$ 0.019c
Rugosidad	1.088 $\pm$ 0.309a	1.223 $\pm$ 0.309b	1.260 $\pm$ 0.309b	1.300 $\pm$ 0.309b

### 3.4 Potencial de retención de agua en suelo desnudo

El fuego tuvo un efecto significativo sobre el potencial de retención de agua en el suelo desnudo de las parcelas (fuego,  $P=0.0430$ , Anexo 9; Figura 13). El potencial de retención de agua (expresado en términos de volumen) en suelo desnudo fue mayor en micrositios con fuego que sin fuego. No hubo diferencias entre los micrositios de las dos especies ( $P > 0.05$ ; Anexo 9, Figura 13).

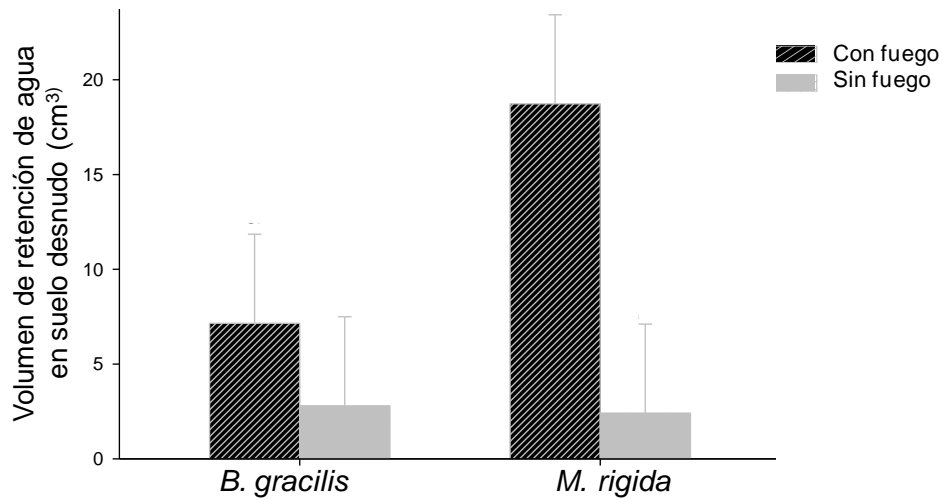


Figura 13. LSmeans ( $\pm 1$  error estándar) del volumen de retención de agua en suelo desnudo en parcelas de *Bouteloua gracilis* y *Muhlenbergia rigida* sin y con fuego (n=5).

### 3.5 Características físicas de suelo

#### 3.5.1 Textura

De todas las fracciones que conforman la textura del suelo, únicamente se observó un efecto significativo del fuego sobre el porcentaje de arena media (fuego,  $P=0.0057$ , Anexo 10, Cuadro 6). El porcentaje de arena media fue mayor en sitios con fuego que en sitios sin fuego. No hubo diferencias entre los micrositios de las dos especies para ninguna fracción de textura de suelo ( $P > 0.05$ , Anexo 10, Cuadro 6).

#### 3.5.2 Porosidad

El fuego tuvo un efecto significativo en la porosidad del suelo (fuego,  $P = 0.001$ , Anexo 11; Figura 14), esto quiere decir que hubo mayor porcentaje de porosidad en sitios sin fuego que en sitios con fuego. No hubo diferencias entre los micrositios de las dos especies ( $P > 0.05$ ).

Cuadro 6. LSmeans ( $\pm 1$  error estándar) de textura de suelo (%): arcilla, limo, arena fina, arena media, arena gruesa, en las especies anidadas al fuego,  $n=5$ .

Textura (%)	<i>B. gracilis</i>		<i>M. rigida</i>	
	con fuego	sin fuego	con fuego	sin fuego
% arcilla <0.002 mm	23.80 $\pm$ 1.39	24.00 $\pm$ 1.39	22.20 $\pm$ 1.39	25.60 $\pm$ 1.39
% limo <0.05 mm	22.80 $\pm$ 2.35	26.20 $\pm$ 2.35	22.00 $\pm$ 2.35	28.20 $\pm$ 2.35
% arena fina <0.25 mm	13.00 $\pm$ 0.80	12.00 $\pm$ 0.80	11.60 $\pm$ 0.80	9.40 $\pm$ 0.80
% arena media <0.5 mm	16.20 $\pm$ 1.63	13.20 $\pm$ 1.63	16.40 $\pm$ 1.63	9.00 $\pm$ 1.63
% arena gruesa <1 mm	24.20 $\pm$ 2.74	24.60 $\pm$ 2.74	27.80 $\pm$ 2.74	27.80 $\pm$ 2.74

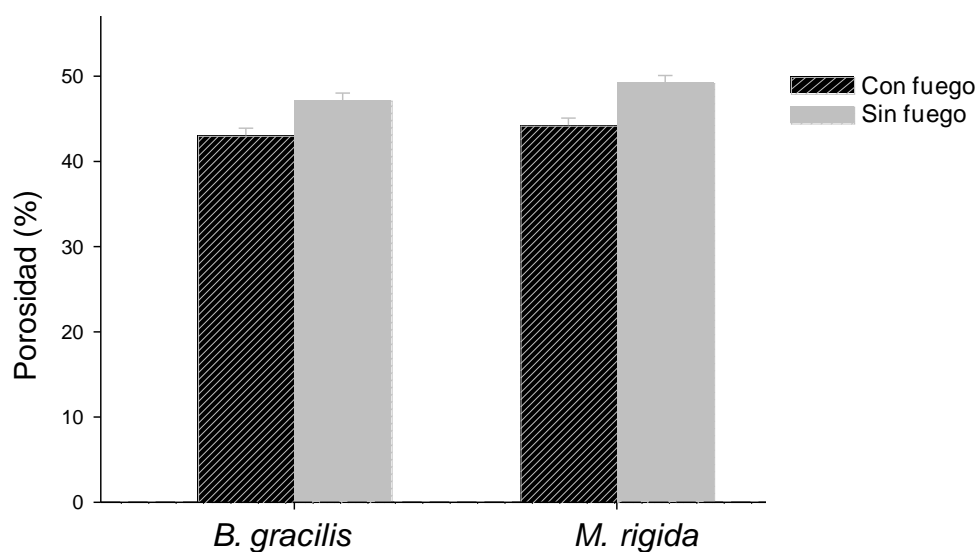


Figura 14. LSmeans ( $\pm 1$  error estándar) del porcentaje de porosidad de suelo para los micrositios con *Bouteloua gracilis* y *Muhlenbergia rigida* con y sin fuego ( $n=5$ ).

### 3.6 Coeficiente de escorrentía de agua

#### 3.6.1 Hidrogramas de escorrentía

Los hidrogramas (Figura 15) son representativos para cada tipo de micrositio de estudio (ver todos los hidrogramas en Anexo 12), asociados a las parcelas con *B. gracilis* (Figura 15 a, b) y *M. rigida* (Figura 15 c, d).

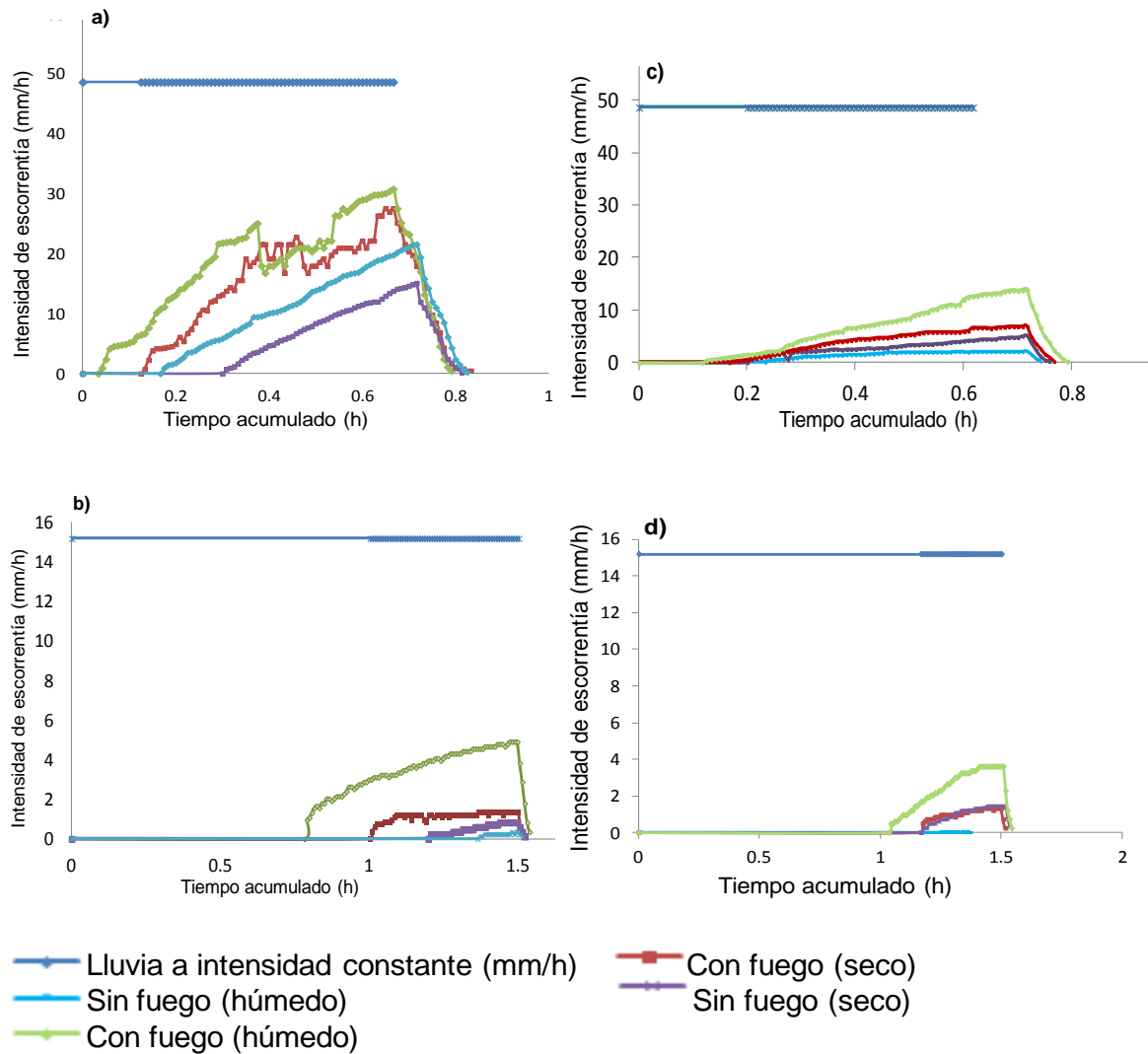


Figura 15. Hidrogramas de escorrentía para: a) *Bouteloua gracilis* a intensidad alta (49 mm/h), b) *B. gracilis* a intensidad baja (15 mm/h), c) *Muhlenbergia rigida* a intensidad alta (49 mm/h), d) *M. rigida* a intensidad baja (15 mm/h).

### 3.6.2 Periodo de retención de agua en la superficie de la parcela

Las especies ni el tratamiento de fuego tuvieron efecto significativo sobre el periodo de retención de agua en la superficie del suelo en todos los micrositios ( $P > 0.05$ , Anexo 13).

### 3.6.3 Retención de agua antes de escorrentía en la superficie de la parcela

Las especies y el tratamiento de fuego tuvieron efecto significativo sobre el volumen de agua que se acumuló en la superficie de las parcelas antes de la escorrentía (especie (fuego),  $P = 0.013$ , Anexo 14; Figura 16). El micrositio *B. gracilis* con fuego presentó menor retención de agua de lluvia que los demás micrositios.

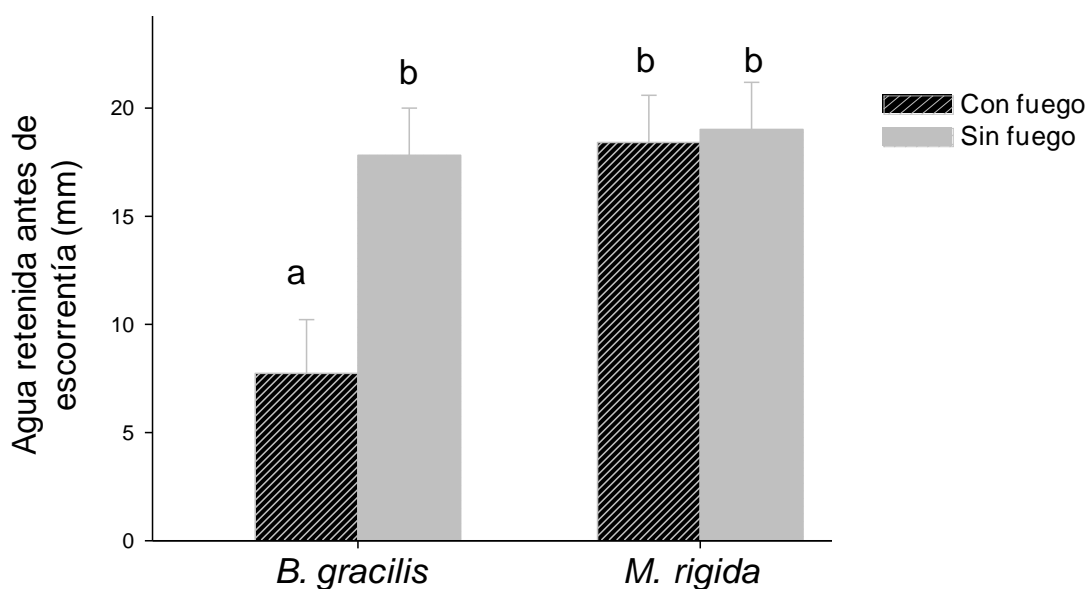


Figura 16. LSmeans ( $\pm 1$  error estándar) del contenido de agua retenida antes de la escorrentía en las parcelas de *Bouteloua gracilis* y *Muhlenbergia rigida* sin y con fuego ( $n=5$ ). Letras distintas entre barras indican diferencias significativas entre tratamientos (Prueba de Tukey,  $P < 0.05$ )

### 3.6.4 Porcentaje de escorrentía (Ke)

La interacción intensidad de lluvia x especie x tratamiento de fuego fue significativo para el porcentaje de escorrentía en las parcelas (intensidad x especie (fuego),  $P = 0.0003$ ; Anexo 15; Figura 17 A, B). Se observó que a intensidades altas de simulación de lluvia (49 mm/h) (Figura 17 A) hubo mayor porcentaje de escorrentía en parcelas de *B. gracilis* con fuego que sin fuego; las parcelas de *M. rigida* con fuego presentaron mayor porcentaje de escorrentía que sin fuego; para las parcelas de *B. gracilis* sin fuego y *M. rigida* con fuego, no hubo diferencias en los porcentajes de escorrentía. Para intensidades bajas de simulación de lluvia (15 mm/h) (Figura 17 B) hubo mayor porcentaje de escorrentía en *B. gracilis* con fuego que sin fuego y en *M. rigida* no hubo diferencia de los porcentajes de escorrentía en presencia y ausencia de fuego. No hubo diferencia del porcentaje de escorrentía entre las parcelas de *B. gracilis* sin fuego y las de *M. rigida* con y sin fuego. En general, las parcelas de *B. gracilis* con fuego a intensidad alta de simulación de lluvia, tuvieron mayores tasas de escorrentía que las demás parcelas, y las parcelas de *M. rigida* con y sin fuego a intensidad baja de simulación de lluvia, presentaron los menores porcentajes de escorrentía.

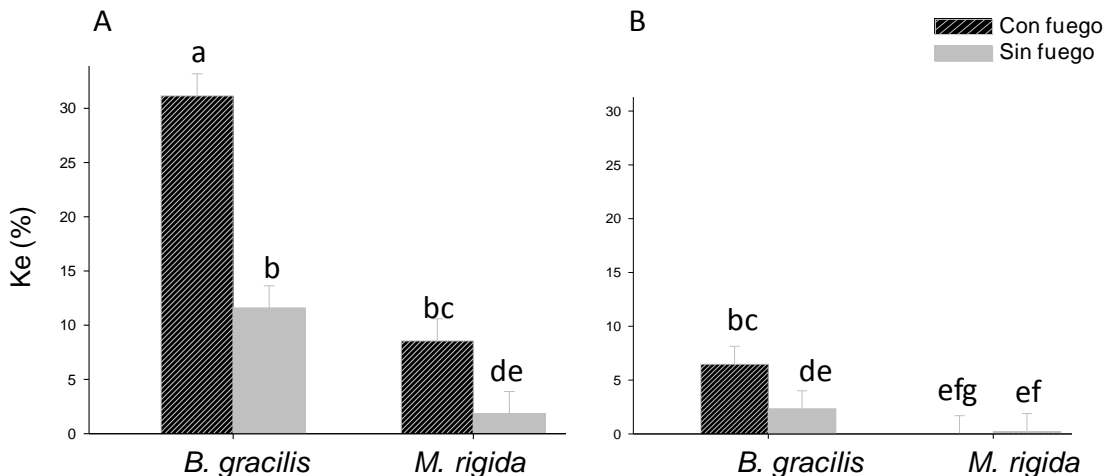


Figura 17. LSmeans ( $\pm 1$  error estándar) de coeficiente de escorrentía (Ke) para A: intensidad alta (49 mm/h) y B: intensidad baja (15 mm/h) considerando micrositios de *Bouteloua gracilis* y *Muhlenbergia rigida* con y sin fuego (intensidad x especie (fuego),  $P = 0.0003$ ; (n=5). Letras distintas entre barras indican diferencias significativas entre los tratamientos (Pruebas de Tukey,  $P < 0.05$ )

### 3.7 Conductividad hidráulica del suelo a saturación ( $K_s$ )

La interacción micrositio x especie (fuego) ( $P = 0.0001$ , Anexo 16; Figura 18) fue significativa para la conductividad hidráulica del suelo. Para micrositios con cobertura vegetal, la  $K_s$  fue menor para *B. gracilis* con fuego que sin fuego; la  $K_s$  fue mayor para *M. rigida* sin fuego que con fuego; *M. rigida* sin fuego presentó el valor más alto de percolación ( $K_s$ ) de agua en el suelo. Para micrositios de suelo desnudo, la  $K_s$  fue mayor en *B. gracilis* sin fuego que con fuego y en *M. rigida* la  $K_s$  fue mayor en ausencia de fuego. En general, la percolación fue mayor en micrositios con presencia de cobertura vegetal para *M. rigida* sin fuego que en todos los demás.

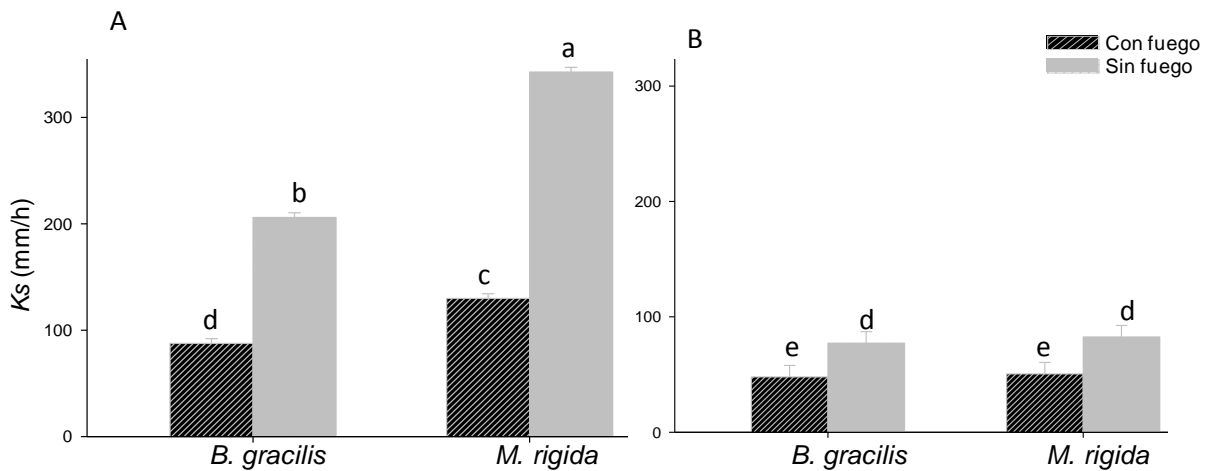


Figura 18. LSmeans ( $\pm 1$  error estándar) de percolación ( $K_s$ ) en micrositios con A: cobertura vegetal y B: en suelo desnudo considerando las dos especies *Bouteloua gracilis* y *Muhlenbergia rigida* sin y con fuego (micrositio x especie anidada al fuego;  $P=0.0001$ ), ( $n=5$ ). Letras distintas entre barras indican diferencias significativas entre tratamientos (Prueba de Tukey,  $P < 0.05$ ).

### 3.8 Correlación entre el coeficiente de escorrentía y variables bióticas y abióticas

Para *B. gracilis* con fuego, el análisis de correlación de Pearson mostró que existe una correlación positiva entre el índice de tortuosidad y el coeficiente de escorrentía ( $R=0.779$ ,  $P = 0.0078$ , Anexo 17), lo que implica que cuando la tortuosidad es elevada el porcentaje de escorrentía de agua en el suelo es alto. La

correlación entre el porcentaje de mantillo y el coeficiente de escorrentía fue negativa ( $R=-0.758$ ,  $P=0.01$ , Anexo 17), esto quiere decir que el porcentaje de agua que escurre es menor en sitios con alto porcentaje de mantillo. Para los micrositios de *B. gracilis* sin fuego, hubo una correlación positiva entre el volumen de retención de agua y el coeficiente de escorrentía ( $R= 0.744$ ,  $P = 0.013$ , Anexo 19), lo que sugiere que si el volumen de retención de agua en suelo desnudo es alto, el porcentaje de escorrentía de agua aumenta. La correlación entre el índice de rugosidad y el coeficiente de escorrentía fue negativa en micrositios de *B. gracilis* sin fuego ( $R= -0.714$ ,  $P = 0.020$ , Anexo 19), por lo que si la rugosidad es elevada esto favorece la escorrentía. En micrositios de *M. rigida* con fuego, hubo una correlación positiva entre el porcentaje de suelo desnudo y el coeficiente de escorrentía ( $R^2 = 0.672$ ,  $P = 0.033$  Anexo 18), lo que sugiere que si el porcentaje de suelo desnudo es elevado el porcentaje de escorrentía de agua aumenta. La correlación entre el porcentaje de cobertura basal y el coeficiente de escorrentía fue negativa ( $R^2=-0.764$ ,  $P=0.009$ , Anexo 18), esto quiere decir que el porcentaje de agua que escurre es menor en sitios con alto porcentaje de cobertura basal. No se observó ninguna correlación significativa para los micrositios de *M. rigida* sin fuego ( $P > 0.05$ , Anexo 20).

### **3.9 Correlación entre la percolación y variables abióticas**

El análisis de correlación de Pearson mostró que en micrositios de *B. gracilis* con fuego y en presencia y ausencia de vegetación no hubo correlación de  $K_s$  con ninguna de las variables abióticas ( $P > 0.05$ , Anexo 21 y Anexo 22). En los micrositios de *B. gracilis* sin fuego con y sin vegetación no hubo correlaciones significativas entre  $K_s$  y las variables abióticas del suelo ( $P > 0.05$ , Anexo 21 y 22). Para micrositios de *M. rigida* con fuego y en presencia y ausencia de vegetación, tampoco hubo correlaciones significativas con  $K_s$  ( $P > 0.05$ , Anexo 23 y Anexo 24). En micrositios de *M. rigida* sin fuego y presencia de vegetación, hubo una correlación negativa entre la porosidad del suelo y  $K_s$  ( $R^2 = -0.409$ ,  $P = 0.042$ , Anexo 27), así mismo la arena fina ( $R^2= -0.404$ ,  $P= 0.044$ , Anexo 27), y la arena media ( $R^2= -0.638$ ,  $P= 0.0006$ , Anexo 27) tuvieron una correlación negativa con la conductividad hidráulica en el suelo; por otro lado, el limo ( $R^2=0.407$ ,  $P= 0.043$ ,



Anexo 27) y la arcilla ( $R^2= 0.636$ ,  $P= 0.0006$ , Anexo 27) tuvieron una correlación positiva con  $K_s$ . En los micrositios de *M. rigida* sin fuego en ausencia de vegetación no hubo ninguna correlación significativa ( $P > 0.05$ , Anexo 28)

## 4. DISCUSIÓN

La estructura vertical y horizontal incluyendo la cobertura de suelo de los pastizales semiáridos es altamente heterogénea espacial y temporalmente y por lo tanto influye fundamentalmente en la dinámica de la redistribución del agua de la precipitación (McDonald *et al.*, 2009). Esta heterogeneidad se origina de múltiples factores bióticos y abióticos tal como de la morfología inherente y distinta de las especies de gramíneas dominantes, de los efectos de incendios y del pastoreo (incluyendo el pisoteo y la defoliación por herbivoría) en el crecimiento, el ciclo de vida y estructura de plantas (Muñoz *et al.*, 2011). En los pastizales semiáridos, por área dominan los espacios abiertos vacío de plantas vasculares perennes y está cubierta por mantillo, anuales, sedimentos y/o biocostra (Muschka y Hill, 2004). La heterogeneidad estructural de los interespacios también origina por factores bióticos y abióticos. Dependiendo de la textura y estructura (por ejemplo la compactación) del suelo, el crecimiento lateral de las raíces de las gramíneas, la cobertura de biocostras y de mantillo, el impacto de las gotas de lluvia en la costra física, se genera una microtopografía particular que también influye en la redistribución del agua de lluvia. Finalmente son las características del suelo, profundidad, textura, estructura, porosidad, distribución de las raíces que influyen en la proporción del agua que infiltra o escurre de la superficie. Aunque se ha estudiado ampliamente el efecto de manejo de pastizales en los procesos ecohidrológicos a nivel de microcuencas (Hiernaux *et al.*, 1999) poco se sabe sobre el efecto interactivo de incendios y pastoreo en la estructura y cobertura de las gramíneas dominantes de los pastizales semiáridos de México y su retroalimentación en los procesos ecohidrológicos. Por lo tanto en este estudio se abordaron una serie de preguntas sobre el efecto de un tratamiento de fuego aplicado en 2010 en los procesos de escorrentía considerando los micrositios distintos asociados a los macollos de *Bouteloua gracilis* y *Muhlenbergia rigida*.

### 4.1 Cobertura del suelo

El mayor porcentaje de cobertura basal de todos los sitios, lo presentaron los micrositios de *B. gracilis* con fuego, seguido por las parcelas de *B. gracilis* sin fuego, sin embargo las parcelas sin fuego prescrito presentaron mayor porcentaje

de cobertura de mantillo, sugiriendo que el fuego redujo la biomasa muerta y estimuló la expansión/crecimiento lateral de los macollos. Por la forma abierta que presentan los macollos de *B. gracilis*, la cobertura basal ocupó mayor área en comparación a las parcelas con macollos de *M. rigida* en presencia o ausencia de fuego. En caso de *M. rigida* el fuego no influyó en la expansión lateral de los macollos. La forma de crecimiento y la morfología de los dos tipos de macollos difieren marcadamente, tal que *M. rigida* forma macollos compactos cohesivos mientras *B. gracilis* forma macollos abiertos fragmentados. El efecto más importante del fuego era lo de eliminar la cobertura de mantillo (entre 26 y 28%), que por si era mayor en los micrositios de *M. rigida* que en *B. gracilis*. El mayor porcentaje de mantillo se presentó en las parcelas de *B. gracilis* y *M. rigida* sin fuego, sugiriendo que el fuego prescrito en el 2010 consumió la biomasa en forma de mantillo dejando una distribución espacial de interespacios de suelo desnudo más amplio en los sitios con fuego prescrito. En un estudio en la sabana semiárida del National Kruger Park, Sudáfrica, los incendios anuales resultaron en una disminución considerable de la biomasa y mayor área de superficie de suelo desnudo (bare soil) en comparación con los sitios excluidos de fuego por 40 años, donde se observó 60% más de biomasa que en los sitios con fuego prescrito (Higgins *et al.*, 2007).

#### **4.2. Características de superficie de suelo**

El fuego no modificó únicamente a la cobertura de suelo pero también a la microtopografía y por lo tanto también al potencial de la retención de agua. En general, el fuego redujo la rugosidad de la microtopografía, que resultaba ser más pronunciada en *M. rigida* que en *B. gracilis*. En las parcelas de *M. rigida* sin fuego, visualmente hubo mayores depresiones en comparación con las parcelas de *B. gracilis* con fuego y sin fuego. La cobertura vegetal específica también contribuyó a la formación de un microrelieve de la superficie de suelo, generando áreas de microdepresiones y montículos. Por lo que sabemos, esto parece el primer estudio que demuestra que el microrelieve de los micrositios asociados a diferentes especies de gramíneas influye en la formación de microdepresiones y por lo tanto en los procesos ecohidrológicos de los pastizales. Esta característica surge ser

importante principalmente en ocasiones de eventos de lluvias de tamaño pequeño e intensidad baja a intermedia, lo que es típico para las precipitaciones en las zonas semiáridas y pastizales semiáridos (Lauenroth y Bradford 2009). La existencia de un microrelieve bien desarrollado retarda el proceso de sellado y formación de una costra física superficial, lo que favorece la infiltración de agua en el suelo (Helming *et al.*, 1992). Por otro lado, las microdepresiones de la superficie funcionan como almacén temporal de agua (Mitchell y Jones, 1976; Dexter, 1977; Moore y Larson, 1979).

El índice de tortuosidad fue mayor para parcelas de *M. rigida* con y sin fuego que en las de *B. gracilis*, lo cual sugiere que el gran tamaño del macollo de *M. rigida* en comparación con el de *B. gracilis* representa un mayor obstáculo para el flujo lateral que sigue el agua rodeando la cobertura en sentido de la pendiente cuando hay escorrentía. Estos obstáculos que debe rodear el flujo de agua pueden retener más tiempo al agua en la parcela lo cual indica que en parcelas de *M. rigida* puede haber mayor retención de agua que en parcelas de *B. gracilis*. El fuego afectó a la tortuosidad nada más en los micrositios con *B. gracilis*; y estuvo más alto sin fuego que con fuego. Este resultado sorprende porque el área basal de *B. gracilis* era relativamente mayor en micrositios con fuego que sin fuego. Igual para el índice de rugosidad, el fuego tuvo un efecto únicamente en micrositios con *B. gracilis*, en que redujo la rugosidad en comparación a parcelas sin fuego. Esto indica que para estas parcelas el recorrido que hace el agua potencialmente por encima de la vegetación fue menor que en parcelas de *B. gracilis* sin fuego y todas las parcelas de *M. rigida*, donde el agua puede acumularse entre los altos macollos de la vegetación y así el recorrido del agua es mayor en *M. rigida*. Un estudio en el Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo (Abegondo Coruña, España), presentó los resultados de los índices de rugosidad y tortuosidad obtenidos a lo largo de un año de estudio. Las medidas se realizaron en diferentes parcelas sometidas a distintas condiciones de laboreo, cultivo y estado de la superficie: superficies cultivadas (30.77%), superficies de pradera (34.66%), y superficies sometidas a laboreo primario (17.99%). Los índices de tortuosidad (1.49) y rugosidad (1.24) para la superficie de pradera fueron los

mayores, los autores relacionan estos valores elevados con el elevado porcentaje de cobertura vegetal (Liñares *et al.*, 1998).

En general la microtopografía del suelo desnudo en los diferentes micrositios favoreció la retención de mayor volumen de agua en parcelas con fuego que sin fuego y no hubo diferencia considerando los dos tipos de micrositios asociados a *B. gracilis* y *M. rigida*. Entonces, el fuego reduce la capa de mantillo, lo cual favorece la escorrentía (Blackburn *et al.*, 1992) pero por la generación de una microtopografía distinta que aumenta el potencial de retención de agua sería importante contabilizar que tipo de cobertura, mantillo o microdepressiones favorecen más la retención e infiltración en función de la intensidad de lluvia.

#### **4.3 Características físicas del suelo**

Para la textura del suelo, el fuego tuvo un efecto únicamente en el porcentaje de arena media, donde el porcentaje fue mayor en sitios con fuego que en sitios sin fuego. Los incendios pueden provocar fusiones térmicas de partículas de tamaño arcilla, incrementándose porcentualmente el tamaño limo y arena (Dyrness y Youngberg, 1957; Nishita y Haug, 1972; Ulery y Graham, 1993). Esto puede asociarse con el incremento en el porcentaje de arena media en los sitios con fuego. El fuego redujo la porosidad del suelo en los micrositios de ambas gramíneas probablemente por el efecto del fuego sobre la estructura del suelo, consumiendo la materia orgánica e incrementando porcentualmente las fracciones de agregados gruesos derivados de la fusión térmica de las partículas de tamaño arcilla y así reduciendo la porosidad del suelo (Neary *et al.*, 1999).

El fuego influyó en una serie de variables abióticas y bióticas de la superficie y del suelo que a su vez interactúan con procesos ecohidrológicos de suelo. A nivel de especies también se observaron diferencias significativas en su efecto en la microtopografía, formación y cobertura de mantillo y finalmente en la retención de agua. Entender el origen y la naturaleza de la heterogeneidad de las variables bióticas y abióticas analizadas es importante para explicar los procesos de escorrentía en los pastizales.

#### 4.4 Porcentaje de escorrentía

El fuego aumentó el porcentaje de escorrentía en todas las parcelas sobre todo con *B. gracilis* menos en micrositios asociados a *M. rigida* bajo intensidad baja de lluvia. Esto sugiere que en caso de *B. gracilis* aunque el área basal aumentó bajo fuego prácticamente la ausencia de mantillo así como la abundante distribución de interespacios de suelo desnudo promovieron la escorrentía. Posterior a una quema prescrita si la cobertura vegetal no se recupera favorablemente antes de que se produzcan las primeras lluvias, el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo desnudo inducirán a la formación de un sellado superficial, reduciendo la velocidad de infiltración y aumentando la escorrentía superficial favoreciendo también el arrastre de partículas y nutrientes (Oades, 1993). El fuego favorece la escorrentía; algunos autores han sugerido que la repelencia al agua inducida por el fuego es el resultado de reacciones químicas que tienen lugar durante el proceso, que intensifica las uniones entre estas sustancias y las partículas del suelo (Savage *et al.*, 1972) y las hace aún más hidrofóbicas a causa de la pirolisis (Giovannini, 1994), más que los mecanismos de volatilización-condensación. Cerdá y Doerr (2008) observaron que tras 2 meses de un incendio en un ecosistema de matorral, la repelencia al agua del suelo se redujo significativamente en el área cubierta por cenizas y restos de hojarasca quemada. Lo que aún se desconoce es el periodo que dura éste efecto en el suelo después de una quema prescrita. Pero no solo el efecto del fuego sobre la cobertura y propiedades superficiales y físicas del suelo son las características que incrementan la escorrentía, también la intensidad de la lluvia juega un papel importante, y es que se observó que a intensidad baja (15 mm/h) de lluvia, *B. gracilis* con y sin fuego presentó menores porcentajes de escorrentía que bajo intensidad alta de lluvia (49 mm/h); para *M. rigida* con fuego a intensidad alta de lluvia hubo mayor porcentaje de escorrentía que a intensidad baja de lluvia para micrositios con y sin fuego. En el estudio de Bochet *et al.* (2006), con las tres especies dominantes representativas de vegetación de matorral mediterráneo, se determinó el efecto de la intensidad de lluvia sobre la escorrentía y la erosión en tres micrositios (pasto perenne, arbusto de hoja perenne, pasto anual). Los

resultados mostraron que con la simulación de lluvia a intensidades menores de 25 mm/h, no se presentó mucha escorrentía, mientras que con intensidades superiores a 100 mm/h, si se presentó erosión incluso para los micrositios con cobertura vegetal hasta del 90% independientemente del tipo de cobertura.

Durante la simulación de lluvia a ambas intensidades, se monitoreó el periodo de retención de agua por la vegetación de la parcela antes de que se produjera la primer gota de escorrentía, sin embargo no se observó efecto de los diferentes tratamientos en esta variable. También se monitoreó el agua retenida antes de la escorrentía en este periodo, en este caso si hubo efectos de especie y del fuego, donde las parcelas de *B. gracilis* con fuego presentaron menor retención de agua de lluvia que los demás micrositios. Esto se puede explicar por la alta proporción de suelo desnudo y la escasa proporción de cobertura vegetal basal y de mantillo que intercepta y puede formar un almacén temporal de retención de agua de lluvia. También se puede ligar con la microtopografía del suelo, en *B. gracilis* sin fuego y *M. rigida* con y sin fuego, visualmente hubo más formación de microdepresiones que en sitios de *B. gracilis* con fuego, los cuales contribuyen a almacenar agua de lluvia en forma de charcos. Todos estos resultados (o análisis), permiten confirmar las hipótesis 1 y 2 planteadas en esta tesis por efecto de baja intensidad de lluvia y tratamiento de fuego, que señalan respectivamente que hay menos escurrimiento cuando llueve a menor intensidad (Hipótesis 1) y mayor escorrentía a cualquier intensidad en sitios con fuego que sin prescripción de él (Hipótesis 2), así mismo, hubo mayor porcentaje de escorrentía en parcelas de *B. gracilis* que en *M. rigida*, esto se atribuye a que *B. gracilis* presenta mayor área de suelo desnudo (promotores de escorrentía) y baja proporción de mantillo a diferencia de *M. rigida* con y sin fuego.

#### **4.5 Percolación de agua en el suelo**

La percolación de agua en el suelo determinada con la conductividad hidráulica en el suelo a saturación constante ( $K_s$ ) reflejó los efectos de la presencia de vegetación en dicha propiedad hidráulica de la interfaz suelo-vegetación. En general, la percolación fue mayor en parcelas sin fuego que con fuego en

micrositios de ambas especies. Este efecto se manifestó en suelos asociados a plantas y en los interespacios aunque en el último caso menos pronunciado. En presencia de vegetación, la percolación de agua fue mayor en micrositios de *M. rigida* (con y sin fuego) que en micrositios de *B. gracilis* (con y sin fuego). Esto sugiere que el tamaño y la estructura de los macollos y probablemente también la cantidad de raíces tienen una influencia importante sobre la  $K_s$ . Estos resultados comprueban las hipótesis 3, 4 y 5 formuladas para la percolación de agua en el suelo, donde la percolación fue mayor en sitios con presencia de vegetación que en micrositios ausentes de vegetación, esto puede indicar que la vegetación influye en la estructura física del suelo (Hipótesis 1). Así mismo, micrositios de *M. rigida* con y sin fuego presentaron mayores tasas de percolación que micrositios de *B. gracilis* posiblemente porque en *B. gracilis* con fuego hay mayor área de suelo desnudo y baja proporción de mantillo que no promueve la retención de agua y se pierde por escorrentía (Hipótesis 2); y en los micrositios ausentes de vegetación la percolación fue mayor en micrositios ausentes de fuego para ambas especies que en micrositios con fuego considerando ambas especies, esto puede atribuirse a que el fuego altera la estructura física del suelo y causa una baja capacidad de retención hídrica causada por la posible formación de una capa hidrofóbica en el suelo a causa del fuego (Ravi *et al.*, 2009; Madsen *et al.*, 2012). El estudio de Bochet *et al.*, (2006) mostró que la estructura y el dosel de las tres especies dominantes representativas de la vegetación de matorral del mediterráneo (pasto perenne, arbusto de hoja perenne, pasto anual) tuvieron efectos significativos sobre las tasas de infiltración; se presentaron menores tasas de infiltración en sitios con ausencia de vegetación y entre las tres especies; la mayor eficiencia de reducción de escorrentía fue el arbusto de hoja perenne el cual presenta un dosel relativamente denso en comparación con las otras dos especies, dando lugar a una capa gruesa de mantillo en la superficie, mayor interceptación de agua de lluvia por la vegetación, reducción del impacto de las gotas de lluvia que generan una costra impermeable, entre otras.



#### **4.6 Relación de variables abióticas y bióticas con los porcentajes de escorrentía y percolación de agua en el suelo**

Existe una correlación positiva entre el índice de tortuosidad y el coeficiente de escorrentía para *B. gracilis* con fuego. Aunque no se encontraron trabajos con resultados de efectos de tortuosidad y rugosidad a escala de 1 m, en esta tesis se puede sugerir que la baja proporción de cobertura basal y de mantillo, y los canales de interespacios que forma el suelo desnudo en los macollos de *B. gracilis*, no forman obstáculos para el recorrido del agua (mayor tortuosidad), favoreciendo a que el flujo de agua que rodea la vegetación por los canales de suelo desnudo, se pierda en forma de escorrentía en función a la pendiente. La correlación entre el porcentaje de mantillo y el coeficiente de escorrentía fue negativa, sugiriendo que el mantillo tiene la función de retener mayor porcentaje de agua en el suelo evitando las pérdidas por escorrentía. Este efecto se observó para todos los tratamientos, algo muy similar a lo observado por Van Dijk *et al.*, (1996). Para los micrositios de *B. gracilis* sin fuego, hubo una correlación positiva entre el volumen de retención de agua en suelo desnudo y el coeficiente de escorrentía lo que sugiere que agua que se queda en el suelo desnudo se escurre en función a la pendiente, ya que no hay presencia de cobertura vegetal que retenga esta agua en la parcela, no se encontraron trabajos en la literatura que cuantificaran el volumen de retención de agua a escala de parcela. La correlación entre el índice de rugosidad y el coeficiente de escorrentía fue negativo en micrositios de *B. gracilis* sin fuego, sugiriendo que el recorrido de agua por encima de la vegetación, disminuye el porcentaje de escorrentía para este tratamiento. En micrositios de *M. rigida* con fuego, el suelo desnudo presente favorece el porcentaje de escorrentía, debido a la ausencia de cobertura vegetal en la parcela. Para *B. gracilis* con y sin fuego, el porcentaje de cobertura basal disminuye los porcentajes de escorrentía, esto puede atribuirse a la interceptación del agua de lluvia por la cobertura basal y que funciona como reservorio de agua para que infiltre poco a poco a través de los estratos del suelo. Esto sugiere la importancia de la cobertura basal en procesos ecohidrológicos.

Sorprendentemente, en micrositios de *M. rigida* sin fuego y vegetación, existe una ligera correlación negativa entre la percolación de agua en el suelo ( $K_s$ ) con la porosidad del suelo, indicando que mientras mayor porosidad haya en el suelo menor es la percolación, lo cual resultaría lógico si esos espacios de poros en el suelo estuviesen ocupados por un alta cantidad de biomasa de raíces viejas, las cuales son gruesas y pueden favorecer a incrementar la porosidad en el suelo lo cual favorece la percolación de agua aunque aún no se conoce con exactitud la función de la raíz muerta sobre las propiedades físicas del suelo. Los datos no publicados en el año 2013 mostraron que la biomasa de raíces (g) para *B. gracilis* y *M. rigida* (debajo de la planta); tuvo un efecto significativo de especie anidado en fuego x micrositio ( $P = 0.0001$ , Anexo 29), donde *M. rigida* con fuego presentó mayor biomasa viva de raíces que en sitios sin fuego prescrito, y visiblemente en los sitios de *M. rigida* sin fuego las raíces eran viejas y densas. Así mismo la arena fina y la arena media tuvieron una ligera correlación negativa con  $K_s$ ; y el limo y la arcilla tuvieron una correlación positiva con la percolación de agua en el suelo. Ulery y Graham (1993) mencionan que los incendios son capaces de provocar fusiones térmicas de partículas de tamaño arcilla, incrementándose porcentualmente el tamaño del limo y arena, incrementando porcentualmente fracciones gruesas que al incrementarse las tasas de erosión es más probable la pérdida de materiales finos con el consiguiente incremento porcentual de agregados gruesos. Es posible que la arcilla y el limo favorezcan la percolación de agua en el suelo por su tamaño pequeño de partícula en comparación con la arena que puede retener agua en la superficie para la disponibilidad de la zona radicular.

## 5. CONCLUSIÓN

Este estudio provee información sobre el efecto del fuego, un factor natural de perturbación en los pastizales semiáridos, a nivel de macollos individuales de especie de gramíneas clave y su retroalimentación en procesos ecohidrológicos. Según nuestro conocimiento esto es uno de los primeros estudios que trata de mostrar los mecanismos asociados a factores bióticos y abióticos que controlan la escorrentía comparando potreros con y sin fuego prescrito. Con el método de simulación de lluvia además era posible examinar el efecto de la intensidad de lluvia sobre los procesos de escorrentía considerando las características bióticas (mantillo) y abióticas (microrelieve, volumen de retención de agua, etc) de la superficie a microescala. En general, baja intensidad de lluvia produjo poca pérdida de agua por escorrentía y permitió gran tasas de percolación en el suelo que es humedad aprovechable para esos ecosistemas. La morfología y el tamaño de los macollos también mostraron un notado efecto sobre la percolación de agua en el suelo, y se observó que el fuego altera la cobertura vegetal y las características físicas e hidráulicas del suelo, notablemente la escorrentía y la percolación. Ecohidrológicamente hablando, *M. rigida* sin fuego crea micrositios más favorables que *B. gracilis* en presencia o ausencia de fuego y a baja intensidad de lluvia para la percolación de agua en el suelo y evitar la erosión del suelo por escorrentía de agua. En micrositios de suelo desnudo con fuego la percolación de agua en el suelo es baja para ambas especies, y en general *M. rigida* sin fuego es la que presentó mayor percolación que los demás tratamientos. Se observó que el fuego no solo disminuye el porcentaje de mantillo y de cobertura basal, sino que también disminuye la porosidad del suelo y la estructura de la vegetación y física del suelo, lo cual modifica el microrelieve del suelo, donde las microdepresiones formadas pueden funcionar como almacenes temporales de agua. Finalmente, las dos especies de gramíneas influyen positivamente en procesos ecohidrológicos (infiltración y escurrimiento) a dos escalas; a nivel macollo por sus características inherentes de crecimiento y a nivel de distribución espacial de las gramíneas en las comunidades de plantas.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Aguado-Santacruz G.A. y E. Garcia-Moya, 1998. Environmental factors and community dynamics at the southernmost part of the North American Graminetum. I. On the contribution of climatic factors to temporal variation in species composition. *Plant Ecology* 135: 13-29.

Alcalá de Jesús, M., J.L., Oropeza-Mota, J.L., Tovar-Salinas, 1998. Producción de sedimentos en diferentes usos del suelo, en la cuenca del río Los Sauces, Michoacán. *Agrociencias*, 32(3): 225-231.

Allmaras, R.R., Burwell, R.E., Larson, W.E., R.F. Holt, 1966. Total porosity and random roughness of the interrow zone as influenced by tillage. USDA Conservation Research Report 7, 22.

Barbour, M.G., J.G. Burk, W.D. Pitts. 1980. *Terrestrial plant ecology*. Benjamin Cummings Publishing Co. Inc. California, USA. 604p.

Belsky, A. J. 1992. Effects of grazing, competition, disturbance and fire on species composition and diversity in grassland communities. *J. Veg. Sci.*, 3: 187–200.

Blackburn, W, H; Pierson, F.; Hanson, C.; Thruow, T. y Hanson,A. 1992. The spatial and temporal influence of vegetation on surface soil factors in semiarid rangelands. *Transactions of the ASAE* 35: 479-486.

Blackburn, W.H. 1984. Impacts of grazing intensity and specialized grazing systems on watershed characteristics and responses. *In: Developing strategies for rangeland management*. National Research Council/National Academy of Sciences. Boulder, CO: West-view Press: 927-983.

Bochet, E., Poesen J., Rubio J.L. 2006. Runoff and soil loss under individual plants of a semi-arid Mediterranean shrubland: influence of plant morphology and rainfall intensity. *Earth Surface Processes and Landforms* 31: 536–549.

Bonan, G. 2008. *Ecological Climatology*. Cambridge University Press.

Calvo, A, Boix, C, Imeson, A.C. 2003. Runoff generation, sediment movement and soil water behaviour on calcareous (limestone) slopes of some Mediterranean environments in southeast Spain. *Geomorphology* 50: 269–291.

Casenave, A. y Valentin, C., 1989. *Les États de surface de la zone sahélienne. Influence sur infiltration*. Editions de ORSTOM, Collection Didactiques. Paris, France.

Cervantes, R.M.C. 2005. *Las Zonas Áridas y Semiáridas de México*.

Chapin, F.S., Randerson, J.T., McGuire, A.D., Foley, J.A., y Field, C.B., 2008. Changing feedbacks in the climate biosphere system. *Front. Ecol. Environ.* 6: 313–320.

CNA. (Comisión Nacional del Agua). 1996. *Programa Hidráulico de Gran Visión*.

COTECOCA (Comisión Técnico Consultiva para la Determinación de Coeficientes de Agostadero). 1979. Coeficientes de Agostadero de la República Mexicana. Estado de Jalisco. Tomo I. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México, D. F. 159 p.

CONABIO. 2009. Cuarto Informe Nacional de México al Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F.

De Condapa, D., 2000. Illustration de la méthode Beerkan en vue de la caractérisation hydrodynamique d'un sol. DEA, Grenoble INPG.

De Fries, R., G. P. Asner, y R. Houghton. 2004. Ecosystems and Land Use Change, Geophys. Monogr. Ser., vol. 153, 308 pp., AGU, Washington, D. C.

Di, H. J., Cameron, K. C., Milne, J., Drewry, J. J., Smith, N. P., Hendry, T., Moore, S., y Reijnen, B. 2001. A mechanical hoof for simulating animal treading under controlled conditions. N. Z. J. Agric. Res. 44: 111–116.

Drewry, J. J., y Paton, R. J. 2005. Effects of sheep treading on soil physical properties and pasture yield of newly sown pastures. N. Z. J. Agric. Res. 48: 39–46.

Duan, Z.H., Xiao, H.L., Li, X.R., Dong, Z.B., Wang, G., 2004. Evolution of soil properties on stabilized sands in the Tengger Desert, China. Geomorphology 59: 237–246.

Dunkerley, D., 2004. Flow threads in surface run-off: implications for the assessment of flow properties and friction coefficients in soil erosion and hydraulics investigations. Earth Surface Processes and Landforms 29: 1011–1026.

Dunne, T., D. Western y W. Dietrich. 2011. Effects of cattle trampling on vegetation, infiltration, and erosion in a tropical rangeland. Journal of Arid Environments 75: 58-69.

Durán, Z.V.H., Rodríguez, P.C.R., 2008. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers: a review. Agron. Sustainable Dev. 28 (1): 65–86.

Evenari, M., Shanan, L., Tadmor, N. H. 1971. The Negev; The Challenge of a Desert. Cambridge, Mass.: Harvard Univ. Press. 345 pp.

Findeling, A., 2001. Étude de la modélisation de certains effets du semis direct avec paillis de résidus sur les bilans hydrique, thermique et azote de une culture de maïs pluvial au Mexique. Thèse Docteur Montpellier, Ecole Nationale du Génie Rural d'Eaux et Forêts.

García, E. 2003. Distribución de la precipitación en la República Mexicana, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, 50: 67–76.

Gaur, M.L., Mathur, B.S., 2003. Modeling event-based temporal variability of flow resistance coefficient. Journal of Hydrology 8: 266–277.

Gertenbach, W.P.D. y Potgieter, A.L.F. 1978. A phytosociological classification of the

Hlane Wildlife Sanctuary, Swaziland. *Koedoe*, 21: 47 – 65.

Govers, G., Takken, I., Helming, K., 2000. Soil roughness and overland flow. *Agronomie* 20: 131–146.

Hanks, R. J., Bowers, S. A. 1962. Numerical solution of the moisture flow equation for infiltration into layered soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 26: 530-534.

Hanks, R. J., Klute, A., Bresler, E. 1969. A numeric method for estimating infiltration, re-distribution, drainage and evaporation of water from soil. *Water Resour. Res.* 5:1064-1069.

Hawke RM, Price AG, Bryan RB. 2006. The effect of initial soil water content and rainfall intensity on near-surface soil hydrologic conductivity: a laboratory investigation. *Catena* 65: 237–246.

Hiernaux, P, and Gerard, B. 1999. The influence of vegetation pattern on the productivity, diversity and stability of vegetation: The case of "brousse tigre" in the Sahel. *Acta Oecologia* 20:147-158.

Houghton, R. y Goodale, C.2004. Effects of land-use change on the carbon balance of terrestrial ecosystems. In: *Ecosystems and Land Use Change*, (eds) De- Fries, R. S, Asner, G. P., and Houghton, R. A., *Geophys. Monogr. Ser.*, AGU, Washington, DC, 153, 85–98.

Huang, D., K. Wang y W. Wu. 2007. Dynamics of soil physical and Chemicals properties and vegetation succession characteristics Turing grassland desertification under sheep grazing in an agro-pastoral transition zone in Northern China. *Journal of Arid Environments* 70: 120-136.

Huber-Sannwald, E. 2003. Land use change and biodiversity: A local or global issue. *Reportes del IPICYT*. Vol. 1: 110-117.

Johnson, N.C., et al. 2003. Nitrogen enrichment alters mycorrhizal allocation at five mesic to semi-arid grasslands. *Ecology*, 84: 1895–1908.

Kamphorst, E.C., Jetten, V., Guérif, J., Pitkänen, J., Iversen, B.V., Douglas, J.T., Paz, A., 2000. Predicting depression storage from soil surface roughness. *Soil Science Society of America Journal* 64: 1749–1758.

Kirkby, M., 2002. Modeling the interactions between soil surface properties and water erosion. *Catena* 46: 89–102.

Lauenroth, W.K., I. Burke y A. Morgan, 2008. The shortgrass steppe. The region and research sites .In: *Ecology of the shortgrass steppe. A long term perspective.* (Eds.) Lauenroth, W.K. y I. Burke. Oxford, Estados Unidos de Norteamérica, 522 pp.

Lebgue, T. 2002. Gramíneas de Chihuahua. Manual de identificación. 3ª edición. Dirección de Extensión y Difusión Cultural. Universidad Autónoma de Chihuahua.

Facultad de Zootecnia y Ecología. Chihuahua, México.

Li, X.R., Ma, F.Y., Xiao, H.L., 2004. Long-term effects of revegetation on soil water content of sand dunes in arid region of Northern China. *Journal of Arid Environments* 57: 1–16.

Luna, M. 2009. Burning season effect on four southern Chihuahua Desert plants. *Disertación para obtención del grado de doctor*. Texas Tech University, Mayo de 2009.

Lyford, F. P., Qashu, H. K. 1969. Infiltration rates as affected by desert vegetation. *Water Resour. Res.* 5:1373-1376.

Madsen, M., S. Petersen, B. Roundy, B. Hopkins, y A. Taylor. 2012. Comparison of Postfire Soil Water Repellency Amelioration Strategies on Bluebunch Wheatgrass and Cheatgrass Survival. *Rangeland Ecology and Management* 65: 182-188.

Martínez-Mena, M., Abadia, R., Castillo V., y Albaladejo, J., 2001. Diseño experimental mediante lluvia simulada para el estudio de los cambios en la erosión del suelo durante una tormenta. *Rev. C&G.*, 15:1-2.

McCalla II, G.R., Blackburn, W.H., Merrill, L.B. 1984. Effects of livestock grazing on infiltration rates, Edwards Plateau of Texas. *J. Range Manage.* 37: 265-269.

McDonald, A.K., Kinucan, R.J. and Loomis, L.E. 2009. Ecohydrological interactions within banded vegetation in the northeastern Chihuahuan Desert, USA. *Ecohydrology*, 2, 66-71.

McGinnies, W.G., Goldman, B.J., Paylore, P., 1968. *Deserts of the World*. Tucson: Univ. Arizona. 188 pp.

Medina-Roldán, E., T. Arredondo-Moreno, E. García-Moya y M. Huerta-Martínez. 2007. Soil water content dynamics along a range condition gradient in a shortgrass steppe. *Rangeland Ecology and Management* 60:79-87.

Melgoza, A. 1998. Folleto Técnico No. 4. Campo Exp. La Campana. CIRNOC-INIFAP-SAGARPA.

Milchunas, D., W. Lauenroth, I. Burke, J. Detling. 2008. Effects of grazing on vegetation. *In: Ecology of the shortgrass steppe*. (Eds.) Lauenroth, W.K. y I. Burke. Oxford, Estados Unidos de Norteamérica, pp. 389-446.

Mitchell, J.K., y Jones Jr., B.A., 1976. Micro-relief surface depression storage: analysis of models to describe the depth-storage function. *AWRA Water Resources Bull.* 12: 1205-222.

Moore, I.D., y Larson, C.L., 1979. Estimating micro-relief surface storage from point data. *Trans. ASAE* 10478: 1073-1077.

Muñoz-Robles, C., Reid, N.C., Tighe, M., Briggs, S.V., Wilson, B., 2011. Soil hydrological and erosional responses in patches and inter-patches in vegetation states in semi-arid

Australia. *Geoderma* 160: 524-534.

Muscha, J.M., Hild, A.L., Munn, L.C., Stahl, P.D., 2004. Impacts of livestock exclusion from Wyoming big sagebrush communities. In: Hild, A.L., Shaw, N.L., Meyer, S.E., Booth, D.T., McArthur, E.D. (Eds.), *Seed and Soil Dynamics in Shrubland Ecosystems: Proceedings*. Proceedings of the RMRS-P-31. U.S. Department of Agriculture Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden, Utah, pp. 176–182.

Newman, B. D., 2006. Ecohydrology of water-limited environments: a scientific vision. *Water Resources Research* 42:

NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.

Noy-Meir, I. 1995. Interactive effects of fire and grazing on structure and diversity of mediterranean grasslands, *J. Veg. Sci.*, 6: 701–710.

Palacio-Prieto, J.L, 2000. *Bol. Inst. Geografía, UNAM*, 43: 83-203.

Pellant, M. P. Shaver, D. Pyke y J. Herrick. 2005. Interpreting indicators of rangeland health, version 4. Technical Reference 1734-6. U. S. Department of the Interior, Bureau of Land Management, National Science and Technology Center, CO. BLM/WO/ST-00/001+1734/ReV05.122 pp.

Puigdefábregas J., Alonso, J.M., Delgado, L., Domingo, F., Cueto, M., Gutiérrez, L., Lázaro, R., Nicolau, J.M., Sánchez, G., Solé, A., Vidal, S. 1996. The Rambla Honda field site: interactions of soil and vegetation along a catena in semi-arid southeast Spain. In: *Mediterranean Desertification and Land Use*. (Eds): Brandt, J y J.B. Thornes. John Wiley and Sons: Chichester;.137–168.

Puigdefabregas, J., 2005. The role of vegetation patterns in structuring runoff and sediment fluxes in drylands. *Earth Surf. Processes Landforms*: 30 (2): 133–147.

Qashu, H. K., Evans, D. D., Wheeler, M. L. 1972. Soil factors influencing water uptake by plants under desert conditions. *Desert Biome Res. Memo*; 32-37

Ravi, S., Breshears, D. D., Huxman, T. E. and D'Odorico, P. 2010. Land degradation in drylands: interactions among hydrologic-aeolian erosion and vegetation dynamics. *Geomorphology* 116: 236–245.

Ravi, S., P. D'Odorico, T. Zobeck y T. Over. 2009. The effect of reinduced soil hydrophobicity on wind erosion in a semiarid grassland: experimental observations and theoretical framework. *Geomorphology* 105: 80-86.

Rey, F., 2003. Influence of vegetation distribution on sediment yield in forested marly gullies. *Catena* 50 (2–4): 549–562.

Reyes-Gómez, V.M., 2005. Hidrodinámica superficial de los suelos de playa, En: *Las playas del desierto chihuahuense (parte mexicana), influencia de las sales en medio ambiente árido y semiárido*. (Eds.) Grünberger O., Reyes- Gómez V.M., J.L. Janeau,



IRD-INECOL. pp. 79-91.

Reynolds, J.F., F.T. Maestre, E. Huber-Sannwald, J. Herrick y P.R. Kemp. 2005. Aspectos socio-económicos y biofísicos de la desertificación. *Ecosistemas* 3: 1-19.

Rhoton, F.E. and Meyer, L.D. 1987. Sediment size distributions predicted for selected soils. *Journal of Soil and Water Conservation*, 42: 127–129.

Rodriguez-Iturbe, I. 2000. Ecohydrology: A hydrologic perspective of climate-soil-vegetation dynamics. *Water Resources Research* 36: 3-9.

Sánchez, G., Puigdefábregas, J., 1994. Interactions between plant growth and sediment movement in semi-arid slopes. *Geomorphology* 9: 243–260.

Sauer, C.O. 1951. Grassland climax, fire, and man. *J. Range Manage.* 3: 16-21.

Schlesinger, W.H., 1996. On the spatial pattern of soil nutrients in deserts ecosystems. *Ecology*, Vol. 77 (2): 364-374.

Slatyer, R. O. 1967. *Plant- Water Relationships*. New York: Academic. 366 PP.

Stafford Smith, M.D., Abel, N., Walker, B. y Chapin, F. S. 2009. Drylands: coping with uncertainty, thresholds, and change in state. En: Chapin, F. S., Kofinas, G. P., Folke, C. (eds)

Stoddart, L.A. and A.D. Smith. 1943. *Range management*. McGraw-Hill Book Co. New York and London.

Struthers, I., Sivapalan, M., Hinz, C. 2007. Conceptual examination of climate-soil controls upon rainfall partitioning in an open-fractured soil: 1. Single storm response. *Advances in Water Resources* 30: 505–517.

Tadmor, N.H., Shanan, L. 1969. Runoff inducement in an arid region by removal of vegetation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 33: 790-794.

Taylor, C.A. 2003. Rangeland monitoring and fire: wildfires and prescribed burning, nutrient cycling, and plant succession. *Arid-land Research and Manage.* 17: 429-438.

Van Dijk, P.M., Kwaad, F., Klapwijk, M., 1996. Retention of water and sediment by grass strips. *Hydrol. Processes* 10 (8): 1069–1080.

Vega, E. y C. Montaña. 2011. Effects of overgrazing and rainfall variability on the dynamics of semiarid banded vegetation patterns: A simulation study with cellular automata. *Journal of Arid Environments* 75: 70-77.

Viramontes-Olivas, O. A., V. M. Reyes-Gómez, L. F. Escoboza-García, J. A. Román-Calleros, A. Pérez-Márquez, C. Pinedo-Álvarez, P. B. Sánchez-Fernández y N. Miranda-Ojeda. 2008. Hidrología de los suelos de las cuencas media y baja del río Conchos, Chihuahua, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*. 4: 31-45.

Vitousek, P. M. 1994. Beyond global warming: Ecology and global change. *Ecology* 75: 1861– 1876.

Vogl, R.J. 1979. Some basic principles of grassland fire management. *J. Environmental Manage.* 3: 51-57.

Wang, X.P., Kang, E.S., Zhang, J.G., Li, X.R., 2004. Evapotranspiration of *Artemisia ordosica* vegetation in stabilized arid desert dune in Shapotou, China. *Arid Land Research and Management* 18: 63–76.

Wangemann, S., Kohl, R., Molumeli, P., 2000. Infiltration and percolation influenced by antecedent soil water content and air entrapment. *Trans. ASAE* 43 (6): 1517–1523.

Watkinson, A.R. & Powell, J.C. 1997. The life history and population structure of *Cycas armstrongii* in monsoonal northern Australia. *Oecologia* 111: 341– 349.

Wilcox, B., D. Breshears y C. Allen. 2003. Ecohydrology of a resource-conserving semiarid woodland: effects of scale and disturbance. *Ecological Monographs* 73(2): 223-239.

Wright, H.A. 1974. Effect of fire on southern mixed prairie grasses. *J. Range Manage.* 27: 417-419.

Wright, H.A., and A.W. Bailey. 1982. *Fire ecology. United States and Southern Canada.* John Wiley & Sons, Inc.

Xiao, H.L., Li, X.R., Duan, Z.H., Li, T., Li, S.Z., 2003. Impact of evolution of plant–soil system on the water environment during the mobile dunes stabilization. *Acta Pedologica Sinica* 40: 809–814 (in Chinese with English abstract).

Ziegler, A.D., Giambelluca, T.W., 1998. Influence of revegetation efforts on hydrologic response and erosion, Kaho’olawe Island, Hawai’i. *Land Degrad. Dev.* 9:189–206.

## ANEXOS

### Anexo 1. Método de Beerkan

Con los datos anteriores y otros más que a continuación se mencionan es posible conocer la conductividad hidráulica a saturación por el método de *Beerkan*:

- a) Textura del suelo para determinar los parámetros de forma de la granulometría del suelo.
- b) El parámetro de forma de la conductividad hidráulica a saturación ( $\eta$ ).
- c) Densidad aparente del suelo y de los sólidos que lo constituyen.
- d) La porosidad del suelo ( $ns$ ), que representa la humedad de saturación del suelo.
- e) La humedad inicial del suelo y la infiltración acumulada en función del tiempo.

En primera instancia los datos recopilados en campo se capturaron en una hoja de Excel de la siguiente manera:

Infiltración (cm)	Diferencia	Infiltración convertida (mm)	Tiempo (seg)	Infiltración acumulada (mm)
15	0	0	30	0
11.4	3.6	36	30	36
12.2	2.3	23	30	59

Calculado en campo
Medido en campo

Posterior a esto se comienzan a calcular todas las incógnitas de las diferentes ecuaciones establecidas:

El resultado del proceso de infiltración acumulada en forma adimensional e invariante genera la siguiente ecuación (De Condapa, 2000):

$$I^* = t^* + \ln(1 + I^*)$$

$$I^* = \alpha_I(I - K_0 t)$$

Donde

- $I$ = infiltración dimensional (m)
- $I^*$ = infiltración adimensional
- $t$ = tiempo dimensional (seg)
- $t^*$ = tiempo adimensional
- $\alpha_I$ = parámetro adimensional de infiltración ( $m^{-1}$ )
- $\alpha_t$ = parámetro adimensional de tiempo ( $t^{-1}$ )
- $K_0$ = conductividad hidráulica a humedad inicial del suelo ( $ms^{-1}$ )

Con los valores de lámina de agua infiltrada y tiempos obtenidos en campo, se calcula la infiltración acumulada en función del tiempo ( $I, t$ ). Con estos valores se obtiene un segundo valor de tiempo ( $T^*$ ) proveniente de las relaciones adimensionales descritas. Conociendo que al tiempo inicial (0 seg) el valor de la conductividad hidráulica es cero, entonces:

$$\alpha_t I = \alpha_t T^* + \ln(1 + \alpha_t I)$$

Estas ecuaciones se adjuntan a la misma tabla de Excel:

Infiltración (cm)	Diferencia	Infiltración convertida (mm)	Tiempo (seg)	Infiltración acumulada (mm)	Infiltración convertida (m)	Tiempo acumulado (seg)	I*	T*
15	0	0	30	0	0	0	0	0
11.4	3.6	36	30	36	0.036	30	36	123.8726
12.2	2.3	23	30	59	0.059	60	59	203.0134

Con la opción de *Solver* de Excel se realiza un ajuste inverso para obtener valores mejorados de los parámetros y un ajuste adecuado a la curva de infiltración, para lo cual se usa mínimos cuadrados, o el método numérico que más se ajuste y se usa la eficiencia del modelo para probar la confiabilidad del ajuste. Posterior a esto, se determinan los parámetros  $m, n$  y de conductividad hidráulica  $\eta$ , a partir de la teoría de la similitud geométrica que permiten ligar la curva de retención de humedad (modelo van Genuchten, 1980) y la curva granulométrica del suelo. Se debe utilizar las mediciones de textura del suelo (se describe más adelante) para determinar el producto  $mn$  que se adquiere a partir de la relación de la distribución de las partículas del suelo por analogía a la curva de retención de Van Genuchten:

$$F(D_p) = \left[ 1 + \left( \frac{D_g}{D_p} \right)^N \right]^M$$

Donde:

- $0 \leq F(D_p) \leq 1$  = es la masa acumulada de las partículas de suelo inferiores a  $D_p$
- $D_p$  = diámetro de las partículas del suelo (m)
- $D_g$  = parámetro de escala del diámetro de las partículas (m)
- $M$  y  $N$  = parámetros de forma de la ley de distribución de partículas

## Anexo 2. Modelo de Brooks y Corey

A continuación se demuestra la calculación del parámetro  $\eta$  de forma de la curva de conductividad hidráulica del modelo de Brooks y Corey (1964):

$$\eta = 3 + \frac{2}{mn}$$
$$mn = f_{mn}(M, N, D_g) = \frac{MN}{1 - \rho}$$
$$\rho = [(MN)^5 + 1]^{\frac{1}{8}}$$

Donde:

- $mn$ = producto derivado de los parámetros de la curva de distribución de partículas de suelo.
- $\rho$ = factor de optimización de parámetros de forma  $MN$

Con los valores calculados de  $\eta$ ,  $\alpha_l$  y  $\alpha_t$  se puede determinar el valor de la conductividad hidráulica con la seguridad de que se cubren los mínimos requeridos físicos matemáticos para una gran gama de tipos de suelos (Fuentes *et al.*, 1992)

La conductividad hidráulica a saturación está dada por la ecuación que se deriva de la combinación del modelo de Brooks y Corey y de los parámetros de adimensionalización (Findeling, 2001):

$$K_s = \frac{\alpha_t}{\alpha_l} \left[ 1 - \left( \frac{\theta_0}{\theta_s} \right)^\eta \right]^{-1}$$

Donde:

- $K_s$ = conductividad hidráulica (m/s)
- $\theta_0$ =humedad inicial ( $mm^{-3}$ )
- $\theta_s$ = humedad a saturación ( $mm^{-3}$ )

Siendo estimada la humedad inicial en campo y la segunda mediante la relación (Haverkamp *et al.*, 1990):

$$\theta_s - n_s f(m, M)$$

$$n_s = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s}$$

$$f(m, M) = 2^{m-M}$$

Donde:

- $\rho_d$  = densidad aparente del suelo ( $g/cm^3$ )
- $\rho_s$  = densidad real de los sólidos ( $g/cm^3$ )

**Anexo 3. ANOVA para el porcentaje de cobertura basal de las parcelas de *Bouteloua gracilis* y *Muhlenbergia rigida* con y sin fuego**

Fuente de variación	gl	Tipo III SS	Mean Square	F	P
Fuego	1	279.37	279.37	8.64	0.0096
Especie(Fuego)	2	1458.15	729.07	22.55	0.0001
Error	16	517.37	32.33		
Total	19	2254.90			

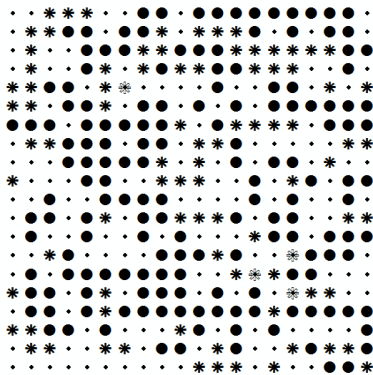
**Anexo 4. ANOVA para el porcentaje de cobertura de mantillo de las parcelas de *Bouteloua gracilis* y *Muhlenbergia rigida* con y sin fuego**

Fuente de variación	gl	Tipo III SS	Mean Square	F	P
Fuego	1	2403.52	2403.52	62.93	0.0001
Especie(Fuego)	2	1534.33	767.16	20.09	0.0001
Error	16	611.075	38.19		
Total	19	4548.93			

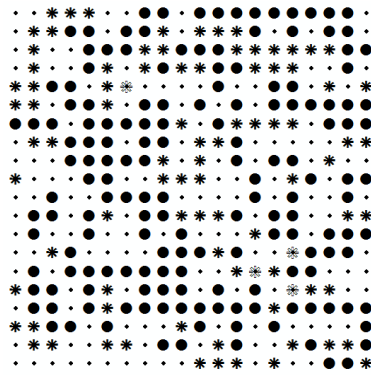
**Anexo 5. ANOVA para el porcentaje de cobertura de suelo desnudo de las parcelas de *Bouteloua gracilis* y *Muhlenbergia rigida* con y sin fuego**

Fuente de variación	gl	Tipo III SS	Mean Square	F	P
Fuego	1	1044.01	1044.01	23.33	0.0002
Especie(Fuego)	2	96.81	48.40	1.08	0.3625
Error	16	715.85			
Total	19	1856.67			

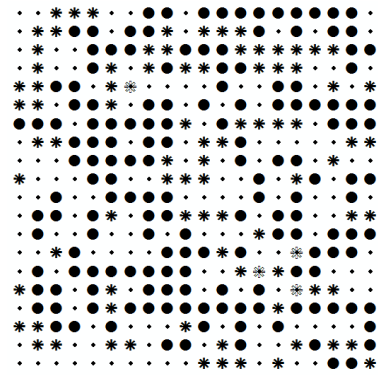
Anexo 6. Distribución espacial de las parcelas de *Bouteloua gracilis* y *Muhlenbergia rigida* con y sin fuego en el programa ArcGIS 9.3



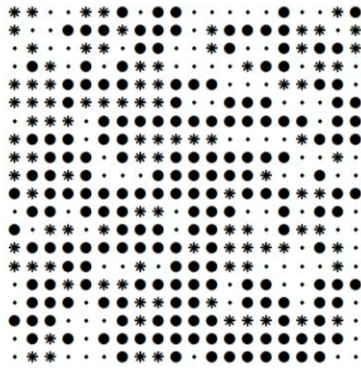
Parcela 203; repetición 1  
*B. gracilis* con fuego



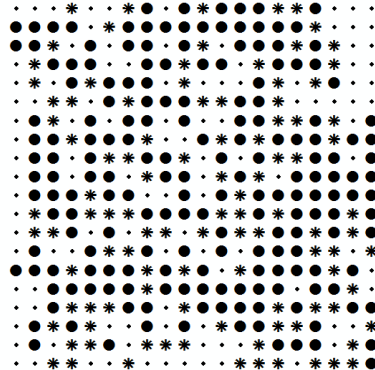
Parcela 891; repetición 2  
*B. gracilis* con fuego



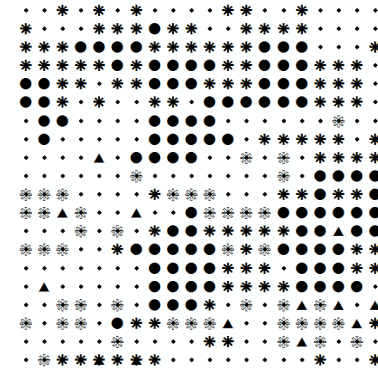
Parcela 867; repetición 3  
*B. gracilis* con fuego



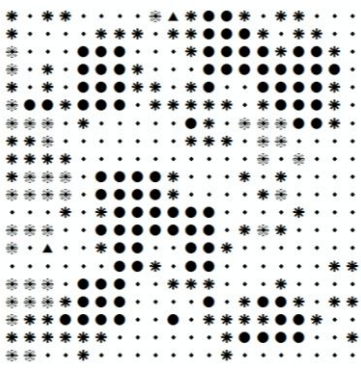
Parcela 893; repetición 4  
*B. gracilis* con fuego



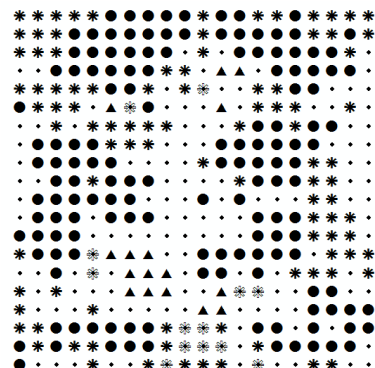
Parcela 886; repetición 5  
*B. gracilis* con fuego



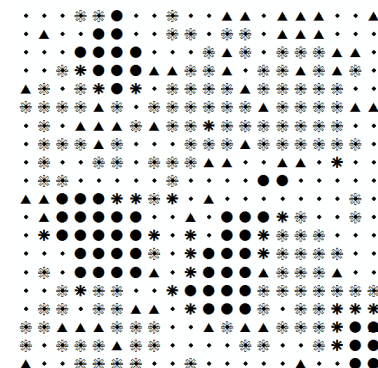
Parcela 890; repetición 1  
*M. rigida* con fuego



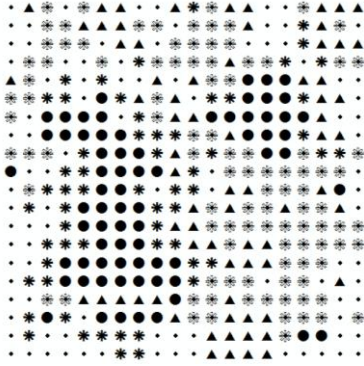
Parcela 892; repetición 2  
*M. rigida* con fuego



Parcela 866; repetición 3  
*M. rigida* con fuego

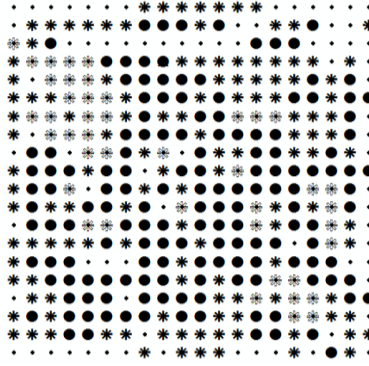


Parcela 887; repetición 4  
*M. rigida* con fuego



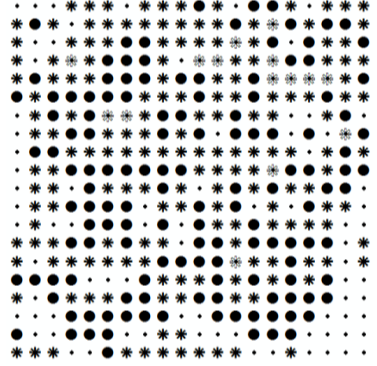
Parcela 868; repetición 5

*M. rigida* con fuego



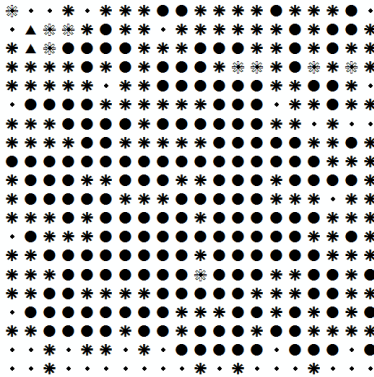
Parcela 872; repetición 1

*B. gracilis* sin fuego



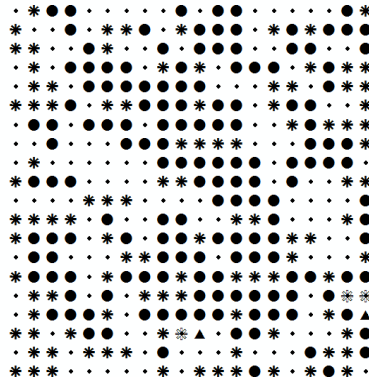
Parcela 870; repetición 2

*B. gracilis* sin fuego



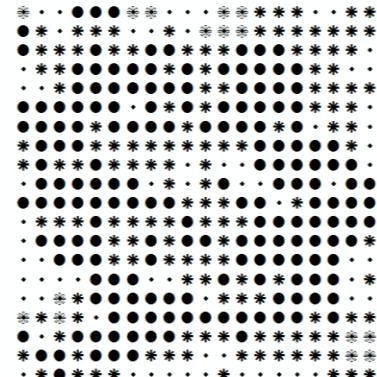
Parcela 873; repetición 3

*B. gracilis* sin fuego



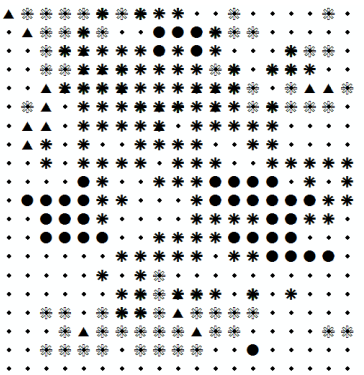
Parcela 869; repetición 4

*B. gracilis* sin fuego



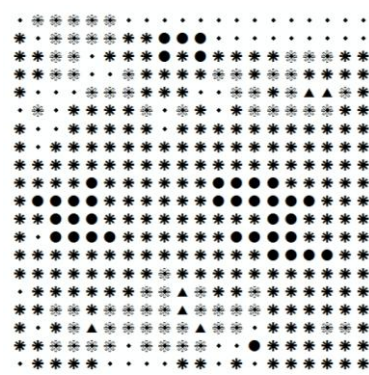
Parcela 874; repetición 5

*B. gracilis* sin fuego



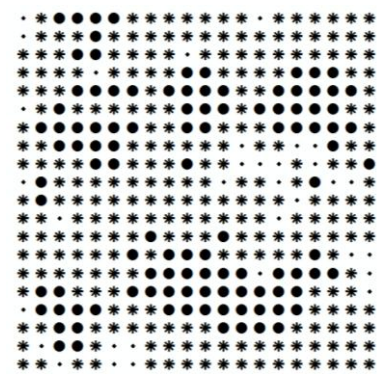
Parcela 871; repetición 1

*M. rigida* sin fuego



Parcela 877; repetición 2

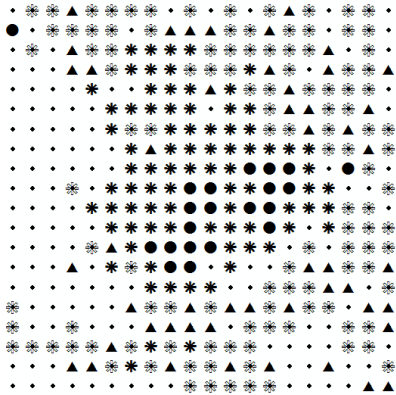
*M. rigida* sin fuego



Parcela 889; repetición 3

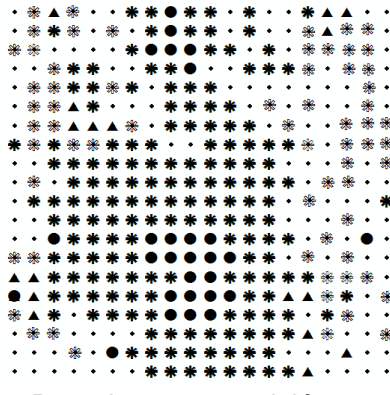
*M. rigida* sin fuego





Parcela 875; repetición 4

*M. rigida* sin fuego



Parcela 876; repetición 5

*M. rigida* sin fuego

- ◆ Suelo desnudo      ● Basal de especie representativa      \* Mantillo de especie representativa
- ▲ Basal de otras especies perennes      ✱ Mantillo de otras especies perennes

**Anexo 7. ANOVA para el índice de tortuosidad de las parcelas de *Bouteloua gracilis* y *Muhlenbergia rigida* con y sin fuego**

Fuente de variación	gl	Tipo III SS	Mean Square	F	P
Fuego	1	0.0208	0.0208	10.57	0.0050
Especie(Fuego)	2	0.0721	0.0360	18.28	0.0001
Error	16	0.0315	0.0019		
Total	19	0.1245			

**Anexo 8. ANOVA para el índice de rugosidad de las parcelas de *Bouteloua gracilis* y *Muhlenbergia rigida* con y sin fuego**

Fuente de variación	gl	Tipo III SS	Mean Square	F	P
Fuego	1	0.038	0.038	8.00	0.0121
Especie(Fuego)	2	0.088	0.044	9.19	0.0022
Error	16	0.076	0.0047		
Total	19	0.202			

**Anexo 9. ANOVA para el potencial de agua retenida en suelo desnudo para las parcelas de *Bouteloua gracilis* y *Muhlenbergia rigida* con y sin fuego (transformación log)**

Fuente de variación	gl	Tipo III SS	Mean Square	F	P
Fuego	1	16.049	16.049	8.93	0.0087
Especie(Fuego)	2	4.425	2.212	1.23	0.3182
Error	16	28.75	1.797		
Total	19	49.23			

**Anexo 10. ANOVA para la fracción de arena media del suelo para *Bouteloua gracilis* y *Muhlenbergia rigida* con y sin fuego**

Fuente de variación	gl	Tipo III SS	Mean Square	F	P
Fuego	1	135.20	135.20	10.17	0.0057
Especie(Fuego)	2	44.20	22.10	1.66	0.2210
Error	16	212.80	13.30		
Total	19	392.20			

**Anexo 10a. ANOVA para la fracción de arena gruesa del suelo para *Bouteloua gracilis* y *Muhlenbergia rigida* con y sin fuego**

Fuente de variación	gl	Tipo III SS	Mean Square	F	P
Fuego	1	0.200	0.200	0.01	0.9428
Especie(Fuego)	2	58.0	29.00	0.77	0.4789
Error	16	601.60	37.60		
Total	19	659.80			

**Anexo 10b. ANOVA para la fracción de arena fina del suelo para *Bouteloua gracilis* y *Muhlenbergia rigida* con y sin fuego**

Fuente de variación	gl	Tipo III SS	Mean Square	F	P
Fuego	1	12.80	12.80	3.91	0.0655
Especie(Fuego)	2	21.80	10.90	3.33	0.0619
Error	16	52.40	3.27		
Total	19	87.00			

**Anexo 10c. ANOVA para la fracción de arcilla del suelo para *Bouteloua gracilis* y *Muhlenbergia rigida* con y sin fuego**

Fuente de variación	gl	Tipo III SS	Mean Square	F	P
Fuego	1	16.20	16.20	1.67	0.2140
Especie(Fuego)	2	12.80	6.40	0.66	0.5296
Error	16	154.80	9.67		
Total	19	183.80			

**Anexo 10d. ANOVA para la fracción de limo del suelo en micrositos de *Bouteloua gracilis* y *Muhlenbergia rigida* con y sin fuego**

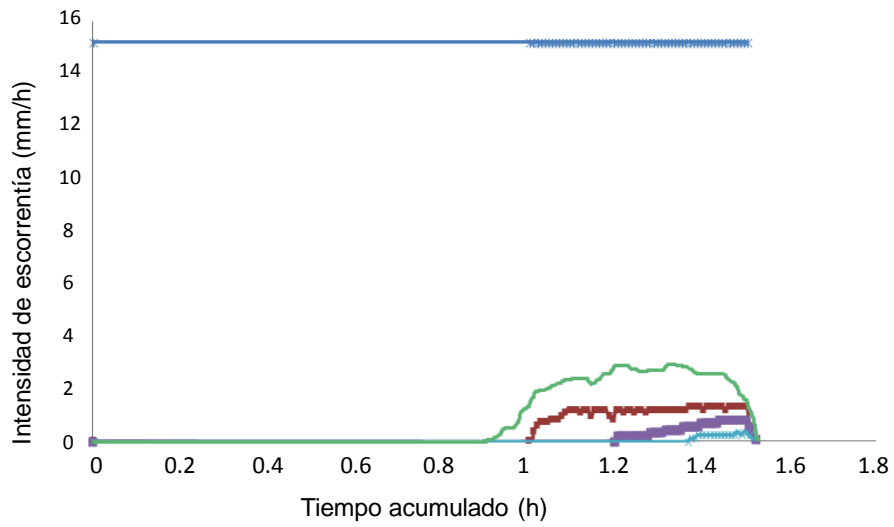
Fuente de variación	gl	Tipo III SS	Mean Square	F	P
Fuego	1	115.20	115.20	4.19	0.0576
Especie(Fuego)	2	11.60	5.80	0.21	0.8122
Error	16	440.40	27.52		
Total	19	567.20			

**Anexo 11. ANOVA para la porosidad del suelo en micrositos de *Bouteloua gracilis* y *Muhlenbergia rigida* con y sin fuego (transformación *logit*)**

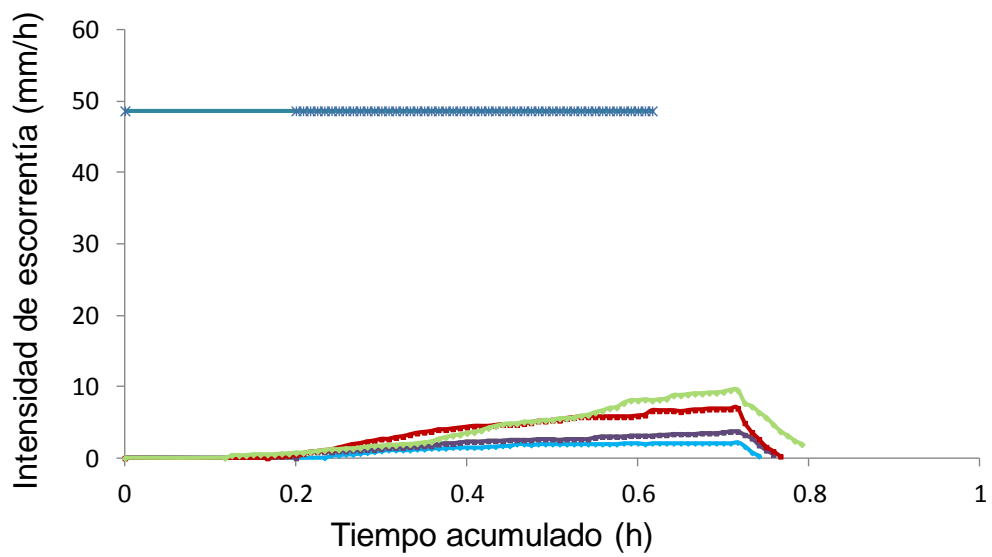
Fuente de variación	gl	Tipo III SS	Mean Square	F	P
Fuego	1	104.16	104.16	29.51	0.0001
Especie(Fuego)	2	14.21	7.10	2.01	0.1661
Error	16	56.48	3.53		
Total	19	174.86			

## Anexo 12. Hidrogramas de escorrentía para los diferentes tratamientos

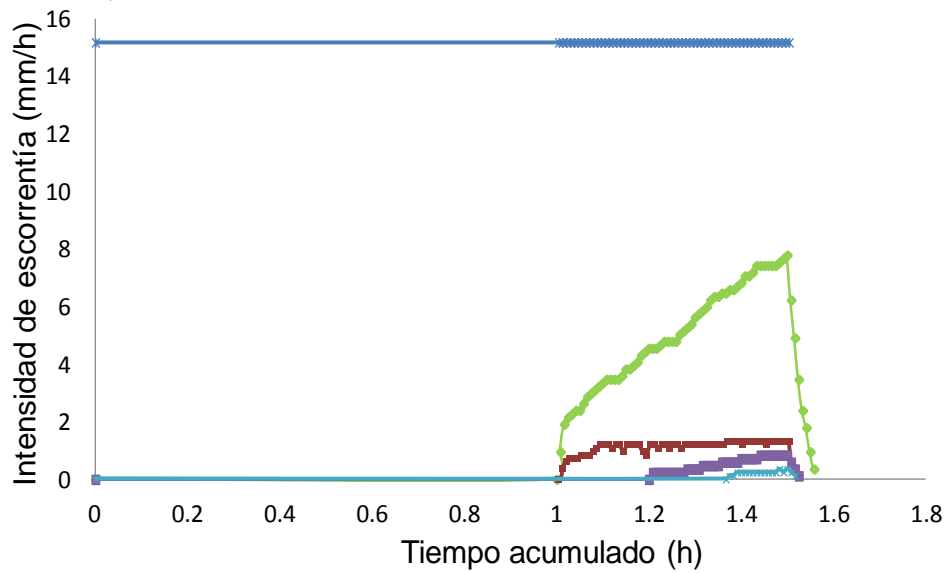
*Muhlenbergia rigida* intensidad baja (15 mm/h)



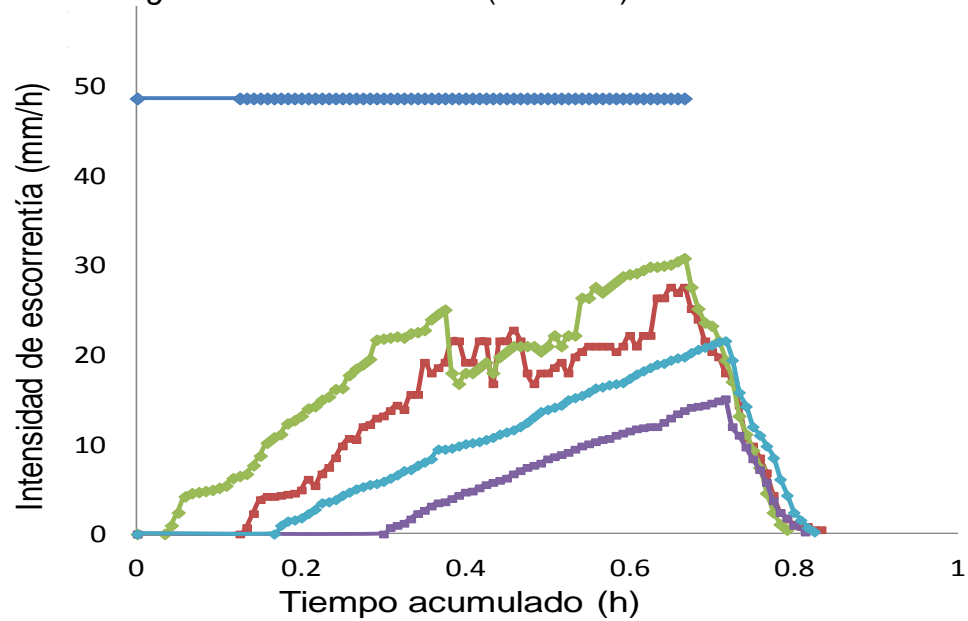
*Muhlenbergia rigida* intensidad alta (49 mm/h)



*Bouteloua gracilis* intensidad baja (15 mm/h)



*Bouteloua gracilis* intensidad altas (49 mm/h)



- Lluvia a intensidad constante (mm/h)
- Sin fuego (húmedo)
- Con fuego (húmedo)
- Con fuego (seco)
- Sin fuego (seco)

**Anexo 13. ANOVA para el periodo de retención de agua antes de la escorrentía en parcelas de *Bouteloua gracilis* y *Muhlenbergia rigida* con y sin fuego con covariable humedad**

Fuente de variación	gl	Tipo III SS	Mean Square	F	P
Condición inicial	1	62170.63	62170.63	0.03	0.8689
Intensidad	1	1887070.63	1887070.63	0.85	0.3675
Fuego	1	418177.39	418177.39	0.19	0.6692
Especie (Fuego)	2	700980.13	350490.06	0.16	0.8557
Condición*Intensidad	1	619164.03	619164.03	0.28	0.6035
Condición*Fuego	1	124212.87	124212.87	0.06	0.8156
Intensidad *Fuego	1	1372109.39	1372109.39	0.61	0.4411
Condición*Especie (Fuego)	2	2866471.79	1433235.89	0.64	0.5355
Intensidad*Especie (Fuego)	2	6462359.68	3231179.84	1.45	0.2559
Condición*Intensidad* Especie(Fuego)	3	2492346.41	830782.13	0.37	0.7739
Error	23	51363988.83	2233216.90		
Total	38	71680752.92			

**Anexo 14. ANOVA para el agua retenida antes de la escorrentía en parcelas de *Bouteloua gracilis* y *Muhlenbergia rigida* con y sin fuego con covariable humedad (condición inicial)**

Fuente de variación	Gl	Tipo III SS	Mean Square	F	P
Condición inicial	1	281.01	281.01	8.02	0.0097
Condición suelo	1	262.99	262.99	7.50	0.0120
Intensidad	1	156.27	156.27	4.46	0.0463
Fuego	1	81.11	81.11	2.31	0.1424
Especie (Fuego)	2	18.89	9.44	0.27	0.7662
Condición*Intensidad	1	250.75	250.75	7.16	0.0138
Condición*Fuego	1	19.64	19.64	0.56	0.4620

<b>Intensidad *Fuego</b>	1	28.26	28.26	0.81	0.3788
<b>Condición*Especie (Fuego)</b>	2	131.90	65.95	1.88	0.1760
<b>Intensidad*Especie (Fuego)</b>	2	167.76	83.88	2.39	0.1147
<b>Condición*Intensidad* Especie(Fuego)</b>	3	194.91	64.97	1.85	0.1670
<b>Error</b>	22	770.99	35.04		
<b>Total</b>	38	2049.35			

**Anexo 15. ANOVA para el porcentaje de escorrentía en parcelas de *Bouteloua gracilis* y *Muhlenbergia rigida* con y sin fuego con covariable humedad (condición inicial)**

<b>Fuente de variación</b>	<b>Gl</b>	<b>Tipo III SS</b>	<b>Mean Square</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Condición inicial</b>	1	48.93	48.93	2.92	0.1006
<b>Intensidad</b>	1	1165.51	1165.51	69.48	0.0001
<b>Fuego</b>	1	546.95	546.95	32.60	0.0001
<b>Especie (Fuego)</b>	2	1180.30	590.15	35.18	0.0001
<b>Condición*Intensidad</b>	1	8.19	8.19	0.49	0.4913
<b>Condición*Fuego</b>	1	8.95	8.95	0.53	0.4720
<b>Intensidad *Fuego</b>	1	298.75	298.75	17.81	0.0003
<b>Condición*Especie (Fuego)</b>	2	22.40	11.20	0.67	0.5220
<b>Intensidad*Especie (Fuego)</b>	2	382.11	191.05	11.39	0.0003
<b>Condición*Intensidad* Especie(Fuego)</b>	3	3.32	1.10	0.07	0.9773
<b>Error</b>	24	402.61			
<b>Total</b>	39	3712.58			

**Anexo 16. ANOVA para el coeficiente de conductividad hidráulica a saturación para micrositios con vegetación y suelo desnudo de *Bouteloua gracilis* y *Muhlenbergia rigida* con y sin fuego**

Fuente de variación	Gl	Tipo III SS	Mean Square	F	P
Fuego	1	160350.65	160350.65	322.52	0.0001
Micrositio	1	268030.50	268030.50	539.11	0.0001
Especie (Fuego)	2	46259.36	23129.68	46.52	0.0001
Especie*Micrositio (Fuego)	3	114938.15	38312.71	77.06	0.0001
Error	111	55186.37			
Total	118	1263759.63			

**Anexo 17. Análisis de correlación de Pearson para factores abióticos y bióticos con el porcentaje de escorrentía (*Ke* %) para *Bouteloua gracilis* con fuego**

<i>Ke</i>	Tortuosidad	Rugosidad	Vol. agua en suelo desnudo	Cob suelo desnudo	Cob basal	Cob mantillo
<b>R<sup>2</sup></b>	0.77	0.47	0.53	0.49	-0.27	-0.758
<b>P</b>	0.0078	0.161	0.113	0.145	0.443	0.011

**Anexo 18. Análisis de correlación de Pearson para factores abióticos y bióticos con el porcentaje de escorrentía (*Ke* %) para *Muhlenbergia rigida* con fuego**

<i>Ke</i>	Tortuosidad	Rugosidad	Vol. agua en suelo desnudo	Cob suelo desnudo	Cob basal	Cob mantillo
<b>R<sup>2</sup></b>	-0.60	-0.43	-0.12	0.67	-0.76	-0.16
<b>P</b>	0.061	0.214	0.739	0.033	0.0099	0.648



**Anexo 19. Análisis de correlación de Pearson para factores abióticos y bióticos con el porcentaje de escorrentía ( $K_e$  %) para *Bouteloua gracilis* sin fuego**

$K_e$	Tortuosidad	Rugosidad	Vol. agua en suelo desnudo	Cob suelo desnudo	Cob basal	Cob mantillo
$R^2$	-0.06	-0.71	0.74	0.30	-0.53	0.66
$P$	0.858	0.002	0.013	0.383	0.112	0.03

**Anexo 20. Análisis de correlación de Pearson para factores abióticos y bióticos con el porcentaje de escorrentía ( $K_e$  %) para *Muhlenbergia rigida* sin fuego**

$K_e$	Tortuosidad	Rugosidad	Vol. agua en suelo desnudo	Cob suelo desnudo	Cob basal	Cob mantillo
$R^2$	-0.14	-0.29	-0.25	0.27	0.42	-0.43
$P$	0.696	0.405	0.471	0.448	0.216	0.211

**Anexo 21. Análisis de correlación de Pearson para factores abióticos y bióticos con el porcentaje de escorrentía ( $K_s$  mm/h) para *Bouteloua gracilis* con fuego y micrositio con vegetación**

$K_s$	Porosidad	Arcilla	Limo	Arena fina	Arena media	Arena gruesa
$R^2$	0.23	0.09	-0.02	-0.085	-0.19	0.11
$P$	0.248	0.649	0.981	0.685	0.353	0.58

**Anexo 22. Análisis de correlación de Pearson para factores abióticos y bióticos con el porcentaje de escorrentía ( $K_s$  mm/h) para *Bouteloua gracilis* con fuego y micrositio sin vegetación**

$K_s$	Porosidad	Arcilla	Limo	Arena fina	Arena media	Arena gruesa
$R^2$	-0.66	0.010	0.34	0.50	-0.073	-0.35
$P$	0.225	0.986	0.566	0.381	0.906	0.552

**Anexo 23 Análisis de correlación de Pearson para factores abióticos y bióticos con el porcentaje de escorrentía ( $K_s$  mm/h) para *Muhlenbergia rigida* con fuego y micrositio con vegetación**

$K_s$	Porosidad	Arcilla	Limo	Arena fina	Arena media	Arena gruesa
$R^2$	-0.036	0.11	-0.007	0.10	0.06	-0.06
$P$	0.862	0.571	0.978	0.627	0.755	0.756

**Anexo 24 Análisis de correlación de Pearson para factores abióticos y bióticos con el porcentaje de escorrentía ( $K_s$  mm/h) para *Muhlenbergia rigida* con fuego y micrositio sin vegetación**

$K_s$	Porosidad	Arcilla	Limo	Arena fina	Arena media	Arena gruesa
$R^2$	-0.73	0.65	-0.57	0.02	-0.30	0.31
$P$	0.157	0.233	0.312	0.973	0.620	0.610

**Anexo 25. Análisis de correlación de Pearson para factores abióticos y bióticos con el porcentaje de escorrentía ( $K_s$  mm/h) para *Bouteloua gracilis* sin fuego y micrositio con vegetación**

$K_s$	Porosidad	Arcilla	Limo	Arena fina	Arena media	Arena gruesa
$R^2$	-0.084	0.15	0.21	-0.06	-0.005	-0.25
$P$	0.689	0.468	0.295	0.764	0.979	0.220

**Anexo 26. Análisis de correlación de Pearson para factores abióticos y bióticos con el porcentaje de escorrentía ( $K_s$  mm/h) para *Bouteloua gracilis* sin fuego y micrositio sin vegetación**

$K_s$	Porosidad	Arcilla	Limo	Arena fina	Arena media	Arena gruesa
$R^2$	-0.51	-0.14	0.74	-0.80	-0.69	-0.28
$P$	0.370	0.820	0.146	0.099	0.191	0.641

**Anexo 27. Análisis de correlación de Pearson para factores abióticos y bióticos con el porcentaje de escorrentía ( $K_s$  mm/h) para *Muhlenbergia rigida* sin fuego y micrositio con vegetación**

$K_s$	Porosidad	Arcilla	Limo	Arena fina	Arena media	Arena gruesa
$R^2$	-0.40	0.63	0.40	-0.40	-0.63	0.19
$P$	0.042	0.0006	0.043	0.044	0.0006	0.348

**Anexo 28. Análisis de correlación de Pearson para factores abióticos y bióticos con el porcentaje de escorrentía ( $K_s$  mm/h) para *Muhlenbergia rigida* sin fuego y micrositio sin vegetación**

$K_s$	Porosidad	Arcilla	Limo	Arena fina	Arena media	Arena gruesa
$R^2$	-0.79	0.45	0.25	-0.13	-0.46	-0.001
$P$	0.109	0.436	0.673	0.830	0.428	0.997

**Anexo 29. ANOVA para la biomasa de raíces en micrositos de parcelas de *Bouteloua gracilis* y *Muhlenbergia rigida* con y sin fuego.**

Fuente de variación	gl	Tipo III SS	Mean Square	$F$	$P$
Fuego	1	2.66	2.66	51.12	0.0001
Especie(Fuego)	2	0.29	0.14	2.86	0.086
Especie (Fuego x micrositio)	4	15.70	3.92	75.45	0.0001
Error	16	0.83	0.052		
Total	23	19.50			

**Anexo 30. Cálculos de conductividad hidráulica a saturación para todos los tratamientos**

PARCELA 203: <i>B. gracilis</i> con fuego												
	Cilindro 1	unidad	Cilindro 2	unid	Cilindro 3	unid	Cilindro 4	unid	Cilindro 5	unid	Cilindro 6	unid

<b>N</b>	25.25936355	Na	25.25936355	Na	25.25936355	Na	25.25936355	Na	25.25936355	Na	25.25936355	Na
<b>M</b>	0.012328345	Na	0.012328345	Na	0.012328345	Na	0.012328345	Na	0.012328345	Na	0.012328345	Na
<b>dg</b>	1160.010659	Na	1160.010659	Na	1160.010659	Na	1160.010659	Na	1160.010659	Na	1160.010659	Na
<b>alfa i</b>	41772991461	Na (m)	41772991466	Na (m)	41772991460	Na (m)	41772991462	Na (m)	41772991462	Na (m)	41772991460	Na (m)
<b>alfa t</b>	962443.037	Na (s)	580131.5667	Na (h)	1000368.476	Na (h)	841013.3919	Na (h)	877033.7778	Na (h)	994056.2768	Na (h)
<b>Dap</b>	1.393834001	Gr/cm3	1.457734025	Gr/cm3	1.404562603	Gr/cm3	1.386878095	Gr/cm3	1.375972648	Gr/cm3	1.368309361	Gr/cm3
<b>Dr</b>	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3
<b>Porosidad</b>	41.92358327	%	39.26108229	%	41.4765582	%	42.21341272	%	42.66780633	%	42.98710996	%
<b>H 0</b>	2.274165738	%	1.63654128	%	2.274165738	%	2.274165738	%	2.274165738	%	2.274165738	%
<b>H final</b>	21.42109489	%	19.99156177	%	21.42109489	%	21.42109489	%	21.42109489	%	21.42109489	%
<b>ro</b>	0.124635014	Na	0.124635014	Na	0.124635014	Na	0.124635014	Na	0.124635014	Na	0.124635014	Na
<b>mn</b>	0.355744352	Na	0.355744352	Na	0.355744352	Na	0.355744352	Na	0.355744352	Na	0.355744352	Na
<b>m</b>	0.151011442	Na	0.151011442	Na	0.151011442	Na	0.151011442	Na	0.151011442	Na	0.151011442	Na
<b>n</b>	2.355744352	Na	2.355744352	Na	2.355744352	Na	2.355744352	Na	2.355744352	Na	2.355744352	Na
<b>F(m,M)</b>	1.100899747	Na	1.100899747	Na	9.011597212	Na	1.100899747	Na	1.100899747	Na	1.100899747	Na
<b>Ñiu</b>	8.622014769	Na	8.622014769	Na	8.622014769	Na	8.622014769	Na	8.622014769	Na	8.622014769	Na
<b>Ks</b>	2.30398E-05	m/seg.	1.38877E-05	m/seg.	2.39477E-05	m/seg.	2.01329E-05	m/seg.	2.09952E-05	m/seg.	2.37966E-05	m/seg.
<b>ks</b>	<b>82.94342411</b>	<b>mm/h</b>	<b>49.99578837</b>	<b>mm/h</b>	<b>86.21184173</b>	<b>mm/h</b>	<b>72.4786068</b>	<b>mm/h</b>	<b>75.58284677</b>	<b>mm/h</b>	<b>85.66785585</b>	<b>mm/h</b>

<b>PARCELA 891: <i>B. gracilis</i> con fuego</b>												
	<b>Cilindro 1</b>	<b>unidad</b>	<b>Cilindro 2</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 3</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 4</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 5</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 6</b>	<b>unid</b>
<b>N</b>	14.09846505	Na	14.09846505	Na	14.09846505	Na	14.09846505	Na	14.09846505	Na	14.09846505	Na
<b>M</b>	<b>0.020152838</b>	<b>Na</b>	<b>0.020152838</b>	<b>Na</b>	<b>0.020152838</b>	<b>Na</b>	<b>0.02015284</b>	<b>Na</b>	<b>0.020152838</b>	<b>Na</b>	<b>0.020152838</b>	<b>Na</b>
<b>dg</b>	1385.789173	Na	1385.789173	Na	1385.789173	Na	1385.789173	Na	1385.789173	Na	1385.789173	Na
<b>alfa i</b>	<b>41772991458</b>	<b>Na (m)</b>	<b>41772991467</b>	<b>Na (m)</b>	<b>41772991450</b>	<b>Na (m)</b>	<b>4.1773E+10</b>	<b>Na (m)</b>	<b>41772991461</b>	<b>Na (m)</b>	<b>41772991462</b>	<b>Na (m)</b>
<b>alfa t</b>	1143622.339	Na (s)	558417.3237	Na (h)	1646369.846	Na (h)	835001.3664	Na (h)	946670.4929	Na (h)	893868.3882	Na (h)
<b>Dap</b>	<b>1.399434096</b>	<b>Gr/cm3</b>	<b>1.428024051</b>	<b>Gr/cm3</b>	<b>1.388528649</b>	<b>Gr/cm3</b>	<b>1.381278</b>	<b>Gr/cm3</b>	<b>1.346970054</b>	<b>Gr/cm3</b>	<b>1.404739448</b>	<b>Gr/cm3</b>
<b>Dr</b>	2.5	Gr/cm3	2.5	Gr/cm3	2.5	Gr/cm3	2.5	Gr/cm3	2.5	Gr/cm3	2.5	Gr/cm3
<b>Porosidad</b>	<b>44.02263617</b>	<b>%</b>	<b>42.87903796</b>	<b>%</b>	<b>44.45885404</b>	<b>%</b>	<b>44.74888</b>	<b>%</b>	<b>46.12119783</b>	<b>%</b>	<b>43.81042207</b>	<b>%</b>
<b>H 0</b>	2.381156712	%	1.684210526	%	2.381156712	%	2.381156712	%	2.381156712	%	2.381156712	%
<b>H final</b>	<b>21.83789728</b>	<b>%</b>	<b>20.81039108</b>	<b>%</b>	<b>21.83789728</b>	<b>%</b>	<b>21.8378973</b>	<b>%</b>	<b>21.83789728</b>	<b>%</b>	<b>21.83789728</b>	<b>%</b>
<b>ro</b>	0.124768981	Na	0.124768981	Na	0.124768981	Na	0.124768981	Na	0.124768981	Na	0.124768981	Na
<b>mn</b>	<b>0.324627528</b>	<b>Na</b>	<b>0.324627528</b>	<b>Na</b>	<b>0.324627528</b>	<b>Na</b>	<b>0.32462753</b>	<b>Na</b>	<b>0.324627528</b>	<b>Na</b>	<b>0.324627528</b>	<b>Na</b>
<b>m</b>	0.139647115	Na	0.139647115	Na	0.139647115	Na	0.139647115	Na	0.139647115	Na	0.139647115	Na
<b>n</b>	<b>2.324627528</b>	<b>Na</b>	<b>2.324627528</b>	<b>Na</b>	<b>2.324627528</b>	<b>Na</b>	<b>2.32462753</b>	<b>Na</b>	<b>2.324627528</b>	<b>Na</b>	<b>2.324627528</b>	<b>Na</b>
<b>F(m,M)</b>	1.086353985	Na	1.086353985	Na	9.011597212	Na	1.086353985	Na	1.086353985	Na	1.086353985	Na
<b>Ñiu</b>	<b>9.160906969</b>	<b>Na</b>	<b>9.160906969</b>	<b>Na</b>	<b>9.160906969</b>	<b>Na</b>	<b>9.16090697</b>	<b>Na</b>	<b>9.160906969</b>	<b>Na</b>	<b>9.160906969</b>	<b>Na</b>

<b>Ks</b>	2.73771E-05	m/seg.	1.33679E-05	m/seg.	3.94123E-05	m/seg.	1.9989E-05	m/seg.	2.26623E-05	m/seg.	2.13982E-05	m/seg.
<b>ks</b>	<b>98.5574718</b>	<b>mm/h</b>	<b>48.12445302</b>	<b>mm/h</b>	<b>141.8842953</b>	<b>mm/h</b>	<b>71.9604897</b>	<b>mm/h</b>	<b>81.5841447</b>	<b>mm/h</b>	<b>77.03365475</b>	<b>mm/h</b>

**PARCELA 867: B. gracilis con fuego**

	Cilindro 1	unidad	Cilindro 2	unid	Cilindro 3	unid	Cilindro 4	unid	Cilindro 5	unid	Cilindro 6	unid
<b>N</b>	14.11471464	Na	14.11471464	Na	14.11471464	Na	14.11471464	Na	14.11471464	Na	14.11471464	Na
<b>M</b>	0.01764211	Na	0.01764211	Na	0.01764211	Na	0.01764211	Na	0.01764211	Na	0.01764211	Na
<b>dg</b>	1343.923204	Na	1343.923204	Na	1343.923204	Na	1343.923204	Na	1343.923204	Na	1343.923204	Na
<b>alfa i</b>	41772991462	Na (m)	41772991467	Na (m)	41772991461	Na (m)	41772991456	Na (m)	41772991461	Na (m)	41772991458	Na (m)
<b>alfa t</b>	876364.2292	Na (s)	570855.8741	Na (h)	933873.8757	Na (h)	1240306.981	Na (h)	944737.2155	Na (h)	1127411.415	Na (h)
<b>Dap</b>	1.369547277	Gr/cm3	1.449186513	Gr/cm3	1.386465456	Gr/cm3	1.376090545	Gr/cm3	1.382810658	Gr/cm3	1.405328932	Gr/cm3
<b>Dr</b>	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3
<b>Porosidad</b>	42.93553014	%	39.61722864	%	42.23060599	%	42.66289397	%	42.38288926	%	41.44462784	%
<b>H 0</b>	2.019078582	%	1.309794989	%	2.023442847	%	2.044919786	%	2.08342246	%	2.122106704	%
<b>H final</b>	21.6742322	%	17.80358946	%	21.31074091	%	21.05649004	%	21.38725969	%	21.26013114	%
<b>ro</b>	0.124880434	Na	0.124880434	Na	0.124880434	Na	0.124880434	Na	0.124880434	Na	0.124880434	Na
<b>mn</b>	0.284547801	Na	0.284547801	Na	0.284547801	Na	0.284547801	Na	0.284547801	Na	0.284547801	Na
<b>m</b>	0.124553227	Na	0.124553227	Na	0.124553227	Na	0.124553227	Na	0.124553227	Na	0.124553227	Na
<b>n</b>	2.284547801	Na	2.284547801	Na	2.284547801	Na	2.284547801	Na	2.284547801	Na	2.284547801	Na
<b>F(m,M)</b>	1.076920026	Na	1.076920026	Na	9.011597212	Na	1.076920026	Na	1.076920026	Na	1.076920026	Na
<b>Ñiu</b>	10.02869604	Na	10.02869604	Na	10.02869604	Na	10.02869604	Na	10.02869604	Na	10.02869604	Na
<b>Ks</b>	2.09792E-05	m/seg.	1.36657E-05	m/seg.	2.23559E-05	m/seg.	2.96916E-05	m/seg.	2.2616E-05	m/seg.	2.6989E-05	m/seg.
<b>ks</b>	<b>75.52514471</b>	<b>mm/h</b>	<b>49.19640836</b>	<b>mm/h</b>	<b>80.481331</b>	<b>mm/h</b>	<b>106.889762</b>	<b>mm/h</b>	<b>81.41753456</b>	<b>mm/h</b>	<b>97.16041283</b>	<b>mm/h</b>

**PARCELA 893: B. gracilis con fuego**

	Cilindro 1	unidad	Cilindro 2	unid	Cilindro 3	unid	Cilindro 4	unid	Cilindro 5	unid	Cilindro 6	unid
<b>N</b>	14.81656435	Na	14.81656435	Na	14.81656435	Na	14.81656435	Na	14.81656435	Na	14.81656435	Na
<b>M</b>	0.017528665	Na	0.017528665	Na	0.017528665	Na	0.017528665	Na	0.017528665	Na	0.017528665	Na
<b>dg</b>	1307.543741	Na	1307.543741	Na	1307.543741	Na	1307.543741	Na	1307.543741	Na	1307.543741	Na
<b>alfa i</b>	41772991459	Na (m)	41772991468	Na (m)	41772991461	Na (m)	41772991459	Na (m)	41772991465	Na (m)	41772991459	Na (m)
<b>alfa t</b>	1059092.035	Na (s)	487718.4118	Na (h)	932297.8746	Na (h)	1051084.158	Na (h)	649546.0503	Na (h)	1057119.931	Na (h)
<b>Dap</b>	1.399669889	Gr/cm3	1.424428201	Gr/cm3	1.414701721	Gr/cm3	1.417354398	Gr/cm3	1.383282245	Gr/cm3	1.401025701	Gr/cm3
<b>Dr</b>	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3
<b>Porosidad</b>	41.68042128	%	40.64882496	%	41.05409495	%	40.94356677	%	42.3632398	%	41.6239291	%
<b>H 0</b>	3.311286906	%	2.161050732	%	3.312718938	%	3.312432432	%	3.312862209	%	3.307679004	%
<b>H final</b>	21.72681722	%	15.9830081	%	21.71513633	%	21.71955559	%	21.7211329	%	21.72681722	%
<b>ro</b>	0.12485247	Na	0.12485247	Na	0.12485247	Na	0.12485247	Na	0.12485247	Na	0.12485247	Na
<b>mn</b>	0.296766641	Na	0.296766641	Na	0.296766641	Na	0.296766641	Na	0.296766641	Na	0.296766641	Na
<b>m</b>	0.12921062	Na	0.12921062	Na	0.12921062	Na	0.12921062	Na	0.12921062	Na	0.12921062	Na

n	2.296766641	Na	2.296766641	Na	2.296766641	Na	2.296766641	Na	2.296766641	Na	2.296766641	Na
F(m,M)	1.08048718	Na	1.08048718	Na	9.011597212	Na	1.08048718	Na	1.08048718	Na	1.08048718	Na
Ñiu	9.739301943	Na	9.739301943	Na	9.739301943	Na	9.739301943	Na	9.739301943	Na	9.739301943	Na
Ks	2.53535E-05	m/seg.	1.16754E-05	m/seg.	2.23182E-05	m/seg.	2.51618E-05	m/seg.	1.55494E-05	m/seg.	2.53063E-05	m/seg.
ks	91.27264376	mm/h	42.03161485	mm/h	80.34551198	mm/h	90.5825242	mm/h	55.97793514	mm/h	91.10268765	mm/h

**PARCELA 886: *B. gracilis* con fuego**

	Cilindro 1	unidad	Cilindro 2	unid	Cilindro 3	unid	Cilindro 4	unid	Cilindro 5	unid	Cilindro 6	unid
N	10.25078216	Na	10.25078216	Na	10.25078216	Na	10.25078216	Na	10.25078216	Na	10.25078216	Na
M	0.019358785	Na	0.019358785	Na	0.019358785	Na	0.019358785	Na	0.019358785	Na	0.019358785	Na
dg	914.1380096	Na	914.1380096	Na	914.1380096	Na	914.1380096	Na	914.1380096	Na	914.1380096	Na
alfa i	41772991459	Na (m)	41772991466	Na (m)	41772991457	Na (m)	41772991462	Na (m)	41772991461	Na (m)	41772991461	Na (m)
alfa t	1061632.256	Na (s)	585346.1662	Na (h)	1186873.558	Na (h)	895025.8598	Na (h)	952191.5275	Na (h)	916457.7358	Na (h)
Dap	1.411459561	Gr/cm3	1.458382457	Gr/cm3	1.400200424	Gr/cm3	1.39353926	Gr/cm3	1.373968404	Gr/cm3	1.435097854	Gr/cm3
Dr	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3
Porosidad	41.18918494	%	39.23406429	%	41.65831565	%	41.93586418	%	42.75131651	%	40.20425607	%
H 0	2.35927683	%	1.631986944	%	2.36812858	%	2.368229812	%	2.367926141	%	2.359377671	%
H final	19.87079447	%	13.59957643	%	19.88675547	%	19.89257068	%	19.88966318	%	19.88894131	%
ro	0.124961545	Na	0.124961545	Na	0.124961545	Na	0.124961545	Na	0.124961545	Na	0.124961545	Na
mn	0.22678168	Na	0.22678168	Na	0.22678168	Na	0.22678168	Na	0.22678168	Na	0.22678168	Na
m	0.101842799	Na	0.101842799	Na	0.101842799	Na	0.101842799	Na	0.101842799	Na	0.101842799	Na
n	2.22678168	Na	2.22678168	Na	2.22678168	Na	2.22678168	Na	2.22678168	Na	2.22678168	Na
F(m,M)	1.058839568	Na	1.058839568	Na	9.011597212	Na	1.058839568	Na	1.058839568	Na	1.058839568	Na
Ñiu	11.81905454	Na	11.81905454	Na	11.81905454	Na	11.81905454	Na	11.81905454	Na	11.81905454	Na
Ks	2.54143E-05	m/seg.	1.40126E-05	m/seg.	2.84125E-05	m/seg.	2.14259E-05	m/seg.	2.27944E-05	m/seg.	2.1939E-05	m/seg.
ks	91.4915592	mm/h	50.44518299	mm/h	102.2848654	mm/h	77.1334056	mm/h	82.05994781	mm/h	78.98040656	mm/h

**PARCELA 890: *M. rigida* con fuego**

	Cilindro 1	unidad	Cilindro 2	unid	Cilindro 3	unid	Cilindro 4	unid	Cilindro 5	unid	Cilindro 6	unid
N	18.58044936	Na	18.58044936	Na	18.58044936	Na	18.58044936	Na	18.58044936	Na	18.58044936	Na
M	0.012963744	Na	0.012963744	Na	0.012963744	Na	0.012963744	Na	0.012963744	Na	0.012963744	Na
dg	1134.252148	Na	1134.252148	Na	1134.252148	Na	1134.252148	Na	1134.252148	Na	1134.252148	Na
alfa i	41772991457	Na (m)	41772991467	Na (m)	41772991450	Na (m)	41772991449	Na (m)	41772991453	Na (m)	41772991452	Na (m)
alfa t	1225540.469	Na (s)	562288.1811	Na (h)	1675946.772	Na (h)	1703019.142	Na (h)	1478562.015	Na (h)	1540577.229	Na (h)
Dap	1.37662108	Gr/cm3	1.408158453	Gr/cm3	1.394718227	Gr/cm3	1.388528649	Gr/cm3	1.381985381	Gr/cm3	1.370195709	Gr/cm3
Dr	2.5	Gr/cm3	2.5	Gr/cm3	2.5	Gr/cm3	2.5	Gr/cm3	2.5	Gr/cm3	2.5	Gr/cm3
Porosidad	44.9351568	%	43.67366187	%	44.21127093	%	44.45885404	%	44.72058477	%	45.19217166	%
H 0	3.430502014	%	2.093865858	%	3.430650611	%	3.417803769	%	3.426467403	%	3.444093055	%
H final	26.06324574	%	19.54456552	%	26.07152008	%	26.04113299	%	26.06324574	%	26.05767823	%

ro	0.124898728	Na	0.124898728	Na	0.124898728	Na	0.124898728	Na	0.124898728	Na	0.124898728	Na
mn	0.27525065	Na	0.27525065	Na	0.27525065	Na	0.27525065	Na	0.27525065	Na	0.27525065	Na
m	0.120975968	Na	0.120975968	Na	0.120975968	Na	0.120975968	Na	0.120975968	Na	0.120975968	Na
n	2.27525065	Na	2.27525065	Na	2.27525065	Na	2.27525065	Na	2.27525065	Na	2.27525065	Na
F(m,M)	1.077742277	Na	1.077742277	Na	9.011597212	Na	1.077742277	Na	1.077742277	Na	1.077742277	Na
Ñiu	10.26610454	Na	10.26610454	Na	10.26610454	Na	10.26610454	Na	10.26610454	Na	10.26610454	Na
Ks	2.93381E-05	m/seg.	1.34606E-05	m/seg.	4.01203E-05	m/seg.	4.07684E-05	m/seg.	3.53952E-05	m/seg.	3.68797E-05	m/seg.
ks	105.6171832	mm/h	48.45804385	mm/h	144.4332372	mm/h	146.766336	mm/h	127.4226019	mm/h	132.7670784	mm/h

PARCELA 892: <i>M. rigida con fuego</i>												
	Cilindro 1	unidad	Cilindro 2	unid	Cilindro 3	unid	Cilindro 4	unid	Cilindro 5	unid	Cilindro 6	unid
N	15.24044685	Na	15.24044685	Na	15.24044685	Na	15.24044685	Na	15.24044685	Na	15.24044685	Na
M	0.019065572	Na	0.019065572	Na	0.019065572	Na	0.019065572	Na	0.019065572	Na	0.019065572	Na
dg	1337.16755	Na	1337.16755	Na	1337.16755	Na	1337.16755	Na	1337.16755	Na	1337.16755	Na
alfa i	41772991454	Na (m)	41772991467	Na (m)	41772991451	Na (m)	41772991453	Na (m)	41772991452	Na (m)	41772991454	Na (m)
alfa t	1385575.745	Na (s)	563432.1729	Na (h)	1626260.155	Na (h)	1479069.583	Na (h)	1548734.965	Na (h)	1415897.644	Na (h)
Dap	1.370195709	Gr/cm3	1.413286961	Gr/cm3	1.370077812	Gr/cm3	1.377387409	Gr/cm3	1.388528649	Gr/cm3	1.373968404	Gr/cm3
Dr	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3
Porosidad	42.90851214	%	41.11304331	%	42.91342451	%	42.60885797	%	42.14463963	%	42.75131651	%
H 0	3.050906555	%	2.045300879	%	3.046282576	%	3.064115416	%	3.036243248	%	3.060066352	%
H final	22.89915966	%	18.71531632	%	22.89263204	%	22.88357351	%	22.89178829	%	22.89010098	%
ro	0.124741626	Na	0.124741626	Na	0.124741626	Na	0.124741626	Na	0.124741626	Na	0.124741626	Na
mn	0.331979491	Na	0.331979491	Na	0.331979491	Na	0.331979491	Na	0.331979491	Na	0.331979491	Na
m	0.142359524	Na	0.142359524	Na	0.142359524	Na	0.142359524	Na	0.142359524	Na	0.142359524	Na
n	2.331979491	Na	2.331979491	Na	2.331979491	Na	2.331979491	Na	2.331979491	Na	2.331979491	Na
F(m,M)	1.089218924	Na	1.089218924	Na	9.011597212	Na	1.089218924	Na	1.089218924	Na	1.089218924	Na
Ñiu	9.02446854	Na	9.02446854	Na	9.02446854	Na	9.02446854	Na	9.02446854	Na	9.02446854	Na
Ks	3.31692E-05	m/seg.	1.3488E-05	m/seg.	3.89309E-05	m/seg.	3.54073E-05	m/seg.	3.7075E-05	m/seg.	3.38951E-05	m/seg.
ks	119.4090385	mm/h	48.55663326	mm/h	140.1512419	mm/h	127.466346	mm/h	133.4701142	mm/h	122.0221824	mm/h

PARCELA 866: <i>M. rigida con fuego</i>												
	Cilindro 1	unidad	Cilindro 2	unid	Cilindro 3	unid	Cilindro 4	unid	Cilindro 5	unid	Cilindro 6	unid
N	15.05645823	Na	15.05645823	Na	15.05645823	Na	15.05645823	Na	15.05645823	Na	15.05645823	Na
M	0.018905259	Na	0.018905259	Na	0.018905259	Na	0.018905259	Na	0.018905259	Na	0.018905259	Na
dg	1344.92577	Na	1344.92577	Na	1344.92577	Na	1344.92577	Na	1344.92577	Na	1344.92577	Na
alfa i	41772991454	Na (m)	41772991466	Na (m)	41772991450	Na (m)	41772991449	Na (m)	41772991454	Na (m)	41772991453	Na (m)
alfa t	1400896.553	Na (s)	637867.315	Na (h)	1661844.983	Na (h)	1724485.368	Na (h)	1398982.549	Na (h)	1461480.994	Na (h)
Dap	1.379332705	Gr/cm3	1.418651261	Gr/cm3	1.387231785	Gr/cm3	1.372789436	Gr/cm3	1.403088894	Gr/cm3	1.394364537	Gr/cm3
Dr	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3

<b>Porosidad</b>	42.52780398	%	40.88953077	%	42.19867563	%	42.80044015	%	41.53796274	%	41.90147764	%
<b>H 0</b>	2.903114485	%	2.16557826	%	2.911616271	%	2.885486306	%	2.885610766	%	2.894487102	%
<b>H final</b>	25.63065034	%	20.01962709	%	25.63887572	%	25.60868931	%	25.63429571	%	25.62607079	%
<b>ro</b>	0.124766855	Na	0.124766855	Na	0.124766855	Na	0.124766855	Na	0.124766855	Na	0.124766855	Na
<b>mn</b>	0.325223327	Na	0.325223327	Na	0.325223327	Na	0.325223327	Na	0.325223327	Na	0.325223327	Na
<b>m</b>	0.139867566	Na	0.139867566	Na	0.139867566	Na	0.139867566	Na	0.139867566	Na	0.139867566	Na
<b>n</b>	2.325223327	Na	2.325223327	Na	2.325223327	Na	2.325223327	Na	2.325223327	Na	2.325223327	Na
<b>F(m,M)</b>	1.087459979	Na	1.087459979	Na	9.011597212	Na	1.087459979	Na	1.087459979	Na	1.087459979	Na
<b>Ñiu</b>	9.149620381	Na	9.149620381	Na	9.149620381	Na	9.149620381	Na	9.149620381	Na	9.149620381	Na
<b>Ks</b>	3.35359E-05	m/seg.	1.52699E-05	m/seg.	3.97828E-05	m/seg.	4.12823E-05	m/seg.	3.34901E-05	m/seg.	3.49863E-05	m/seg.
<b>ks</b>	<b>120.7293858</b>	<b>mm/h</b>	<b>54.97146019</b>	<b>mm/h</b>	<b>143.2179441</b>	<b>mm/h</b>	<b>148.616298</b>	<b>mm/h</b>	<b>120.5644367</b>	<b>mm/h</b>	<b>125.9505582</b>	<b>mm/h</b>

<b>PARCELA 887: M. rigida con fuego</b>												
	<b>Cilindro 1</b>	<b>unidad</b>	<b>Cilindro 2</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 3</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 4</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 5</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 6</b>	<b>unid</b>
<b>N</b>	15.74433437	Na	15.74433437	Na	15.74433437	Na	15.74433437	Na	15.74433437	Na	15.74433437	Na
<b>M</b>	0.018501695	Na	0.018501695	Na	0.018501695	Na	0.018501695	Na	0.018501695	Na	0.018501695	Na
<b>dg</b>	1297.222849	Na	1297.222849	Na	1297.222849	Na	1297.222849	Na	1297.222849	Na	1297.222849	Na
<b>alfa i</b>	41772991458	Na (m)	41772991467	Na (m)	41772991450	Na (m)	41772991449	Na (m)	41772991453	Na (m)	41772991453	Na (m)
<b>alfa t</b>	1143622.339	Na (s)	550094.1442	Na (h)	1667930.383	Na (h)	1698459.789	Na (h)	1433816.115	Na (h)	1464478.651	Na (h)
<b>Dap</b>	1.388351804	Gr/cm3	1.418533365	Gr/cm3	1.370372554	Gr/cm3	1.375442113	Gr/cm3	1.375442113	Gr/cm3	1.36547984	Gr/cm3
<b>Dr</b>	2.5	Gr/cm3	2.5	Gr/cm3	2.5	Gr/cm3	2.5	Gr/cm3	2.5	Gr/cm3	2.5	Gr/cm3
<b>Porosidad</b>	44.46592785	%	43.25866541	%	45.18509785	%	44.98231549	%	44.98231549	%	45.38080641	%
<b>H 0</b>	3.759691601	%	1.761112281	%	3.777180975	%	3.764349144	%	3.760017327	%	3.769007495	%
<b>H final</b>	25.9951881	%	19.9635497	%	26.03988189	%	26.11896778	%	26.20297463	%	26.13275981	%
<b>ro</b>	0.124738375	Na	0.124738375	Na	0.124738375	Na	0.124738375	Na	0.124738375	Na	0.124738375	Na
<b>mn</b>	0.332811193	Na	0.332811193	Na	0.332811193	Na	0.332811193	Na	0.332811193	Na	0.332811193	Na
<b>m</b>	0.142665293	Na	0.142665293	Na	0.142665293	Na	0.142665293	Na	0.142665293	Na	0.142665293	Na
<b>n</b>	2.332811193	Na	2.332811193	Na	2.332811193	Na	2.332811193	Na	2.332811193	Na	2.332811193	Na
<b>F(m,M)</b>	1.089875695	Na	1.089875695	Na	9.011597212	Na	1.089875695	Na	1.089875695	Na	1.089875695	Na
<b>Ñiu</b>	9.009413278	Na	9.009413278	Na	9.009413278	Na	9.009413278	Na	9.009413278	Na	9.009413278	Na
<b>Ks</b>	2.73771E-05	m/seg.	1.31687E-05	m/seg.	3.99284E-05	m/seg.	4.06593E-05	m/seg.	3.4324E-05	m/seg.	3.5058E-05	m/seg.
<b>ks</b>	<b>98.55747433</b>	<b>mm/h</b>	<b>47.40716071</b>	<b>mm/h</b>	<b>143.742388</b>	<b>mm/h</b>	<b>146.373415</b>	<b>mm/h</b>	<b>123.5663993</b>	<b>mm/h</b>	<b>126.2088996</b>	<b>mm/h</b>

<b>PARCELA 868: M. rigida con fuego</b>												
	<b>Cilindro 1</b>	<b>unidad</b>	<b>Cilindro 2</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 3</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 4</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 5</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 6</b>	<b>unid</b>
<b>N</b>	14.58753412	Na	14.58753412	Na	14.58753412	Na	14.58753412	Na	14.58753412	Na	14.58753412	Na
<b>M</b>	0.018398514	Na	0.018398514	Na	0.018398514	Na	0.018398514	Na	0.018398514	Na	0.018398514	Na
<b>dg</b>	1358.224822	Na	1358.224822	Na	1358.224822	Na	1358.224822	Na	1358.224822	Na	1358.224822	Na
<b>alfa i</b>	41772991453	Na (m)	41772991466	Na (m)	41772991451	Na (m)	41772991451	Na (m)	41772991454	Na (m)	41772991454	Na (m)



<b>alfa t</b>	1482252.45	Na (s)	618874.3031	Na (h)	1626260.155	Na (h)	1579085.888	Na (h)	1430013.919	Na (h)	1415562.355	Na (h)
<b>Dap</b>	1.369547277	Gr/cm3	1.414701721	Gr/cm3	1.375442113	Gr/cm3	1.387880217	Gr/cm3	1.368898845	Gr/cm3	1.381985381	Gr/cm3
<b>Dr</b>	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3
<b>Porosidad</b>	42.93553014	%	41.05409495	%	42.68991197	%	42.17165763	%	42.96254814	%	42.4172758	%
<b>H 0</b>	2.933518486	%	1.965010142	%	2.929178962	%	2.933645793	%	2.933518486	%	2.92930608	%
<b>H final</b>	22.82544597	%	18.02164262	%	22.81891563	%	22.80986253	%	22.8180746	%	22.81639272	%
<b>ro</b>	0.124826168	Na	0.124826168	Na	0.124826168	Na	0.124826168	Na	0.124826168	Na	0.124826168	Na
<b>mn</b>	0.306669308	Na	0.306669308	Na	0.306669308	Na	0.306669308	Na	0.306669308	Na	0.306669308	Na
<b>m</b>	0.13294897	Na	0.13294897	Na	0.13294897	Na	0.13294897	Na	0.13294897	Na	0.13294897	Na
<b>n</b>	2.306669308	Na	2.306669308	Na	2.306669308	Na	2.306669308	Na	2.306669308	Na	2.306669308	Na
<b>F(m,M)</b>	1.082637643	Na	1.082637643	Na	9.011597212	Na	1.082637643	Na	1.082637643	Na	1.082637643	Na
<b>Ñiu</b>	9.521682964	Na	9.521682964	Na	9.521682964	Na	9.521682964	Na	9.521682964	Na	9.521682964	Na
<b>Ks</b>	3.54835E-05	m/seg.	1.48152E-05	m/seg.	3.89309E-05	m/seg.	3.78016E-05	m/seg.	3.4233E-05	m/seg.	3.3887E-05	m/seg.
<b>ks</b>	127.7406442	mm/h	53.33464074	mm/h	140.1512406	mm/h	136.085758	mm/h	123.2387231	mm/h	121.993286	mm/h

<b>PARCELA 872: <i>B. gracilis</i> sin fuego</b>												
	<b>Cilindro 1</b>	<b>unidad</b>	<b>Cilindro 2</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 3</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 4</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 5</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 6</b>	<b>unid</b>
<b>N</b>	15.67473706	Na	15.67473706	Na	15.67473706	Na	15.67473706	Na	15.67473706	Na	15.67473706	Na
<b>M</b>	0.019194506	Na	0.019194506	Na	0.019194506	Na	0.019194506	Na	0.019194506	Na	0.019194506	Na
<b>dg</b>	1352.840718	Na	1352.840718	Na	1352.840718	Na	1352.840718	Na	1352.840718	Na	1352.840718	Na
<b>alfa i</b>	41772991438	Na (m)	41772991462	Na (m)	41772991437	Na (m)	41772991445	Na (m)	41772991440	Na (m)	41772991440	Na (m)
<b>alfa t</b>	2472250.532	Na (s)	857772.798	Na (h)	2492865.626	Na (h)	1982636.521	Na (h)	2316813.07	Na (h)	2306224.109	Na (h)
<b>Dap</b>	1.328283424	Gr/cm3	1.401615185	Gr/cm3	1.328813959	Gr/cm3	1.328224475	Gr/cm3	1.316493751	Gr/cm3	1.305234614	Gr/cm3
<b>Dr</b>	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3
<b>Porosidad</b>	44.65485734	%	41.59936729	%	44.63275171	%	44.65731353	%	45.14609369	%	45.6152244	%
<b>H 0</b>	3.961093882	%	2.249839297	%	3.931238552	%	3.941743012	%	3.795627287	%	3.951510595	%
<b>H final</b>	28.20823245	%	20.50539987	%	28.19794938	%	28.18553269	%	28.18340017	%	28.18931598	%
<b>ro</b>	0.124692584	Na	0.124692584	Na	0.124692584	Na	0.124692584	Na	0.124692584	Na	0.124692584	Na
<b>mn</b>	0.343729327	Na	0.343729327	Na	0.343729327	Na	0.343729327	Na	0.343729327	Na	0.343729327	Na
<b>m</b>	0.14665914	Na	0.14665914	Na	0.14665914	Na	0.14665914	Na	0.14665914	Na	0.14665914	Na
<b>n</b>	2.343729327	Na	2.343729327	Na	2.343729327	Na	2.343729327	Na	2.343729327	Na	2.343729327	Na
<b>F(m,M)</b>	1.092372298	Na	1.092372298	Na	9.011597212	Na	1.092372298	Na	1.092372298	Na	1.092372298	Na
<b>Ñiu</b>	8.818531735	Na	8.818531735	Na	8.818531735	Na	8.818531735	Na	8.818531735	Na	8.818531735	Na
<b>Ks</b>	5.9183E-05	m/seg.	2.05341E-05	m/seg.	5.96765E-05	m/seg.	4.74622E-05	m/seg.	5.5462E-05	m/seg.	5.52085E-05	m/seg.
<b>ks</b>	213.0587703	mm/h	73.92293382	mm/h	214.8353805	mm/h	170.863791	mm/h	199.6631541	mm/h	198.7505983	mm/h

<b>PARCELA 870: <i>gracilis</i> sin fuego</b>												
	<b>Cilindro 1</b>	<b>unidad</b>	<b>Cilindro 2</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 3</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 4</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 5</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 6</b>	<b>unid</b>
<b>N</b>	16.21976317	Na	16.21976317	Na	16.21976317	Na	16.21976317	Na	16.21976317	Na	16.21976317	Na

<b>M</b>	0.016217044	Na	0.016217044	Na	0.016217044	Na	0.016217044	Na	0.016217044	Na	0.016217044	Na
<b>dg</b>	988.2696653	Na	988.2696653	Na	988.2696653	Na	988.2696653	Na	988.2696653	Na	988.2696653	Na
<b>alfa i</b>	41772991435	Na (m)	41772991461	Na (m)	41772991439	Na (m)	41772991445	Na (m)	41772991438	Na (m)	41772991440	Na (m)
<b>alfa t</b>	2669696.688	Na (s)	943596.7192	Na (h)	2393517.202	Na (h)	1982636.521	Na (h)	2482321.907	Na (h)	2306224.109	Na (h)
<b>Dap</b>	1.305352511	Gr/cm3	1.390473945	Gr/cm3	1.31584532	Gr/cm3	1.328283424	Gr/cm3	1.310598915	Gr/cm3	1.293562839	Gr/cm3
<b>Dr</b>	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3
<b>Porosidad</b>	45.61031203	%	42.06358563	%	45.17311169	%	44.65485734	%	45.39171186	%	46.10154838	%
<b>H 0</b>	4.488507913	%	2.265441334	%	4.488719326	%	4.478877219	%	3.979563139	%	4.483586869	%
<b>H final</b>	27.942511135	%	20.11007621	%	27.94523656	%	27.94796158	%	27.92693995	%	27.94039785	%
<b>ro</b>	0.124842803	Na	0.124842803	Na	0.124842803	Na	0.124842803	Na	0.124842803	Na	0.124842803	Na
<b>mn</b>	0.300559273	Na	0.300559273	Na	0.300559273	Na	0.300559273	Na	0.300559273	Na	0.300559273	Na
<b>m</b>	0.130646177	Na	0.130646177	Na	0.130646177	Na	0.130646177	Na	0.130646177	Na	0.130646177	Na
<b>n</b>	2.300559273	Na	2.300559273	Na	2.300559273	Na	2.300559273	Na	2.300559273	Na	2.300559273	Na
<b>F(m,M)</b>	1.082546603	Na	1.082546603	Na	9.011597212	Na	1.082546603	Na	1.082546603	Na	1.082546603	Na
<b>Ñiu</b>	9.654261495	Na	9.654261495	Na	9.654261495	Na	9.654261495	Na	9.654261495	Na	9.654261495	Na
<b>Ks</b>	6.39096E-05	m/seg.	2.25887E-05	m/seg.	5.72982E-05	m/seg.	4.74622E-05	m/seg.	5.94241E-05	m/seg.	5.52085E-05	m/seg.
<b>ks</b>	<b>230.0746955</b>	<b>mm/h</b>	<b>81.31924655</b>	<b>mm/h</b>	<b>206.2735231</b>	<b>mm/h</b>	<b>170.86379</b>	<b>mm/h</b>	<b>213.9267172</b>	<b>mm/h</b>	<b>198.7505966</b>	<b>mm/h</b>

<b>PARCELA 873: gracilis sin fuego</b>												
	<b>Cilindro 1</b>	<b>unidad</b>	<b>Cilindro 2</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 3</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 4</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 5</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 6</b>	<b>unid</b>
<b>N</b>	15.42765186	Na	15.42765186	Na	15.42765186	Na	15.42765186	Na	15.42765186	Na	15.42765186	Na
<b>M</b>	0.015898439	Na	0.015898439	Na	0.015898439	Na	0.015898439	Na	0.015898439	Na	0.015898439	Na
<b>dg</b>	1252.542018	Na	1252.542018	Na	1252.542018	Na	1252.542018	Na	1252.542018	Na	1252.542018	Na
<b>alfa i</b>	41772991438	Na (m)	41772991462	Na (m)	41772991437	Na (m)	41772991443	Na (m)	41772991439	Na (m)	41772991437	Na (m)
<b>alfa t</b>	2479019.007	Na (s)	872021.3958	Na (h)	2507672.226	Na (h)	2105177.131	Na (h)	2393566.935	Na (h)	2486150.751	Na (h)
<b>Dap</b>	1.301933506	Gr/cm3	1.406743693	Gr/cm3	1.316493751	Gr/cm3	1.308476774	Gr/cm3	1.316493751	Gr/cm3	1.301933506	Gr/cm3
<b>Dr</b>	2.3	Gr/cm3	2.3	Gr/cm3	2.3	Gr/cm3	2.3	Gr/cm3	2.3	Gr/cm3	2.3	Gr/cm3
<b>Porosidad</b>	43.39419538	%	38.83723076	%	42.76114124	%	43.10970546	%	42.76114124	%	43.39419538	%
<b>H 0</b>	3.546696612	%	2.240238959	%	3.542183333	%	3.551708002	%	3.546696612	%	3.541851869	%
<b>H final</b>	28.84140081	%	20.54601745	%	29.17540315	%	29.16285453	%	29.16555484	%	29.16174284	%
<b>ro</b>	0.124889135	Na	0.124889135	Na	0.124889135	Na	0.124889135	Na	0.124889135	Na	0.124889135	Na
<b>mn</b>	0.280279445	Na	0.280279445	Na	0.280279445	Na	0.280279445	Na	0.280279445	Na	0.280279445	Na
<b>m</b>	0.122914516	Na	0.122914516	Na	0.122914516	Na	0.122914516	Na	0.122914516	Na	0.122914516	Na
<b>n</b>	2.280279445	Na	2.280279445	Na	2.280279445	Na	2.280279445	Na	2.280279445	Na	2.280279445	Na
<b>F(m,M)</b>	1.076998378	Na	1.076998378	Na	9.011597212	Na	1.076998378	Na	1.076998378	Na	1.076998378	Na
<b>Ñiu</b>	10.13573556	Na	10.13573556	Na	10.13573556	Na	10.13573556	Na	10.13573556	Na	10.13573556	Na
<b>Ks</b>	5.9345E-05	m/seg.	2.08752E-05	m/seg.	6.00309E-05	m/seg.	5.03957E-05	m/seg.	5.72994E-05	m/seg.	5.95157E-05	m/seg.
<b>ks</b>	<b>213.6420717</b>	<b>mm/h</b>	<b>75.15087897</b>	<b>mm/h</b>	<b>216.1114085</b>	<b>mm/h</b>	<b>181.424347</b>	<b>mm/h</b>	<b>206.2778047</b>	<b>mm/h</b>	<b>214.256686</b>	<b>mm/h</b>

<b>PARCELA 869: gracilis sin fuego</b>												
	<b>Cilindro 1</b>	<b>unidad</b>	<b>Cilindro 2</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 3</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 4</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 5</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 6</b>	<b>unid</b>
<b>N</b>	15.46484727	Na	15.46484727	Na	15.46484727	Na	15.46484727	Na	15.46484727	Na	15.46484727	Na
<b>M</b>	0.0125625	Na	0.0125625	Na	0.0125625	Na	0.0125625	Na	0.0125625	Na	0.0125625	Na
<b>dg</b>	1020.237228	Na	1020.237228	Na	1020.237228	Na	1020.237228	Na	1020.237228	Na	1020.237228	Na
<b>alfa i</b>	41772991435	Na (m)	41772991461	Na (m)	41772991438	Na (m)	41772991443	Na (m)	41772991438	Na (m)	41772991437	Na (m)
<b>alfa t</b>	2660410.383	Na (s)	942929.6611	Na (h)	2477674.454	Na (h)	2154306.918	Na (h)	2468327.512	Na (h)	2537903.037	Na (h)
<b>Dap</b>	1.299457675	Gr/cm3	1.408158453	Gr/cm3	1.309832587	Gr/cm3	1.296687102	Gr/cm3	1.311836831	Gr/cm3	1.299457675	Gr/cm3
<b>Dr</b>	2.3	Gr/cm3	2.3	Gr/cm3	2.3	Gr/cm3	2.3	Gr/cm3	2.3	Gr/cm3	2.3	Gr/cm3
<b>Porosidad</b>	43.50184021	%	38.77571943	%	43.0507571	%	43.62229991	%	42.96361605	%	43.50184021	%
<b>H 0</b>	3.925171991	%	2.70143193	%	3.925356958	%	3.915563304	%	3.905955522	%	3.920275173	%
<b>H final</b>	27.98033283	%	20.39232289	%	27.9717106	%	27.97065275	%	27.96475571	%	27.96687089	%
<b>ro</b>	0.124965414	Na	0.124965414	Na	0.124965414	Na	0.124965414	Na	0.124965414	Na	0.124965414	Na
<b>mn</b>	0.222022241	Na	0.222022241	Na	0.222022241	Na	0.222022241	Na	0.222022241	Na	0.222022241	Na
<b>m</b>	0.099919	Na	0.099919	Na	0.099919	Na	0.099919	Na	0.099919	Na	0.099919	Na
<b>n</b>	2.222022241	Na	2.222022241	Na	2.222022241	Na	2.222022241	Na	2.222022241	Na	2.222022241	Na
<b>F(m,M)</b>	1.062421686	Na	1.062421686	Na	9.011597212	Na	1.062421686	Na	1.062421686	Na	1.062421686	Na
<b>Ñiu</b>	12.00810655	Na	12.00810655	Na	12.00810655	Na	12.00810655	Na	12.00810655	Na	12.00810655	Na
<b>Ks</b>	6.36873E-05	m/seg.	2.25727E-05	m/seg.	5.93128E-05	m/seg.	5.15718E-05	m/seg.	5.90891E-05	m/seg.	6.07546E-05	m/seg.
<b>ks</b>	229.274396	mm/h	81.26175936	mm/h	213.5261979	mm/h	185.658356	mm/h	212.7206776	mm/h	218.7167023	mm/h

<b>PARCELA 874: gracilis sin fuego</b>												
	<b>Cilindro 1</b>	<b>unidad</b>	<b>Cilindro 2</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 3</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 4</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 5</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 6</b>	<b>Unid</b>
<b>N</b>	16.86454668	Na	16.86454668	Na	16.86454668	Na	16.86454668	Na	16.86454668	Na	16.86454668	Na
<b>M</b>	0.012672977	Na	0.012672977	Na	0.012672977	Na	0.012672977	Na	0.012672977	Na	0.012672977	Na
<b>dg</b>	1276.656551	Na	1276.656551	Na	1276.656551	Na	1276.656551	Na	1276.656551	Na	1276.656551	Na
<b>alfa i</b>	41772991436	Na (m)	41772991462	Na (m)	41772991437	Na (m)	41772991443	Na (m)	41772991439	Na (m)	41772991437	Na (m)
<b>alfa t</b>	2556893.551	Na (s)	865777.496	Na (h)	2495049.693	Na (h)	2130047.936	Na (h)	2402972.188	Na (h)	2491675.663	Na (h)
<b>Dap</b>	1.310539967	Gr/cm3	1.40933742	Gr/cm3	1.322329639	Gr/cm3	1.31584532	Gr/cm3	1.304763028	Gr/cm3	1.295390238	Gr/cm3
<b>Dr</b>	2.6	Gr/cm3	2.6	Gr/cm3	2.6	Gr/cm3	2.6	Gr/cm3	2.6	Gr/cm3	2.6	Gr/cm3
<b>Porosidad</b>	49.59461665	%	45.7947146	%	49.14116772	%	49.39056463	%	49.81680663	%	50.17729853	%
<b>H 0</b>	3.507695213	%	1.79910045	%	3.498418394	%	3.493367323	%	3.493202417	%	3.493367323	%
<b>H final</b>	28.47106183	%	20.15615658	%	28.4721431	%	28.4634665	%	28.4623856	%	28.45858808	%
<b>ro</b>	0.124944284	Na	0.124944284	Na	0.124944284	Na	0.124944284	Na	0.124944284	Na	0.124944284	Na
<b>mn</b>	0.244240468	Na	0.244240468	Na	0.244240468	Na	0.244240468	Na	0.244240468	Na	0.244240468	Na
<b>m</b>	0.108829901	Na	0.108829901	Na	0.108829901	Na	0.108829901	Na	0.108829901	Na	0.108829901	Na
<b>n</b>	2.244240468	Na	2.244240468	Na	2.244240468	Na	2.244240468	Na	2.244240468	Na	2.244240468	Na
<b>F(m,M)</b>	1.068922253	Na	1.068922253	Na	9.011597212	Na	1.068922253	Na	1.068922253	Na	1.068922253	Na
<b>Ñiu</b>	11.18865118	Na	11.18865118	Na	11.18865118	Na	11.18865118	Na	11.18865118	Na	11.18865118	Na
<b>Ks</b>	6.12093E-05	m/seg.	2.07258E-05	m/seg.	5.97288E-05	m/seg.	5.0991E-05	m/seg.	5.75245E-05	m/seg.	5.9648E-05	m/seg.

ks	220.3533064	mm/h	74.61277913	mm/h	215.0235975	mm/h	183.567715	mm/h	207.0883501	mm/h	214.7328232	mm/h
----	-------------	------	-------------	------	-------------	------	------------	------	-------------	------	-------------	------

PARCELA 871: M. rigida sin fuego												
	Cilindro 1	unidad	Cilindro 2	unidad	Cilindro 3	unidad	Cilindro 4	unidad	Cilindro 5	unidad	Cilindro 6	unidad
N	16.86454668	Na	16.86454668	Na	16.86454668	Na	16.86454668	Na	16.86454668	Na	16.86454668	Na
M	0.012672977	Na	0.012672977	Na	0.012672977	Na	0.012672977	Na	0.012672977	Na	0.012672977	Na
dg	1276.656551	Na	1276.656551	Na	1276.656551	Na	1276.656551	Na	1276.656551	Na	1276.656551	Na
alfa i	41772991428	Na (m)	41772991461	Na (m)	41772991425	Na (m)	41772991422	Na (m)	41772991421	Na (m)	41772991422	Na (m)
alfa t	3096997.55	Na (s)	941725.8622	Na (h)	3295199.301	Na (h)	3472500.717	Na (h)	3557043.881	Na (h)	3517281.037	Na (h)
Dap	1.275760434	Gr/cm3	1.393775053	Gr/cm3	1.252711625	Gr/cm3	1.275760434	Gr/cm3	1.269452959	Gr/cm3	1.250294742	Gr/cm3
Dr	2.5	Gr/cm3	2.5	Gr/cm3	2.5	Gr/cm3	2.5	Gr/cm3	2.5	Gr/cm3	2.5	Gr/cm3
Porosidad	48.96958265	%	44.24899788	%	49.89153502	%	48.96958265	%	49.22188163	%	49.98821033	%
H 0	3.529079616	%	2.50375134	%	3.529245683	%	3.524208347	%	3.039243233	%	3.519503129	%
H final	26.902902	%	19.72489876	%	26.92002868	%	26.90769115	%	26.90667572	%	26.90870665	%
ro	0.124944284	Na	0.124944284	Na	0.124944284	Na	0.124944284	Na	0.124944284	Na	0.124944284	Na
mn	0.244240468	Na	0.244240468	Na	0.244240468	Na	0.244240468	Na	0.244240468	Na	0.244240468	Na
m	0.108829901	Na	0.108829901	Na	0.108829901	Na	0.108829901	Na	0.108829901	Na	0.108829901	Na
n	2.244240468	Na	2.244240468	Na	2.244240468	Na	2.244240468	Na	2.244240468	Na	2.244240468	Na
F(m,M)	1.068922253	Na	1.068922253	Na	9.011597212	Na	1.068922253	Na	1.068922253	Na	1.068922253	Na
Ñiu	11.18865118	Na	11.18865118	Na	11.18865118	Na	11.18865118	Na	11.18865118	Na	11.18865118	Na
Ks	7.41388E-05	m/seg.	2.25439E-05	m/seg.	7.88835E-05	m/seg.	8.31279E-05	m/seg.	8.51518E-05	m/seg.	8.41999E-05	m/seg.
ks	266.8995157	mm/h	81.15801588	mm/h	283.9805597	mm/h	299.260411	mm/h	306.5463482	mm/h	303.1195828	mm/h

PARCELA 877: M. rigida sin fuego												
	Cilindro 1	unidad	Cilindro 2	unidad	Cilindro 3	unidad	Cilindro 4	unidad	Cilindro 5	unidad	Cilindro 6	unidad
N	19.22082152	Na	19.22082152	Na	19.22082152	Na	19.22082152	Na	19.22082152	Na	19.22082152	Na
M	0.012725018	Na	0.012725018	Na	0.012725018	Na	0.012725018	Na	0.012725018	Na	0.012725018	Na
dg	1270.704436	Na	1270.704436	Na	1270.704436	Na	1270.704436	Na	1270.704436	Na	1270.704436	Na
alfa i	41772991421	Na (m)	41772991461	Na (m)	41772991417	Na (m)	41772991409	Na (m)	41772991414	Na (m)	41772991414	Na (m)
alfa t	3599988.883	Na (s)	965834.0649	Na (h)	3830408.491	Na (h)	4335483.789	Na (h)	4024457.94	Na (h)	4017967.261	Na (h)
Dap	1.240214572	Gr/cm3	1.387880217	Gr/cm3	1.276526763	Gr/cm3	1.257427494	Gr/cm3	1.263852865	Gr/cm3	1.251473709	Gr/cm3
Dr	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3
Porosidad	48.32439283	%	42.17165763	%	46.81138489	%	47.60718777	%	47.33946396	%	47.85526212	%
H 0	3.53153667	%	2.110897024	%	3.536457838	%	3.536289748	%	3.546133004	%	3.531704535	%
H final	38.25354987	%	19.0651038	%	38.29018408	%	38.25354987	%	38.29018408	%	38.24767249	%
ro	0.124890684	Na	0.124890684	Na	0.124890684	Na	0.124890684	Na	0.124890684	Na	0.124890684	Na
mn	0.279491137	Na	0.279491137	Na	0.279491137	Na	0.279491137	Na	0.279491137	Na	0.279491137	Na
m	0.122611197	Na	0.122611197	Na	0.122611197	Na	0.122611197	Na	0.122611197	Na	0.122611197	Na
n	2.279491137	Na	2.279491137	Na	2.279491137	Na	2.279491137	Na	2.279491137	Na	2.279491137	Na

<b>F(m,M)</b>	1.079143095	Na	1.079143095	Na	9.011597212	Na	1.079143095	Na	1.079143095	Na	1.079143095	Na
<b>Ñiu</b>	10.15586198	Na	10.15586198	Na	10.15586198	Na	10.15586198	Na	10.15586198	Na	10.15586198	Na
<b>Ks</b>	8.61798E-05	m/seg.	2.3121E-05	m/seg.	9.16958E-05	m/seg.	0.000103787	m/seg.	9.63411E-05	m/seg.	9.61858E-05	m/seg.
<b>ks</b>	<b>310.2473522</b>	<b>mm/h</b>	<b>83.23566287</b>	<b>mm/h</b>	<b>330.1049338</b>	<b>mm/h</b>	<b>373.632367</b>	<b>mm/h</b>	<b>346.8281321</b>	<b>mm/h</b>	<b>346.2687648</b>	<b>mm/h</b>

<b>PARCELA 889: M. rigida sin fuego</b>												
	<b>Cilindro 1</b>	<b>unidad</b>	<b>Cilindro 2</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 3</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 4</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 5</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 6</b>	<b>unid</b>
<b>N</b>	10.3307029	Na	10.3307029	Na	10.3307029	Na	10.3307029	Na	10.3307029	Na	10.3307029	Na
<b>M</b>	0.019180474	Na	0.019180474	Na	0.019180474	Na	0.019180474	Na	0.019180474	Na	0.019180474	Na
<b>dg</b>	1580.55061	Na	1580.55061	Na	1580.55061	Na	1580.55061	Na	1580.55061	Na	1580.55061	Na
<b>alfa i</b>	41772991400	Na (m)	41772991460	Na (m)	41772991412	Na (m)	41772991409	Na (m)	41772991403	Na (m)	41772991408	Na (m)
<b>alfa t</b>	4915263.289	Na (s)	974216.9236	Na (h)	4189878.411	Na (h)	4345950.765	Na (h)	4720129.719	Na (h)	4424671.34	Na (h)
<b>Dap</b>	1.251532657	Gr/cm3	1.397253006	Gr/cm3	1.277057298	Gr/cm3	1.251591606	Gr/cm3	1.263440226	Gr/cm3	1.269158217	Gr/cm3
<b>Dr</b>	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3
<b>Porosidad</b>	47.85280594	%	41.78112473	%	46.78927926	%	47.85034976	%	47.35665723	%	47.11840761	%
<b>H 0</b>	4.323800291	%	1.357309588	%	4.328647601	%	4.328647601	%	4.333704978	%	4.329067287	%
<b>H final</b>	37.62639246	%	20.43893805	%	37.62049612	%	37.61031617	%	37.62639246	%	37.61621182	%
<b>ro</b>	0.12496183	Na	0.12496183	Na	0.12496183	Na	0.12496183	Na	0.12496183	Na	0.12496183	Na
<b>mn</b>	0.226444726	Na	0.226444726	Na	0.226444726	Na	0.226444726	Na	0.226444726	Na	0.226444726	Na
<b>m</b>	0.101706871	Na	0.101706871	Na	0.101706871	Na	0.101706871	Na	0.101706871	Na	0.101706871	Na
<b>n</b>	2.226444726	Na	2.226444726	Na	2.226444726	Na	2.226444726	Na	2.226444726	Na	2.226444726	Na
<b>F(m,M)</b>	1.058870675	Na	1.058870675	Na	9.011597212	Na	1.058870675	Na	1.058870675	Na	1.058870675	Na
<b>Ñiu</b>	11.83217743	Na	11.83217743	Na	11.83217743	Na	11.83217743	Na	11.83217743	Na	11.83217743	Na
<b>Ks</b>	0.000117666	m/seg.	2.33217E-05	m/seg.	0.000100301	m/seg.	0.000104037	m/seg.	0.000112995	m/seg.	0.000105922	m/seg.
<b>ks</b>	<b>423.5978139</b>	<b>mm/h</b>	<b>83.95809834</b>	<b>mm/h</b>	<b>361.0840826</b>	<b>mm/h</b>	<b>374.534412</b>	<b>mm/h</b>	<b>406.7811861</b>	<b>mm/h</b>	<b>381.3185575</b>	<b>mm/h</b>

<b>PARCELA 875: M. rigida sin fuego</b>												
	<b>Cilindro 1</b>	<b>unidad</b>	<b>Cilindro 2</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 3</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 4</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 5</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 6</b>	<b>unid</b>
<b>N</b>	11.9544002	Na	11.9544002	Na	11.9544002	Na	11.9544002	Na	11.9544002	Na	11.9544002	Na
<b>M</b>	0.016801292	Na	0.016801292	Na	0.016801292	Na	0.016801292	Na	0.016801292	Na	0.016801292	Na
<b>dg</b>	1450.220768	Na	1450.220768	Na	1450.220768	Na	1450.220768	Na	1450.220768	Na	1450.220768	Na
<b>alfa i</b>	41772991420	Na (m)	41772991461	Na (m)	41772991424	Na (m)	41772991411	Na (m)	41772991421	Na (m)	41772991417	Na (m)
<b>alfa t</b>	3659031.855	Na (s)	951528.5103	Na (h)	3374129.353	Na (h)	4233791.526	Na (h)	3576589.924	Na (h)	3850066.723	Na (h)
<b>Dap</b>	1.252770573	Gr/cm3	1.403442584	Gr/cm3	1.257486442	Gr/cm3	1.269806649	Gr/cm3	1.28884697	Gr/cm3	1.247052582	Gr/cm3
<b>Dr</b>	2.5	Gr/cm3	2.5	Gr/cm3	2.5	Gr/cm3	2.5	Gr/cm3	2.5	Gr/cm3	2.5	Gr/cm3
<b>Porosidad</b>	49.88917708	%	43.86229663	%	49.70054232	%	49.20773402	%	48.4461212	%	50.11789672	%
<b>H 0</b>	3.529079616	%	2.50375134	%	3.529245683	%	3.524208347	%	3.039243233	%	3.519503129	%
<b>H final</b>	26.902902	%	19.72489876	%	26.92002868	%	26.90769115	%	26.90667572	%	26.90870665	%
<b>ro</b>	0.124959157	Na	0.124959157	Na	0.124959157	Na	0.124959157	Na	0.124959157	Na	0.124959157	Na

<b>mn</b>	0.229531421	Na	0.229531421	Na	0.229531421	Na	0.229531421	Na	0.229531421	Na	0.229531421	Na
<b>m</b>	0.102950521	Na	0.102950521	Na	0.102950521	Na	0.102950521	Na	0.102950521	Na	0.102950521	Na
<b>n</b>	2.229531421	Na	2.229531421	Na	2.229531421	Na	2.229531421	Na	2.229531421	Na	2.229531421	Na
<b>F(m,M)</b>	1.061533006	Na	1.061533006	Na	9.011597212	Na	1.061533006	Na	1.061533006	Na	1.061533006	Na
<b>Ñiu</b>	11.713404	Na	11.713404	Na	11.713404	Na	11.713404	Na	11.713404	Na	11.713404	Na
<b>Ks</b>	8.75932E-05	m/seg.	2.27786E-05	m/seg.	8.0773E-05	m/seg.	0.000101352	m/seg.	8.56197E-05	m/seg.	9.21664E-05	m/seg.
<b>ks</b>	<b>315.3356806</b>	<b>mm/h</b>	<b>82.00280893</b>	<b>mm/h</b>	<b>290.7827584</b>	<b>mm/h</b>	<b>364.868519</b>	<b>mm/h</b>	<b>308.2308278</b>	<b>mm/h</b>	<b>331.799082</b>	<b>mm/h</b>

<b>PARCELA 876: M. rígida sin fuego</b>												
	<b>Cilindro 1</b>	<b>unidad</b>	<b>Cilindro 2</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 3</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 4</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 5</b>	<b>unid</b>	<b>Cilindro 6</b>	<b>unid</b>
<b>N</b>	9.348609885	Na	9.348609885	Na	9.348609885	Na	9.348609885	Na	9.348609885	Na	9.348609885	Na
<b>M</b>	0.017998161	Na	0.017998161	Na	0.017998161	Na	0.017998161	Na	0.017998161	Na	0.017998161	Na
<b>dg</b>	1669.048386	Na	1669.048386	Na	1669.048386	Na	1669.048386	Na	1669.048386	Na	1669.048386	Na
<b>alfa i</b>	41772991409	Na (m)	41772991461	Na (m)	41772991413	Na (m)	41772991405	Na (m)	41772991414	Na (m)	41772991410	Na (m)
<b>alfa t</b>	4355444.239	Na (s)	960084.424	Na (h)	4080600.646	Na (h)	4591762.416	Na (h)	4028605.515	Na (h)	4326257.311	Na (h)
<b>Dap</b>	1.252947418	Gr/cm3	1.399434096	Gr/cm3	1.239860882	Gr/cm3	1.265621316	Gr/cm3	1.287432209	Gr/cm3	1.246168357	Gr/cm3
<b>Dr</b>	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3	2.4	Gr/cm3
<b>Porosidad</b>	47.79385758	%	41.69024601	%	48.33912992	%	47.26577851	%	46.35699128	%	48.07631848	%
<b>H 0</b>	3.53153667	%	2.110897024	%	3.536457838	%	3.536289748	%	3.546133004	%	3.531704535	%
<b>H final</b>	38.25354987	%	19.0651038	%	38.29018408	%	38.25354987	%	38.29018408	%	38.24767249	%
<b>ro</b>	0.124983145	Na	0.124983145	Na	0.124983145	Na	0.124983145	Na	0.124983145	Na	0.124983145	Na
<b>mn</b>	0.192290903	Na	0.192290903	Na	0.192290903	Na	0.192290903	Na	0.192290903	Na	0.192290903	Na
<b>m</b>	0.087712312	Na	0.087712312	Na	0.087712312	Na	0.087712312	Na	0.087712312	Na	0.087712312	Na
<b>n</b>	2.192290903	Na	2.192290903	Na	2.192290903	Na	2.192290903	Na	2.192290903	Na	2.192290903	Na
<b>F(m,M)</b>	1.049508718	Na	1.049508718	Na	9.011597212	Na	1.049508718	Na	1.049508718	Na	1.049508718	Na
<b>Ñiu</b>	13.40090802	Na	13.40090802	Na	13.40090802	Na	13.40090802	Na	13.40090802	Na	13.40090802	Na
<b>Ks</b>	0.000104265	m/seg.	2.29834E-05	m/seg.	9.76851E-05	m/seg.	0.000109922	m/seg.	9.64404E-05	m/seg.	0.000103566	m/seg.
<b>ks</b>	<b>375.3525599</b>	<b>mm/h</b>	<b>82.7401583</b>	<b>mm/h</b>	<b>351.6665154</b>	<b>mm/h</b>	<b>395.718481</b>	<b>mm/h</b>	<b>347.1855704</b>	<b>mm/h</b>	<b>372.8372279</b>	<b>mm/h</b>