



CIENCIA DEL SUELO

Hacia un conocimiento global y
multidisciplinario del recurso suelo

División II: Propiedades del suelo y
procesos

Coordinadores: Dr. Francisco Bautista y Dra. Anahí Aguilera



**Hacia un conocimiento global y
multidisciplinario del recurso suelo:
propiedades del suelo y procesos**

**Sociedad mexicana de la ciencia del
suelo**

Presidente

Dr. Otilio Arturo Acevedo Sandoval

Vicepresidente

Dr. Fabián Fernández Luqueño

Secretario técnico

Dr. Miguel Ángel Valera Pérez

Secretario general

Dr. Alfredo Madariaga Navarrete

Secretario de eventos nacionales e
internacionales

Dr. José Víctor Tamaríz Flores

Tesorero

Mtro. David Hernández Sánchez

Secretaría de educación y enseñanza

Dra. Rosalía del Carmen Castelán Vega

Secretaría de relaciones públicas

Dr. Gilberto Vela Correa

Secretaría de acción juvenil

Mtra. Martha Daniela Bobadilla

Ballesteros

Comité editorial del libro de resúmenes

Editores

Dr. Fernando Ayala Niño

Dr. Francisco Bautista

**Coordinadores de los fascículos del
libro**

División I: suelos en espacio y tiempo: Dr.
Joel Zavala Cruz y Dr. Antonio López
Castañeda

División II: propiedades del suelo y
procesos: Dr. Francisco Bautista y Dra.
Anahí Aguilera

División III: el uso y manejo del suelo: Dr.
David J. Palma López y Dr. Rufo Sánchez
Hernández

División IV: el papel de los suelos en la
sostenibilidad del medio: Dra. Ángeles
Gallegos, M en C. Juan David Mahecha y
Dra. Silvia Ramos

Cita sugerida:

Bautista, F., A, Aguilera. (Compiladores). 2023. *Propiedades del suelo y procesos, Vol 2. En: Hacia un conocimiento global y multidisciplinario del recurso suelo. Bautista F y Ayala F. (Eds). Sociedad mexicana de la ciencia del suelo. Texcoco, Estado de México. 289 pp.*

Por este medio declaramos que los capítulos de libro fueron arbitrados a doble, triple y cuádruple ciego con la finalidad de contar con un libro de calidad. En total se contó con 155 arbitrajes de 50 capítulos.

ISBN OBRA COMPLETA: 978-607-95106-5-7 ISBN DEL VOLUMEN 2: 978-607-95106-7-1

DR @ 2023. Sociedad Mexicana de la ciencia del suelo.

Derechos reservados conforme a la ley. Ninguna parte de esta obra puede ser reproducida por cualquier medio, sin el consentimiento por escrito de la Sociedad mexicana de la ciencia del suelo o de los titulares correspondientes.

Las opiniones, datos y citas presentados en esta obra son responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja, necesariamente, los puntos de vista de la institución que edita esta publicación.

Prohibida su reproducción parcial o total, por cualquier medio, mecánico, electrónico, de fotocopias, térmico u otros, sin permiso de los editores.

Hecho en México

Prólogo

El suelo, irrefutablemente, es un elemento vital para asegurar la permanencia y sobrevivencia de los seres humanos. Desde el punto de vista estructural, el suelo es un componente fundamental del paisaje; y desde el punto de vista funcional es el elemento que articula las relaciones entre los elementos vivos u orgánicos con los mínimos de elementos minerales de los ecosistemas. El suelo tiene funciones irremplazables y bien identificadas. La primera, es el principal elemento de soporte y anclaje para la sobrevivencia de la biodiversidad, en especial de las plantas. También contiene la función inherente de servir como un filtro y amortiguamiento para poder transformar toda una serie de diversos elementos orgánicos en elementos minerales. El suelo y su biota conforman un verdadero banco genético de interacciones vivas y minerales constantes. Otra de las funciones fundamentales del suelo es el papel regulador de los ciclos hidrológicos y captura y almacenamiento de carbón.

En general, los suelos tienen una relación con cuatro componentes del paisaje. El material parental o la roca de la cual derivan; el acomodo que se da en el contexto de las formas del relieve; las interacciones con la biota en la que se circunscribe; y el vínculo socio-cultural. Por esto el suelo se alude como la interfaz que sin su papel el ambiente no se entiende ni opera sustentablemente. El estudio del suelo incluye el soporte mecánico de elementos de su estructura, las características de los agregados que lo constituyen, rasgos de penetrabilidad, profundidad, nutrientes, material mineral que lo compone, así como la combinación de la textura, ya sea de limos, arcillas o de arenas. El pedón es la unidad mínima para estudiar y describir un suelo donde se observan, miden y estudia la cantidad de materia orgánica, humus que contiene y tipo de PH ya sea ácido, neutro o básico que caracteriza a cada horizonte. Todo esto en conjunto define las funciones y capacidades de almacenamiento de agua y aire y fertilidad. Por todo esto, la edafología como la ciencia avocada al estudio del suelo, es a menudo insuficiente para entender todas las interacciones.

Los procesos formadores de suelo tales como la calcificación, la mineralización, la salinización, entre otros, dan como resultado un mosaico muy complejo de tipos de suelo. Por lo tanto, la geografía de los suelos es un tema de crucial importancia y base para la definición de políticas ambientales.

El suelo no es ajeno a los disturbios que pueden darse, ya sean de origen natural o antropogénicos. La deforestación es uno de los temas más inmediatos en los que uno puede pensar que tiene un impacto directo sobre el suelo. Ésta, es generalmente acompañada de aspectos agropecuarios que afectan tanto la función como la estructura pues se introduce un componente de pisoteo y uso exacerbado. El cambio de uso de suelo de rural a urbano es mucho más impactante dado que conlleva al sellamiento lo que

inhibe las funciones. Asociado al cambio de suelo, los contaminantes tienen un segundo impacto en ocasiones irreversible. En este contexto, el estudio del suelo debe estar al centro de los estudios de estructura, función y salud ambiental.

Una de las líneas más interesantes desde mi punto de vista es el estudio del suelo desde la perspectiva sociocultural, o lo que se alude como edafología antropológica. El suelo tiene significados místicos, ideológicos, religiosos y por supuesto hasta productivos, por lo que su relación suelo-hombre es longeva como la existencia del *Homo sapiens*.

En el contexto de México, se sabe que existe más de 25 tipos de suelos que son muy distintos entre las diversas regiones, tanto por su diversidad geológica, climática y biogeográfica. México, no obstante, alberga solo un 10% de su superficie con suelos de vocación agrícola y el resto es preferentemente de vocación forestal. Adicionalmente, casi el 45% de los suelos nacionales presenta algún tipo de disturbio. Por lo anterior, la sustentabilidad no puede abordarse de manera congruente sin un buen levantamiento de suelos.

El estudio de los suelos, como se presenta en este libro, resulta relevante. El poder presentar los resultados de este trabajo que aquí se ilustra para dar a conocer la importancia que tiene el suelo, que en mi naturaleza de biólogo no puede ser distinta, o menos importante que lo que es el valor de la biodiversidad como elementos fundamentales para asegurar la sobrevivencia en el largo plazo de la vida en el planeta, incluyendo la de los humanos.

Sin suelo no hay maíz y sin maíz no hay país...

Dr. Alejandro Velázquez

Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental

Universidad Nacional Autónoma de México

Prefacio

Las funciones ambientales de los suelos, también llamados servicios ecosistémicos, son un tema de actualidad y es por este motivo que recibimos un gran número de trabajos con ese enfoque. A tal punto nos vimos en la necesidad de hacer cuatro volúmenes del libro tradicional del congreso.

En el presente volumen, correspondiente a la mesa II “Propiedades del suelo y procesos” recopilamos las investigaciones que se han realizado recientemente en relación con las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos y de los procesos que en ellos ocurren (adiciones, pérdidas, transformaciones y translocación de materiales). De manera general, los temas que toca este volumen son dos temas de moda por su gran relevancia: los almacenes de carbono en el suelo y la microbiología del suelo. Otros dos temas de gran relevancia son la contaminación del suelo por metales pesados y microplásticos ya que ambos afectan la salud humana, y el tema de la dinámica del agua en el suelo, bien escaso que ya comienza a ser un gran problema en nuestro país, principalmente en el norte y centro.

Faltan estudios sobre las particularidades de las propiedades físicas y químicas de los suelos de nuestro país, así como de los procesos pedogénéticos. Se reportan solo dos trabajos sobre secuencias edáficas. Faltan estudios sobre los Andosols del centro y sur del país, sobre los Leptosols y Regosols que dominan en los cuatro puntos cardinales del territorio mexicano; sobre las particularidades de los suelos de las zonas áridas del norte; y sobre los suelos profundos de uso agrícola en el trópico mexicano. En estos temas hay mucho por hacer, esto será la tarea para los próximos años.

Son 50 trabajos los que se encuentran recopilados en este volumen, los autores pertenecen a distintas instituciones de educación superior y de investigación de toda la República Mexicana. El orden de los trabajos está dado de manera alfabética de acuerdo con el título que los autores le dieron a los mismos. Algún tipo de agrupación por temática habría sido deseable, sin embargo, el tiempo no fue suficiente.

Todo el esfuerzo vale la pena cuando es posible ver el producto obtenido y saber que será de utilidad para toda aquella persona que tenga interés en conocer parte del estado del arte sobre los estudios de las propiedades y los procesos del suelo, en nuestro país y en nuestro idioma; aunque alguno que otro resumen está en inglés, la gran mayoría se encuentran en castellano.

Como todo conocimiento, el que tenemos del suelo seguirá cambiando y actualizándose conforme se tengan nuevos hallazgos. Es una labor de todos los científicos, profesionistas, tomadores de decisiones y usuarios seguirnos informando y

esforzando para aprovechar este recurso finito de la mejor manera y garantizar sus funciones ambientales para las generaciones futuras.

Esperamos que el lector encuentre este volumen del libro útil y enriquecedor. Reza el dicho que lo que no se conoce, no se valora. Conozcamos y valoremos el suelo, para que con congruencia y orgullo podamos decir: Yo amo al suelo.

Dra. Anahí Aguilera y Dr. Francisco Bautista
Universidad Nacional Autónoma de México.

Contenido

ACIDIFICACIÓN DEL MEDIO DE CRECIMIENTO EN RESPUESTA A LA NUTRICIÓN AMONIACAL Y SU EFECTO EN CULTIVO DE PIMIENTO.....	13
ALMACENES DE CARBONO EN EL PARQUE ECOLÓGICO LA JOYA - LA BARRETA, QUERÉTARO	18
CARACTERIZACIÓN DE LA DIVERSIDAD MICROBIANA PRESENTE EN SUELOS DE DOS ECOSISTEMAS DEL NORESTE DE MÉXICO	23
CARBONO DISUELTO EN VERTISOLES: EFECTO DE LA PRECIPITACIÓN EN EL SUR DE GUANAJUATO, MÉXICO	27
CLASIFICACIÓN DE SUELOS CITRÍCOLAS EN GENERAL TERÁN, NUEVO LEÓN.....	32
COSTO EN CO ₂ DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA PARA CAPTURA DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELO EN MAÍZ-FORRAJE DE TEMPORAL.....	38
DESARROLLO VEGETATIVO DE <i>Agave victoriae-reginae</i> T. Moore EN BIOSÓLIDOS SOMETIDOS A VERMICOMPOSTAJE.....	44
DESECACIÓN DEL LAGO DE TEXCOCO: MORFOLOGÍA DE SEDIMENTOS LACUSTRES Y LA FORMACIÓN DE SUELOS.....	50
DETERMINACIÓN DE LA LÁMINA PRE-SIEMBRA APLICANDO PERFILAJE ELECTROMAGNÉTICO Y TÉCNICAS DE PERCEPCIÓN REMOTA	54
DINÁMICA DEL NITRÓGENO EN LOS SUELOS AGRÍCOLAS BAJO UN SISTEMA DE AGRICULTURA INTENSIVA, EN EL VALLE DEL YAQUI.....	60
DISTRIBUCIÓN DE AGREGADOS EN ANDOSOLS POSTINCENDIO DEL MONTE TLÁLOC, ESTADO DE MÉXICO.....	65
DIVERSIDAD DE LA MICROBIOTA DE LEPTOSOLS KÁRSTICOS DEL NORESTE DE QUINTANA ROO, Y SU INTERPRETACIÓN CON LA MICROMORFOLOGÍA.....	69
DIVERSIDAD Y PERFIL ENZIMÁTICO DE MICROHONGOS EDÁFICOS ASOCIADOS A LOS GÉNEROS <i>Pinus</i> Y <i>Bursera</i> EN SANTA CATARINA, GUANAJUATO.....	74
EFECTO DE FERTILIZANTES ORGÁNICOS EN LA MINERALIZACIÓN DE NITRÓGENO.....	79

EFFECTO DE LA ORIENTACIÓN Y ALTITUD EN LA TEMPERATURA DEL SUELO EN UN VALLE DE ALTA MONTAÑA TROPICAL DEL CENTRO DE MÉXICO	84
EFFECTO DEL CAMBIO DE USO DE SUELO SOBRE ALMACENES DE CARBONO, NITRÓGENO Y FÓSFORO DE CALAKMUL, CAMPECHE	90
EFFECTO DEL MANEJO FORESTAL EN PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO EN SANTA MARÍA JALTIANGUIS, OAXACA, MÉXICO	96
EL SUELO COMO BASE PARA EL ESTUDIO DE LA DIVERSIDAD DE PLANTAS Y SUS ATRIBUTOS.....	101
EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN SUELOS REGADOS CON AGUA RESIDUAL EN EL VALLE DEL MEZQUITAL, HIDALGO	105
EROSIÓN DEL SUELO EN UNA CRONOSECUENCIA DE BOSQUE TROPICAL SECO AFECTADO POR UNA HELADA SEVERA, NOROESTE DE MÉXICO	110
ESTRUCTURA, FUNCIÓN Y DINÁMICA MICROBIANA DE SUELOS AGRÍCOLAS DEPENDIENTES DE LA CALIDAD DEL PULSO HIDRÁULICO EN EL ALBERTO, IXMIQUILPAN, HIDALGO	115
ESTUDIOS DE LA ESTRUCTURA Y POROSIDAD DEL SUELO EN APLICACIÓN A LA GÉNESIS DE LOS FRAGIPANES	121
ESTUDIOS MICROMORFOMÉTRICOS: CUANTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SUELO EN LABRANZA DE CONSERVACIÓN Y CONVENCIONAL	126
EVALUACIÓN BIOQUÍMICA DE LA REMEDIACIÓN DE UN SUELO INTEMPERIZADO Y CONTAMINADO CON METALES PESADOS	131
EVALUACIÓN DE LAS COMUNIDADES DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES ASOCIADOS A <i>Prosopis laevigata</i> EN EL VALLE DEL MEZQUITAL, HIDALGO	141
FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON Pb, Ni y Cr EN ATLIXCO, PUEBLA.....	146
HYDROLOGICAL RESPONSE OF CORN STOVER MULCH LAYERS MEASURED NEAR THE SOIL SURFACE	151
IMPACTO DE JALES MINEROS EN LA DISTRIBUCIÓN, RIQUEZA Y ABUNDANCIA DE LA FLORA EN TEHUILOTEPEC, GUERRERO	157
IMPACTO DE TRES SISTEMAS DE MANEJO DEL SUELO SOBRE LA INFILTRACIÓN EN EL CULTIVO DE SOYA	163

IMPLEMENTING ITS1 METABARCODING FOR THE ANALYSIS OF SOIL MICRO-EUKARYOTIC DIVERSITY IN A MOUNTAIN CLOUD FOREST.....	168
INTERPRETACIÓN DE LA RESPIRACIÓN DEL SUELO: UNA NUEVA PROPUESTA METODOLÓGICA.....	174
ISOTERMAS DE ADSORCIÓN DESORCIÓN DE FÁRMACOS COVID EN SUELO REGADO CON AGUA RESIDUAL.....	178
LA FITORREMEDIACIÓN REESTABLECE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEL SUELO	183
LA VEGETACIÓN EXÓTICA Y SU IMPACTO EN LOS SUELOS DE LA SIERRA DE GUADALUPE, CDMX.....	189
LAS REGULACIONES FISIOLÓGICAS DE UN CACTUS ALTAMENTE TOLERANTE A LA SEQUÍA MODIFICAN LAS COMUNIDADES BACTERIANAS EN SU RIZOSFERA.....	195
MAPEO DIGITAL DE LA PROFUNDIDAD DEL SUELO EN MÉXICO.....	201
MEDICIÓN DE LA EVAPORACIÓN DEL SUELO CON MÉTODOS MICROMETEOROLÓGICOS.....	206
MICROPLÁSTICOS EN SUELOS DE LA PRIMERA SECCIÓN DEL BOSQUE DE CHAPULTEPEC, CIUDAD DE MÉXICO.	211
MONITOREO DE FLUJOS DE CO ₂ DEL SUELO EN EL OBSERVATORIO MEXICANO DEL CLIMA Y LA COMPOSICIÓN ATMOSFÉRICA (OMECCA).....	216
OBSERVATORIO ECOHIDROLÓGICO VALLE DEL YAQUI: INTEGRACIÓN DE HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS DE INTERACCIONES SUELO-PLANTA-ATMÓSFERA	221
PARÁMETROS DE HUMEDAD E HDRÁULICOS DEL SUELO EN EL AGROSISTEMA CACAO	227
PROCESOS DE COLONIZACIÓN DE ROCA BASÁLTICA POR COSTRA SAXÍCOLA EN LA FORMACIÓN DE UN SUELO.....	231
PROPUESTA DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA DIAGNÓSTICO DE CORROSIVIDAD DE SUELOS	238
PROTOTIPO DE MEDICIÓN DEL FLUJO DE CO ₂ DEL SUELO USANDO MICROSENSORES	244
RESIDUO DE LEVADURA DE CERVEZA EN LAS PROPIEDADES DEL SUELO Y EL DESARROLLO DE DOS CULTIVOS	250

SECRETOS DEL SUELO: HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES Y FACTORES EDÁFICOS EN ESPECIES DE LA VEGETACIÓN SECUNDARIA	256
SUELOS EN UNA LITOSECUENCIA DE LA ZONA SEMIÁRIDA DE LOS REYES METZONTLA-PUEBLA.	263
VARIABILIDAD TEMPORAL DE LA TASA DE INFILTRACIÓN DEL SUELO EN UNA CUENCA SEMIÁRIDA DEL DESIERTO CHIHUAHUENSE.....	268
VEGETACIÓN DE SELVA MEDIANA SUBCADUCIOLIA EN EL SUR DE YUCATAN, UN IMPORTANTE SUMIDERO DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO	274
PATRONES ESPACIALES DE LA DEMANDA SOCIOCULTURAL Y LA OFERTA BIOFÍSICA DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS VINCULADOS AL SUELO EN BOSQUES TROPICALES	280

VARIABILIDAD TEMPORAL DE LA TASA DE INFILTRACIÓN DEL SUELO EN UNA CUENCA SEMIÁRIDA DEL DESIERTO CHIHUAHUENSE

Elí Rafael Pérez Ruiz¹; Dafne Martínez Hernández²; Sergio Alvarado Soto¹; Enrique R. Vivoni³

1. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México; 2. Egresada del Programa Licenciatura en Ingeniería Ambiental, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México; 3. School of Sustainable Engineering and the Built Environment, Arizona State University, Tempe, AZ, EUA.

RESUMEN

La hidrología de los ecosistemas áridos y semiáridos de la zona del Monzón de Norteamérica está marcada por la variabilidad espacial y temporal en las fuentes de agua y en la disponibilidad de recursos hídricos. La tasa de infiltración del suelo, que define la velocidad a la cual el agua penetra en el suelo, juega un papel crucial en la determinación de la disponibilidad de agua para la vegetación y los flujos de recarga de los sistemas acuíferos. Esta propiedad está influenciada por factores físicos y biológicos, desempeña un papel esencial en la disponibilidad de agua en el suelo. En este estudio, se midió y analizó la conductividad hidráulica saturada (K_{sat}) en una pequeña cuenca de primer orden del Desierto Chihuahuense utilizando el método simplificado de Beerkan. Se realizaron mediciones en cuatro muestreos distintos en sitios con presencia y ausencia de vegetación, en las laderas norte y sur de la cuenca. Los resultados mostraron valores de K_{sat} más elevados en sitios con vegetación, tanto en promedio general como entre muestreos. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en promedios generales entre laderas y entre muestreos. La información recopilada y los análisis comparativos realizados hasta el momento demuestran el rol significativo de la vegetación en el valor promedio de K_{sat} , sin embargo, muestreos y análisis adicionales aún son necesarios para establecer si existe un rol de la estacionalidad y uso de suelo en el comportamiento de K_{sat} .

INTRODUCCIÓN

El Monzón de Norteamérica (NAM) es un fenómeno climático estacional que juega un papel esencial en la regulación de las precipitaciones en el suroeste de los Estados Unidos y el noroeste de México durante los meses de julio a septiembre, donde contribuye a más del 70% del total de precipitación anual (Adams y Comrie, 1997). En esta zona, las fluctuaciones estacionales en la disponibilidad de agua son una constante y modula la respuesta del ecosistema, influyendo en la recarga de acuíferos, la formación de escorrentías y el reverdecimiento de la vegetación, ejerciendo un control crítico sobre el clima y la hidrología de la región.

La hidrología de los ecosistemas áridos y semiáridos de esta región está marcada por la variabilidad espacial y temporal en las fuentes de agua y en la disponibilidad de

recursos hídricos (Schreiner-McGraw y Vivoni, 2017). En la partición hidrológica, la infiltración del suelo, que define la velocidad a la cual el agua penetra en el suelo, juega un papel crucial en la determinación de la disponibilidad de agua para la vegetación y los flujos de recarga de los sistemas acuíferos. La variabilidad temporal de la tasa de infiltración se convierte en una piedra angular para comprender la interacción entre los ciclos hidrológicos y los procesos ecológicos en regiones áridas y semiáridas (Scanlon et al., 2006).

La conductividad hidráulica saturada (K_{sat}) del suelo, una propiedad fundamental que refleja su capacidad para transmitir agua, añade una dimensión adicional a la variabilidad de la infiltración. Esta propiedad, influenciada por factores físicos (como textura y porosidad del suelo) y biológicos, desempeña un papel esencial en la regulación de la tasa de infiltración y la disponibilidad de agua en el suelo. Esta es una variable dinámica y altamente influenciada por factores físicos y biológicos, que cambian a lo largo del tiempo y del espacio (Durner, 1994).

Este trabajo proporcionará una comprensión más clara de los cambios y mecanismos de infiltración a lo largo del año, que puede contribuir a parametrizar mejor la infiltración en los modelos hidrológicos. Un mejor conocimiento de cómo la infiltración influye en la distribución del agua y en la vitalidad del ecosistema, puede contribuir a una toma de decisiones más informada y estratégica en la conservación del agua y la preservación del hábitat en esta región característica del paisaje norteamericano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del sitio de estudio.

Este estudio se llevó a cabo en una cuenca experimental de primer orden de aproximadamente 4.7 ha ubicada en *Jornada Experimental Range* (JER) al sur de Nuevo México, EE. UU. El sitio se encuentra en el piedemonte de las montañas de San Andrés. El clima se clasifica como desierto frío (BWk), con una precipitación media anual de 277.9 mm y una temperatura media anual de 17.9°C. El sitio es un matorral mixto del Desierto de Chihuahua, con dominado por gobernadora (*Larrea tridentata*) y mezquite (*Prosopis glandulosa*) (Schreiner-McGraw et al., 2016; Pérez-Ruiz et al., 2022), y se compone de ~4 % de pastos, ~30 % de arbustos y ~66 % de suelo desnudo, con textura de suelo franco arenoso con un alto contenido de grava y una capa de CaCO_3 a una profundidad de ~40 cm (Anderson & Vivoni, 2016).

Mediciones de Conductividad Hidráulica Saturada (K_{sat})

La tasa de infiltración del suelo en forma de K_{sat} se midió experimentalmente en dieciséis sitios de superficie con vegetación (VS) y dieciséis sitios de superficie descubierta (BS) en cuatro muestreos distintos durante los meses de diciembre de 2022 y marzo, mayo y junio de 2023. Los sitios se distribuyeron en 8 ubicaciones en una ladera norte y 8 ubicaciones en una ladera sur, con un sitio VS y un BS en cada una de las ubicaciones. Los sitios VS se dividieron por tipo de arbusto, con ocho sitios de

gobernadora y ocho sitios de mezquite. Los sitios VS se ubicaron aproximadamente a 10-15 cm de la porción más densa del dosel arbustivo, y los sitios BS se ubicaron aproximadamente a 50 centímetros de los sitios VS, de modo que estaban fuera del dosel arbustivo en áreas sin vegetación.

K_{sat} se midió utilizando el método simplificado de Beerkan (Bagarello et al., 2017), utilizando un infiltrómetro de PVC de un solo anillo con 89 mm de diámetro interior. Se insertó un dispositivo en el suelo de cada sitio a ~1 cm de profundidad. Se vertió un volumen conocido de agua en el anillo tratando de alterar lo menos posible la estructura del suelo e inmediatamente después del llenado se puso en marcha un cronómetro. Cada vez que el volumen de agua vertido se infiltraba completamente en el suelo, se rellenaba de nuevo y se registraba el tiempo de infiltración. Este proceso continuó hasta que tres mediciones de tiempo estuvieran dentro de aproximadamente 10% entre sí, lo que se tomó como la fase de estado estacionario de la prueba.

Con los datos recopilados, se representó el volumen acumulado de agua infiltrada en el suelo frente al tiempo. La pendiente de esta línea, determinada mediante regresión lineal, se tomó como la tasa de infiltración en estado estable (i_{sat}). La ecuación de infiltración de Beerkan en estado estable, tal como la utilizan Bagarello et al. (2017), se expresa como:

$$K_{sat} = \frac{i_{sat}}{\frac{\gamma\gamma_w}{r\alpha^*} + 1}$$

Donde γ y γ_w son valores constantes tomados como 0,75 y 1,818, respectivamente; r , el radio interior del infiltrómetro en milímetros; y α^* , otro valor constante tomado como 0,012 para aplicaciones de campo, con unidades de mm (Bagarello et al., 2017). Estos valores se utilizaron para calcular K_{sat} , en mm/h. Adicionalmente, se compararon los valores promedio de K_{sat} para VS vs BS, ladera Norte vs ladera Sur, entre meses y entre VS vs BS de cada muestre.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados arrojaron un valor promedio de K_{sat} de 35.9 ± 32.5 mm hr⁻¹ para la totalidad del periodo de muestreo, con un valor promedio de 55.6 ± 35.5 mm hr⁻¹ para VS y 16.3 ± 9.1 mm hr⁻¹ para BS, siendo la tasa de infiltración promedio de VS tres veces más alta que BS. El comportamiento de VS y BS fue similar en las laderas, teniendo un K_{sat} promedio de 32.0 ± 32.2 mm hr⁻¹ para Norte y 39.9 ± 32.5 mm hr⁻¹ para Sur. VS tuvo valores de 49.9 ± 37.3 mm hr⁻¹ en Norte y 61.3 ± 33.2 mm hr⁻¹ en Sur, mientras que BS tuvo 14.1 ± 7.9 mm hr⁻¹ en Norte y 18.4 ± 9.8 mm hr⁻¹ en Sur. En general, la ladera Sur tuvo valores más altos de infiltración que en ladera Norte.

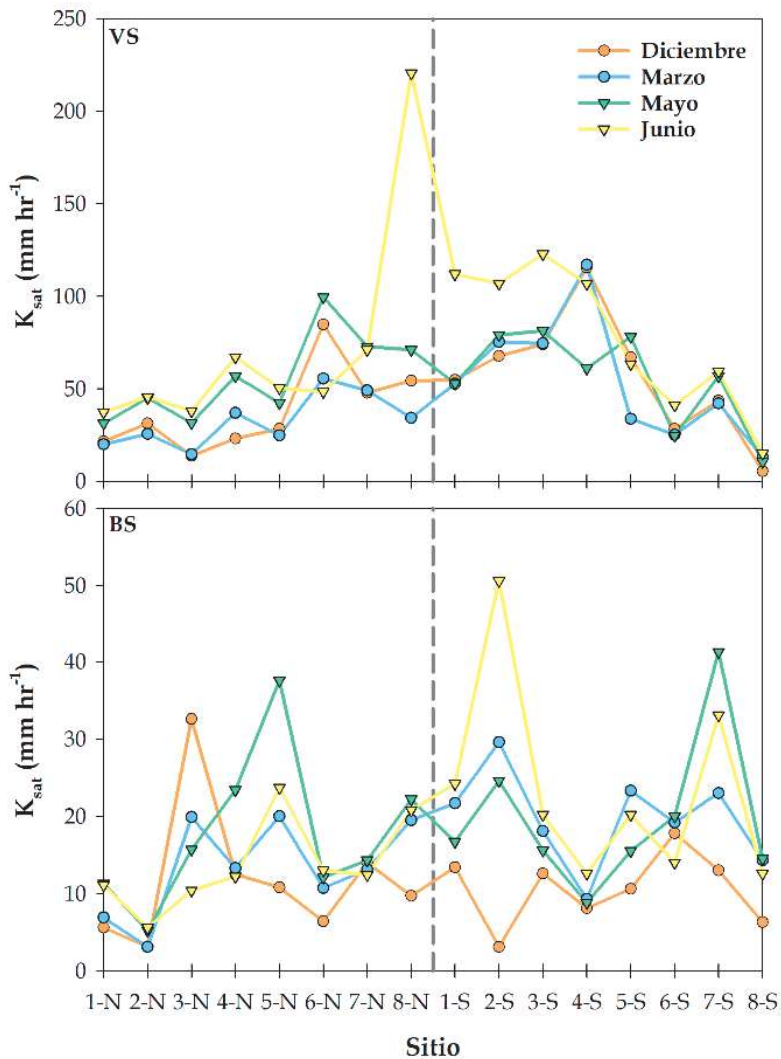


Figura 2. Valores promedio de K_{sat} para cada sitio y tipo de vegetación durante los cuatro muestreos.

La Figura 2 muestra los valores promedio de VS y BS para cada sitio (separados por ladera) durante los cuatro muestreos realizados. El valor promedio de K_{sat} para la cuenca tuvo valores de 29.4 ± 27.9 , 30.0 ± 23.9 , 37.3 ± 26.1 y 47.0 ± 45.7 mm hr^{-1} para diciembre, marzo, mayo y junio respectivamente. Similar a los promedios por cuenca, en todos los casos los valores promedio de K_{sat} para VS fueron mayores a BS. VS tuvo valores de 47.6 ± 29.2 , 43.5 ± 27.3 , 56.0 ± 24.0 y 75.4 ± 49.7 mm hr^{-1} para diciembre, marzo, mayo y junio respectivamente, mientras que BS tuvo valores promedio de 11.2 ± 7.0 , 16.6 ± 6.9 , 18.7 ± 9.6 y 18.5 ± 10.9 mm hr^{-1} para los mismos meses.

Los análisis estadísticos comparativos (Figura 3) mostraron que existe una diferencia estadísticamente significativa entre el valor promedio de K_{sat} de VS y BS para toda la cuenca, y el valor promedio de K_{sat} de VS y BS en cada uno de los meses muestreados. Esto sería un indicativo importante de que la presencia de la vegetación tiene un papel fundamental en el valor de K_{sat} . Sin embargo, no se encontraron diferencias

estadísticamente significativas entre los valores promedio entre laderas Norte y Sur y entre muestreos. La información recopilada y los análisis comparativos realizados hasta el momento demuestran el rol significativo de la vegetación en el valor promedio de K_{sat} , sin embargo, muestreos y análisis adicionales aún son necesarios para establecer si existe un rol de la estacionalidad y uso de suelo en el comportamiento de K_{sat} .

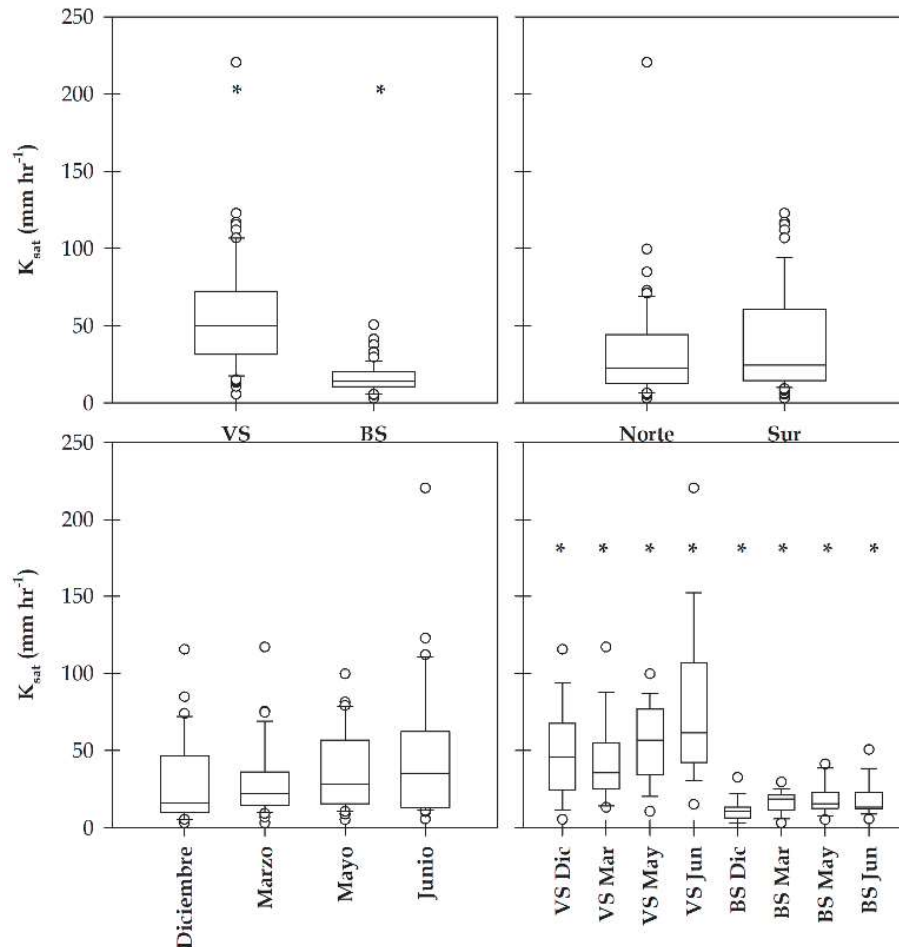


Figura 3. Diagramas de caja mostrando los análisis comparativos de VS vs BS (superior izquierda), Norte vs Sur (superior derecha), entre cada muestreo (inferior izquierda) y entre VS y BS para cada muestreo (inferior derecha. * denota una diferencia estadísticamente significativa entre VS y BS.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran que el método simplificado de Beerkan es una muy buena opción para la obtención experimental de K_{sat} en campo. No se encontraron diferencias significativas entre laderas y entre muestreos para el mismo tipo de uso de suelo, sin embargo, se encontraron diferencias significativas en los valores de K_{sat} entre VS y BS para todo el período de muestreo y en cada uno de los muestreos. Análisis adicionales son necesarios aún para establecer diferencias más claras.

BIBLIOGRAFÍA

- Adams, D. K., & Comrie, A. C. (1997). The north American monsoon. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(10), 2197-2214.
- Anderson, C. A., & Vivoni, E. R. (2016). Impact of land surface states within the flux footprint on daytime land-atmosphere coupling in two semiarid ecosystems of the Southwestern US. *Water Resources Research*, 52(6), 4785-4800.
- Bagarello, V., Di Prima, S., & Iovino, M. (2017). Estimating saturated soil hydraulic conductivity by the near steady-state phase of a Beerkan infiltration test. *Geoderma*, 303, 70-77.
- Durner, W. (1994). Hydraulic conductivity estimation for soils with heterogeneous pore structure. *Water resources research*, 30(2), 211-223.
- Pérez-Ruiz, E. R., Vivoni, E. R., & Sala, O. E. (2022). Seasonal carryover of water and effects on carbon dynamics in a dryland ecosystem. *Ecosphere*, 13(7), e4189.
- Scanlon, B. R., Keese, K. E., Flint, A. L., Flint, L. E., Gaye, C. B., Edmunds, W. M., & Simmers, I. (2006). Global synthesis of groundwater recharge in semiarid and arid regions. *Hydrological Processes: An International Journal*, 20(15), 3335-3370.
- Schreiner-McGraw, A. P., Vivoni, E. R., Mascaro, G., & Franz, T. E. (2016). Closing the water balance with cosmic-ray soil moisture measurements and assessing their relation to evapotranspiration in two semiarid watersheds. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(1), 329-345.
- Schreiner-McGraw, A. P., & Vivoni, E. R. (2017). Percolation observations in an arid piedmont watershed and linkages to historical conditions in the Chihuahuan Desert. *Ecosphere*, 8(11), e02000.