

COMPORTAMIENTO DE LA HUMEDAD DEL SUELO CON DIFERENTE COBERTURA VEGETAL EN LA CUENCA LA ESPERANZA

• Francisco Martínez-González • Fermín Sosa-Pérez •
• Josefina Ortiz-Medel •
Universidad de Guanajuato, México

Resumen

Se presenta un estudio realizado en la Cuenca La Esperanza, municipio de Guanajuato, México, para evaluar el comportamiento de la humedad del suelo con diferente cobertura vegetal. Se realizó un muestreo aleatorio considerando cuatro estratos en función del tipo de vegetación, con seis réplicas cada uno: sitios con encinos (*Quercus* sp), con arbustos dominados por jarilla (*Senecio* sp) y uña de gato (*Mimosa* sp), con eucaliptos (*Eucalyptus* sp) y sin vegetación. Se colectaron muestras de suelo de marzo a septiembre, para determinar la humedad y analizar las diferencias entre cada sitio y cada estrato vegetal, correlacionando la humedad con las variables altitud, pendiente, orientación, textura del suelo, número de árboles en el sitio, hojarasca en el suelo y grosor de los horizontes "O" y "A". El estudio mostró que, durante la temporada de secas, el porcentaje de humedad fue menor para sitios con arbustos (8.3%) y encinos (8.7%), y mayor para sitios con eucaliptos (10.6%) y sin vegetación (9.9%); la pérdida de humedad fue mayor para sitios sin vegetación (3.4%) y menor para sitios con eucaliptos (-0.8%). Durante la temporada de lluvias, el porcentaje de humedad fue mayor para sitios con encinos (16.6%) y menor para sitios con eucaliptos (15.4%); los sitios con encinos (7.9%) y arbustos (7.2%) tuvieron mayor incremento de humedad. Con las pérdidas e incrementos de humedad se realizó un balance; sitios con encinos (6.2%) y arbustos (4.2%) tuvieron mayor humedad a favor. Los porcentajes de humedad en sitios con encinos (7.9%), arbustos (7.2%) y sin vegetación (6.1%) tuvieron diferencias significativas entre las temporadas de secas y lluvias, lo que no ocurrió en sitios con eucaliptos (4.8%), donde las diferencias fueron mínimas.

Palabras clave: estrato vegetal, porcentaje de humedad, pérdida de humedad, incremento de humedad.

Introducción

Debido a los procesos hidrológicos que se llevan a cabo dentro de las cuencas hidrológicas, éstas son consideradas unidades básicas para la captación, retención, manejo y administración del agua. De manera natural, en estos ecosistemas se da una serie de relaciones entre sus diversos componentes: agua, suelo, vegetación y atmósfera.

Es evidente que en los cauces o ríos de las cuencas hidrológicas disminuye la cantidad de

agua durante la época de estiaje. El agua que escurre en las cuencas hidrológicas durante esa época del año, en que por condiciones naturales se ausentan las precipitaciones, es agua captada en periodos de precipitaciones anteriores, la cual fluye a través del suelo por escurrimiento subsuperficial y subterráneo, siendo estos dos procesos mucho más lentos que el escurrimiento superficial que se da de manera inmediata.

Los procesos de captación, escurrimiento e infiltración dependen de los factores físicos de la cuenca, principalmente de las características

del suelo, y del tipo y densidad de vegetación. Estos factores se relacionan con otros, como la pendiente, orientación y disponibilidad de radiación solar, por mencionar algunos de los más importantes.

El presente trabajo fue un estudio realizado en una zona del área natural protegida "Cuenca La Esperanza" del estado de Guanajuato. Esta área boscosa es importante y prioritaria para la rehabilitación de los recursos naturales, pues representa un punto principal para la estabilidad ambiental e hidrológica de la región y donde es necesario ejecutar acciones inmediatas (CCG-AC, 2003). La finalidad fue conocer la variación de la humedad del suelo con diferentes tipos de vegetación durante los meses de marzo a septiembre, lo que permitió identificar la estructura o el tipo de vegetación con la que el suelo tiene mayor capacidad para retener agua. Estos resultados podrían coadyuvar a formular planes futuros de reforestación en las áreas desprotegidas.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en la Cuenca La Esperanza del municipio de Guanajuato, México. Esta zona, que es un área importante de captación de agua para la ciudad de Guanajuato, se localiza entre los 21° 02' y los 21° 06' de latitud norte, y los 101° 13' y 101° 15' de longitud oeste del meridiano de Greenwich. Presenta una temperatura media anual de 14 °C y una precipitación media

anual de 800 mm (Cartografía, INEGI). En esta zona existen principalmente corrientes intermitentes que se dan en época de lluvias.

De acuerdo con la clasificación convencional de suelos para México de la FAO-UNESCO, existen tres tipos de suelos: luvisol, litosol y feozem. Los suelos de esta zona tienen una textura migajosa-arcillosa, buen drenaje y profundidades medias de 30 a 50 cm (IEEG, 1998).

El tipo de vegetación que predomina es el bosque de encino *Quercus sp*, en asociación con madroño (*Arbutus sp*), aile (*Alnus sp*), jarilla (*Senecio sp*), uña de gato (*Mimosa sp*) y pingüica (*Arctostaphylos pungens*) (IEEG, 1998). La especie introducida más importante de la zona por su dominancia es el eucalipto (*Eucalyptus sp*).

Para la ubicación de los sitios de estudio se consideró un muestreo aleatorio estratificado, considerando como estratos los cuatro tipos de vegetación que se muestran en el cuadro 1. Los sitios se delimitaron con un área aproximada de 100 m² (10 x 10 m) entre los 2 300 y 2 500 msnm.

Variables de estudio

Se consideraron como variables independientes: vegetación, pendiente, orientación, altitud, textura del suelo, número de árboles en el sitio, hojarasca en el suelo y horizontes "O" y "A". La humedad, la pérdida y el incremento de humedad se consideraron como variables dependientes.

Cuadro 1. Estratos de vegetación considerados para la ubicación de los sitios y número de réplicas.

Categoría	Tipo o estrato de vegetación	Número de sitios (réplicas)
1	Sin vegetación (nulo).	6
2	Eucaliptos (<i>Eucalyptus sp</i>).	6
3	Arbustos: pingüica (<i>Arctostaphylos pungens</i>), jarilla (<i>Senecio sp</i>) y uña de gato (<i>Mimosa sp</i>), principalmente.	6
4	Encinos (<i>Quercus sp</i>).	6
Número total de sitios		24

Medición de las variables

Variables independientes

La primera fase consistió en medir las variables independientes durante el mes de febrero en cada uno de los sitios previamente seleccionados.

Vegetación

Se consideró como variable categórica, asignando un valor numérico progresivo a cada estrato. Se utilizaron los valores 1, 2, 3 y 4 para identificar los sitios sin vegetación, con eucaliptos (*Eucalyptus* sp), arbustos y encinos (*Quercus* sp), respectivamente, con seis réplicas cada uno, sumando un total de 24 sitios (cuadro 1).

Pendiente

Se determinó en grados, utilizando un clinómetro diseñado por el responsable del proyecto.

Orientación

Con el clinómetro y una brújula Thommen classic serie TX, se determinó la orientación de cada sitio. Esta variable también se consideró como categórica. Se asignó un valor numérico a los sitios de acuerdo con su orientación (ver cuadro 2).

Cuadro 2. Orientación y su valor asignado.

Orientación	Valor asignado
Norte	1
Noroeste	2
Noreste	3
Oeste	4
Este	5
Suroeste	6
Sureste	7
Sur	8

Altitud

Se determinó en cada uno de los sitios, utilizando un altímetro Thommen classic serie TX. Este dato se registró en metros sobre el nivel del mar.

Textura del suelo

Se consideró como variable categórica. Se determinó directamente en campo mediante el tacto, extrayendo muestras a 50 cm de profundidad y auxiliándose del manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo de Siebe *et al.* (1996). Se asignó una categoría, representada por un número, para designar la clase textural (Honorato, 2000) de cada sitio, de acuerdo con la tabla presentada en el manual de Siebe *et al.* (1996) (ver cuadro 3).

Número de árboles en el sitio

La densidad de la vegetación o el número de árboles puede tener influencia en la humedad del suelo, ya que la vegetación actúa en la interceptación del agua pluvial y la radiación solar, pero a la vez es un medio de salida a través del proceso de transpiración (Fetter, 2001). Por lo anterior, al momento de delimitar los sitios, se contó el número de árboles dentro del área correspondiente.

Hojasca en el suelo

La materia orgánica lleva a cabo funciones importantes en el suelo. En el caso de un bosque,

Cuadro 3. Textura del suelo y su categoría asignada.

Tipo de textura	Categoría asignada
Franco arenoso	2
Franco arcillo limoso	5
Franco	5.6
Franco arcilloso	6
Arcillo arenoso	6.5
Arcilloso	7

la materia orgánica o humus, generalmente se forma a partir de la hojarasca que se desprende de los árboles, por lo que los suelos con mayor vegetación que tienen una mayor cobertura del suelo y mayor materia orgánica podrían tener menor erosión y mejor conservación de su humedad (Waring y Running, 1998).

Por lo anterior, la hojarasca en el suelo se consideró como una variable más. La medición fue hecha directamente en campo mediante visualización; se definió una escala de 1 a 10 para identificar la cantidad de hojarasca en el suelo. Se asignó el valor de 1 a los sitios sin hojarasca y un número progresivo de acuerdo con la presencia de la misma, correspondiendo el valor de 10 a los sitios totalmente cubiertos de hojarasca.

Horizontes "O" y "A"

Con la finalidad de conocer las evidencias de erosión en los sitios de estudio, se midieron, con una regla, al momento de extraer las muestras, los grosores de los dos primeros horizontes superficiales del suelo, el horizonte orgánico "O" y el primer horizonte mineral "A".

Variables dependientes

Siendo la humedad del suelo el elemento principal en estudio, se realizaron muestreos mensuales. En cada uno de los sitios seleccionados se extrajeron muestras de suelo de entre 250 y 300 gramos, a una profundidad de 50 cm, entre los meses de marzo a septiembre, para considerar tanto la temporada de secas como la de lluvias.

Determinación de la humedad del suelo en el laboratorio

Basándose en lo que menciona Fetter (2001), se determinó, en el laboratorio de mecánica de suelos, la humedad del suelo o el contenido de agua gravimétrica de las muestras extraídas en los diferentes sitios bajo el siguiente proceso:

- Se pesaron las muestras para determinar la masa húmeda. Posteriormente, se secaron en una estufa durante 18 horas, a una temperatura de 105 °C. Se pesaron nuevamente las muestras para obtener la masa seca. Se obtuvo la masa de agua mediante la diferencia de la masa húmeda y la masa seca. El contenido de agua gravimétrica se calculó mediante el cociente de la masa de agua entre la masa seca (ver cuadro 5). Finalmente, el volumen de agua se obtuvo dividiendo la masa del agua entre la densidad. Se aplicaron las siguientes ecuaciones:

$$W_A = W_H - W_S \quad (1)$$

$$A_G = 100 \frac{W_A}{W_S} \quad (2)$$

$$V_A = \frac{W_A}{\rho_A} \quad (3)$$

Donde:

W_A = masa del agua.

W_H = masa húmeda.

W_S = masa seca.

A_G = agua gravimétrica.

V_A = volumen del agua.

ρ_A = densidad del agua (1 g/cm³).

Determinación de la pérdida y el incremento de humedad

Se observó que la mayoría de los sitios muestreados perdieron humedad durante la temporada de secas; es decir, el agua gravimétrica determinada en junio fue inferior a la determinada en marzo (ver cuadro 5); la diferencia se consideró como pérdida de humedad:

$$P_H = A_G \text{ en marzo} - A_G \text{ en junio} \quad (4)$$

Donde:

P_H = pérdida de humedad.

A_G = agua gravimétrica o porcentaje de humedad.

La humedad se incrementó durante la temporada de lluvias; es decir, el agua gravimétrica determinada en septiembre fue superior a la determinada en junio (ver cuadro 5); la diferencia se consideró como incremento de humedad:

$$I_H = A_G \text{ en septiembre} - A_G \text{ en junio} \quad (5)$$

Donde:

I_H = incremento de humedad.

A_G = agua gravimétrica o porcentaje de humedad.

Balance de la humedad del suelo por tipo de vegetación

Utilizando los promedios de la pérdida y el incremento de humedad se realizó un balance, restando la pérdida al incremento de humedad. La diferencia dada en porcentaje se consideró como el equivalente al agua retenida en favor en el periodo de estudio:

$$\text{Balance de humedad} = \text{incremento de humedad} - \text{pérdida de humedad} \quad (6)$$

Este cálculo permitió conocer el tipo de vegetación con el que el suelo tuvo más humedad a favor durante el periodo de estudio, además de estimar las diferencias entre los cuatro estratos estudiados. Las diferencias, dadas en porcentaje, se convirtieron en volumen de agua mediante la ecuación (3).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis estadístico entre las variables independientes vegetación, pen-

diente, orientación, altitud, textura del suelo, número de árboles en el sitio, hojarasca en el suelo, horizonte "O" y horizonte "A", y las variables dependientes pérdida e incremento de humedad. El análisis se realizó con el software STATISTICA™; introduciendo los valores de las variables en una matriz, se obtuvo una matriz de correlaciones entre todas las variables, con su respectivo coeficiente de correlación (ver cuadro 7).

El coeficiente de correlación (r) muestra el grado de asociación o la correlación que existe entre dos variables (Box et al., 1999). Siempre será un número entre -1 y 1. Si es negativo, se trata de una correlación negativa, la cual interpreta que a mayores valores de una variable corresponden menores valores de otra; si es positivo, se trata de una correlación positiva, la cual interpreta que a mayores valores de una variable corresponden mayores valores de la otra.

El software STATISTICA™ considera como significativos los coeficientes de correlación con valores mayores a 0.4 y menores a -0.4.

Se realizó también un análisis de varianza para analizar la variación de los porcentajes de humedad entre las temporadas de secas y lluvias por cada tipo de vegetación, así como para analizar la diferencia de las pendientes y el número de árboles en los sitios muestreados.

El análisis de varianza (ANOVA) es la técnica usada para analizar la variación de grupos de datos, a fin de determinar si las medias de dos o más poblaciones son iguales o diferentes estadísticamente (Box et al., 1999). Los métodos de varianza emplean la distribución F , la cual tiene las siguientes propiedades: no es simétrica; está sesgada hacia la derecha; sus valores pueden ser cero o positivos, pero no negativos; hay una F distinta para cada par de grados de libertad del numerador y el denominador.

Resultados y discusión

En el cuadro 4 se presentan los valores obtenidos de las variables independientes. Los

Cuadro 4. Variables independientes y sus valores.

Núm.	Vegetación	Altitud (msnm)	Pendiente (grados)	Orientación	Textura	Núm. de árboles	Hojarasca esc. (1-10)	Horizonte "O" cm	Horizonte "A" cm
1	1	2 479	6	6	6	0	1	0	0
2	1	2 460	12	7	6	0	1	0	10
3	1	2 461	18	2	6.5	0	3	0	1
4	1	2 415	16	8	6	0	1	0	0
5	1	2 411	17	7	6	0	1	0	0
6	1	2 320	11	2	5.6	0	1	0	0
1	2	2 380	16	4	6.5	29	7	0	1
2	2	2 365	21	3	6	36	5	0	2
3	2	2 360	22	2	5	37	7	0	1
4	2	2 340	10	7	6	24	4	0	0.5
5	2	2 335	20	6	6.5	30	7	0	0.7
6	2	2 355	4	7	7	35	3	0	0
1	3	2 475	12.5	7	6	35	5	2	2
2	3	2 469	14	7	6	55	4	0	3
3	3	2 461	15	2	6	25	4	0	4
4	3	2 400	22	6	5	28	3	0	5
5	3	2 407	23	7	5	28	3	0	0
6	3	2 341	15	1	5	35	3	0	0
1	4	2 481	36.5	1	2	18	7	1	7
2	4	2 479	20	6	5	19	9	4	8
3	4	2 473	13.5	2	7	22	9	1	15
4	4	2 465	23	7	5	17	9	1	8
5	4	2 400	32	7	6	19	9	4	15
6	4	2 406	22	5	5	20	9	8	15

valores de la vegetación, orientación y textura del suelo corresponden a los presentados en los cuadros 1, 2 y 3, respectivamente.

El cuadro 5 muestra el porcentaje de humedad obtenido para cada uno de los sitios durante los meses del estudio. En el cuadro 6 se presentan los valores de la pérdida y el incremento de humedad. El cuadro 7 muestra la matriz de correlaciones.

Según Stephen y Burton (1980), el estudio de las características del suelo no estaría completo sin considerar las características topográficas de su localización, inclinación y aspecto. El suelo y la topografía están estrechamente relacionados. La topografía afecta la profundidad del suelo, el desarrollo del perfil y la textura, y la estructura de la superficie del suelo y el subsuelo.

Por lo anterior, en este estudio se consideraron otras variables distintas al tipo de

vegetación en las que se pueda observar alguna relación con la humedad del suelo.

Pendiente

El análisis estadístico muestra que existe una correlación significativa entre la pendiente y la vegetación ($r = 0.55$). Por otro lado, el análisis de varianza mostró que existen diferencias entre las medias de las pendientes (13.3° para sitios sin vegetación, 15.5° para sitios con eucaliptos, 16.9° para sitios con arbustos y 22.5° para sitios con encinos). Siendo los sitios de encinos los de mayor pendiente, al asignarles la mayor categoría de vegetación (categoría 4), resulta una correlación positiva y numéricamente significativa.

Se obtuvo una correlación negativa $r = -0.67$ entre la pendiente y la textura del suelo. Esto indica que a mayor pendiente menor textura.

Cuadro 5. Porcentaje de humedad obtenido para cada uno de los sitios, durante los meses del estudio.

Núm.	Vegetación	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
1	Nulo	11.4	10.9	9.7	10.5	12.8	13.2	11.5
2	Nulo	10.5	8.5	8.6	8.2	11.0	11.5	18.3
3	Nulo	8.1	5.7	7.6	5.1	14.2	16.0	12.2
4	Nulo	13.3	11.3	8.7	9.8	20.8	23.0	18.5
5	Nulo	18.0	15.7	14.1	12.5	23.7	25.9	17.7
6	Nulo	10.2	7.5	5.8	5.1	11.6	12.9	11.9
1	Eucaliptos	6.3	6.8	5.6	8.5	7.3	7.1	8.2
2	Eucaliptos	7.8	7.9	8.0	8.5	15.1	16.4	11.1
3	Eucaliptos	9.6	10.0	7.8	10.3	12.0	12.3	11.1
4	Eucaliptos	14.3	12.8	14.0	12.7	23.2	25.3	15.9
5	Eucaliptos	9.0	7.6	7.0	7.9	12.4	13.3	11.1
6	Eucaliptos	14.6	19.6	19.3	18.2	25.5	26.8	22.2
1	Arbustos	12.4	11.5	11.7	10.6	18.5	20.0	16.0
2	Arbustos	7.8	7.0	6.6	6.0	14.4	16.0	14.9
3	Arbustos	15.3	13.7	11.4	10.4	21.5	23.7	18.9
4	Arbustos	6.4	5.3	4.8	4.2	11.3	12.6	14.0
5	Arbustos	7.6	5.4	4.4	4.5	15.0	17.1	11.2
6	Arbustos	11.0	8.3	7.0	6.9	11.4	12.2	10.7
1	Encinos	9.0	6.5	6.6	4.8	7.7	8.3	11.9
2	Encinos	9.0	6.7	6.3	6.0	11.9	13.0	14.2
3	Encinos	10.8	10.9	8.5	8.5	16.8	18.4	17.2
4	Encinos	11.6	7.9	7.7	9.8	23.2	25.9	19.1
5	Encinos	7.4	7.9	9.2	9.1	14.2	15.1	15.5
6	Encinos	11.4	12.4	10.3	10.4	22.6	25.1	18.3

Cuadro 6. Pérdida de humedad durante la temporada de secas e incremento de la humedad durante la temporada de lluvias.

Núm.	Vegetación	Pérdida de humedad (puntos porcentuales)	Incremento de humedad (puntos porcentuales)	Núm.	Vegetación	Pérdida de humedad (puntos porcentuales)	Incremento de humedad (puntos porcentuales)
1	1	0.9	1.0	1	3	1.7	5.4
2	1	2.3	10.1	2	3	1.8	9.0
3	1	3.0	7.1	3	3	4.9	8.5
4	1	3.5	8.7	4	3	2.2	9.8
5	1	5.4	5.2	5	3	3.1	6.7
6	1	5.1	6.8	6	3	4.1	3.8
1	2	-2.2	-0.3	1	4	4.2	7.0
2	2	-0.6	2.7	2	4	2.9	8.1
3	2	-0.7	0.9	3	4	2.3	8.7
4	2	1.6	3.3	4	4	1.8	9.3
5	2	1.1	3.2	5	4	-1.7	6.4
6	2	-3.6	4.0	6	4	1.0	7.8

Cuadro 7. Matriz de correlaciones.

	Vegetación	Pendiente	Orientación de pendiente	Altitud	Textura	Árboles en el sitio	Hojarasca en el suelo	Horizonte "O"	Horizonte "A"	Pérdida de humedad	Incremento de humedad
Vegetación	1.00	0.55	-0.09	0.31	-0.42	0.46	0.77	0.59	0.70	-0.06	0.35
Pendiente		1.00	-0.18	0.12	-0.67	0.06	0.55	0.35	0.35	0.07	0.20
Orientación de pendiente			1.00	0.10	0.28	-0.05	-0.12	0.11	0.02	-0.23	0.17
Altitud				1.00	-0.18	-0.19	0.16	0.18	0.33	0.26	0.50
Textura					1.00	0.00	-0.19	-0.20	-0.09	-0.35	-0.18
Árboles en el sitio						1.00	0.33	-0.01	0.01	-0.42	-0.21
Hojarasca en el suelo							1.00	0.61	0.67	-0.35	0.04
Horizonte "O"								1.00	0.71	-0.14	0.23
Horizonte "A"									1.00	-0.21	0.48
Pérdida de humedad										1.00	0.50
Incremento de humedad											1.00

De acuerdo con el cuadro 3, mientras menor es el valor de la categoría asignada, el suelo tiene una textura más arenosa; esto podría deberse al efecto de la erosión, que modifica las propiedades físicas del suelo.

Otra correlación que se muestra como significativa con respecto a la pendiente es la hojarasca en el suelo, $r = 0.55$, ya que los sitios con encinos son los de mayor pendiente y el tipo de vegetación de mayor hojarasca en el suelo. Además, el nivel de hojarasca en el suelo se relaciona directamente con la vegetación ($r = 0.77$).

Altitud

Los sitios se ubicaron en el segundo piso bioclimático de la Cuenca La Esperanza, el cual corresponde al templado, tipo intermedio de los tres existentes, con altitudes entre 2 300 y 2 500 msnm. Como se observa en el cuadro 7, existe una correlación positiva entre la altitud y el incremento de humedad, $r = 0.50$.

Textura

Se obtuvo una correlación negativa $r = -0.42$ entre la textura y la vegetación. Esto es, a mayor categoría de vegetación, menor categoría textural del suelo.

Número de árboles en el sitio

Existe una correlación positiva, $r = 0.46$, entre el número de árboles en el sitio y la vegetación. Esta correlación resulta lógica y aceptable, tomando en cuenta que en el análisis se incluyen todos los tipos de vegetación, aun los de menor categoría, los sitios sin vegetación (categoría 1). La correlación resulta negativa ($r = -0.56$) cuando en el análisis estadístico se consideran sólo los sitios de eucaliptos, arbustos y encinos, con categorías respectivas 2, 3 y 4. Siendo los sitios de encinos los de mayor categoría, resultan ser también los que tienen menor cantidad de árboles, con una media de 19.2 árboles, contra 34.3 y 31.8 árboles en los sitios de arbustos y eucaliptos, respectivamente.

Hojarasca en el suelo

Se obtuvo una correlación positiva $r = 0.77$ entre la hojarasca en el suelo y la vegetación. Esto debido a que los sitios de encinos, clasificados como los de mayor categoría (categoría 4), son las áreas con mayor cobertura de hojarasca, con una media de 8.67.

Horizonte "O"

De acuerdo con Nebel y Wrigth (1999), una de las funciones del horizonte "O" es cubrir las demás capas inferiores del suelo. Este horizonte es ideal para el crecimiento de las plantas; se forma principalmente de la descomposición de la hojarasca y demás materia orgánica generada en el mismo bosque; se mantiene como la capa superior del suelo y es una de las partes más importantes en los ecosistemas naturales, ya que es donde se retiene agua y nutrientes para las plantas.

Existe una correlación significativa, $r = 0.59$, entre el grosor del horizonte "O" y el tipo de vegetación; cuando se realizaron las mediciones de campo, los sitios de encinos resultaron ser prácticamente los únicos en donde existe esta capa orgánica, con una media de 3.2 cm.

Se obtuvo una correlación positiva, $r = 0.61$, entre el horizonte "O" y la cantidad de hojarasca en el suelo. Los sitios de encinos son los de mayor categoría (4) y mayor cantidad de hojarasca en el suelo, con una media de 8.7. El horizonte "O" existe sólo en uno de los sitios de arbustos (2 cm); está ausente en sitios sin vegetación y en sitios con eucaliptos; sitios cuyas medias de hojarasca en el suelo son 1.3 y 5.5, respectivamente, a pesar de ser las áreas de eucaliptos los de mayor número de árboles.

Horizonte "A"

Como cita Chiras (1988), enseguida del horizonte "O" se encuentra el horizonte "A", cuyo grosor varía de acuerdo con el tipo de suelo, uso y ubicación. Este horizonte es generalmente rico en nutrientes orgánicos e inorgánicos; tiene

mucha importancia en los suelos agrícolas, ya que es el que soporta los cultivos.

A pesar de las características del horizonte "A", si no existe la primera capa, horizonte "O", se puede tratar de un suelo de menor calidad o en degradación, pues como mencionan Nebel y Wrigth (1999), la siembra de plantas en áreas que carecen de horizonte "O", o que hayan perdido esta capa, causa una disminución de hasta el 85 a 90% en la productividad.

El análisis estadístico mostró que existe una correlación positiva $r = 0.70$ entre el horizonte "A" y la vegetación; los sitios de encinos, de mayor categoría, tienen mayor grosor del horizonte "A", con una media de 11.3 cm contra 1.8, 0.9 y 2.3 cm en los sitios sin vegetación, de arbustos y encinos, respectivamente. Debido a que la hojarasca en el suelo tiene la función de cobertura, la cual contrarresta en gran medida la erosión del suelo, resulta una correlación positiva $r = 0.67$ entre el horizonte "A" y la hojarasca en el suelo. Finalmente, existe también una correlación significativa entre los horizontes "A" y "O", $r = 0.71$.

Variables dependientes

Humedad del suelo en las temporadas de secas y lluvias

Se obtuvo una correlación positiva, $r = 0.78$, entre la humedad del suelo en temporada de secas y la humedad del suelo en temporada de lluvias. De acuerdo con los porcentajes de humedad (cuadro 5), los sitios con mayor humedad en temporada de secas son también los de mayor humedad en temporada de lluvias. Se realizó un análisis sencillo para determinar cuál de las variables independientes podría influir.

Análisis intragrupal de la humedad del suelo

Humedad en los sitios sin vegetación

Entre los sitios de vegetación, los de mayor similitud son tres y seis, los cuales presentan los menores porcentajes promedio de hume-

dad durante el periodo de estudio (9.8 y 9.3%, respectivamente). Ambos coinciden en la orientación noroeste que los distingue de los demás sitios de su grupo; sin embargo, no existen diferencias relevantes en los valores de las variables independientes consideradas. El sitio número cinco fue el de mayor porcentaje promedio de humedad durante el periodo de estudio (18.2%), aunque dentro de las variables independientes medidas tampoco hay alguna que por su valor pueda marcar la diferencia.

Humedad en los sitios de eucaliptos

Se observa mayor similitud entre los sitios tres y cinco, aunque no coinciden de forma relevante en alguna de las variables independientes, salvo en la pendiente con 22 y 20 grados, respectivamente, y en la cantidad de hojarasca en el suelo, ambos con valor de siete. Los sitios con mayor y menor porcentaje promedio de humedad durante el estudio son el seis (20.9%) y el uno (7.1%). El sitio seis tiene una inclinación mínima de cuatro grados, además de ser el único sitio del grupo con textura arcillosa, que por su baja permeabilidad permite mayor retención de agua.

Humedad en los sitios de arbustos

El sitio con mayor porcentaje promedio de humedad es el tres (16.4%); este sitio tiene una orientación noroeste, el menor número de árboles (25) y es uno de los que tienen mayor grosor del horizonte "A" entre los de su grupo. El sitio número cuatro tuvo menor humedad (8.4%). Los sitios dos y cinco tienen orientación sureste y textura de suelo similar (franco arcilloso y franco arcillo limoso), con porcentajes promedio de humedad respectivos de 10.4 y 9.3%.

Humedad en los sitios de encinos

El sitio con menor humedad promedio es el uno (7.8%), esto puede deberse a que es el sitio de mayor pendiente (36.5 grados), el único con

orientación norte, pero sobre todo es el sitio con una textura franco arenoso y por lo tanto con mayor permeabilidad. Los sitios cuatro y seis tienen mayor similitud, con humedad promedio de 15.0 y 15.8%, respectivamente, orientación sureste y este, y ambos con textura del suelo franco arcilloso limoso.

Como resultado del análisis intragrupal de la humedad del suelo, se puede observar que la pendiente y textura del suelo son algunas de las variables de mayor influencia, pues como citan Harold y Hocker (1984), el flujo de agua es más rápido sobre las pendientes pronunciadas que sobre las suaves de las elevaciones más altas, el agua perdida corre hacia los sitios que se encuentran pendiente abajo, las que tienen menores pendientes o son relativamente planas, lo cual aumenta la cantidad de agua recibida por estas localizaciones. Los mismos autores mencionan que si la topografía es suave, se puede evitar el escurrimiento debido a que el agua se acumula y llena los poros no capilares del suelo. Si esta condición se produce frecuentemente, determina que el suelo se encuentra pobremente drenado y se desarrolle normalmente una zona pantanosa.

Harold y Hocker (1984), y Stephen y Burton (1980) mencionan que la humedad del suelo se ve muy afectada por la localización fisiográfica. Las pendientes orientadas al sur en el hemisferio norte, denominadas aspectos sureños, experimentan temperaturas mayores que los aspectos norteños y los extremos. Por lo tanto, la evaporación potencial es mayor sobre las pendientes orientadas al sur, ya que la cantidad de insolación recibida sobre una localización gobierna a los otros factores relacionados, aire y temperatura del suelo, precipitación y humedad del suelo. Aunque en este estudio se consideró la orientación como variable, no se encontró alguna correlación importante entre ésta y la humedad del suelo.

Análisis intergrupala de la humedad del suelo

En la figura 1 se presenta el comportamiento de la humedad del suelo para cada tipo de

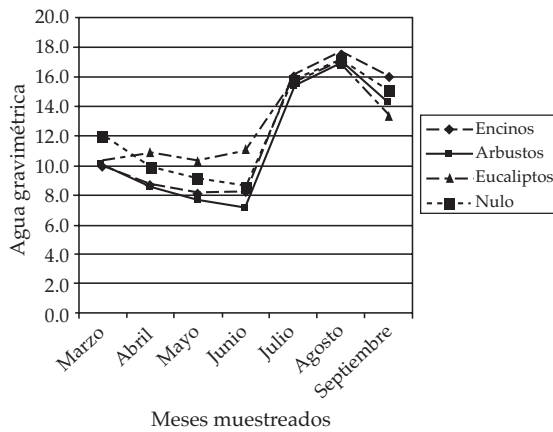


Figura 1. Comportamiento de la humedad del suelo de los cuatro tipos de vegetación.

vegetación durante los siete meses de estudio. Los valores representados en la gráfica corresponden a los porcentajes promedio de humedad, calculados a partir de los porcentajes de humedad obtenidos para cada uno de los sitios (cuadro 5). Como se puede observar en la figura 1, durante la temporada de secas, los sitios de encinos y arbustos mantuvieron menores porcentajes de humedad (con medias respectivas de 8.7% y 8.3%); a los sitios sin vegetación se les observa en la parte intermedia (con una media de 9.9%) y los sitios de eucaliptos tuvieron mayor humedad (con una media de 10.6%).

Durante la temporada de lluvias, los sitios de encinos tuvieron mayor porcentaje de humedad, con una media de 16.6%, caso contrario de la temporada de secas, cuando estos sitios tuvieron menor humedad por debajo de los sitios sin vegetación y eucaliptos.

Después de usar varios métodos para medir la infiltración y trabajar con diferentes tipos de rangos, Branson *et al.* (1981) concluyen que la cantidad y el tipo de plantas existentes en el suelo tienen mayor correlación significativa con la infiltración del agua que otras variables que han sido medidas. En este estudio, la

mayoría de las correlaciones significativas se dan entre variables que dependen directamente de la vegetación, como el tipo de vegetación, el número de árboles en el sitio, la cantidad de hojarasca en el suelo y el grosor de los horizontes "O" y "A"; y éstas, a su vez, influyen en la humedad del suelo.

Pérdida de humedad

En este estudio, el término pérdida de humedad se refiere a la disminución de la humedad del suelo, en porcentaje, que ocurrió durante la temporada de secas, obtenida con la ecuación (4). De acuerdo con los resultados obtenidos (cuadro 6), los sitios sin vegetación perdieron mayor humedad, seguidos por los sitios de arbustos, de encinos y de eucaliptos (con medias respectivas de 3.4, 3.0, 1.8 y -0.8%). En el caso particular de los sitios de eucaliptos, éstos mantuvieron aproximadamente el mismo porcentaje de humedad hasta el mes de mayo, y en el mes de junio tuvieron un ligero incremento, por ello el porcentaje de pérdida de humedad resulta con un signo negativo.

Existe una correlación negativa entre la pérdida de humedad, y la textura del suelo y la hojarasca, $r = -0.35$ en ambos casos. Si bien el valor no es significativo, la tendencia puede indicar que mientras que el suelo sea más arcilloso, con características menos permeables, y mientras exista más hojarasca en el suelo, la pérdida de humedad tiende a ser menor. Se obtuvo una correlación significativa entre la pérdida de humedad y el número de árboles en el sitio, lo cual indica que a mayor número de árboles, menor pérdida de humedad.

Harold y Hocker (1984) mencionan que los árboles son capaces de tener un crecimiento aceptable sobre la mayor parte de los suelos debido a que su naturaleza perenne les permite extender sus raíces dentro de todos los niveles que componen el suelo para abastecerse de agua y minerales esenciales para su crecimiento. De esta forma, la vegetación en una cuenca no sólo captura el agua, también

es un medio de salida a través del proceso de transpiración, en el cual la densidad de vegetación juega un papel importante.

Según Linsley *et al.* (1988), el tipo de planta es un factor importante en el control de la transpiración cuando la humedad del suelo es limitada. Cuando se secan las capas superiores del suelo, las especies con raíces poco profundas no pueden obtener el agua y se marchitan, mientras que las especies con raíces profundas continúan transpirando hasta que la humedad del suelo se reduce a profundidades mayores hasta el punto de marchitez. Por lo tanto, la vegetación de raíces profundas transpira más agua durante periodos secos sostenidos que las plantas de especies con raíces poco profundas. La transpiración por unidad de área también depende de la densidad de la cobertura vegetal. Con espacios amplios entre plantas (baja densidad de cobertura), no toda la radiación solar llega a aquellas y parte de ella es absorbida por la superficie del suelo.

Lo anterior podría explicar los porcentajes inferiores de humedad del suelo en los sitios de encinos y arbustos durante la temporada de secas, con respecto a los sitios de eucaliptos y sin vegetación, pues aunque no se haya medido el índice de área foliar, es preciso decir que los encinos visiblemente tienen mayor índice que los arbustos y eucaliptos. Además, en los primeros cincuenta centímetros de suelo de donde se extrajeron las muestras, los sitios de encinos presentaron mayor densidad de raíces, de donde pueden extraer agua para la transpiración durante esta temporada, provocando que la humedad en esta zona sea menor con respecto a los demás, donde la presencia de raíces no es tan abundante.

Incremento de humedad

El incremento de humedad se refiere al aumento de humedad del suelo, en porcentaje, que ocurrió durante la época de lluvias, obtenido con la ecuación (5). En esta época, todos los sitios muestreados ganaron humedad.

Se observa que no existe una correlación significativa con la vegetación, aunque se tiene una tendencia positiva $r = 0.35$, lo cual puede indicar que a mayor categoría de la vegetación mayor incremento de humedad.

Se obtuvo una correlación significativa entre el incremento de humedad y la altitud $r = 0.50$, puesto que fueron los sitios de vegetación con mayor categoría (encinos) los que se ubicaron en zonas de mayor altitud. Existen también correlaciones significativas entre el incremento de humedad y el grosor del horizonte "A", y entre el incremento de humedad y la pérdida de humedad ($r = 0.48$ y $r = 0.50$), lo cual puede indicar que a mayor grosor del horizonte "A", mayor incremento de humedad y que el suelo que pierde mayor humedad en temporada de secas es el que tiene mayor incremento de humedad en la temporada de lluvias.

Los sitios de encinos tuvieron mayor incremento de humedad, seguidos por los sitios de arbustos, sin vegetación y de eucaliptos, con medias respectivas de 7.9 y 7.2, 6.5 y 2.3%. Esto puede deberse al índice de área foliar, ya que los sitios de encinos, al tener copas de mayor espesor, además de una mejor cobertura del suelo por la hojarasca y la presencia del horizonte orgánico, permiten que el agua fluya en estas áreas de una manera más lenta.

En una publicación realizada por la Semarnat (2003), se cita que los múltiples estratos de vegetación interceptan el agua de lluvia de manera muy eficiente y la canalizan lentamente por hojas, ramas y troncos hacia el suelo, de manera que regulan el escurrimiento pluvial y evitan que el suelo se sature. A su vez, la densa hojarasca y suelos con un alto porcentaje de porosidad y materia orgánica actúan como esponjas para el agua de lluvia, permitiendo su lenta infiltración hacia el subsuelo.

Debido a la estructura de la vegetación, las zonas de encinos pueden interceptar mayor cantidad de agua, lo cual también es benéfico, pues según Fetter (2001), gracias a la evaporación del agua interceptada se reduce

la transpiración neta llevada a cabo por las plantas. Además, el agua que es interceptada por la vegetación puede ser absorbida por ella misma o bien ser retornada a la atmósfera, a lo que se le conoce como pérdida por interceptación.

Análisis de la humedad del suelo entre la temporada de secas y la temporada de lluvias

El análisis de varianza de los porcentajes de humedad de los cuatro tipos de vegetación entre las temporadas de secas y lluvias mostró que existe una diferencia significativa entre estos porcentajes, lo cual indica que la humedad del suelo se incrementó significativamente entre una temporada y otra. Esto confirma que los sitios de encinos y arbustos crean las mejores condiciones para la retención de agua en el suelo durante la temporada de lluvias. Lo anterior no sucedió en los sitios de eucaliptos debido a que aunque existió un incremento de humedad, no es estadísticamente significativo, ya que fueron los sitios de mayor humedad, y menor pérdida durante la temporada de secas, pero los de menor humedad y menor incremento durante la temporada de lluvias.

Balance de humedad del suelo

Se obtuvo un balance positivo en todos los casos, lo cual indica que el suelo pudo recuperar el agua perdida durante la temporada de secas. Si bien los cuatro tipos de vegetación tuvieron un balance positivo, los sitios de encinos (media 6.2%) superaron los sitios de arbustos (media 4.2%), y los de eucaliptos y sin vegetación prácticamente en un 100% (medias 3.0 y 3.1%, respectivamente), aun cuando los sitios de encinos tuvieron menor porcentaje de humedad en la temporada de secas.

Conclusiones

- De las variables independientes estudiadas, el tipo de vegetación es la que tiene una mayor incidencia, que regula la

cantidad de agua en el suelo tanto en la temporada de secas como en la temporada de lluvias.

- La pendiente y textura del suelo son factores determinantes, que afectan la humedad del suelo, independientemente del tipo de vegetación existente en la zona.
- Las zonas de encinos tienen menor cantidad de árboles, con una media de 19.2 árboles contra 34.3 y 32.8 árboles en los sitios de arbustos y eucaliptos, respectivamente.
- A pesar de la diferencia en densidad de vegetación que existe, los sitios de encinos son los de mayor cantidad de hojarasca, con una media de 8.67, de donde se deriva un mayor grosor en los horizontes "O" y "A", con valores medios de 3.2 y 11.3 cm, respectivamente.
- Durante la temporada de secas, la humedad fue menor en los sitios con encinos (8.7%) y arbustos (8.3%), y mayor en los sitios con eucaliptos (10.6%) y sin vegetación (9.9%). Sin embargo, la pérdida de humedad en esta temporada fue mayor en los sitios sin vegetación (3.4%) y menor en los sitios con eucaliptos (-0.8%).
- Durante la temporada de lluvias, el porcentaje de humedad fue mayor para los sitios con encinos (16.6%) y sin vegetación (15.9%), y menor para los sitios con eucaliptos (15.4%). El incremento de humedad fue mayor para los sitios con encinos (7.9%) y arbustos (7.2%), y menor para los sitios con eucaliptos (2.3%).
- La cantidad de hojarasca en el suelo y el grosor de los horizontes "O" y "A", que dependen directamente del tipo de vegetación, favorecen al suelo con una menor pérdida de humedad en la temporada de secas y una mayor retención de humedad en la temporada de lluvias.
- El balance de humedad del suelo en la temporada de estudio indica que los sitios con encinos retienen más agua.
- Los sitios con eucaliptos mostraron menor variación; al realizar el análisis de varianza,

fueron los únicos que no presentaron variación significativa de humedad entre las temporadas de secas y lluvias.

- Los cambios en el tipo de vegetación o la modificación de la cobertura vegetal en una cuenca pueden cambiar el comportamiento hidrológico; estos cambios pueden beneficiar o distorsionar, dependiendo de las circunstancias. Por lo anterior, se deben considerar las especies y sus características fisiológicas antes de ser introducidas en zonas que se desean reforestar.

Recibido: 10/08/09
Aprobado: 18/05/10

Referencias

- BOX, G.E., HUNTER, W.G. y HUNTER, S. *Estadística para investigadores, "Introducción al diseño de experimentos, análisis de datos y construcción de modelos"*. Primera reimpresión. México, D.F.; Reverté Ediciones, S.A. de C.V., 1999, pp. 123, 656, 660.
- BRANSON, F.A., GIFFORD, G.F., RENARD, K.G. and HADLEY, R.F. *Rangeland Hydrology*. Second Edition. Dubuque, USA: Kendall/Hunt Publishing Company, 1981, pp. 37-41, 47-92.
- CCG-AC. *Cuerpos de conservación. Programa de Desarrollo Sustentable de la Sierra de Santa Rosa*. Guanajuato, México: Cuerpos de Gobernación de Guanajuato, A.C., 2003, 90 pp.
- CHIRAS, D.D. *Environmental Science, "A Framework for Decision Making"*. Second Edition. United States of America, Benjamin Cummings, 1988, pp. 162-163.
- FETTER, C.W. *Applied hydrogeology*. Four edition. Upper Saddle River, USA: Prentice Hall, 2001, pp. 24-40, 219-223, 464-467.
- HAROLD, W. y HOCKER, JR. *Introducción a la Biología Forestal*. Primera edición en español. México, D.F.: A.G.T. Editor, S.A., 1984, pp. 200-201, 227-242, 275-279.
- HONORATO, P.R. *Manual de Edafología*. Cuarta edición. México, D.F.: Editorial Alfaomega, 2000, pp. 75-105.
- IEEG. *Programa de manejo "Reserva de conservación, Cuenca La Esperanza"*. Guanajuato, México: Instituto Estatal de Ecología de Guanajuato, 1998.
- LINSLEY, R.K., KOHLER, M.A. y PAULHUS, J.L.H. *Hidrología para ingenieros*. Segunda edición. México, D.F.: Editorial McGraw-Hill, 1988, pp. 124-161.
- NEBEL, B.J. y WRIGTH, R.T. *Ciencias ambientales, "Ecología y desarrollo sostenible"*. Sexta edición. México, D.F.: Editorial Prentice Hall Hispanoamericana, 1999, pp. 211-230.
- SEMARNAT. *Hombre naturaleza. Cruzada por los bosques y el agua. Saber para proteger. Introducción a los servicios ambientales*. México, D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2003 pp. 5-16.
- SIEBE, C., JAHN, R. y STAHR, K. *Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo*. Publicación especial. México, D.F.: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C., 1996, pp. 4-57.
- STATISTICA™. *Data Analysis Software*. StatSoft, Inc. 2300 East 14th Street, Tulsa OK 74104.
- STEPHEN, H.S. y BURTON, V.B. *Ecología forestal*. Tercera edición. México, D.F.: AGT Editor, 1980, pp. 107-135, 191-209, 251-273.
- WARING, R.H. and RUNNING, S.W. *Forest Ecosystems "Analysis at Multiple Scales"*. Second Edition. San Diego, USA: Academic Press, 1998, pp. 19-57.

Abstract

MARTÍNEZ-GONZÁLEZ, F., SOSA-PÉREZ, F. & ORTIZ-MEDEL, J. Behavior of soil moisture with different plant covers in the La Esperanza watershed. Water Technology and Sciences, formerly Hydraulic engineering in Mexico (in Spanish). Vol. I, No. 4, October-December, 2010, pp. 89-103.

This paper presents a study in the La Esperanza watershed, in the municipality of Guanajuato, Mexico, to determine the behavior of soil moisture with different plant covers. Random sampling was performed considering four canopies depending on vegetation, with six replicas each: sites with oak trees (*Quercus* sp); with shrubs like willow ragwort (*Senecio* sp) and "cat's claw" (*Mimosa* sp); with eucalyptus (*Eucalyptus* sp); and without vegetation. Soil samples were collected from March to September to determine moisture and analyze the differences between each site and each canopy, correlating moisture with variables such as altitude, slope, orientation, soil texture, number of trees on the site, leaves on soil and litter thickness of soil horizons "O" and "A". The study showed that during the dry season, humidity was lower for sites with shrubs (8.3%) and oaks (8.7%) and greater for sites with eucalyptus (10.6%) and with no vegetation (9.9%); moisture loss was greater for sites with no vegetation (3.4%) and lower for sites with eucalyptus (-0.8%). During the rainy season, humidity was higher for sites with live oaks (16.6%) and lower for sites with eucalyptus trees (15.4%); sites with live oaks (7.9%) and shrubs (7.2%) had increased humidity. A review was performed with the loss and increase of humidity; sites with oaks (6.2%) and shrubs (4.2%) had greater humidity. The percentages of moisture in places with oaks (7.9%), shrubs (7.2%), and with no vegetation (6.1%) had significant differences between the dry and rainy seasons, which did not occur at sites with eucalyptus, (4.8%) where differences were minimal.

Keywords: *vegetal layer, moisture percentage, moisture loss, moisture increase.*

Dirección institucional de los autores

Dr. Francisco Martínez-González

Director de la División de Ingenierías
Universidad de Guanajuato
Av. Juárez 77, colonia Centro
36000 Guanajuato, Guanajuato, México
teléfono: +52 (473) 1020 100
fmarti@quijote.ugto.mx

M.C. Fermín Sosa-Pérez

División de Ingenierías
Universidad de Guanajuato
Av. Juárez 77, colonia Centro
36000 Guanajuato, Guanajuato, México
sosa292@yahoo.com.mx

M.I. Josefina Ortiz-Medel

División de Ingenierías
Universidad de Guanajuato
Av. Juárez 77, colonia Centro
36000 Guanajuato, Guanajuato, México
jomedel@quijote.ugto.mx