



RIESGO DE OCURRENCIA DE DESLIZAMIENTOS EN LAS FORMACIONES EL CARMEN Y EL CHINO-EL CAÑO DE LA CORDILLERA DE LA COSTA CENTRAL, VENEZUELA

María Corina Pineda¹, ✉ Francisco Javier Fonseca², Ildelfonso Pla², Jesús Viloria¹

¹Facultad de Agronomía, Instituto de Edafología, Universidad Central de Venezuela, Maracay, Estado Aragua, Venezuela

²Universitat de Lleida, Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl, Lleida, España

✉: pinedac@agr.ucv.ve

Palabras claves:

Movimientos en masa
Modelos de base física
Montañas
Frecuencia acumulada
Precipitación

RESUMEN

Los deslizamientos de tierra en zonas montañosas resultan de la compleja interacción entre diferentes factores. En este estudio se determinó la relación entre el clima y propiedades físicas de suelo como causa de deslizamientos, en áreas con diferente geología y grado de susceptibilidad a deslizamientos. Se utilizó el modelo SOMORE (balance diario de agua en el suelo) para simular el régimen de humedad del suelo a lo largo de 42 años de registros de precipitación. Se calculó la frecuencia de ocurrencia de dos diferentes niveles de humedad del suelo: primero, humedad del suelo mayor a capacidad de campo y, segundo, humedad del suelo mayor al contenido de agua a saturación, para determinar la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos. El mayor riesgo de deslizamientos de tierra corresponde al suelo de áreas altamente susceptibles, sobre metalavas máficas. Este suelo es menos profundo, con menor contenido de agua a saturación y menor conductividad hidráulica en el horizonte C que los otros suelos estudiados. Los meses con mayor riesgo de deslizamientos de tierra son Junio, Julio y Agosto.

RISK OF LANDSLIDES IN METAVOLCANIC ROCKS IN MOUNTAINS OF NORTH-CENTRAL VENEZUELA

Keywords:

Mass movements
Physically based models
Mountains
Often accumulated frequency
Rainfall

SUELOS ECUATORIALES

42 (2): 121-128

ISSN 0562-5351

ABSTRACT

Landslides in mountainous areas result from the complex interaction of different factors. In this study we investigated the relationship between climate and soil physical properties as cause of landslides in areas with different geology and susceptibility degree to landslides. The SOMORE model (soil water balance in daily time steps) was used to simulate the soil moisture regime over 42 years of rainfall records. The frequencies of occurrence of two levels of soil moisture were calculated: first, soil moisture greater than field capacity and, second, soil moisture greater than saturated water content, to determine the probability of occurrence of landslides. The greatest risk of landslides corresponds to the soil from highly susceptible areas, on mafic metalavas. This soil is shallower, with lower saturated water content and lower hydraulic conductivity at the C horizon than the other studied soils. The months with the highest risk of landslides are June, July and August.

Recibido: Julio 15

Revisado: Octubre 15

Aceptado: Noviembre 15

INTRODUCCIÓN

El término erosión en masa incluye todos los procesos de erosión en los cuales la gravedad es la fuerza primaria que actúa para desprender y transportar los materiales sueltos y el suelo, con o sin ayuda del agua. Estos procesos por lo general afectan a suelos con una gran resistencia a la erosión superficial, por poseer propiedades hidráulicas y estructurales estables, capaces de permitir la infiltración del agua; pero con capas subsuperficiales con restricciones de drenaje (Pla 1992). Por ello, la ocurrencia de deslizamientos se puede relacionar directamente con la evaluación de procesos hidrológicos y estos con la evaluación del riesgo. En este caso, el riesgo se evalúa como un riesgo específico, en el cual se establece la probabilidad de ocurrencia de un evento capaz de desencadenar consecuencias ambientales negativas en un sitio particular y durante un tiempo determinado, sin establecer el grado de pérdidas (Ayala *et al.* 2003, ONU 2004).

Debido a la complejidad de la dinámica del agua en el suelo, su estudio racional, objetivo y cuantitativo solo es posible por medio de modelos basados en principios físicos. Sin embargo, la mayoría de los modelos físicos disponibles actualmente, no incluyen información sobre los mecanismos de activación (Carrara *et al.* 2008), y son aplicables solo a determinadas condiciones hidrológicas (Casadei 2003). Por lo que es preferible el uso de modelos sencillos que intenten explicar los mecanismos de ocurrencia de los movimientos en masa, tomando en cuenta criterios de base física y el tiempo, tales como el modelo SOMORE (Pla 1997).

El modelo SOMORE se basa en la descripción de los procesos hidrológicos más importantes del suelo, influenciados por el uso y manejo de la tierra y el clima, para generar predicciones de balance de agua y régimen de humedad del suelo (Fonseca 2006). Este modelo a pesar de su sencillez, muestra la posibilidad, conjuntamente con los periodos de retorno de eventos meteorológicos, de predecir bajo que condiciones se puede presentar el riesgo potencial de un movimiento en masa, con base en fundamentos físicos e hidrológicos (Pla 1995, Nacci 2001, Nacci *et al.* 2002, Abreu 2005, Fonseca 2006, Dalurzo 2010). El mismo ha sido utilizado y validado por varios autores en diferentes condiciones meteorológicas, simulando el régimen de humedad del suelo, el riesgo de degradación de los suelos por erosión (Nacci 2001, Abreu 2005, Nacci *et al.* 2002, Fonseca 2006, Dalurzo 2010) y la descripción cuantitativa de los procesos (Pla *et al.* 2007, Nacci 2010).

La investigación presentada acá evalúa el riesgo de ocurrencia de deslizamientos, en un área piloto

localizada en la Cordillera de la Costa Central, a través de relaciones entre la precipitación (factor activador) y suelos (factores condicionantes) localizados en áreas previamente calificadas como altamente ó ligeramente susceptibles a deslizamientos, pertenecientes a dos formaciones geológicas distintas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio tiene una extensión de 6760 ha, con altitudes que van desde los 334m hasta 1405 m sobre el nivel del mar, en la Cordillera de la Costa central de Venezuela. A lo largo de la zona aparecen las formaciones geológicas El Chino-El Caño y El Carmen (Urbani y Rodríguez 2003). El Chino-El Caño se compone de basaltos y rocas metavolcánicas asociadas a rocas sedimentarias, y El Carmen incluye metalavas máficas intercaladas con rocas metasedimentarias y otras rocas metavolcánicas (Figura 1) (Urbani y Rodríguez 2003).

En este sector se elaboró un mapa de susceptibilidad a los deslizamientos (Pineda *et al.* 2011a). La Figura 2a muestra la variabilidad interanual de la precipitación para un periodo de 42 años (1958-2000). La precipitación media es de 1413 mm, la precipitación mínima anual fue de 829 mm (2000) y la máxima anual fue de 1918 mm (1981). En la Figura 2b, se observa la variabilidad de la precipitación mensual a lo largo del año, presentando mayores variación en los meses de mayo a octubre.

Basados en el mapa de susceptibilidad se seleccionaron dos áreas de muestreo en cada una de las formaciones geológicas, una altamente susceptible y otra ligeramente susceptible a los deslizamientos. En cada una de éstas, se seleccionaron dos laderas. En cada ladera se tomaron 8 puntos o perfiles de suelos, lo cual generó 32 puntos de muestreo. De estos se seleccionaron cuatro perfiles (Cuadro 1) de suelos como representativos de las siguientes combinaciones de substrato geológico y susceptibilidad a los deslizamientos: formación El Chino-El Caño ligeramente susceptible (FCHLS) y altamente susceptible (FCHAS) a deslizamientos y formación El Carmen ligeramente susceptible (FCALS) y altamente susceptible (FCAAS) a deslizamientos.

Para la caracterización de los suelos y la evaluación del régimen de humedad se determinaron las propiedades hidráulicas necesarias para la implementación del modelo SOMORE. Se determinó: la conductividad hidráulica a saturación (K_s , cm/h), el contenido de humedad a -33 kPa (muestras no alteradas) el cual se usó como una aproximación a capacidad de campo (CC), el contenido de humedad a saturación (SAT) y el contenido de humedad a -1500 kPa (muestras disgregadas) como una aproximación

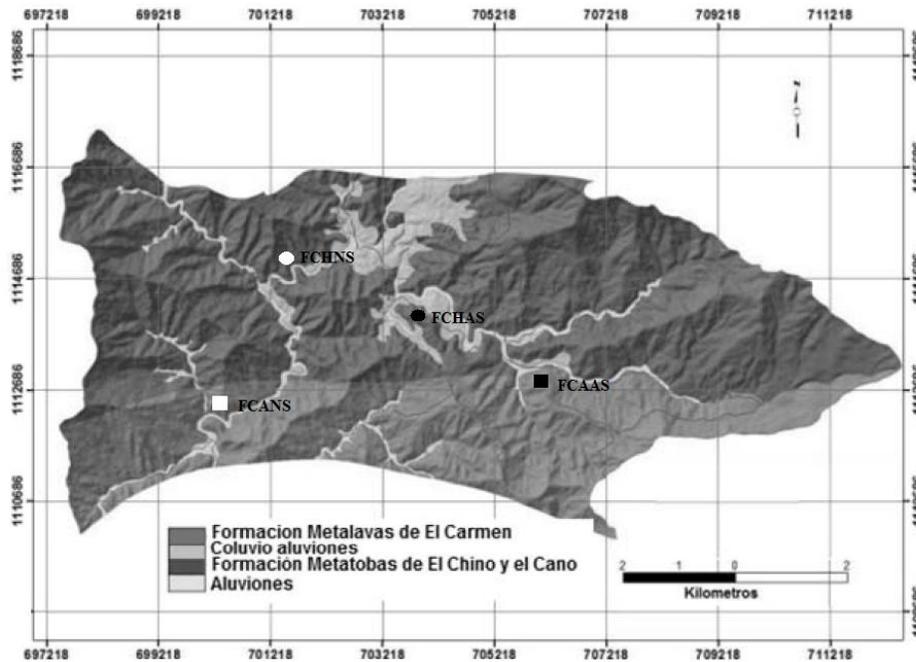


Figura 1. Mapa geológico del área de estudio
 FCHLS= Metatobas de El Chino-El Caño calificadas como ligeramente susceptibles, FCHAS= Metatobas de El Chino-El Caño calificadas como altamente susceptibles, FCALS= Metalavas de El Carmen, calificadas como ligeramente susceptibles, FCAAS= Metalavas de El Carmen, calificadas como altamente susceptibles

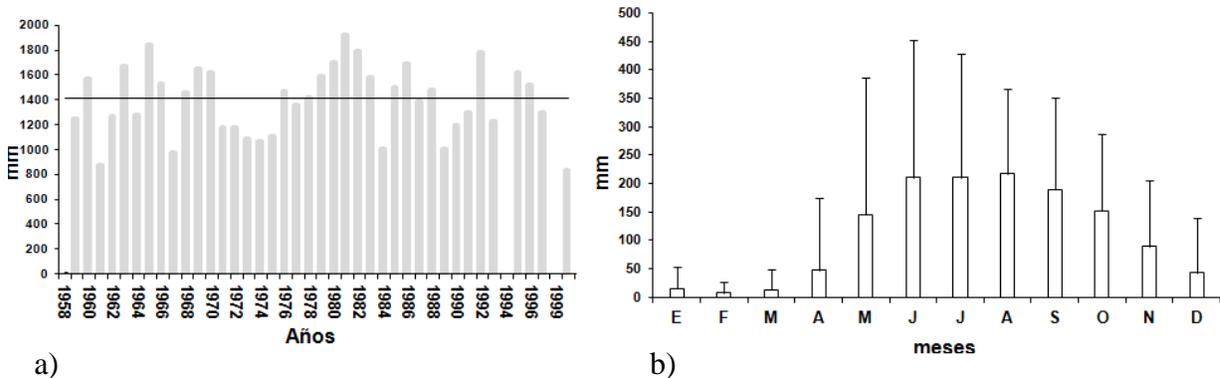


Figura 2. a) Precipitación anual de la estación Tiara desde 1958 hasta 2000. b) Variación de las precipitaciones medias mensuales registradas en la Estación Tiara desde 1958 hasta el 2000.

del punto de marchitez permanente (PMP) y la conductividad hidráulica del estrato rocoso (horizontes C), debido a que muchas especies vegetales pueden desarrollar raíces dentro de la roca fracturada y parcialmente meteorizada (Jones y Graham 1993). Como infiltración se consideró la media armónica de los valores de conductividad hidráulica a saturación de cada uno de los horizontes (Porta *et al.* 1999). Adicionalmente se determinó la distribución de tamaño de partículas por el método de la pipeta y la densidad aparente del suelo en muestras cilíndricas no disturbadas de 7,5 cm de diámetro y 7,5 cm de altura (Da, Mg/m³) (Pla 1977).

Régimen hídrico del suelo y Probabilidad de ocurrencia de los eventos HTS (Humedad Total del Suelo) > SAT y HTS > CC.

Para establecer las variaciones en los regímenes de humedad del suelo asociados a la ocurrencia de deslizamientos en cada uno de los suelos seleccionados, se utilizó el modelo SOMORE (Pla 1997, Pla *et al.* 2007). La aplicación del modelo se realizó tomando en cuenta 42 años de registros de precipitación de la estación Tiara y evapotranspiración potencial calculada mediante el método de Penman-Monteith (Allen *et al.* 1998), con valores de

temperatura, radiación, humedad relativa y velocidad del viento de la estación Camatagua. Adicionalmente, se integraron parámetros referentes a la cobertura vegetal predominante (herbazal arbolado).

Los resultados obtenidos consisten en balances hídricos diarios del perfil de suelo, incluyendo la humedad total del suelo (HTS). Se consideraron como valores críticos, aquellos que alcanzan un contenido de humedad de suelo mayor o igual a saturación (SAT) y los valores de capacidad de campo (CC, -33 kPa). Para estimar la probabilidad de ocurrencia de los eventos HTS>SAT y HTS>CC, se realizó un análisis de frecuencia relativa acumulada (frecuencia acumulada dividida por la frecuencia total). Este valor corresponde a la probabilidad de ocurrencia de los eventos referidos. En sentido estricto, la humedad total del suelo (HTS) nunca podría ser mayor a la humedad de saturación (SAT) pero esta condición

refleja que el perfil de suelo está saturado, condición que favorece la ocurrencia de deslizamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

En general, los suelos en las áreas altamente susceptibles son poco profundos, presentan poco espesor del horizonte A y ausencia del horizonte B: pero son más permeables (mayor Ks e infiltración) que los suelos de áreas ligeramente susceptibles, sobre el mismo tipo de substrato geológico (Cuadro 1). La mayor infiltración y distribución del agua dentro del perfil de suelo puede favorecer la ocurrencia de deslizamientos (Pérez 2008); aunque los valores de Ks deben ser interpretados con cuidado, dado que su variabilidad es frecuentemente alta (Kutilek y Nielsen 1994, Dalurzo 2010). Los suelos desarrollados sobre ambas formaciones mostraron diferencias marcadas en la conductividad hidráulica del horizonte C.

Cuadro 1. Perfiles modales seleccionados del total de perfiles muestreados, utilizados en el modelo SOMORE.

Formación	Susceptibilidad	Horizonte	Profundidad (mm)	INF (mm/h)	Ks	Da (Mg m ³)	PMP	CC mm	SAT
FCH	LS	A	0-130	203,9	204	1,3	23,0	42,5	66,4
		B	130-260	285,4	285	1,3	25,2	40,3	63,7
		C			252	1,4			
	AS	A	0-110	523,0	523	1,3	20,6	25,4	70,9
		C				252	1,4		
FCA	LS	A	0-130	124,2	124	1,4	23,8	36,5	64,2
		B	130-250	21,9	22	1,5	26,5	39,4	52,1
		C				8	1,6		
	AS	A	0-120	145,4	145	1,4	21,7	37,7	57,2
		C				8	1,6		

FCHLS= Metatobas de El Chino-El Caño calificadas como ligeramente susceptibles, FCHAS= Metatobas de El Chino-El Caño calificadas como altamente susceptibles, FCALS= Metalavas de El Carmen, calificadas como ligeramente susceptibles, FCAAS= Metalavas de El Carmen, calificadas como altamente susceptibles.

Régimen de humedad de los suelos

Al evaluar la humedad crítica en la condición (HTS>CC) se encontró un comportamiento similar en los cuatro suelos seleccionados (Figura 3). Las áreas calificadas como altamente susceptibles de ambas

formaciones geológicas, presentaron los valores más altos de frecuencia de este evento debido a las características del suelo (menos profundos). Estos suelos al localizarse en áreas altamente susceptibles son más proclives a alcanzar esta condición, por tanto más propensos a la ocurrencia de deslizamientos.

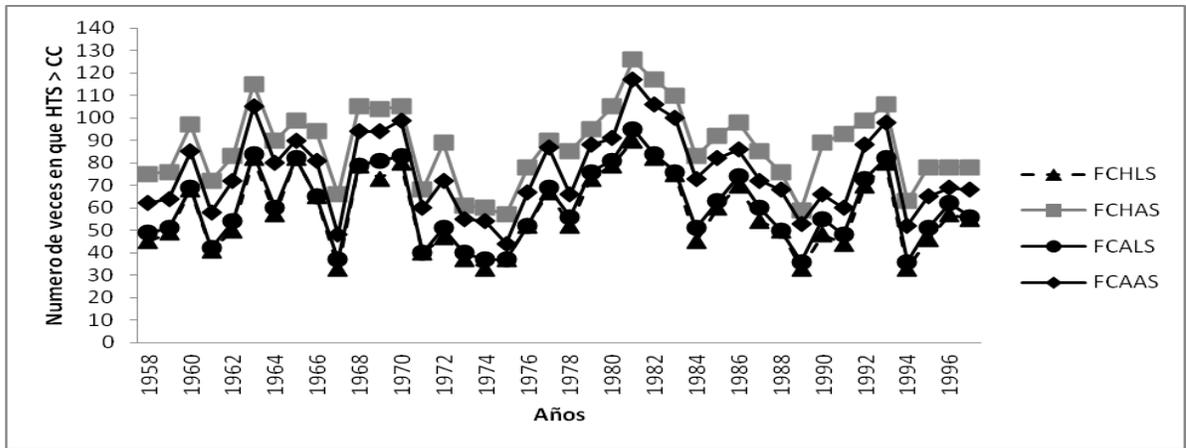


Figura 3. Número de veces en que la humedad total del suelo (HTS) es mayor a la capacidad de campo (CC) en 42 años de registros.
 FCHLS= Metatobas de El Chino-El Caño calificadas como ligeramente susceptibles, FCHAS= Metatobas de El Chino-El Caño calificadas como altamente susceptibles, FCALS= Metalavas de El Carmen, calificadas como ligeramente susceptibles, FCAAS= Metalavas de El Carmen, calificadas como altamente susceptibles.

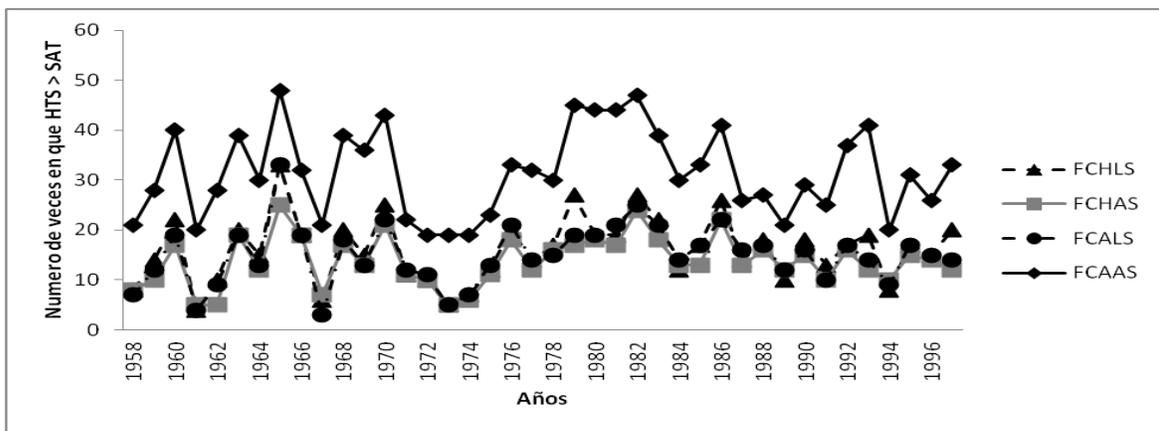


Figura 4. Número de veces en que la humedad total del suelo (HTS) es mayor a la saturación (SAT) en 42 años de registros.
 FCHLS= Metatobas de El Chino-El Caño calificadas como ligeramente susceptibles, FCHAS= Metatobas de El Chino-El Caño calificadas como altamente susceptibles, FCALS= Metalavas de El Carmen, calificadas como ligeramente susceptibles, FCAAS= Metalavas de El Carmen, calificadas como altamente susceptibles.

Al evaluar la condición $HTS > SAT$ se encontró que el número de veces en que la humedad total del suelo es mayor a la saturación es marcadamente mayor en las áreas altamente susceptibles a deslizamientos, en la formación Metalavas de El Carmen (FCAAS), que en las otras condiciones de suelo consideradas en este estudio (Figura 4). La baja conductividad hidráulica del horizonte C del suelo de la formación El Carmen (FCA) restringe la percolación del agua que penetra en el suelo. En adición a esto, el perfil del suelo representativo de la condición altamente susceptible a deslizamientos en esta formación (FCAAS) es poco profundo y está restringido a un horizonte A de 12 cm de espesor (Cuadro 1). Esta combinación de factores

provoca que el suelo representativo de la condición FCAAS se sature más rápidamente que los otros suelos considerados en esta investigación. Esto revela que bajo condiciones similares de lluvia, existen características del suelo que determinan que la condición de saturación de humedad se presente en unos suelos más frecuentemente que en otros. La escasa diferencia entre las áreas ligeramente (FCHLS) y altamente (FCHAS) susceptibles de la formación Metatobas de El Chino-El Caño indica que la susceptibilidad de estas áreas, no depende solo de las características del suelo o de las condiciones climáticas, también depende de atributos relacionados con el relieve (pendiente, orientación).

Probabilidad de ocurrencia de los eventos HTS>SAT y HTS>CC tomando en cuenta la variabilidad interanual de la precipitación.

Como se observa en los Figuras 5 y 6, la probabilidad de ocurrencia de los eventos HTS>SAT y HTS>CC varía según las condiciones climáticas y las características de los suelos. Las mayores probabilidades se presentan en los meses de mayo a octubre y los valores más altos se presentan los meses de junio, julio y agosto, los cuales son los meses más húmedos del año (Figura 2). En este período aumenta la probabilidad de que el contenido de humedad total del suelo sobrepase los valores de CC y SAT y se incrementa la tendencia a la ocurrencia de deslizamientos. Esta proporción disminuye hacia los meses de noviembre a diciembre hasta hacerse casi nula en los meses de enero a abril e incrementar nuevamente hacia el mes de mayo. Particularmente, en los suelos localizados en FCHAS, existe un 10% de probabilidad de que la condición HTS>CC ocurra en los meses de diciembre y 3% de que ocurra en enero, lo cual muestra que la humedad antecedente del suelo

tiene influencia en el nivel de riesgo, al incrementarlo y provocar que este se presente tempranamente. La mayor probabilidad para ambas condiciones (HTS>CC y HTS>SAT) se presentó en el mes de julio, en los suelos desarrollados sobre áreas altamente susceptibles de ambas formaciones geológicas (Figuras 5 y 6). Este comportamiento está relacionado directamente con la variabilidad interanual de la precipitación. En un estudio anterior la formación Metatobas de El Chino-El Caño, fue calificada como la más susceptible a los deslizamientos (Pineda *et al.* 2011a), lo cual se corresponde al comportamiento encontrado al evaluar la condición HTS>CC, pero no cuando se evaluó la condición HTS>SAT. Los resultados presentados en el Figura 6 confirman que la frecuencia de ocurrencia de la condición HTS>SAT es más alta en el suelo representativo de las áreas altamente susceptibles de la formación Metalavas de El Carmen (FCAAS) que en el suelo representativo de las áreas altamente susceptibles de la formación Metatobas de El Chino y El Caño (FCHAS).

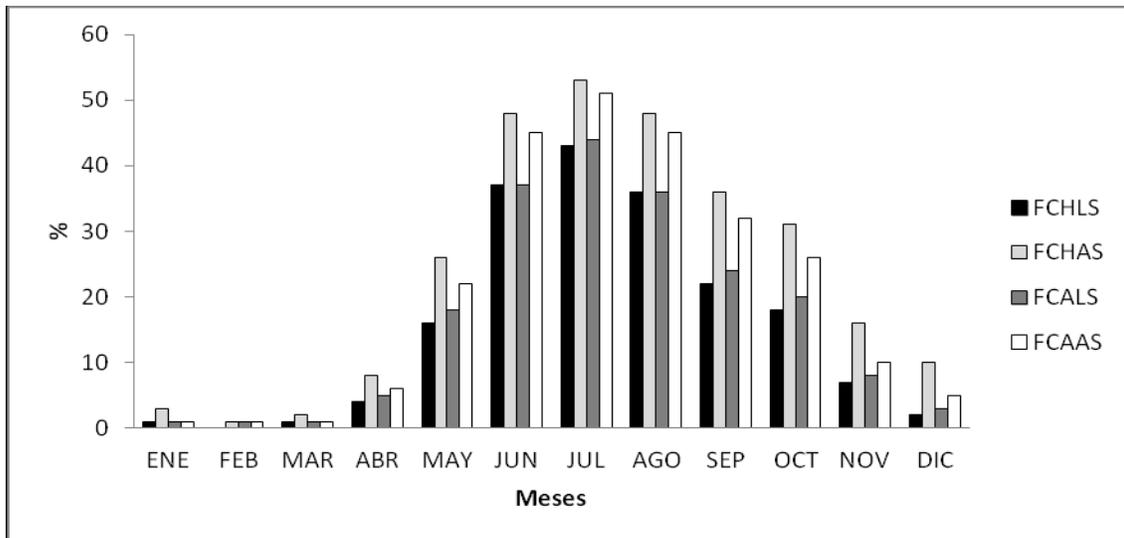


Figura 5. Probabilidad de ocurrencia del evento humedad total del suelo (HTS) es mayor a la capacidad de campo (CC), para 42 años de registro. FCHLS= Metatobas de El Chino-El Caño calificadas como ligeramente susceptibles, FCHAS= Metatobas de El Chino-El Caño calificadas como altamente susceptibles, FCALS= Metalavas de El Carmen, calificadas como ligeramente susceptibles, FCAAS= Metalavas de El Carmen, calificadas como altamente susceptibles.

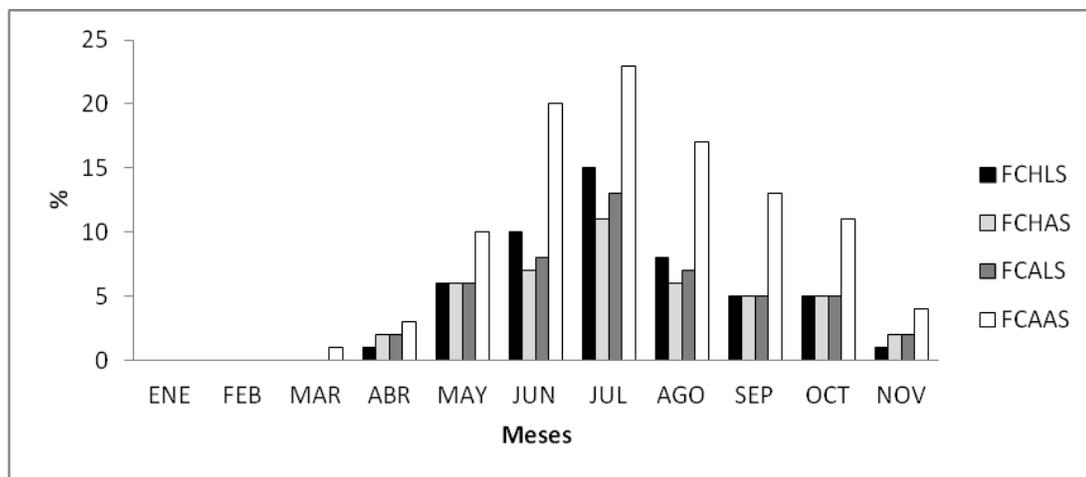


Figura 6. Probabilidad de ocurrencia del evento la humedad total del suelo (HTS) es mayor a la saturación del suelo (SAT), para 42 años de registro.
 FCHLS= Metatobas de El Chino-El Caño calificadas como ligeramente susceptibles, FCHAS= Metatobas de El Chino-El Caño calificadas como altamente susceptibles, FCALS= Metalavas de El Carmen, calificadas como ligeramente susceptibles, FCAAS= Metalavas de El Carmen, calificadas como altamente susceptibles.

El suelo del área altamente susceptible en la formación Metatobas de El Chino-El Caño (FCHAS) presenta valores más altos de saturación y conductividad hidráulica, que los otros suelos considerados en el estudio. Esta característica, unida a la conductividad hidráulica relativamente alta del horizonte C de este suelo, disminuyó la frecuencia con la cual el contenido de humedad en este suelo superó el nivel de saturación, en comparación con los otros suelos estudiados. Este resultado corrobora que, aún bajo las mismas condiciones de precipitación, las características del suelo son determinantes del riesgo de ocurrencia de deslizamientos.

CONCLUSIONES

Los resultados del modelo SOMORE sugieren que el régimen de humedad de los suelos varía según las condiciones climáticas y las características de los suelos. El mayor riesgo de ocurrencia de deslizamientos, estimado con base en las condiciones de humedad total de suelo (HTS) mayor a contenido de agua a saturación (SAT) y humedad total de suelo (HTS) mayor a capacidad de campo (CC), se presentó en los suelos desarrollados sobre los materiales parentales de la formación Metalavas de El Carmen. Los suelos desarrollados sobre estos materiales son menos profundos, menos permeables, particularmente en el horizonte C y tienen menor contenido de agua a saturación que aquellos desarrollados sobre materiales de la formación El Chino-El Caño. Esto demuestra que la susceptibilidad de un área de deslizamientos depende no solo de las condiciones climáticas, sino también de las características del suelo. En los meses de mayo y junio el riesgo de ocurrencia depende de la

precipitación, mientras que en los meses de octubre y noviembre el riesgo depende de la humedad antecedente en el suelo.

REFERENCIAS

- ABREU X (2005) Evaluación del efecto de las propiedades hidrológicas y sistemas de manejo sobre la susceptibilidad a erosión superficial y en masa en suelos pedregosos con vinya del priorat (Cataluña, España). Tesis Doctoral. Universidad de Lleida. Cataluña.
- ALLEN RG, PEREIRA LS, RAES D, SMITH M (1998) Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO. Rome. Italy. 300 pp.
- AYALA R, MALDONADO H, GANDARILLAS C (2003) Memoria explicativa mapa de riesgo socionatural específico, ciudad de la Paz. Gobierno municipal de la Paz. Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo. Programa de prevención de riesgos, atención de emergencias y reconstrucción del municipio de la Paz. Versión 1.2. La Paz - Bolivia. 32p.
- CARRARA A, CROSTA G, FRATTINI P (2008) Comparing models of debris-flow susceptibility in the alpine environment. *Geomorphology* 94: 353-378.
- CASADEI M, DIETRICH WE, MILLER NL (2003) Testing a model for predicting the timing and location of shallow landslide initiation in soil-mantled landscapes. *Earth Surf. Process. Landforms* 28: 925-950.
- DALURZO HC (2010) Régimen Hídrico del suelo y producción de vinas bajo diferentes sistemas de riego en Raimat (Lleida, España). Tesis Doctoral Universita de Lleida. Escola Tecnica Superior d'Enginyeria Agrária. Departament de Medi Ambient Ciéncies del Sól 162p.
- FONSECA FJ (2006) Balance hídrico en suelos pedregosos con vinya de secaño en el Priorat (Cataluña). Efectos por cambios de manejo y clima. Tesis Doctoral. Universita de Lleida. Escola Tecnica Superior d'Enginyeria Agrária. Departament de Medi Ambient Ciéncies del Sól. 134pp

- JONES DP, GRAHAM RC (1993) Water-holding characteristics of weathered granitic rock in chaparral and forest ecosystems. *Soil Sc. Sc. Am. J.*, 57, 256-261.
- KUTILEK M, NIELSEN DR (1994) *Soil Hydrology*. Catena-Verlag, Cremlingen
- NACCI S (2001) Alteraciones en el régimen hídrico del suelo asociadas a la sistematización y cambios en el manejo de tierras con viña de secaño en el Añoiá-Alt Penedes. Tesis Doctoral. Universidad de Lleida. Cataluña.
- NACCI S (2010) Impacto del cambio en el manejo de tierras con viña de secano del área mediterránea sobre la suplencia de humedad al cultivo y sobre los procesos de degradación del suelo: Caso de la Comarca del Añoiá. Tesis Doctoral. Universitat de Lleida. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl. 147p.
- NACCI S, RAMOS MC, PLA I (2002) Dynamics of the soil physical properties in vineyards of the Añoiá-Alt Penedes Región (Catalunya, Spain). In J.L. Rubio *et al* (eds) Man and soil at the third millennium, II: 1615-1624. Logrono, Spain. *Geofoma*.
- ONU (2004) Vivir con el riesgo. Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres. Versión 2004. Anexo 1. Secretaría interinstitucional de la estrategia internacional para la reducción de desastres, Naciones Unidas (EIRD/ONU). 8p. www.un.org/Pubs/sales.htm; www.unisdr.org/en/g/library/lib-thesaurus.htm
- PÉREZ F (2008) Análisis de Estabilidad Relativa. Requisito para la Ocupación. AGORA, Trujillo. Venezuela (11):21:211-227.
- PINEDA MC, ELIZALDE G, VILORIA J (2011a) Determinación de áreas susceptibles a deslizamientos en un sector de la cordillera de la costa central de Venezuela. *Interciencia* 36:5:370-377.
- PINEDA MC, ELIZALDE G, VILORIA J (2011b) Relación suelo-paisaje en un sector de la cuenca del río Caramacate, Aragua. Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía. UCV.* 37:1.
- PLA I (1977) Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Curso de Postgrado en Ciencia del suelo. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Comisión de Estudios para graduados. 85p.
- PLA I (1992) La erodabilidad de los andisoles en Latino América. *Suelos Ecuatoriales* 22(1). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá. Colombia. 33-43.
- PLA I (1995) Modelling hydrological processes for guiding soil and water conservation practices. In the soil as strategic resource: Degradation processes and conservation measures. Meeting European Soc. Soil. Conserv. Spain.
- PLA I (1997) A soil water balance model for monitoring soil erosion processes and effects on steep lands in the tropics. En: Pla, I. (Ed.). *Soil Erosion Processes on Steep Lands*. Special Issue of *Soil Technology*. Elsevier. Amsterdam. pp: 17-30.
- PLA I; NACCI S, FONSECA F, DALURZO HC (2007) Soil water regimen under different land and crop management systems in Catalonia (NE, Spain) vineyards. 5th International Congress of the European Society for Soil Conservation. Palermo (Italy). Book of Abstracts. 56p.
- PORTA J, LÓPEZ ACEVEDO M, ROQUERO C (1999) *Edafología. Para la agricultura y el medio ambiente*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 849pp.
- URBANI, F; RODRÍGUEZ JA (2003) Atlas geológico de la Cordillera de la Costa, Venezuela. Coedición FUNVISIS y Universidad Central de Venezuela, iii + 146 p.