



EVALUACIÓN DEL RIESGO DE EROSIÓN HÍDRICA EN EL SUROESTE DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA, ARGENTINA

CANTU M. P. BECKER A. R. MUSSO T. B.

Departamento de Geología, Universidad Nacional de Río Cuarto, Ruta 36 Km 601, (X5800ZAB) Río Cuarto, Córdoba. mcantu@exa.unrc.edu.ar, abecker@exa.unrc.edu.ar, tmusso@exa.unrc.edu.ar

INTRODUCCIÓN

A partir de los primeras investigaciones y experiencias del Forest Service de USA en 1915, analizando los efectos de distintas coberturas vegetales y la rotación de cultivos sobre la escorrentía y la erosión en parcelas experimentales, se han llevado a cabo muchos estudios básicos sobre la influencia de los diversos parámetros del suelo (Wischmeier et al., 1971; Wischmeier y Smith, 1978), el relieve (Zingg, 1940 y Smith, 1941), las precipitaciones y la cobertura vegetal (Laws, 1940; Musgrave, 1947 y Lloyd y Eley, 1952). Estos estudios llevaron al desarrollo de numerosas metodologías cuantitativas de evaluación directa a partir de ensayos y de la medida de parámetros asociados a los sedimentos y al suelo (Gerlach, 1966; Kirby y Morgan, 1984; Sancho, et. al 1991), y de evaluación indirecta basados en métodos estadísticos, paramétricos y físicos (Wischmeier y Smith, 1978; Williams y Berndt, 1977; Lane, et. al. 1988, Flanagan y Nearing, 1995, Morgan et. al, 1998 a y b). Por otra parte, surgieron algunos métodos cualitativos como una necesidad de obtener una rápida percepción de los problemas de erosión en una región determinada que se basan en la cartografía de unidades de erosión, ambientales, geomorfológicas o de suelos que mantienen cierto grado de homogeneidad aplicando coeficientes de ponderación a parámetros que controlan el proceso de erosión hídrica. Van Zuidan y Cancelado (1979) desarrollaron un método valorando los factores condicionantes del proceso de erosión estableciendo la susceptibilidad a la erosión. En Argentina, dicho método fue aplicado con algunas adaptaciones por Degiovanni et. al (1995) y Sanabria et al (1996). Otros métodos se basan en la aplicación de los parámetros de la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo (Wischmeier y Smith, 1978) para evaluar el riesgo de erosión (Ortíz, et al.1993). Cantú (1998) a partir del modelo de Van Zuidan y Cancelado (1979) desarrolló una metodología para evaluar el Riesgo de Erosión hídrica en una cuenca pedemontana de la provincia de Córdoba. El objetivo del presente trabajo es ajustar esta última metodología fundamentando los factores y propiedades seleccionados validándola en la cuenca del arroyo La Colacha del Suroeste de Córdoba.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área donde se aplicó esta metodología se caracteriza por presentar un relieve complejo, moderado a fuertemente ondulado con pendientes desde cortas (<200 m) hasta extremadamente largas (>3000 m) y gradientes de 1% al 10%. Los sedimentos aflorantes son loess y loess

retransportado, y en menor medida aluviales. Los suelos dominantes son Hapludolls típicos con diverso grado de desarrollo de bien drenados a algo excesivamente drenados. En menor proporción se encuentran Argiudolls típicos, Natracuolls típicos y Entisoles. El clima es templado-subhúmedo con una marcada estación seca en invierno. La precipitación media anual es de 956,7 mm (Estación Meteorológica Establecimiento Los Chañares) y se concentra en el período octubre-abril. El uso actual más importante, teniendo en cuenta el área ocupada por cada actividad, es agrícola con ganadería subordinada (59%), en segundo término la ganadería con agricultura subordinada (21%) y por último la ganadería (20%). La carta de suelos y el mapa de uso Actual de la tierra se tomaron de Cantú (1998).

La metodología utilizada para evaluar el Riesgo de erosión hídrica es cualitativa y surge de establecer la Susceptibilidad de Erosión y la Amenaza. En este trabajo se considera que Susceptibilidad representa la fragilidad del medio natural siendo las condiciones naturales o intrínsecas del sistema bajo análisis; Amenaza resulta de la confrontación del sistema natural con una determinada actividad antrópica y Riesgo es el producto entre la susceptibilidad y la amenaza.

El criterio más común para evaluar la Amenaza es considerar que un evento se produzca en un determinado lapso. En base a esta consideración lo óptimo sería considerar las precipitaciones como factor causal de la erosión hídrica. Para realizar esta evaluación se necesitaría determinar la recurrencia de las precipitaciones erosivas. Esto resulta poco viable, especialmente en las regiones Templadas, debido a la variabilidad espacial que presentan las precipitaciones aún a relativa corta distancia (en el orden de las centenas de metros) y a la variabilidad temporal de dichas precipitaciones que pueden darse en primavera o en verano. Otro problema es la disponibilidad de Estaciones meteorológicas que presenten una serie continua suficientemente larga (más de 50 años) y con registros seriados. Por otra parte, los procesos de erosión hídrica (cárcavas, surcos y laminar) se han manifestado en la región a partir del cambio en el uso de la tierra de predominantemente ganadero a predominantemente agrícola y aún más cuando se pasa de cultivos de invierno a estivales (Cantú et. al, 1998). Esto determinó la elección de la confrontación del sistema natural con la actividad antrópica como amenaza considerando que el cambio de uso de la tierra es un factor determinante del proceso de erosión hídrica ya que significa la alteración de la condición física, química y bioquímica del suelo.

La Susceptibilidad de Erosión se establece a partir de la valoración de los parámetros que intervienen en el proceso de erosión hídrica, tales como, geomorfológicos, litológicos; de suelos y de erosión anterior. Tal como se elabora la cartografía de suelos toda la información requerida está presente en la descripción de las Unidades Taxonómicas y la descripción de las Unidades Cartográficas de suelos. Entre los elementos del sistema natural analizados no se consideró la cobertura vegetal dado que la región está totalmente antropizada y dicha cobertura varía fuertemente según el uso de la tierra. A esto se suma una variación a lo largo del año según el ciclo de vida del cultivo o las pasturas. Por otra parte, no existe una relación constante entre el período de máxima cobertura y el período en cual se producen las precipitaciones más intensas.

Los procedimientos de ingreso, manipulación y operación de datos para la obtención de los mapas de susceptibilidad, amenaza y riesgo han sido ejecutados con la aplicación de un sistema de información geográfica (SIG).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los aspectos geomorfológicos considerados para evaluar la susceptibilidad son el gradiente, la longitud y la forma de la pendiente. Para el gradiente se ha adoptado el esquema del Handbook N°18 (Soil Survey Staff, 1994) (Tabla 1).

<i>Grado (%)</i>	<i>Tipo</i>	<i>Indice</i>
0-1	Planas a suavemente inclinadas	1
1-3	Suavemente inclinadas	2
3-10	Inclinadas	4
10-25	Fuertemente inclinadas o Colinadas	8
25-45	Escarpadas	16
>45	Muy escarpadas	24

Tabla 1. Indice por grado y tipo de pendientes.

Respecto a la longitud de la pendiente se adoptó la propuesta realizada por Cantú (1998) para la zona de estudio (Tabla 2).

<i>Grado (m)</i>	<i>Tipo</i>	<i>Indice</i>
< 200	Cortas	1
200-500	Medias	2
501-1000	Largas	4
1001-3000	muy largas	6
>3000	Extremadamente largas	10

Tabla 2. Indice por grado de longitud de la pendiente.

En relación a la forma de la pendiente se las clasificó teniendo en cuenta formas simples y mixtas considerando las formas perpendiculares al contorno o radiales que son las más consistentes con el suelo (Tabla 3).

<i>Forma de la pendiente</i>	<i>Indice</i>
Cóncava	1
Convexa	2
Recta	3
Concava-convexa	1,5
Convexa-recta	2,5

Tabla 3. Indice por forma de las pendientes.

En los aspectos litológicos y de suelos se consideró el espesor de los sedimentos superficiales o la profundidad de los mismos hasta la roca o algún sedimento cementado (calcretos, duripanes o silcretos, fragipanes, etc.) (Tabla 4); la homogeneidad de la granulometría (Tabla 5) y el grado de desarrollo del perfil del suelo que determina la presencia o no de estructuras pedológicas, el grado de estructuración y los contenidos de coloides, entre otras características (Tabla 6). En relación a la erosión anterior, se consideró un esquema cualitativo surgido de la observación de campo y de la interpretación de aerofotografías, teniendo en cuenta los grados de erosión de

suelo del Handbook N° 18 (Soil Survey Staff, 1994). Se consideró sólo la erosión hídrica ya que provoca daños mucho más evidentes y persistentes en el tiempo (Tabla 7).

Grados (m)	Tipo	Indice
>5	Muy profundo	1
3-5	Profundo	1
1-3	Moderadamente profundo	2
0,5- 1	Somero	4
< 0,5	Muy somero	5

Tabla 4. Indices por grados de profundidad a la roca.

Tipo textura	Indice
Arenosa gruesa –gravosa	1
Arcillosa y limosa	2
Areno limosa o limo arenoso muy fina	4

Tabla 5. Indices por texturas de suelos o sedimentos.

Tipo de perfil de suelo	Indice
A-Btn-BC-C	1
A-Bt-BC-C	2
A-Bw(Bt)-BC-C	3
A-Bw-BC-C	4
A-AC-C o A-AC	5

Tabla 6. Indice por grado de desarrollo del perfil del suelos.

Erosión hídrica anterior	Indice
Sin erosión o imperceptible	0
Débil o ligera	1
Moderada	2
Severa	4
Grave	8
Muy grave	16

Tabla 7. Indice por erosión hídrica anterior

En base a estos parámetros se categorizaron cada una de las Unidades Cartográficas de Suelos teniendo en cuenta que la composición de las mismas no es homogénea siendo en muchos casos Asociaciones y Complejos. Esta falta de homogeneidad determina que los índices resultantes son obtenidos teniendo en cuenta los porcentajes de cada taxón de suelo dando valores no enteros. Una vez ejecutada esta etapa se procedió a hacer la sumatoria de los índices obteniéndose una serie de valores para cada unidad cartográfica (Tabla 11).

Clases	Rangos	Susceptibilidad a la erosión hídrica
0	< 8	Despreciable o ninguna susceptibilidad
1	8 - < 21	Ligeramente susceptible
2	21 - < 34	Moderadamente susceptible
3	34 - < 47	Altamente susceptible
4	47 - < 60	Muy altamente susceptible
5	> 60	Extremadamente susceptible

Tabla 8. Clases de Susceptibilidad a la erosión hídrica.

En base a los mismos se establecieron rangos y Clases de Susceptibilidad a la Erosión Hídrica

teniendo en cuenta que la clase más baja resulta de la suma de los valores mínimos de cada parámetro (Tabla 8). Para evaluar la Amenaza se consideraron los tipos de uso de la tierra presentes en la región de estudio teniendo en cuenta que no hay áreas con ecosistemas naturales. En las unidades de uso agrícola no se aplican prácticas de conservación (Cantú, 1998) que disminuirían la amenaza. En la Tabla 9 se establecen los índices para cada tipo de amenaza.

<i>Unidad de uso de la tierra</i>	<i>Tipo de Amenaza</i>	<i>Indice</i>
Agricultura con ganadería	Moderado	0,5
Ganadería con agricultura	Bajo	0,3
Ganadería	Muy bajo	0,2

Tabla 9. Índices por Amenaza.

El riesgo de erosión se obtuvo del producto de la Susceptibilidad con la Amenaza. Los rangos de las clases se presentan en la Tabla 10.

<i>Tipo de riesgo</i>	<i>Clases</i>
Nulo	0 – 4
Bajo	4- - 10,5
Moderado	10,5 – 17
Alto	17 – 23,5
Muy Alto	23,5 – 30
Extremadamente alto	> 30

Tabla 10. Clases de Riesgo de Erosión Hídrica.

En la Tabla 11 se muestran los resultados de la aplicación de esta metodología en la cuenca del Arroyo La Colacha. Aplicando esta información a través de un SIG se obtuvieron los mapas de Susceptibilidad de Erosión Hídrica (Figura 1), Amenaza (Figura 2) y de Riesgo de Erosión Hídrica (Figura 3).

Los resultados obtenidos permiten establecer que el riesgo de erosión hídrica predominante en la cuenca del Arroyo La Colacha es bajo. El riesgo es nulo para las unidades con pendientes menores al 1 % y con uso ganadero; es moderado en las áreas agrícolas con pendientes mayores a 3% y bajos para las pendientes intermedias. Esta valoración semicuantitativa es coincidente con la percepción subjetiva desarrollada a lo largo de más de veinte años de investigaciones llevadas a cabo en la región. El proceso de mayor impacto visual, aunque no el de mayor expresión areal, es la formación de cárcavas. En cambio los procesos de erosión en surcos y laminar tienen menor impacto visual porque las operaciones de labranza tienden a homogeneizar la superficie del terreno aunque arealmente afectan mayor superficie. El análisis de imágenes satelitales, fotografías aéreas, información histórica, cambio en el uso de la tierra y el análisis climático (series de más de 50 años), ha permitido establecer que la instalación y retroceso de cárcavas, la erosión en surcos y la erosión laminar coinciden con ciclos climáticos muy húmedos con tormentas de alta intensidad a partir de la intensificación de la agricultura en la década del 50 (Cantú, 1998; Cantú et. al, 1998; Cantú y Becker, 1999). Las mediciones de pérdida de suelo en forma directa han dado valores relativamente bajos entre 0,25 – 1 ton/ha/año (aproximadamente 0,05 – 0,1 mm/año), dependiendo del sistema de labranza (Becker, et. al, 2002) coincidiendo con los resultados obtenidos con la metodología expuesta.

Se concluye que la metodología aplicada es útil para obtener una aproximación a la evaluación del riesgo de erosión hídrica y puede ser utilizada para la planificación ambiental a mediana escala. El método puede ser utilizado en otros ambientes asignando índices adecuados a las características del medio con una correcta valoración de la presión del uso de la tierra.

Esta metodología puede ser fácilmente desarrollada a partir de una carta de suelos que por lo general presentan toda la información requerida en la descripción de las unidades taxonómicas y en la descripción de las unidades cartográficas.

REFERENCIAS

- Becker, A., Cantú, M., Ossana, J. y Grumelli, M. 2002. El escurrimiento y las pérdidas de suelo por erosión hídrica laminar, bajos diferentes sistemas de labranza, en la región pedemontana del Suroeste de la provincia de Córdoba. XIX Congreso Nacional del Agua. Villa Carlos Paz, Argentina. 2002. CD 10 pp.
- Cantú, M. 1998. Estudio Geocientífico para la Evaluación Ambiental y Ordenación Territorial de una Cuenca Pedemontana. Caso: Cuenca del Arroyo La Colacha, Departamento Río Cuarto, Provincia de Córdoba. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Río Cuarto. Departamento de Geología. Río Cuarto. Argentina. 376 pp.
- Degiovanni, S.; Blarasin, M.; Cabrera, A. 1995. Cartografía de Diagnóstico y Prescriptiva como base para la actualización del catastro rural y para la planificación futura del uso de los recursos naturales. Área San Basilio-Monte de Los Gauchos. Parte I: Carta de deterioro actual y de susceptibilidad a la erosión de las tierras. Publicación Especial N° 3 Asociación Argentina Geología Aplicada Ingeniería. p. 80-97.
- Flanagan, D. C. y M. A. Nearing. 1995. USDA-Water Erosion Prediction Project Hillslope Profile and Watershed Model Documentation. NSERL Report N° 10. USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory West Lafayette, Indiana 47907.
- Gerlach, T. 1966. Wspolczesny rozwój stokow w dorzeczu gornego Grajcarka (Berkid Wysoki-Karpaty Zachodnie). Prace Geograf. IG PAN 52.
- Kirby, M. J. y R. Morgan. 1984. Erosión de Suelos. Ed. Limusa, S.A. Mexico. 375 pp.
- Lane, L.; Schertz, D.; Alberts, E.; Laflen, J. and V. Lopes. 1988. The US National Project to develop improved erosion prediction technology to replace the USLE. In: Sediment Budgets, Proceedings of the Photo Alegre Symposium. IAHS Publication 174. p. 473-481.
- Laws, J. O. 1940. Recent studies in raindrops and erosion. Agriculture. Engineering. Vol. 21. p. 431-433.
- Lloyd, C. and G. Eley. 1952. Graphical solution of probable soil loss formula for the northeastern region. Journal Soil and Water Conservation. Vol. 7. p. 189-191.
- Morgan, R.P.C., J. N. Quinton, R. E. Smith, G. J. Govers, J. W. A. Poesen, K. Auerswald, G. Chisci, D. Torri, M. E. Stycen, y A. J. V. Folly, 1998a. The European Soil Erosion Model (EUROSEM): documentation and user guide, version 3.6; Silsoe College, Cranfield University, Silsoe (Bedford – Reino Unido). 22 pp.
- Morgan, R.P.C., J. N. Quinton, R.E. Smith, G. J. Govers, J. W. A. Poesen, K. Auerswald, G. Chisci, D. Torri, M.E. Stycen, 1998b. The European Soil Erosion Model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. Earth Surface Processes and Landforms. Vol. 23. p. 527-544.
- Musgrave, G. W. 1947. The quantitative evaluation of factors in water erosion, a first approximation. Journal of Soil and Water Conservation. Vol. 2, n° 3. p. 133-138.
- Ortíz, J.; Albaladejo, J.; Alvarez, J.; Guillén, F.; Mena, M. 1993. Evaluación del riesgo de erosión hídrica en los suelos agrícolas de la región de Murcia. Problemática Geoambiental y Desarrollo. V Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Murcia, España. Tomo I:701-708.
- Sanabria, J.; Arguello, G.; Manzur, A.. 1996. Aplicación del método de susceptibilidad a la erosión de Van Zuidan y Cancelado en la cuenca baja del Arroyo San Agustín, Córdoba, Argentina. XIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Aguas de Lindoia, Brasil. CD, 06-069.
- Sancho, C., Benito, G. y M. Gutierrez. 1991. Aguas de erosión y perfiladores microtopográficos. Cuadernos Técnicos de la Sociedad Estudios .Geomorfológicos 2. 28 pp. Geofoma Ediciones.
- Smith, D. 1941. Interpretation of soil conservation data for field use. Agriculture Engineering. Vol. 22. p. 173-175.
- Soil Survey Staff. 1993. Soil survey manual. USDA, Handbook 18. U.S. Government Printing Office. 437 pp. Washington, DC
- Van Zuidan, R. A.; Van Zuidan, F.I.-Cancelado. 1979. Terrain analysis and classification using aerial photographs. Vol. VII. p. 3-25.

Williams, J. and H. Berndt. 1977. Sediment yield prediction based on watershed hydrology. Transactions American Society Agriculture Engineerings. Vol. 20, n° 6. p. 1100-1104.

Wischmeier, W. H. and Smith, D. D. 1978. Predicting rainfall-erosion losses. Agriculture Handbook N° 537. United State Department of Agriculture. 380 pp. Washington.

Zingg, A. W. 1940. Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff. Agriculture Engineering. Vol. 21. p. 59-64.

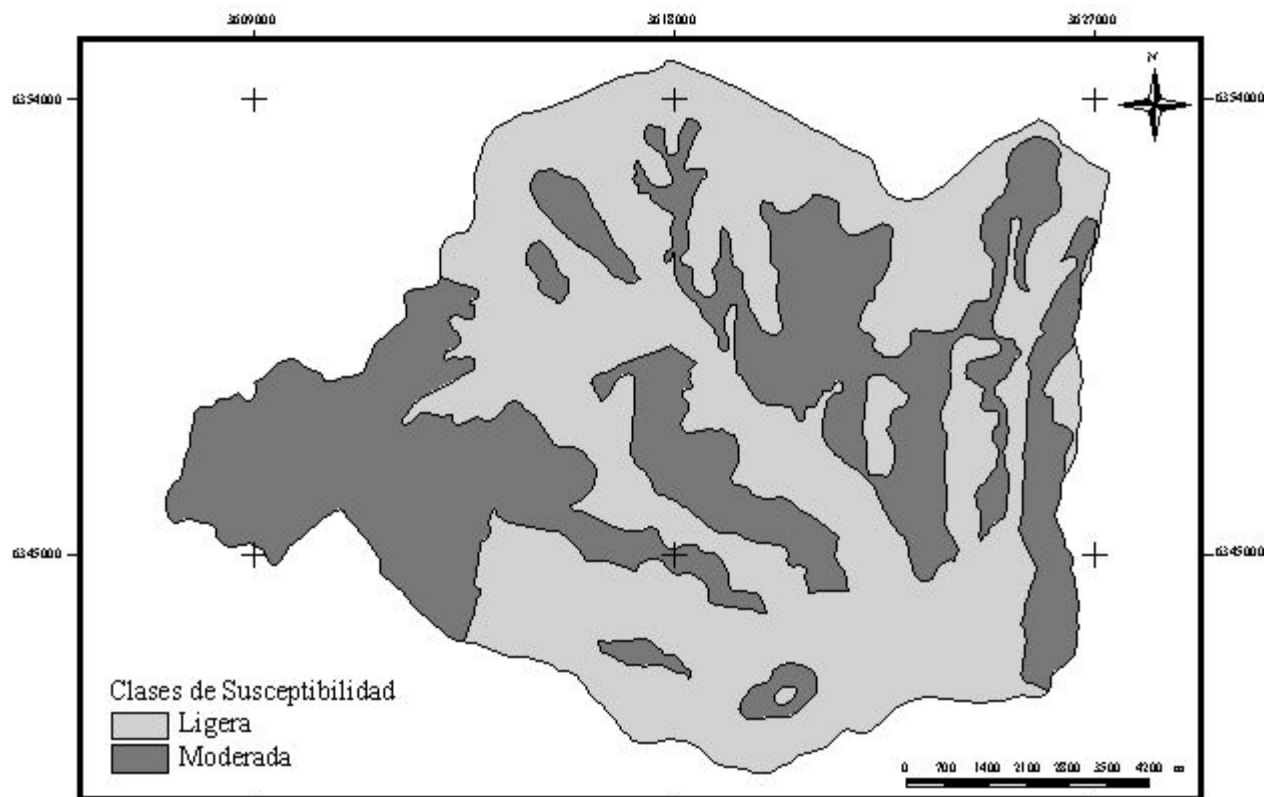


Figura 1. Mapa de Susceptibilidad a la erosión hídrica de la cuenca del A° La Colacha.

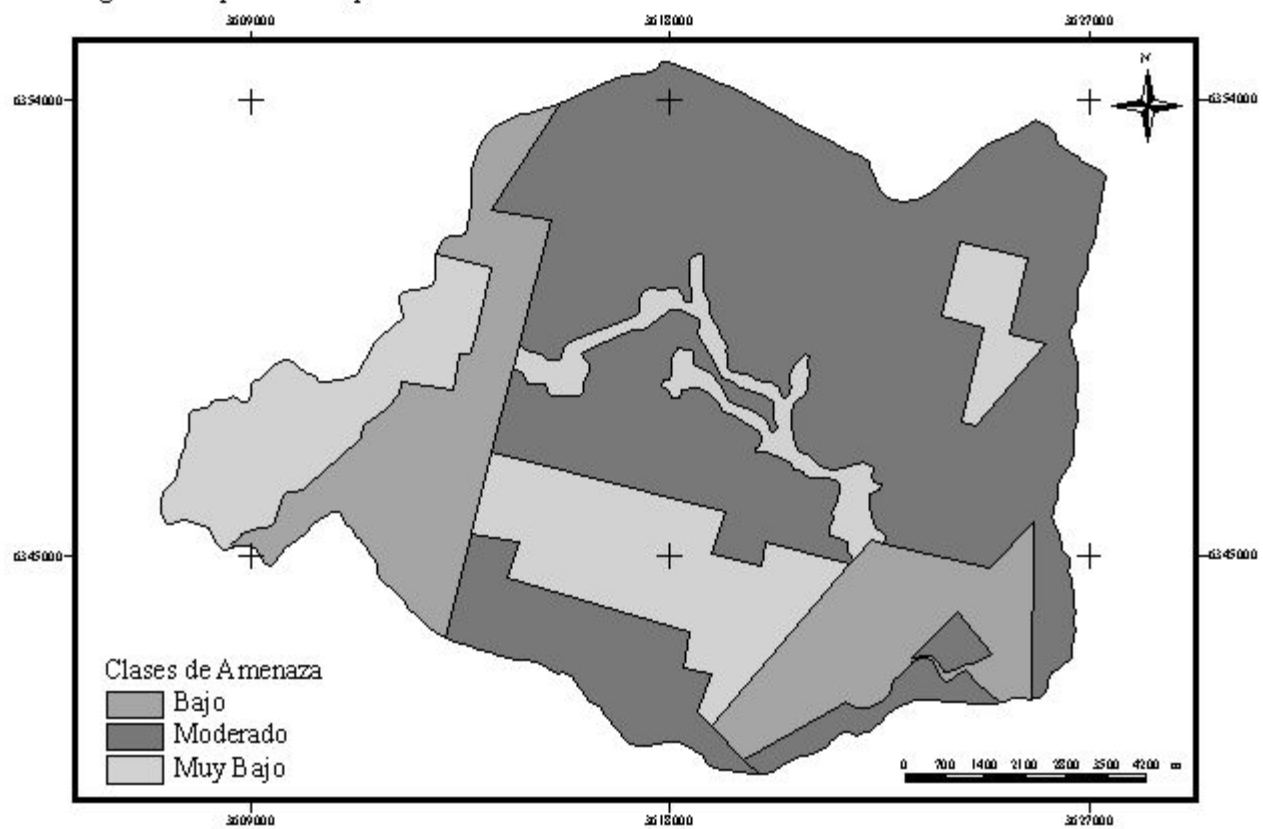


Figura 2. Mapa de Amenaza de erosión hídrica de la cuenca del A° La Colacha.

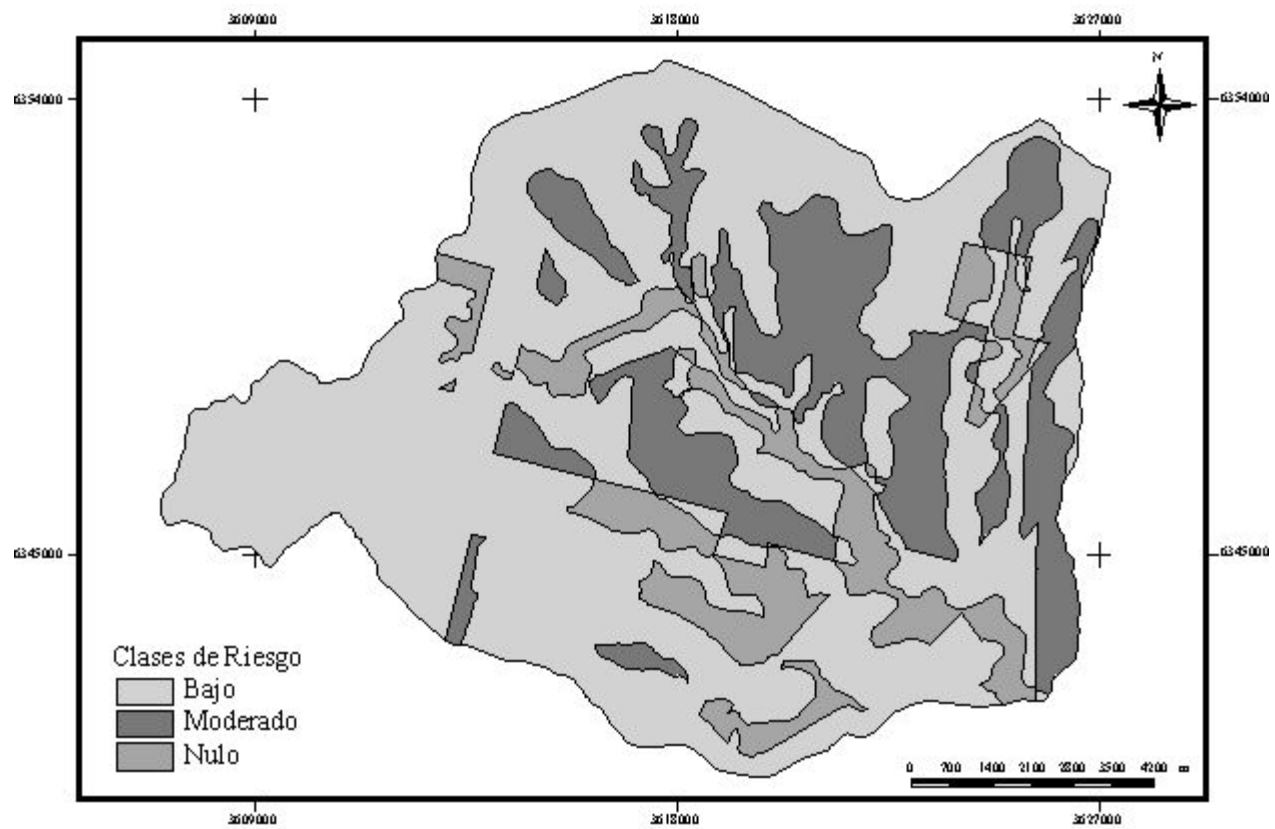


Figura 3. Mapa de Riesgo de erosión hídrica de la cuenca del A° La Colacha.

Unidad cartográfica Suelos	Grado pendiente	Longitud pendiente	Forma pendiente	Profundidad a la roca o panes cementados	Textura	Grado de desarrollo del perfil	Erosión hídrica anterior	Σ	Clase Susceptibilidad	<i>RIESGO</i>		
										Ganadería	Ganadería con Agricultura	Agricultura con Ganadería
Lag	4	6	2,5	1	2	5	8	28,5	1	5,7	8,55	14,5
Lag1	2	6	2,5	4	1,5	5	2	23	2	4,6	6,9	11,5
Lag2	4	2	2,5	4,5	1,5	5	8	27,5	1	5,5	8,25	13,75
Lag3	2	6	3	1	1,5	4,7	2	20,2	2	4,04	-----	10,1
Lmo	4	4	1,5	4,6	1,5	5	4	24,6	2	4,92	7,38	-----
Lmo1	6	2	2,5	5	1	5	8	29,5	1	5,9	8,85	-----
RoV	1,5	4	2	1	2	4	2	16,5	3	3,3	4,95	8,25
RoV1	4	2	2,5	1	2	4	8	23,5	2	4,7	7,05	11,75
RoV2	2,5	5	3	1,5	2	4	6	24	2	-----	7,2	12
RoV3	2	2	3	1	2	3,6	1	14,6	3	2,92	4,38	7,3
RoV4	2,3	2	2,5	1	1,5	4,5	3	16,8	3	3,36	-----	8,4
RoV5	4	2	3	3,5	1,5	4,5	4	22,5	2	4,5	6,75	-----
Sp	2	2	1	2	4	3	1	15	3	3	4,5	7,5
CoEC	1	1,5	1	2	3,5	1,8	1	11,8	4	1,96	2,94	4,9
CoLC	1	1	1	2	1	5	1	12	3	2,4	3,6	-----
CoPC	2	2	1	2	1	5	2	15	3	3	-----	7,5
CoR	10	1	2,5	5	1	5	8	32,5	0	6,5	-----	-----
CoR1	1	1	2	5	1	5	2	17	3	3,4	-----	-----
CoSp	1	2	1,5	1	4	3	1	13,5	3	-----	-----	6,75
CoAG	1	2	1	2	1	5	8	20	2	4	-----	10

Tabla 11. Matriz de evaluación de la susceptibilidad y riesgo de erosión de las Unidades Cartográficas de Suelos.

