

VÝSKYT EROZNĚ NEBEZPEČNÝCH DEŠŤŮ V OBLASTI STŘEDNÍCH KOLUMBIJSKÝCH AND

ALENA DVOŘÁKOVÁ
FRANTIŠEK TOMAN

ABSTRACT

THE OCCURRENCE OF EROSION-CAUSING RAIN IN CENTRAL COLOMBIAN AND

Torrential rains belong to the most important factors influencing the occurrence and intensity of water erosion. The factor of erosion effectiveness of torrential rains R expresses their influence in the universal equation used to calculate the soil wash. The rains over a period of 18 and 10 years were evaluated, seasonality of their occurrence was stated, the R factor for single rains and its distribution in single months were calculated for the particular conditions of station at Agronomía, Naranjal, Santa Helena and Santágueda. Further, the average repetition time of occurrence of erosion-causing rain (T), probability of occurrence of erosion-causing rains (p) and the minimum and maximum I_{30} values of rains subjected to analysis were stated. The results of the work are important for detailed calculations of vegetative protective effect and for evaluation of proposed erosion control measures from the point of view of their effectiveness and durability.

erosivity, repetition time of rain T , maximum thirty-minute intensity of rain I_{30}

SOUHRN

Byl spočítán faktor erozní účinnosti deště R pro čtyři klimatické stanice: Agronomía, Naranjal, Santa Helena a Santágueda nacházející se v oblasti středních Kolumbijských And. Byly vyhodnoceny deště za období 18 (Agronomía) a 10 let (Naranjal, Santa Helena a Santágueda) s úhrnem srážky větším než 12.5 mm a s intenzitou větší než 24 mm/hod. Byl spočítán faktor R jednotlivých dešťů, jeho rozdělení v jednotlivých měsících a stanoveny minimální a maximální hodnoty I_{30} u analyzovaných dešťů. Dále byla stanovena průměrná doba opakování výskytu erozně nebezpečných dešťů (T) a pravděpodobnost jejich výskytu (p). Výsledky práce mají význam pro posouzení navržených protierozních opatření z hlediska jejich účinnosti a životnosti.

Klíčová slova: erozní účinnost přívalového deště R , doba opakování deště T , maximální třicetiminutová intenzita deště I_{30}

ÚVOD

Snižování produktivity půdy způsobené erozí vede vědce z různých zemí ke snaze kvantifikovat intenzitu erozních procesů. Výsledkem historického vývoje empirických výpočetních metod v USA se stala tzv. univerzální rovnice ztráty půdy, která závisí na

aktivních, pasivních a časově přechodných faktorech. Faktor erozní účinnosti deště (R) představuje tzv. aktivní faktor, faktor erodovatelnosti půdy (K), délky (L) a sklonu svahu (S) jsou pasivní faktory a konečně časově přechodnými faktory se rozumí faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu (C) a faktor účinnosti protierozních opatření (P). Člověk svým působením nemůže ovlivnit faktory R a K. Výsledkem součinu těchto faktorů (R×K) je potenciální eroze. Ostatní faktory (L,S,C a P) jsou ovlivnitelné člověkem prostřednictvím úprav struktury pěstovaných plodin podle morfologických podmínek území, uplatnění půdoochranné technologie pěstování plodin, realizování technických opatření (teras, příkopů, nádrží), atd.

Tato rovnice se na dobu více než 30 let stala základní metodou hodnocení intenzity erozního procesu nejen v USA, ale i v mnoha dalších zemích, kam se rozšířila a pro jejichž podmínky byla verifikována.

Problematikou stanovení faktoru erozní účinnosti přívalového deště pro podmínky střední oblasti kolumbijských And se zabývali např. Rivera (1990) a Gomez (1991). Výsledkem jejich prací je stanovení faktoru R pro 9 stanic nacházejících se v této oblasti.

Cílem této práce bylo určit faktor erozní účinnosti deště pro 4 stanice nacházející se v oblasti středních Kolumbijských And.

MATERIÁL A METODY

Pro výpočet faktoru erozní účinnosti deště byl použit faktor R z univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy erozí (Wischmeier, Smith, 1978):

$$G=R.K.L.S.C.P$$

G – dlouhodobá ztráta půdy erozí v t.ha⁻¹.rok⁻¹

R- faktor erozní účinnosti deště, vyjádřeny v závislosti na jejich četnosti výskytu, úhrnu, intenzitě a kinetické energii

K- faktor erodovatelnosti půdy, vyjádřeny v závislosti na textuře a struktuře ornice, obsahu organické hmoty a zrnitosti

L- faktor délky svahu, zohledňující vliv nepřerušené délky svahu na velikost ztráty půdy

S- faktor sklonu, vyjadřující vliv sklonu svahu na velikost ztráty půdy

C- faktor ochranného vlivu vegetace, vyjádřeny v závislosti na vývoji vegetace a použité agrotechnice

P – faktor účinnosti protierozních opatření

Faktor erozní účinnosti přívalového deště je dán vztahem:

$$R=E. I_{30}$$

Kde R = faktor erozní účinnosti deště (MJ.ha⁻¹. mm.h⁻¹)

E= celková kinetická energie deště (Jm⁻²)

I₃₀ = maximální 30 minutová intenzita deště (mm. h⁻¹).

Celková kinetická energie deště je dána součtem součinu kinetických energií i-tého úseku deště a úhrnu deště v i odpovídajícím úseku. Na základě znalosti velikosti kapek deště v

závislosti na intenzitě a konečné rychlosti kapek, Foster et al. určil vztah mezi energií a intenzitou:

$$e_i = (0.119 + 0.0873 \log_{10} i_{mi}) \cdot H_i$$

kde e_i = kinetická energie i-tého úseku deště (MJ.ha.⁻¹mm⁻¹)

i_{mi} = intenzita deště i-tého úseku (mm.h⁻¹)

H_i = úhrn deště v i-tém úseku (mm)

Pro výpočet dešťového faktoru R byly analyzovány deště s vydatností nad 12.5 mm a maximální intenzitou nad 24 mm.h⁻¹. Bylo provedeno vyhodnocení 18 letého období pro stanici Agronomia a desetiletého období pro stanice Santa Helena, Naranjal a Santágueda. (Tab. I) Maximální 30 minutová intenzita deště I_{30} se zjišťuje z ombrogramu. Je to maximální úhrn srážky trvající 30 minut.

Cartner (1974) a Hudson (1971) zjistili, že kinetická energie kapek se nezvyšuje, pokud intenzita deště je větší než 76.2 mm.h⁻¹. Proto Wischmeier a Smith (1978) doporučují jako limit intenzitu deště 76.2 mm.h⁻¹. Je-li intenzita deště vyšší než 76.2 mm.h⁻¹, kinetická energie je rovna 0.283 MJ.ha⁻¹. Také doporučují jako horní hranici maximální 30 minutové intenzity hodnotu 63.5 mm.h⁻¹.

Tab I: Umístění a charakteristika 4 klimatických stanic nacházejících se v okrese Caldas.

Město	Klimatická stanice	Souřadnice	Nadmořská výška (m.n.m)	Průměrný roční úhrn srážek (mm)	Průměrná teplota (°C)
Manizales	Agronomía	05°03' s.s. 75°29' z.d.	2 150	1 970	16.4
Chinchiná	Naranjal	04°58' s.s. 75°42' z.d.	1 400	2 670	20.6
Marquetalia	Santa Helena	05°19' s.s. 75°00' z.d.	1 450	3 870	19.2
Palestina	Santágueda	05°05' s.s. 75°40' z.d.	1 010	2 378	22.5

Při hodnocení byla vyčíslena hodnota faktoru R jednotlivých příválových dešťů, průměrná roční hodnota R a její rozdělení v jednotlivých měsících během roku. Byla stanovena průměrná doba opakování erozně nebezpečných dešťů:

$$T=N/m,$$

kde: N = počet let

m = pořadové číslo deště podle hodnoty faktoru R

Určení pravděpodobnosti překročení výskytu erozně nebezpečných dešťů bylo spočítáno podle vztahu:

$$p=1-e^{-1/T},$$

kde e = základ přirozených logaritmů.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Agronomía

Celkem bylo analyzováno 10 616 dešťů. Z tohoto počtu byly 522 deště určeny jako erozně nebezpečné, t.j. deště s úhrnem větším než 12.5 mm a intenzitou větší než 24 mm.h⁻¹. Průměrná roční hodnota faktoru R je rovna 5 236 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.r⁻¹. Průměrná hodnota faktoru R pro jeden déšť činí 187 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹. Základní údaje o erozně nebezpečných deštích jsou uvedeny v tabulce Tab. II. Průměrná doba opakování (T) výskytu erozně charakterizovaných hodnotou faktoru R je v Tab.VI. Pravděpodobnost překročení jejich výskytu je uvedena v Tab. VII.

Stanovením dešťového faktoru R pro oblast středních kolumbijských And se zabýval Rivera (1991), který spočítal faktor R pro 9 stanic nacházejících se v této oblasti. Podle Rivery maximální 30 minutová intenzita deště I₃₀ činí 68 mm.h⁻¹ a minimální 30 minutová intenzita deště I₃₀ činí 29 mm.h⁻¹. Průměrná roční hodnota faktoru R pro stanici Agronomia je rovna 5 065 tm.mm.ha⁻¹.h⁻¹. Výsledky se mírně liší, neboť Rivera při své práci použil metodu doporučenou Hudsonem. Jako erozně nebezpečné určil deště s intenzitou větší než 20mm.h⁻¹. Křivku ombrogramu rozdělil na 5 minutové úseky, pro které odečetl úhrn srážky v mm. Pro stanovení intenzity deště sečetl 12 nejvyšších hodnot. Byl-li součet větší než 20mm.h⁻¹, použil tento údaj k dalšímu zpracování. V opačném případě údaj vyřadil. Ke stanovení maximální 30 minutové intenzity deště I₃₀ sečetl 6 nejvyšších čísel. Ani v jednom případě nebyl respektován čas jako kontinuální proces.

Naranjal

Z celkového počtu 5727 analyzovaných dešťů byly 473 deště určeny jako erozně nebezpečné. Průměrná roční hodnota faktoru R je rovna 13 526MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.r⁻¹. Průměrná hodnota faktoru R pro jeden déšť činí 284 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹. Základní údaje o erozně nebezpečných deštích jsou uvedeny v tabulce v Tab. III. Průměrná doba opakování (T) výskytu erozně charakterizovaných hodnotou faktoru R je v Tab.VI. Pravděpodobnost překročení jejich výskytu je uvedena v Tab. VII.

Santa Helena

Celkem bylo analyzováno 4759 dešťů. Z tohoto počtu byl 581 déšť určen jako erozně nebezpečný. Průměrná roční hodnota faktoru R je rovna 21 959 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.r⁻¹. Průměrná hodnota faktoru R pro jeden déšť činí 379 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹. Základní údaje o erozně nebezpečných deštích jsou uvedeny v tabulce v Tab. IV. Průměrná doba opakování (T) výskytu erozně charakterizovaných hodnotou faktoru R je v Tab.VI. Pravděpodobnost překročení jejich výskytu je uvedena v Tab. VII.

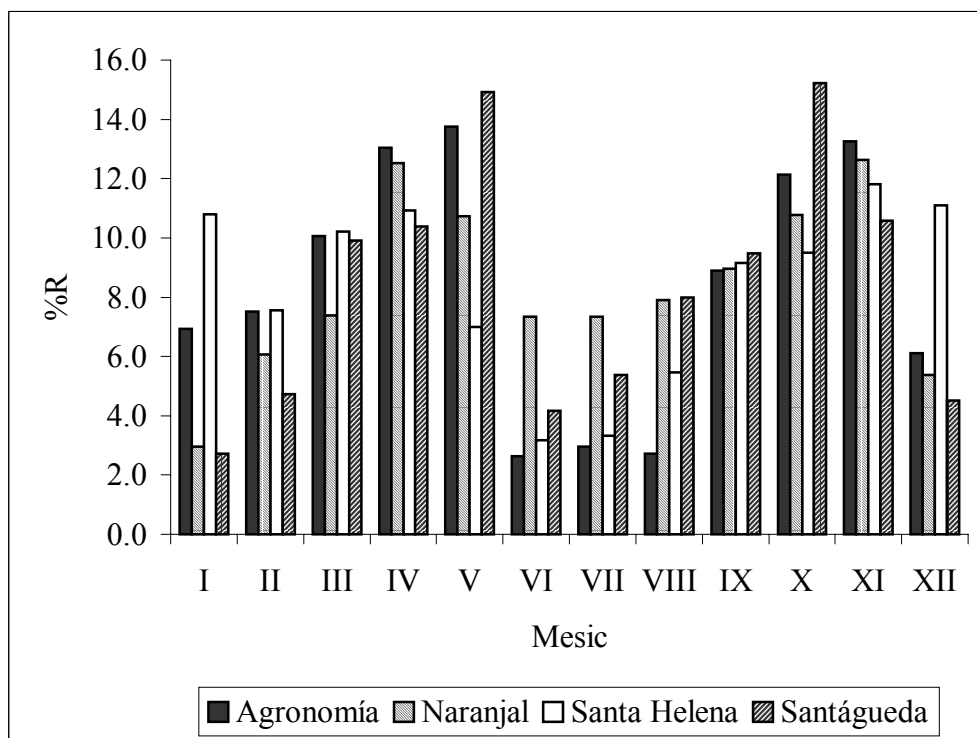
Santágueda

Z celkového počtu 3 860 analyzovaných dešťů bylo 312 dešťů určeno jako erozně nebezpečné. Průměrná roční hodnota faktoru R je rovna $7\,938 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}\text{h.}^{-1}\text{.r}^{-1}$. Průměrná hodnota faktoru R pro jeden dešť činí $262 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}\text{h.}^{-1}$. Základní údaje o erozně nebezpečných deštích jsou uvedeny v tabulce Tab. V. Průměrná doba opakování (T) výskytu erozně charakterizovaných hodnotou faktoru R je v Tab.VI. Pravděpodobnost překročení jejich výskytu je uvedena v Tab. VII.

Z výsledku vyplývá, že největší hodnota průměrného ročního faktoru R byla stanovena pro stanici Santa Helena ($21\,959 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}\text{h.}^{-1}\text{.r}^{-1}$) a naopak nejmenší hodnota byla spočítána pro stanici Agronomía ($5\,236 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}\text{h.}^{-1}\text{.r}^{-1}$). Rozdělení faktoru R do měsíců je rozdílné pro jednotlivé stanice a je uvedeno v grafu 1.

Dosažené výsledky doplnily znalosti o výskytu erozně nebezpečných dešťů. Pro získání reprezentativních údajů o průměrné roční hodnotě faktoru R pro jednotlivá místa by bylo třeba zpracovat úplné údaje, nejlépe za období alespoň 50 let. Tuto podmínku v Kolumbii nelze splnit, neboť pro většinu stanic existují údaje maximálně pro 20 leté období.

Graf 1: Rozdělení průměrné roční hodnoty R v jednotlivých měsících



PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě autoři vyjadřují své poděkování CENICAFE (Centro de Investigación de Café) za poskytnutí dat výše uvedených stanic a Universite de Caldas za umožnění zpracování tohoto článku.

Tab II: Výskyt erozně nebezpečných dešťů a jejich základní charakteristika pro stanici Agronomía (1976-1993)

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI
Počet erozně nebezpečných dešťů	35	46	47	63	46	24
Procento erozně nebezpečných dešťů	6.7	8.8	9	12	8.8	4.6
Průměrný srážkový úhrn deště (mm)	22.4	23.9	22.6	23.5	28.9	23.5
R max	957	971	828	883	1 963	606
R min	33	40	31	24	27	15
Průměrná měsíční hodnota R	363	393	527	683	720	138
%R	6.9	7.5	10.1	13.1	13.7	2.6
Maximální I ₃₀ (mm/h)	59.4	69.4	64.4	68.4	97.4	63.8
Minimální I ₃₀ (mm/h)	12.6	14.2	15.8	14.2	13	15
Měsíc	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Počet erozně nebezpečných dešťů	12	18	45	69	65	52
Procento erozně nebezpečných dešťů	2.3	3.5	8.6	13.2	12.5	10
Průměrný srážkový úhrn deště (mm)	21.3	25.1	24.7	27.2	25.2	22
R max	583	491	774	2183	895	712
R min	56	42	26	24	50	30
Průměrná měsíční hodnota R	155	142	466	635	694	320
%R	3	2.7	8.9	12.1	13.3	6.1
Maximální I ₃₀ (mm/h)	63.4	33	34	58.6	81.8	70
Minimální I ₃₀ (mm/h)	15.6	13.9	13.8	13.6	13.6	14.2

Tab III: Výskyt erozně nebezpečných dešťů a jejich základní charakteristika pro stanici Naranjal (1984-1993)

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI
Počet erozně nebezpečných dešťů	20	27	32	57	52	35
Procento erozně nebezpečných dešťů	5,4	10	7,6	11	8,2	6,9
Průměrný srážkový úhrn deště (mm)	26,5	28,8	30,7	31,5	27,9	29,4
R max	1315	1141	1384	1226	1086	1187
R min	56	55	58	55	39	61
Průměrná měsíční hodnota R	401	820	1000	1694	1452	994
%R	3	6.1	7.4	12.5	10.7	7.3
Maximální I ₃₀ (mm/h)	81	71,8	88	81,6	80,8	92
Minimální I ₃₀ (mm/h)	15,4	17,8	16,2	17,2	13	20,2
Měsíc	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Počet erozně nebezpečných dešťů	37	41	42	53	54	26
Procento erozně nebezpečných dešťů	9,1	8,6	8	9	8,8	6,5
Průměrný srážkový úhrn deště (mm)	28,7	31,2	31,3	28,9	29,6	27,3
R max	1226	1081	1348	1010	3987	1467
R min	73	63	58	49	45	54
Průměrná měsíční hodnota R	993	1068	1211	1458	1707	728
%R	87.3	7,9	9	10.8	12.6	5.4
Maximální I ₃₀ (mm/h)	79	78,8	63,8	82,4	70	83
Minimální I ₃₀ (mm/h)	20,2	17	18,4	16,2	15,4	16

Tab IV: Výskyt erozně nebezpečných dešťů a jejich základní charakteristika pro stanici Santa Helena (1984-1993)

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI
Počet erozně nebezpečných dešťů	54	43	46	61	32	25
Procento erozně nebezpečných dešťů	12.9	11.2	11.8	14.2	8.1	9.6
Průměrný srážkový úhrn deště (mm)	37.4	37.8	40.7	36.2	44	28.6
R max	4013	1753	2559	1205	1568	1295
R min	60	62	64	54	68	56
Průměrná měsíční hodnota R	2370	1662	2240	2398	1536	699
%R	10.8	7.6	10.2	10.9	7	3.2
Maximální I ₃₀ (mm/h)	117.6	129.6	106	79.6	112.2	76
Minimální I ₃₀ (mm/h)	16.2	16	18.4	15	17	17.6
Měsíc	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Počet erozně nebezpečných dešťů	24	43	52	65	67	69
Procento erozně nebezpečných dešťů	11	14.8	13.2	12.6	11.6	14
Průměrný srážkový úhrn deště (mm)	28.1	27.7	36.1	34.5	39.1	36.9
R max	1512	1664	1429	1676	1759	2597
R min	60	43	53	42	49	59
Průměrná měsíční hodnota R	729	1200	2011	2084	2593	2438
%R	3.3	5.5	9.2	9.5	11.8	11.1
Maximální I ₃₀ (mm/h)	107	100.2	105.8	108	112.6	109.2
Minimální I ₃₀ (mm/h)	16.2	14.8	18.4	15	16.8	19.2

Tab V: Výskyt erozně nebezpečných dešťů a jejich základní charakteristika pro stanici Santágueda (1984-1993)

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI
Počet erozně nebezpečných dešťů	11	15	28	38	40	15
Procento erozně nebezpečných dešťů	4.3	6.4	8.8	10.2	9.6	4.6
Průměrný srážkový úhrn deště (mm)	30.5	31.8	30.9	25.0	27.3	19.3
R max	466	484	1021	1484	1739	1260
R min	72	98	44	53	40	34
Průměrná měsíční hodnota R	216	376	787	825	1184	331
%R	2.7	4.7	9.9	10.4	14.9	4.2
Maximální I ₃₀ (mm/h)	55	55.8	80.8	70	78.6	60.8
Minimální I ₃₀ (mm/h)	20.6	23	13.2	15.4	13.4	17.4
Měsíc	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Počet erozně nebezpečných dešťů	16	27	36	40	30	16
Procento erozně nebezpečných dešťů	5.7	9.2	10.5	10.5	7.9	6.1
Průměrný srážkový úhrn deště (mm)	32.7	22.9	24.4	29.6	32.8	23.3
R max	637	646	805	1946	788	663
R min	59	56	61	47	62	52
Průměrná měsíční hodnota R	427	635	752	1208	840	358
%R	5.4	8.0	9.5	15.2	10.6	4.5
Maximální I ₃₀ (mm/h)	60.8	55	48.6	84	62.4	51.6
Minimální I ₃₀ (mm/h)	15.8	16.4	16	14.4	17.4	16.2

Tab. VI: Průměrná doba opakování (T) výskytu erozně nebezpečných dešťů charakterizovaných hodnotou faktoru R

m	Agronomía		Naranjal		Santa Helena		Santágueda	
	R	T	R	T	R	T	R	T
1	2 183	18.00	3 984	10.00	4 013	10.00	1 946	10.00
2	1 963	9.00	1 467	5.00	2 597	5.00	1 739	5.00
3	1 870	6.00	1 384	3.30	2 559	3.30	1 484	3.33
4	1 453	4.50	1 348	2.50	2 203	2.50	1 260	2.50
5	1 099	3.60	1 315	2.00	2 184	2.00	1 027	2.00
10	883	1.80	1 109	1.00	1 676	1.00	805	1.00
20	609	0.90	902	0.50	1 295	0.50	649	0.50
30	512	0.60	752	0.30	1 149	0.30	562	0.33
40	449	0.45	654	0.25	1 072	0.25	482	0.25
50	366	0.36	571	0.20	953	0.20	367	0.20
60	328	0.30	517	0.17	857	0.17	314	0.17
70	296	0.26	464	0.14	802	0.14	274	0.14
100	231	0.18	378	0.10	615	0.10	193	0.10
200	93	0.09	178	0.05	311	0.05	-	-

Tab. VII: Pravděpodobnost překročení výskytu erozně nebezpečných dešťů (p)

m	Agronomía		Naranjal		Santa Helena		Santágueda	
	p	R	p	R	p	R	p	R
1	0.054	2 183	0.095	3 984	0.095	4 013	0.095	1946
2	0.105	1 963	0.181	1 467	0.181	2 597	0.181	1739
3	0.154	1 870	0.259	1 384	0.259	2 559	0.259	1484
4	0.199	1 453	0.33	1 348	0.33	2 203	0.33	1260
5	0.243	1 099	0.393	1 315	0.393	2 184	0.393	1027
10	0.426	883	0.632	1 109	0.632	1 676	0.632	805
20	0.671	609	0.865	902	0.865	1 295	0.865	649
30	0.811	512	0.964	752	0.964	1 149	0.964	562
40	0.892	449	0.982	654	0.982	1 072	0.982	482
50	0.937	366	0.993	571	0.993	953	0.993	367
60	0.964	328	0.997	517	0.997	857	0.997	314
70	0.979	296	0.999	464	0.999	802	0.999	274

POUŽITÁ LITERATURA

1. CARTNER, C.E. et al. 1974. Raindrop characteristics in South Central United States. Trans. Am.Soc.Agric.Engrs. 17, pp1033-1037.
2. FOSTER et al. 1981. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. Journal of Soil and Water Conservation. pp 355-359.
3. HUDSON, N. W. 1961. An introduction to the mechanics of soil erosion under conditions of subtropical rainfall. Rhodesia Science Association Proceedings, 49, 14-25. Nueva York. 320p.
4. KIRKBY, M. J, MORGAN, R.P.C. 1961. Erosión de suelos, México, 354p.
5. PAULET M.,I. 1973. Guía para el planeamiento del uso de las tierras agrícolas en las zonas de lluvia del Perú. Programa de Conservación de Suelos-Publicación 3, Lima. Perú. 54p.
6. RIVERA P.,H. 1990. Determinación de los Índices de Erosividad, Erodabilidad y Erosión Potencial en la Zona Cafetera Central Colombiana (Caldas, Quindío y Risalda). Palmira (Colombia). Universidad Nacional de Colombia (Tesis Master Science). 310 p.
7. RIVERA P.H., GÓMEZ A.,A: 1991. Erosividad de las lluvias de la zona cafetera central colombiana (Caldas, Quindío, Risalda), CENICAFÉ. pp37-52.
8. TOMAN, F., DVOŘÁKOVÁ, A. 1998. Výskyt erozně nebezpečných dešťů ve stanici Telč. En: Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. Brno. XLVI, No.4, pp.: 65-68
9. WISCHMEIER, W. H., SMITH, D.D. 1965. Predicting rainfall erosion losses from Cropland East of Rocky Mountains, United States Department of agriculture, (Agricultural Handbook No. 282). Washington, D.C. 58 p.
10. WISCHMEIER, W. H., SMITH, D.E. 1978. Predicting rainfall erosion losses. United States Department of agriculture, (Agricultural Handbook No. 537). 58 p.

Kontaktní adresa:

Ing. Alena Dvorakova, Dpto. Recursos Naturales y Medio Ambiente, Universidad de Caldas,
Calle 65 No. 26-10, A.A. 275, Manizales, Colombia