

Procesamiento de datos método bivariado (WofE)

El método bivariado emplea un enfoque bayesiano para cuantificar las relaciones entre los factores condicionantes y la ocurrencia de movimientos en masa. Por medio de la asignación de pesos de probabilísticos, se evalúa la influencia individual que tiene cada factor en la inestabilidad del terreno (Bonham, (1994) citado en Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2017). De acuerdo con esto, para la ejecución del método fue necesario la asignación de pesos de evidencia a cada una de las variables utilizadas como, coberturas (Tabla 1), cambio de cobertura (Tabla 2), uso de suelo (Tabla 3), geomorfología (Tabla 4), UGS (Tabla 5), curvatura (Tabla 6), pendiente (Tabla 7), distancia a fallas (Tabla 8) y rugosidad (Tabla 9).

A continuación, se hace una breve descripción según el SGC, (2017) de cada uno de los elementos que están presentes en las tablas anteriormente mencionadas.

- 1.1. Categoría:** Corresponde a la clasificación individual de cada una de las variables.
- 1.2. Class Slide:** Aquí se ubicó el conteo de píxeles de los movimientos en masa que se encuentra en cada categoría.
- 1.3. N Class:** Corresponde a la cantidad de píxeles de cada categoría en la zona de estudio.
- 1.4. N Map:** Corresponde al conteo total de los píxeles que presenta la zona de estudio.
- 1.5. N Slide:** Se ubica el total de píxeles de los movimientos en masa que se encuentran en la zona de estudio.
- 1.6. Npx1:** Presencia del factor detonante en el deslizamiento (N Class).

1.7. Npx2: No hay presencia del factor detonante (variables) en el deslizamiento (N Slide – Class Slide).

1.8. Npx3: Factor condicionante (N Slide).

1.9. Npx4: No hay deslizamiento ni factor condicionante (N Map – N Slide).

1.10. Peso Positivo W_i^+ : Evalúa la importancia de la presencia del factor para la ocurrencia del deslizamiento, para obtener el valor del peso positivo se utiliza la [Ecuación 1](#).

Ecuación 1.

Ecuación cálculo de peso positivo expresado en términos de pixeles

$$W_i^+ = \ln \frac{\frac{Npix1}{Npix1 + Npix2}}{\frac{Npix3}{Npix3 + Npix}}$$

1.11. Peso Negativo W_i^- : Evalúa la importancia de la ausencia del factor para la ocurrencia del deslizamiento para obtener el valor del peso negativo se utiliza la [Ecuación 2](#).

Ecuación 2.

Ecuación cálculo de peso negativo expresado en términos de pixeles

$$W_i^- = \ln \frac{\frac{Npix2}{Npix1 + Npix2}}{\frac{Npix4}{Npix3 + Npix}}$$

1.12. Peso final W_f : Esta medida representa la correlación entre el factor condicionante y los movimientos en masa.

Corresponde al peso final y se utiliza la [Ecuación 3](#).

Ecuación 3.

Ecuación cálculo de peso final

$$W_f = W_i^+ - W_i^-$$

Tabla 1.*Pesos de evidencia de coberturas de la tierra*

COBERTURAS											
Categoría	Class slide	N Class	N Map	N Slide	Npx1	Npx2	Npx3	Npx4	W (+)	W (-)	W _f
2.3.1. Pastos limpios	301	125208	669611	511	301	210	125208	544403	1,147461267	-0,682254894	1,829716161
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	23	114363	669611	511	23	488	114363	555248	-1,333556028	0,141227902	-1,474783929
3.2.3.2. Vegetación secundaria baja	6	40077	669611	511	6	505	40077	629534	-1,628715778	0,049905923	-1,678621701
3.2.3.1. Vegetación secundaria alta	1	679	669611	511	1	510	679	668932	0,657461508	-0,000944328	0,658405836
3.2.2.2. Arbustal abierto	18	41155	669611	511	18	493	41155	628456	-0,556646312	0,027570513	-0,584216825
2.3.3. Pastos enmalezados	1	33981	669611	511	1	510	33981	635630	-3,255474188	0,050121449	-3,305595638
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	1	41444	669611	511	1	510	41444	628167	-3,454015762	0,061932028	-3,515947789
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	5	48238	669611	511	5	506	48238	621373	-1,996381823	0,06493248	-2,061314303
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	103	74317	669611	511	103	408	74317	595294	0,596716617	-0,10746087	0,704177487
3.2.1.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado	5	235	669611	511	5	506	235	669376	3,327935034	-0,009481909	3,337416943
3.1.3.2. Bosque fragmentado con vegetación secundaria	1	12902	669611	511	1	510	12902	656709	-2,287054982	0,017497084	-2,304552066
3.2.2.1. Arbustal denso	1	15003	669611	511	1	510	15003	654608	-2,437922825	0,020701499	-2,458624324
3.1.3.1. Bosque fragmentado con pastos y cultivos	1	3308	669611	511	1	510	3308	666303	-0,926016421	0,00299356	-0,929009981
3.1.4. Bosque de galería y ripario	5	14820	669611	511	5	506	14820	654791	-0,816212351	0,012547925	-0,828760276
1.1.1. Tejido urbano continuo	1	3424	669611	511	1	510	3424	666187	-0,960482102	0,00316767	-0,963649772
3.1.5. Plantación forestal	36	4775	669611	511	36	475	4775	664836	2,290452321	-0,065898233	2,356350554
2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	1	53043	669611	511	1	510	53043	616568	-3,700775549	0,080569466	-3,781345014
3.1.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme	1	42639	669611	511	1	510	42639	626972	-3,482441971	0,0638362	-3,546278171

Tabla 2.*Pesos de evidencia de cambio de coberturas de la tierra*

CAMBIO DE COBERTURA / BOSQUE - NO BOSQUE											
Categoría	Class slide	N Class	N Map	N Slide	Npx1	Npx2	Npx3	Npx4	W (+)	W (-)	W _f
No bosque estable	362	378497	669577	526	362	164	378497	291080	0,196781022	-0,332386759	0,529167781
Regeneración	1	35197	669577	526	1	525	35197	634380	-3,319615895	0,052095076	-3,37171097
Deforestación	3	18027	669577	526	3	523	18027	651550	-1,551913388	0,021572281	-1,57348567
Sin información	146	64496	669577	526	146	380	64496	605081	1,058348372	-0,223846124	1,282194496
Bosque estable	13	146023	669577	526	13	513	146023	523554	-2,177469829	0,220980625	-2,398450454
Sin información	1	27337	669577	526	1	525	27337	642240	-3,066896139	0,039781154	-3,106677293

Tabla 3.*Pesos de evidencia de uso de suelo*

USO DE SUELOS											
Categoría	Class slide	N Class	N Map	N Slide	Npx1	Npx2	Npx3	Npx4	W (+)	W (-)	W _f
Cultivos permanentes intensivos de clima medio	1	71499	669612	511	1	510	71499	598113	-3,999354614	0,110959876	-4,11031449
Conservación y Recuperación Erosión	103	108248	669612	511	103	408	108248	561364	0,220632947	-0,048773512	0,269406459
Protección – producción	82	153137	669612	511	82	429	153137	516475	-0,354284848	0,084758884	-0,439043733
Forestal de protección	315	283859	669612	511	315	196	283859	385753	0,374423853	-0,406753759	0,781177612
Pastoreo extensivo de clima medio	9	50640	669612	511	9	502	50640	618972	-1,457188351	0,060868932	-1,518057283
Zonas urbanas	1	2229	669612	511	1	510	2229	667383	-0,531224204	0,001375482	-0,532599686

Tabla 4.*Pesos de evidencia de geomorfología*

GEOMOFOLÓGÍA											
Categoría	Class slide	N Class	N Map	N Slide	Npx1	Npx2	Npx3	Npx4	W (+)	W (-)	W _f
Sesbc	1	5507	669596	511	1	510	5507	664089	-1,435715055	0,006299504	-1,442014559
Sesam	1	15410	669596	511	1	510	15410	654186	-2,464711694	0,021323966	-2,48603566
Dld	1	38130	669596	511	1	510	38130	631466	-3,370696419	0,056671581	-3,427367999
Sesmm	1	6617	669596	511	1	510	6617	662979	-1,61933714	0,007972365	-1,627309505
Dldi	1	27398	669596	511	1	510	27398	642198	-3,040165063	0,039819014	-3,079984076
Dldebc	44	36238	669596	511	44	467	36238	633358	0,464386297	-0,03440161	0,498787907
Slf	21	32252	669596	511	21	490	32252	637344	-0,158752664	0,007400805	-0,166153469
Dle	53	48636	669596	511	53	458	48636	620960	0,356232871	-0,034092528	0,3903254
Deem	1	14143	669596	511	1	510	14143	655453	-2,378914847	0,019389081	-2,398303928
Fea	1	10430	669596	511	1	510	10430	659166	-2,074381314	0,013740281	-2,088121595
Faaac	1	30403	669596	511	1	510	30403	639193	-3,144236333	0,044509238	-3,18874557
Dldebm	1	18668	669596	511	1	510	18668	650928	-2,656505873	0,026316644	-2,682822517
Dldeam	1	8792	669596	511	1	510	8792	660804	-1,903537262	0,011258405	-1,914795667
Dldemc	28	29066	669596	511	28	483	29066	640530	0,232940359	-0,01197435	0,244914709
Dlo	4	26480	669596	511	4	507	26480	643116	-1,619790415	0,032490847	-1,652281261
Sloe	58	35389	669596	511	58	453	35389	634207	0,764346928	-0,066178319	0,830525247
Dcd	1	14672	669596	511	1	510	14672	654924	-2,41563596	0,020196483	-2,435832443
Sesmc	1	4054	669596	511	1	510	4054	665542	-1,129399093	0,004113935	-1,133513027
Sla	14	9916	669596	511	14	497	9916	659680	0,615212671	-0,012859888	0,628072558
Fpi	7	19609	669596	511	7	504	19609	649987	-0,75977354	0,015928861	-0,775702401
Dldeml	1	19424	669596	511	1	510	19424	650172	-2,69620446	0,027478738	-2,723683197

Dldeac	1	11665	669596	511	1	510	11665	657931	-2,18628795	0,015615618	-2,201903569
Sesal	1	12847	669596	511	1	510	12847	656749	-2,282805366	0,017413775	-2,300219141
Sesac	186	15455	669596	511	186	325	15455	654141	2,758119053	-0,429192787	3,187311184
Dldemm	1	28495	669596	511	1	510	28495	641101	-3,079423678	0,04152867	-3,120952348
Dlde	1	10691	669596	511	1	510	10691	658905	-2,099097311	0,014136315	-2,113233625
Sesbm	1	4450	669596	511	1	510	4450	665146	-1,222599141	0,004709116	-1,227308256
Dcrem	1	3486	669596	511	1	510	3486	666110	-0,978449992	0,003260859	-0,981710851
Dlmd	55	26784	669596	511	55	456	26784	642812	0,989833446	-0,073054537	1,062887983
Ss	4	15147	669596	511	4	507	15147	654449	-1,061203176	0,015022299	-1,076225475
Faas	1	56451	669596	511	1	510	56451	613145	-3,76306805	0,086114231	-3,849182281
Sce	1	5172	669596	511	1	510	5172	664424	-1,372954506	0,005795181	-1,378749687
Dc	15	13447	669596	511	15	496	13447	656149	0,379599123	-0,009507015	0,389106139
Dldeal	1	14272	669596	511	1	510	14272	655324	-2,387994621	0,019585911	-2,407580532

Tabla 5.*Pesos de evidencia de las unidades geológicas superficiales*

UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES											
Categoría	Class slide	N Class	N Map	N Slide	Npx1	Npx2	Npx3	Npx4	W (+)	W (-)	W ^f
Riccfec	1	39489	669596	511	1	510	39489	630107	-3,405717197	0,058826035	-3,464543232
Ricmbbm	2	31649	669596	511	2	509	31649	637947	-2,491254417	0,044497764	-2,535752181
Staa	6	100482	669596	511	6	505	100482	569114	-2,547914183	0,150782619	-2,698696801
Ricrdbm	19	10872	669596	511	19	492	10872	658724	0,828553258	-0,021520959	0,850074216
Rmmclbm	1	72566	669596	511	1	510	72566	597030	-4,014191537	0,112748318	-4,126939855
Srlbm	11	8783	669596	511	11	500	8783	660813	0,495382193	-0,008557841	0,503940035
Rmclbm	97	102886	669596	511	97	414	102886	566710	0,211394355	-0,04367678	0,255071135
Riclbm	1	31288	669596	511	1	510	31288	638308	-3,172929682	0,045894755	-3,218824438
Rmccfec	5	25294	669596	511	5	506	25294	644302	-1,350824346	0,028674064	-1,37949841
Rmmccfec	1	19977	669596	511	1	510	19977	649619	-2,724276657	0,028329644	-2,7526063
Rmcmbbm	1	27732	669596	511	1	510	27732	641864	-3,052282026	0,040339238	-3,092621264
Rmmceec	22	9089	669596	511	22	489	9089	660507	1,154282517	-0,030340277	1,184622795
Sreec	1	517	669596	511	1	510	517	669079	0,93001736	-0,001186459	0,931203819
Rmceec	37	18585	669596	511	37	474	18585	651011	0,958868064	-0,047014262	1,005882326
Srmbbm	4	1261	669596	511	4	507	1261	668335	1,424694259	-0,005973586	1,430667845
Ricmb	1	932	669596	511	1	510	932	668664	0,34072742	-0,000566011	0,34129343
Srmb	1	154	669596	511	1	510	154	669442	2,141107632	-0,001728849	2,14283648
Srfec	1	2008	669596	511	1	510	2008	667588	-0,426834247	0,001044464	-0,427878711
Rmcmf	122	61673	669596	511	122	389	61673	607923	0,952479766	-0,17616393	1,128643696
Rmmcrdbm	159	14944	669596	511	159	352	14944	654652	2,634899276	-0,350167666	2,985066942
Rmcrdbm	1	6764	669596	511	1	510	6764	662832	-1,641309476	0,008194117	-1,649503592

Rmcmb	1	5923	669596	511	1	510	5923	663673	-1,508538122	0,006926123	-1,515464245
Srmf	1	2278	669596	511	1	510	2278	667318	-0,55299291	0,001448987	-0,554441897
Rmmcmf	9	21919	669596	511	9	502	21919	647677	-0,619824308	0,01551296	-0,635337268
Sta	1	16411	669596	511	1	510	16411	653185	-2,527646886	0,022855284	-2,55050217
Ricmf	1	31165	669596	511	1	510	31165	638431	-3,168990715	0,045702077	-3,214692792
Srrdbm	1	307	669596	511	1	510	307	669289	1,451212487	-0,001500274	1,452712761
Rbcrdbm	1	318	669596	511	1	510	318	669278	1,416008851	-0,001483838	1,41749269
Rmmcmbbm	1	3342	669596	511	1	510	3342	666254	-0,936264475	0,003044702	-0,939309177
Rmmcmb	1	988	669596	511	1	510	988	668608	0,282377536	-0,000482258	0,282859795

Tabla 6.

Pesos de evidencia de curvatura

CURVATURA											
Categoría	Class slide	N Class	N Map	N Slide	Npx1	Npx2	Npx3	Npx4	W (+)	W (-)	W _f
1	55	76670	669592	512	55	457	76670	592922	-0,063833366	0,007964482	-0,071797847
2	112	192516	669592	512	112	400	192516	477076	-0,273336449	0,092132686	-0,365469136
3	184	241546	669592	512	184	328	241546	428046	-0,003780227	0,002126889	-0,005907115
4	127	124654	669592	512	127	385	124654	544938	0,286989134	-0,079084746	0,36607388
5	34	34206	669592	512	34	478	34206	635386	0,262303404	-0,016278009	0,278581413

Tabla 7.*Pesos de evidencia de pendientes*

PENDIENTE											
Categoría	Class slide	N Class	N Map	N Slide	Npx1	Npx2	Npx3	Npx4	W (+)	W (-)	Wf
0-12	22	148292	669592	512	22	490	148292	521300	-1,639796903	0,206423646	-1,846220549
12-24	150	195540	669592	512	150	362	195540	474052	0,003214279	-0,001328862	0,004543141
24-36	258	253486	669592	512	258	254	253486	416106	0,285994937	-0,225261822	0,511256759
36-48	79	68592	669592	512	79	433	68592	601000	0,409615889	-0,05951326	0,469129149
48-60	2	3549	669592	512	2	510	3549	666043	-0,305174746	0,001400439	-0,306575186
60-69	1	133	669592	512	1	511	133	669459	2,285750097	-0,001756387	2,287506484

Tabla 8.*Pesos de evidencia de distancia a fallas*

DISTANCIA A FALLAS											
Categoría	Class slide	N Class	N Map	N Slide	Npx1	Npx2	Npx3	Npx4	W (+)	W (-)	Wf
1	491	323095	669594	524	491	33	323095	346499	0,663677604	-2,106192497	2,769870101
2	29	208102	669594	524	29	495	208102	461492	-1,72555264	0,315272918	-2,040825558
3	1	91543	669594	524	1	523	91543	578051	-4,271628933	0,145099238	-4,416728171
4	1	31789	669594	524	1	523	31789	637805	-3,213940444	0,046728744	-3,260669188
5	1	14830	669594	524	1	523	14830	654764	-2,451472282	0,020486473	-2,471958755
6	1	235	669594	524	1	523	235	669359	1,693349639	-0,0015592	1,694908839

Tabla 9.*Pesos de evidencia de rugosidad*

RUGOSIDAD											
Categoría	Class slide	N Class	N Map	N Slide	Npx1	Npx2	Npx3	Npx4	W (+)	W (-)	W _f
1	117	207704	669592	512	117	395	207704	461888	-0,305596108	0,111907274	-0,417503382
2	191	225794	669592	512	191	321	225794	443798	0,100994296	-0,055584434	0,15657873
3	148	143861	669592	512	148	364	143861	525731	0,296708665	-0,099291861	0,396000526
4	40	73452	669592	512	40	472	73452	596140	-0,339408731	0,034847393	-0,374256124
5	16	18781	669592	512	16	496	18781	650811	0,108086948	-0,003299404	0,111386352

Referencias bibliográficas

Bonham Carter, G. F. (1994). Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS. *Ottawa: Pergamon Press, 13.*

Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2017). *GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA ESCALA 1: 25.000.*