NOMBRE	FRAGILIDAD (S)	INTENSIDAD (I)	RELACIÓN INTENSIDAD - FRAGILIDAD	VULNERABILIDAD
Inf-23	0,919	0,7	I > 1 - S	0,947
Inf-24	0,972	0,7	I > 1 - S	0,952
Inf-25	0,936	0,7	I > 1 - S	0,949
Inf-26	0,936	0,7	I > 1 - S	0,949
Inf-27	0,936	0,7	I > 1 - S	0,949
Inf-28	0,957	0,7	I > 1 - S	0,951
Inf-29	0,936	0,7	I > 1 - S	0,949
Inf-30	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-31	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-32	0,972	0,7	I > 1 - S	0,952
Inf-33	0,979	0,7	I > 1 - S	0,953
Inf-34	0,919	0,7	I > 1 - S	0,947
Inf-35	0,999	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-36	0,684	0,7	I > 1 - S	0,904
Inf-37	0,684	0,7	I > 1 - S	0,904
Inf-38	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-39	0,995	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-40	0,979	0,7	I > 1 - S	0,953
Inf-41	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-42	0,979	0,7	I > 1 - S	0,953
Inf-43	0,865	0,7	I > 1 - S	0,940
Inf-44	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-45	0,936	0,7	I > 1 - S	0,949
Inf-46	0,936	0,7	I > 1 - S	0,949
Inf-47	0,979	0,7	I > 1 - S	0,953
Inf-48	0,865	0,7	I > 1 - S	0,940
Inf-49	0,995	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-50	0,865	0,7	I > 1 - S	0,940
Inf-51	0,936	0,7	I > 1 - S	0,949
Inf-52	0,774	0,7	I > 1 - S	0,925
Inf-53	0,919	0,7	I > 1 - S	0,947
Inf-54	0,684	0,7	I > 1 - S	0,904
Inf-55	0,979	0,7	I > 1 - S	0,953
Inf-56	0,774	0,7	I > 1 - S	0,925
Inf-57	0,774	0,7	I > 1 - S	0,925
Inf-58	0,995	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-59	0,893	0,7	I > 1 - S	0,944
Inf-60	0,957	0,7	I > 1 - S	0,951
Inf-61	0,936	0,7	I > 1 - S	0,949
Inf-62	0,979	0,7	I > 1 - S	0,953

NOMBRE	FRAGILIDAD (S)	INTENSIDAD (I)	RELACIÓN INTENSIDAD - FRAGILIDAD	VULNERABILIDAD
Inf-63	0,774	0,7	I > 1 - S	0,925
Inf-64	0,979	0,7	I > 1 - S	0,953
Inf-65	0,774	0,7	I > 1 - S	0,925
Inf-66	0,822	0,7	I > 1 - S	0,933
Inf-67	0,986	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-68	0,986	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-69	0,936	0,7	I > 1 - S	0,949
Inf-70	0,991	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-71	0,774	0,7	I > 1 - S	0,925
Inf-72	0,865	0,7	I > 1 - S	0,940
Inf-73	0,822	0,7	I > 1 - S	0,933
Inf-74	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-75	0,941	0,7	I > 1 - S	0,949
Inf-76	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-77	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-78	0,684	0,7	I > 1 - S	0,904
Inf-79	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-80	0,774	0,7	I > 1 - S	0,925
Inf-81	0,979	0,7	I > 1 - S	0,953
Inf-82	0,774	0,7	I > 1 - S	0,925
Inf-83	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-84	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-85	0,684	0,7	I > 1 - S	0,904
Inf-86	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-87	0,810	0,7	I > 1 - S	0,931
Inf-88	0,822	0,7	I > 1 - S	0,933
Inf-89	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-90	0,774	0,7	I > 1 - S	0,925
Inf-91	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-92	0,979	0,7	I > 1 - S	0,953
Inf-93	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-94	0,774	0,7	I > 1 - S	0,925
Inf-95	0,822	0,7	I > 1 - S	0,933
Inf-96	0,936	0,7	I > 1 - S	0,949
Inf-97	0,684	0,7	I > 1 - S	0,904
Inf-98	0,774	0,7	I > 1 - S	0,925
Inf-99	0,941	0,7	I > 1 - S	0,949
Inf-100	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-101	0,964	0,7	I > 1 - S	0,952
Inf-102	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954

NOMBRE	FRAGILIDAD (S)	INTENSIDAD (I)	RELACIÓN INTENSIDAD - FRAGILIDAD	VULNERABILIDAD
Inf-103	0,979	0,7	I > 1 - S	0,953
Inf-104	0,979	0,7	I > 1 - S	0,953
Inf-105	0,979	0,7	I > 1 - S	0,953
Inf-106	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-107	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-108	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-109	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-110	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-111	0,936	0,7	I > 1 - S	0,949
Inf-112	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-113	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-114	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-115	0,936	0,7	I > 1 - S	0,949
Inf-116	0,957	0,7	I > 1 - S	0,951
Inf-117	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-118	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-119	0,865	0,7	I > 1 - S	0,940
Inf-120	0,929	0,7	I > 1 - S	0,948
Inf-121	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-122	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-123	0,865	0,7	I > 1 - S	0,940
Inf-124	0,919	0,7	I > 1 - S	0,947
Inf-125	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-126	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-127	0,957	0,7	I > 1 - S	0,951
Inf-128	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-129	0,936	0,7	I > 1 - S	0,949
Inf-130	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-131	0,774	0,7	I > 1 - S	0,925
Inf-132	0,893	0,7	I > 1 - S	0,944
Inf-133	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-134	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-135	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-136	0,979	0,7	I > 1 - S	0,953
Inf-137	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-138	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-139	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-140	0,774	0,7	I > 1 - S	0,925
Inf-141	0,979	0,7	I > 1 - S	0,953
Inf-142	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954

NOMBRE	FRAGILIDAD (S)	INTENSIDAD (I)	RELACIÓN INTENSIDAD - FRAGILIDAD	VULNERABILIDAD
Inf-143	0,993	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-144	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-145	0,929	0,7	I > 1 - S	0,948
Inf-146	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-147	0,865	0,7	I > 1 - S	0,940
Inf-148	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-149	0,946	0,7	I > 1 - S	0,950
Inf-150	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-151	0,822	0,7	I > 1 - S	0,933
Inf-152	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-153	0,919	0,7	I > 1 - S	0,947
Inf-154	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-155	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-156	0,684	0,7	I > 1 - S	0,904
Inf-157	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-158	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-159	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-160	0,774	0,7	I > 1 - S	0,925
Inf-161	0,936	0,7	I > 1 - S	0,949
Inf-162	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-163	0,957	0,7	I > 1 - S	0,951
Inf-164	0,774	0,7	I > 1 - S	0,925
Inf-165	0,684	0,7	I > 1 - S	0,904
Inf-166	0,893	0,7	I > 1 - S	0,944
Inf-167	0,893	0,7	I > 1 - S	0,944
Inf-168	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-169	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-170	0,850	0,7	I > 1 - S	0,938
Inf-171	0,893	0,7	I > 1 - S	0,944
Inf-172	0,957	0,7	I > 1 - S	0,951
Inf-173	0,936	0,7	I > 1 - S	0,949
Inf-174	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-175	0,893	0,7	I > 1 - S	0,944
Inf-176	0,865	0,7	I > 1 - S	0,940
Inf-177	0,919	0,7	I > 1 - S	0,947
Inf-178	0,936	0,7	I > 1 - S	0,949
Inf-179	0,684	0,7	I > 1 - S	0,904
Inf-180	0,865	0,7	I > 1 - S	0,940
Inf-181	0,936	0,7	I > 1 - S	0,949
Inf-182	0,822	0,7	I > 1 - S	0,933

NOMBRE	FRAGILIDAD (S)	INTENSIDAD (I)	RELACIÓN INTENSIDAD - FRAGILIDAD	VULNERABILIDAD
Inf-183	0,936	0,7	I > 1 - S	0,949
Inf-184	0,941	0,7	I > 1 - S	0,949
Inf-185	0,936	0,7	I > 1 - S	0,949
Inf-186	0,936	0,7	I > 1 - S	0,949
Inf-187	0,594	0,7	I > 1 - S	0,872
Inf-188	0,774	0,7	I > 1 - S	0,925
Inf-189	0,774	0,7	I > 1 - S	0,925
Inf-190	0,936	0,7	I > 1 - S	0,949
Inf-191	0,774	0,7	I > 1 - S	0,925
Inf-192	0,957	0,7	I > 1 - S	0,951
Inf-193	0,979	0,7	I > 1 - S	0,953
Inf-194	0,774	0,7	I > 1 - S	0,925
Inf-195	0,865	0,7	I > 1 - S	0,940
Inf-196	0,919	0,7	I > 1 - S	0,947
Inf-197	0,919	0,7	I > 1 - S	0,947
Inf-198	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-199	0,957	0,7	I > 1 - S	0,951
Inf-200	0,936	0,7	I > 1 - S	0,949
Inf-201	0,919	0,7	I > 1 - S	0,947
Inf-202	0,919	0,7	I > 1 - S	0,947
Inf-203	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-204	0,919	0,7	I > 1 - S	0,947
Inf-205	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-206	0,919	0,7	I > 1 - S	0,947
Inf-207	0,865	0,7	I > 1 - S	0,940
Inf-208	0,893	0,7	I > 1 - S	0,944
Inf-209	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-210	0,865	0,7	I > 1 - S	0,940
Inf-211	0,594	0,7	I > 1 - S	0,872
Inf-212	0,919	0,7	I > 1 - S	0,947
Inf-213	0,919	0,7	I > 1 - S	0,947
Inf-214	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-215	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-216	0,774	0,7	I > 1 - S	0,925
Inf-217	0,919	0,7	I > 1 - S	0,947
Inf-218	0,893	0,7	I > 1 - S	0,944
Inf-219	0,936	0,7	I > 1 - S	0,949
Inf-220	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-221	0,936	0,7	I > 1 - S	0,949
Inf-222	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954

NOMBRE	FRAGILIDAD (S)	INTENSIDAD (I)	RELACIÓN INTENSIDAD - FRAGILIDAD	VULNERABILIDAD
Inf-223	0,936	0,7	I > 1 - S	0,949
Inf-224	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-225	0,936	0,7	I > 1 - S	0,949
Inf-226	0,774	0,7	I > 1 - S	0,925
Inf-227	0,936	0,7	I > 1 - S	0,949
Inf-228	0,774	0,7	I > 1 - S	0,925
Inf-229	0,936	0,7	I > 1 - S	0,949
Inf-230	0,881	0,7	I > 1 - S	0,942
Inf-231	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-232	0,936	0,7	I > 1 - S	0,949
Inf-233	0,774	0,7	I > 1 - S	0,925
Inf-234	0,919	0,7	I > 1 - S	0,947
Inf-235	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-236	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-237	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-238	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-239	0,919	0,7	I > 1 - S	0,947
Inf-240	0,684	0,7	I > 1 - S	0,904
Inf-241	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-242	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-243	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-244	0,979	0,7	I > 1 - S	0,953
Inf-245	0,919	0,7	I > 1 - S	0,947
Inf-246	0,919	0,7	I > 1 - S	0,947
Inf-247	0,919	0,7	I > 1 - S	0,947
Inf-248	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-249	0,936	0,7	I > 1 - S	0,949
Inf-250	0,957	0,7	I > 1 - S	0,951
Inf-251	0,919	0,7	I > 1 - S	0,947
Inf-252	0,979	0,7	I > 1 - S	0,953
Inf-253	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-254	0,919	0,7	I > 1 - S	0,947
Inf-255	0,774	0,7	I > 1 - S	0,925
V-01	0,750	0,7	I > 1 - S	0,920
V-02	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
V-03	0,870	0,7	I > 1 - S	0,941
V-04	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
V-05	0,650	0,7	I > 1 - S	0,893
V-06	0,940	0,7	I > 1 - S	0,949
V-07	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954

NOMBRE	FRAGILIDAD (S)	INTENSIDAD (I)	RELACIÓN INTENSIDAD - FRAGILIDAD	VULNERABILIDAD
V-08	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
V-09	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
V-10	0,710	0,7	I > 1 - S	0,911
V-11	0,640	0,7	I > 1 - S	0,890
V-12	0,620	0,7	I > 1 - S	0,883
V-13	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
V-14	0,770	0,7	I > 1 - S	0,924
V-15	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
V-16	0,500	0,7	I > 1 - S	0,820
V-17	0,830	0,7	I > 1 - S	0,935
V-18	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
V-19	0,620	0,7	I > 1 - S	0,883
V-20	0,990	0,7	I > 1 - S	0,954
V-21	0,800	0,7	I > 1 - S	0,930
V-22	0,760	0,7	I > 1 - S	0,922
V-23	0,650	0,7	I > 1 - S	0,893
V-24	0,660	0,7	I > 1 - S	0,897
V-25	0,460	0,7	I > 1 - S	0,787
V-26	0,970	0,7	I > 1 - S	0,952
V-27	0,700	0,7	I > 1 - S	0,908
V-28	0,670	0,7	I > 1 - S	0,900
V-29	0,800	0,7	I > 1 - S	0,930
M-01	0,800	0,7	I > 1 - S	0,930
M-02	0,800	0,7	I > 1 - S	0,930

Fuente: GAIA J&S S.A.S.

Para la clasificación de la vulnerabilidad se tienen en cuenta los siguientes:

Tabla 48. Daños esperados para edificaciones y líneas vitales

CLASIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	VALOR DE VULNERABILIDAD	NIVEL DE DAÑO
Alta	0,50-1,00	Total – colapso
Media	0,10-0,50	Grave
Baja	0,02-0,10	Moderado
	0,00-0,02	Bajo

Fuente: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa

Tabla 49. Daños esperados para edificaciones y líneas vitales

CLASIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	EDIFICACIONES	RED VIAL	REDES DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO	REDES ELÉCTRICAS Y DE TELECOMUNICACIONES
Alta	Colapso parcial o total de la estructura. Rotura de muros. Destrucción total de acabados y accesorios.	Bloqueo total de la vía. Se afecta totalmente el tránsito de vehículos	Rotura inminente de las tuberías. Interrupción del servicio. Es necesario reconstruir el tramo de la red.	Los postes son derribados o fragmentados. Las líneas de tensión se ven afectadas y se interrumpe el servicio
Media	Grietas anchas y profundas. Plastificación local de los elementos estructurales. Posible colapso de elementos no estructurales. Daños en los muros. Daño grave de acabados.	Parte del volumen deslizado reposa sobre la vía. Los vehículos pasan con dificultad.	Las tuberías se afectan e incluso se pueden romper. El servicio se ve disminuido. Es necesario reparar la red luego del evento.	Los postes son alcanzados por la masa deslizada, induciendo desplazamientos o inclinaciones en los postes sin comprometer las líneas de tensión y sin interrumpir el servicio.
Baja	Grietas grandes y profundas. Daños graves en elementos no estructurales. Quiebre de ventanas. Entrada de material a la edificación. Daños en pisos Grietas pequeñas. Despegues de pequeños pedazos de pañete, despegue de algunos ladrillos	No existe material sobre la vía o el material que alcanzó la vía es fácilmente evadible por los vehículos	Las tuberías se desplazan levemente, sin sufrir daños y sin afectar el servicio	Los postes no son alcanzados por la masa del deslizamiento o son alcanzados con una energía de impacto baja que no les induce desplazamientos o daños.

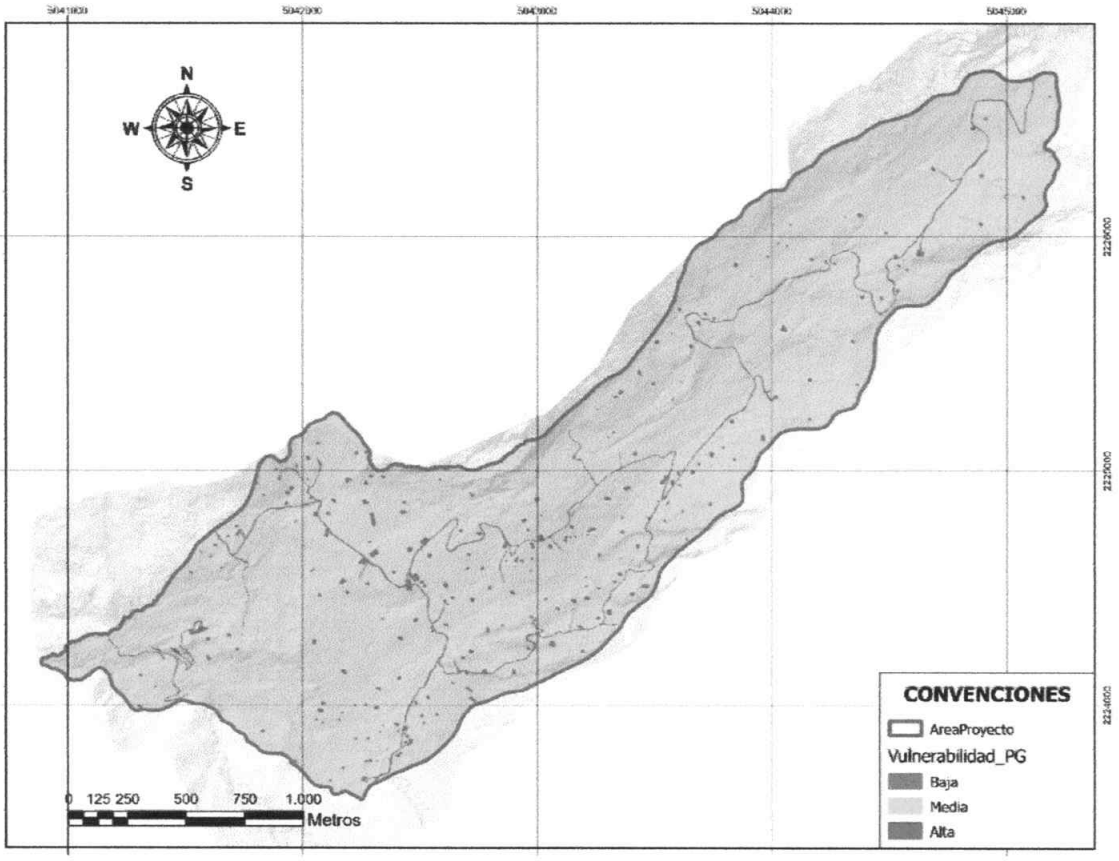
Fuente: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa

Con base a este análisis, se observa que todas las viviendas, presentan una clasificación de vulnerabilidad alta en donde se espera un nivel de daño elevado, colapso de la estructura y/o daños en los muros, acabados y accesorios. Esto se debe, al alto nivel de exposición teniendo en cuenta las características del evento. Es también debido a esto que las zonas de lotes

vacíos y cuerpos de agua en las cuales no se presentan elementos expuestos tienen un valor de vulnerabilidad medio

El nivel de vulnerabilidad obtenido para los elementos expuestos del área de estudio se encuentra representado en la **Figura 91**.

Figura 91. Vulnerabilidad de los elementos expuestos



Fuente: GAIA J&S S.A.S.

Por otro lado, se debe tener en cuenta el valor de vulnerabilidad para personas en edificaciones, cuya clasificación se basa en Li et al. (2010), Du et al. (2013) y Coburn (2002, en Du et al., 2013) y pueden definirse de la siguiente manera:

Tabla 50. Clasificación de la vulnerabilidad para personas

CLASIFICACIÓN	RANGO DE VULNERABILIDAD	DESCRIPCIÓN
Alta	0,5 – 1	Alta posibilidad de muerte o lesiones serias.
Media	0,2 – 0,5	Alta posibilidad de lesiones moderadas, pero baja probabilidad de muertes.

CLASIFICACIÓN	RANGO DE VULNERABILIDAD	DESCRIPCIÓN
Baja	0 – 0,2	Probabilidad de muerte casi nula y lesiones muy leves o inexistentes

Fuente: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa

El cálculo de vulnerabilidad de las personas en edificaciones se realiza utilizando la misma ecuación y relación entre intensidad del movimiento y fragilidad que se usa para el cálculo de vulnerabilidad en edificaciones de la siguiente manera:

Tabla 51. Valor de la vulnerabilidad para personas

NOMBRE	FRAGILIDAD (S)	INTENSIDAD (I)	RELACIÓN INTENSIDAD - FRAGILIDAD	VULNERABILIDAD
Inf-01	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931
Inf-02	0,763	0,7	I > 1 - S	0,923
Inf-03	0,763	0,7	I > 1 - S	0,923
Inf-04	0,628	0,7	I > 1 - S	0,886
Inf-05	0,763	0,7	I > 1 - S	0,923
Inf-06	0,763	0,7	I > 1 - S	0,923
Inf-07	0,441	0,7	I > 1 - S	0,769
Inf-08	0,441	0,7	I > 1 - S	0,769
Inf-09	0,763	0,7	I > 1 - S	0,923
Inf-10	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-11	0,441	0,7	I > 1 - S	0,769
Inf-12	0,628	0,7	I > 1 - S	0,886
Inf-13	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931
Inf-14	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931
Inf-15	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-16	0,189	0,7	I ≤ 1 - S	0,372
Inf-17	0,933	0,7	I > 1 - S	0,948
Inf-18	0,409	0,7	I > 1 - S	0,731
Inf-19	0,916	0,7	I > 1 - S	0,946
Inf-20	0,997	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-21	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931
Inf-22	0,297	0,7	I > 1 - S	0,489
Inf-23	0,763	0,7	I > 1 - S	0,923
Inf-24	0,912	0,7	I > 1 - S	0,946
Inf-25	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931
Inf-26	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931
Inf-27	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931
Inf-28	0,870	0,7	I > 1 - S	0,940
Inf-29	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931

NOMBRE	FRAGILIDAD (S)	INTENSIDAD (I)	RELACIÓN INTENSIDAD - FRAGILIDAD	VULNERABILIDAD
Inf-30	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-31	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-32	0,912	0,7	I > 1 - S	0,946
Inf-33	0,933	0,7	I > 1 - S	0,948
Inf-34	0,763	0,7	I > 1 - S	0,923
Inf-35	0,995	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-36	0,297	0,7	I ≤ 1 - S	0,495
Inf-37	0,297	0,7	I ≤ 1 - S	0,495
Inf-38	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-39	0,985	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-40	0,933	0,7	I > 1 - S	0,948
Inf-41	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-42	0,933	0,7	I > 1 - S	0,948
Inf-43	0,628	0,7	I > 1 - S	0,886
Inf-44	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-45	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931
Inf-46	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931
Inf-47	0,933	0,7	I > 1 - S	0,948
Inf-48	0,628	0,7	I > 1 - S	0,886
Inf-49	0,985	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-50	0,628	0,7	I > 1 - S	0,886
Inf-51	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931
Inf-52	0,441	0,7	I > 1 - S	0,769
Inf-53	0,763	0,7	I > 1 - S	0,923
Inf-54	0,297	0,7	I ≤ 1 - S	0,495
Inf-55	0,933	0,7	I > 1 - S	0,948
Inf-56	0,441	0,7	I > 1 - S	0,769
Inf-57	0,441	0,7	I > 1 - S	0,769
Inf-58	0,985	0,7	I > 1 - S	0,954
Inf-59	0,696	0,7	I > 1 - S	0,907
Inf-60	0,870	0,7	I > 1 - S	0,940
Inf-61	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931
Inf-62	0,933	0,7	I > 1 - S	0,948
Inf-63	0,441	0,7	I > 1 - S	0,769
Inf-64	0,933	0,7	I > 1 - S	0,948
Inf-65	0,441	0,7	I > 1 - S	0,769
Inf-66	0,534	0,7	I > 1 - S	0,842
Inf-67	0,955	0,7	I > 1 - S	0,951
Inf-68	0,955	0,7	I > 1 - S	0,951
Inf-69	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931

NOMBRE	FRAGILIDAD (S)	INTENSIDAD (I)	RELACIÓN INTENSIDAD - FRAGILIDAD	VULNERABILIDAD
Inf-70	0,970	0,7	I > 1 - S	0,952
Inf-71	0,441	0,7	I > 1 - S	0,769
Inf-72	0,628	0,7	I > 1 - S	0,886
Inf-73	0,534	0,7	I > 1 - S	0,842
Inf-74	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-75	0,822	0,7	I > 1 - S	0,933
Inf-76	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-77	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-78	0,297	0,7	I ≤ 1 - S	0,495
Inf-79	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-80	0,441	0,7	I > 1 - S	0,769
Inf-81	0,933	0,7	I > 1 - S	0,948
Inf-82	0,441	0,7	I > 1 - S	0,769
Inf-83	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-84	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-85	0,297	0,7	I ≤ 1 - S	0,495
Inf-86	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-87	0,510	0,7	I > 1 - S	0,827
Inf-88	0,534	0,7	I > 1 - S	0,842
Inf-89	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-90	0,441	0,7	I > 1 - S	0,769
Inf-91	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-92	0,933	0,7	I > 1 - S	0,948
Inf-93	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-94	0,441	0,7	I > 1 - S	0,769
Inf-95	0,534	0,7	I > 1 - S	0,842
Inf-96	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931
Inf-97	0,297	0,7	I ≤ 1 - S	0,495
Inf-98	0,441	0,7	I > 1 - S	0,769
Inf-99	0,822	0,7	I > 1 - S	0,933
Inf-100	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-101	0,890	0,7	I > 1 - S	0,943
Inf-102	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-103	0,933	0,7	I > 1 - S	0,948
Inf-104	0,933	0,7	I > 1 - S	0,948
Inf-105	0,933	0,7	I > 1 - S	0,948
Inf-106	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-107	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-108	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-109	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955

NOMBRE	FRAGILIDAD (S)	INTENSIDAD (I)	RELACIÓN INTENSIDAD - FRAGILIDAD	VULNERABILIDAD
Inf-110	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-111	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931
Inf-112	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-113	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-114	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-115	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931
Inf-116	0,870	0,7	I > 1 - S	0,940
Inf-117	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-118	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-119	0,628	0,7	I > 1 - S	0,886
Inf-120	0,789	0,7	I > 1 - S	0,928
Inf-121	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-122	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-123	0,628	0,7	I > 1 - S	0,886
Inf-124	0,763	0,7	I > 1 - S	0,923
Inf-125	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-126	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-127	0,870	0,7	I > 1 - S	0,940
Inf-128	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-129	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931
Inf-130	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-131	0,441	0,7	I > 1 - S	0,769
Inf-132	0,696	0,7	I > 1 - S	0,907
Inf-133	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-134	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-135	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-136	0,933	0,7	I > 1 - S	0,948
Inf-137	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-138	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-139	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-140	0,441	0,7	I > 1 - S	0,769
Inf-141	0,933	0,7	I > 1 - S	0,948
Inf-142	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-143	0,977	0,7	I > 1 - S	0,953
Inf-144	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-145	0,789	0,7	I > 1 - S	0,928
Inf-146	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-147	0,628	0,7	I > 1 - S	0,886
Inf-148	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-149	0,837	0,7	I > 1 - S	0,936

NOMBRE	FRAGILIDAD (S)	INTENSIDAD (I)	RELACIÓN INTENSIDAD - FRAGILIDAD	VULNERABILIDAD
Inf-150	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-151	0,534	0,7	I > 1 - S	0,842
Inf-152	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-153	0,763	0,7	I > 1 - S	0,923
Inf-154	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-155	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-156	0,297	0,7	I > 1 - S	0,489
Inf-157	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-158	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-159	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-160	0,441	0,7	I > 1 - S	0,769
Inf-161	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931
Inf-162	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-163	0,870	0,7	I > 1 - S	0,940
Inf-164	0,441	0,7	I > 1 - S	0,769
Inf-165	0,297	0,7	I ≤ 1 - S	0,495
Inf-166	0,696	0,7	I > 1 - S	0,907
Inf-167	0,696	0,7	I > 1 - S	0,907
Inf-168	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-169	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-170	0,595	0,7	I > 1 - S	0,873
Inf-171	0,696	0,7	I > 1 - S	0,907
Inf-172	0,870	0,7	I > 1 - S	0,940
Inf-173	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931
Inf-174	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-175	0,696	0,7	I > 1 - S	0,907
Inf-176	0,628	0,7	I > 1 - S	0,886
Inf-177	0,763	0,7	I > 1 - S	0,923
Inf-178	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931
Inf-179	0,297	0,7	I ≤ 1 - S	0,495
Inf-180	0,628	0,7	I > 1 - S	0,886
Inf-181	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931
Inf-182	0,534	0,7	I > 1 - S	0,842
Inf-183	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931
Inf-184	0,822	0,7	I > 1 - S	0,933
Inf-185	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931
Inf-186	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931
Inf-187	0,189	0,7	I ≤ 1 - S	0,372
Inf-188	0,441	0,7	I > 1 - S	0,769
Inf-189	0,441	0,7	I > 1 - S	0,769

NOMBRE	FRAGILIDAD (S)	INTENSIDAD (I)	RELACIÓN INTENSIDAD - FRAGILIDAD	VULNERABILIDAD
Inf-190	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931
Inf-191	0,441	0,7	I > 1 - S	0,769
Inf-192	0,870	0,7	I > 1 - S	0,940
Inf-193	0,933	0,7	I > 1 - S	0,948
Inf-194	0,441	0,7	I > 1 - S	0,769
Inf-195	0,628	0,7	I > 1 - S	0,886
Inf-196	0,763	0,7	I > 1 - S	0,923
Inf-197	0,763	0,7	I > 1 - S	0,923
Inf-198	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-199	0,870	0,7	I > 1 - S	0,940
Inf-200	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931
Inf-201	0,763	0,7	I > 1 - S	0,923
Inf-202	0,763	0,7	I > 1 - S	0,923
Inf-203	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-204	0,763	0,7	I > 1 - S	0,923
Inf-205	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-206	0,763	0,7	I > 1 - S	0,923
Inf-207	0,628	0,7	I > 1 - S	0,886
Inf-208	0,696	0,7	I > 1 - S	0,907
Inf-209	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-210	0,628	0,7	I > 1 - S	0,886
Inf-211	0,189	0,7	I ≤ 1 - S	0,372
Inf-212	0,763	0,7	I > 1 - S	0,923
Inf-213	0,763	0,7	I > 1 - S	0,923
Inf-214	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-215	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-216	0,441	0,7	I > 1 - S	0,769
Inf-217	0,763	0,7	I > 1 - S	0,923
Inf-218	0,696	0,7	I > 1 - S	0,907
Inf-219	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931
Inf-220	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-221	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931
Inf-222	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-223	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931
Inf-224	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-225	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931
Inf-226	0,441	0,7	I > 1 - S	0,769
Inf-227	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931
Inf-228	0,441	0,7	I > 1 - S	0,769
Inf-229	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931

NOMBRE	FRAGILIDAD (S)	INTENSIDAD (I)	RELACIÓN INTENSIDAD - FRAGILIDAD	VULNERABILIDAD
Inf-230	0,667	0,7	I > 1 - S	0,899
Inf-231	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-232	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931
Inf-233	0,441	0,7	I > 1 - S	0,769
Inf-234	0,763	0,7	I > 1 - S	0,923
Inf-235	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-236	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-237	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-238	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-239	0,763	0,7	I > 1 - S	0,923
Inf-240	0,297	0,7	I ≤ 1 - S	0,495
Inf-241	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-242	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-243	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-244	0,933	0,7	I > 1 - S	0,948
Inf-245	0,763	0,7	I > 1 - S	0,923
Inf-246	0,763	0,7	I > 1 - S	0,923
Inf-247	0,763	0,7	I > 1 - S	0,923
Inf-248	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-249	0,809	0,7	I > 1 - S	0,931
Inf-250	0,870	0,7	I > 1 - S	0,940
Inf-251	0,763	0,7	I > 1 - S	0,923
Inf-252	0,933	0,7	I > 1 - S	0,948
Inf-253	1,000	0,7	I > 1 - S	0,955
Inf-254	0,763	0,7	I > 1 - S	0,923
Inf-255	0,441	0,7	I > 1 - S	0,769

Fuente: GAIA J&S S.A.S.

5. CÁLCULO DEL RIESGO

5.1. METODOLOGÍA

En razón de que el riesgo está relacionado con la probabilidad de que se causen efectos adversos y consecuencias negativas en los contextos material, social y ambiental, existe una necesidad implícita en la toma de decisiones de desarrollar análisis que permitan su estimación.

Para este estudio se decide llevar a cabo un análisis del riesgo de forma cualitativa, en el cual se involucran las variables de vulnerabilidad y amenaza para la definición del nivel de riesgo al cual se encuentran expuestos cada uno de los elementos identificados en el área de estudio. El proceso de evaluación de riesgos que se presenta en el siguiente apartado se basa en un enfoque cualitativo basado en criterios descriptivos establecidos en la Guía metodológica para los planes de gestión de riesgos del departamento de UNGRD (2012), en la cual se define el cálculo del riesgo como "un análisis y combinación de datos teóricos y empíricos con respecto a la probabilidad de ocurrencia de la amenaza identificada, es decir, la fuerza e intensidad de ocurrencia, así como el análisis de vulnerabilidad o la capacidad de resistencia de los elementos expuestos al peligro (población, viviendas, infraestructura, etc.) dentro de una determinada área geográfica." (UNGRD, 2012, pág. 38)

El criterio descriptivo como tal "se basa en el uso de una matriz de doble entrada: "Matriz de Amenaza y Vulnerabilidad"" (UNGRD, 2012, pág. 39), en la cual se interrelacionan el grado de amenaza en la vertical con el grado de vulnerabilidad en la horizontal, como se muestra en la **Tabla 52**, donde la intersección de ambas características estima el nivel del riesgo esperado.

Tabla 52. Matriz de peligro y vulnerabilidad para estimación del nivel de riesgo

NIVEL DE RIESGO			
Amenaza Alta	Riesgo Medio	Riesgo Alto	Riesgo Alto
Amenaza Media	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Alto
Amenaza Baja	Riesgo Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Medio
	Vulnerabilidad Baja	**Vulnerabilidad Media**	**Vulnerabilidad Alta**

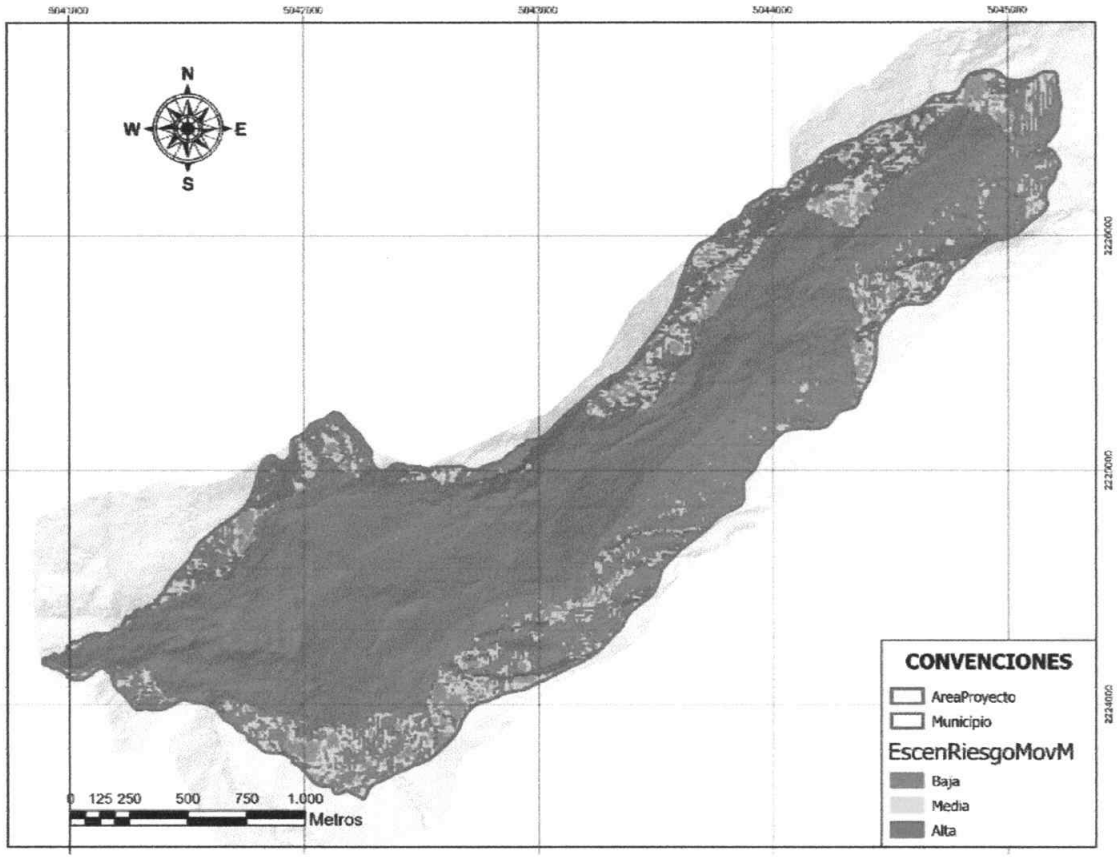
Fuente: UNGRD (2012, pág. 39). Modificado por GAIA J&S S.A.S.

Como resultado de la evaluación realizada durante el recorrido de campo en el área de estudio, se identificó que la mayoría de las viviendas se encuentran expuestas a algún grado de amenaza por movimientos en

masa, predominando el nivel de amenaza alto. Esta condición se ve agravada por las características constructivas de las edificaciones: la tipología predominante, el estado de conservación deficiente y la antigüedad de las estructuras las ubican dentro de rangos de alta vulnerabilidad frente a fenómenos de inestabilidad del terreno.

El análisis integrado de estas variables (amenaza y vulnerabilidad) permite establecer que el nivel de riesgo por movimientos en masa en el área de estudio es predominantemente alto, tal como se puede observar a continuación.

Figura 92. Riesgo por movimientos en masa en el área de estudio



Fuente: GAIA J&S S.A.S.

Tabla 53. Distribución del Riesgo por movimientos en masa en el área de estudio

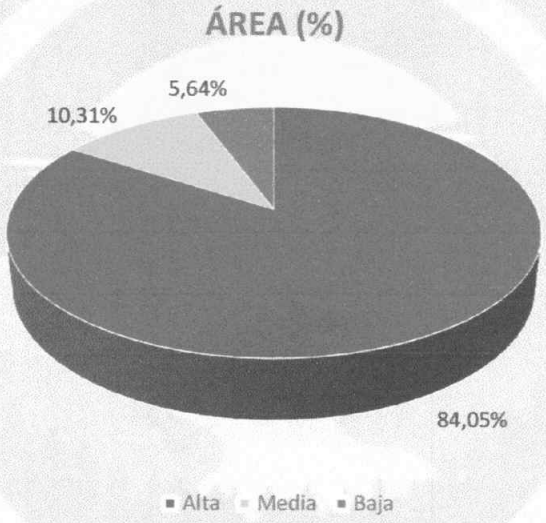
RIESGO	ÁREA (HA)	ÁREA (%)
Alta	347,40	84,05%
Media	42,61	10,31%

RIESGO	ÁREA (HA)	ÁREA (%)
Baja	23,33	5,64%
Total	413,35	100,00%

Fuente: GAIA J&S S.A.S.

En conclusión, el cruce de información entre amenaza y vulnerabilidad confirma que el área de estudio presenta un riesgo alto por movimientos en masa, el cual es predominante en el área de estudio al ocupar el 84,05% de su superficie. Las zonas con riesgo bajo por movimientos en masa en contraste ocupan el menor porcentaje de área con el 5,64% de la misma.

Figura 93. Distribución del Riesgo por movimientos en masa en el área de estudio



Fuente: GAIA J&S S.A.S.

6. PROYECCIÓN DE MEDIDAS DE MANEJO Y CONCLUSIONES

- La zona de estudio se encuentra localizada en el sector occidental, área rural, Veredas Guita, San Pedro y Centro Cochia, del municipio de Socotá, departamento de Boyacá, en las coordenadas de origen nacional (CTM-12) (E: 5.043.532 - N: 2.225.150).

- Las características de los límites en el 100% de la zona de estudio, corresponden a lotes baldíos, montañas, casas, vías veredales, reservorios y cauces de agua, situación que implica un manejo técnico cuidadoso durante la etapa de cortes y excavaciones para la estabilización de la zona de estudio.

- Los suelos circundantes a la zona de estudio y esta misma son mal drenados superficialmente, debido a que la escorrentía superficial es alta, y la zona presenta pendientes topográficas variadas; por lo tanto, existen problemas de acumulación e infiltración de aguas superficiales en las zonas donde se suaviza la morfología del terreno.

- El problema consta de un movimiento en masa complejo en estado inactivo latente, con distribución retrogresiva, de gran magnitud, el cual tiene un ancho promedio de 548 m medidos perpendicularmente a la dirección del movimiento, una longitud de 4124 m medidos paralelos a la dirección del movimiento, para un área de aproximadamente 2´258.952 m2, donde el material deslizado y/o suelto corresponde al suelo del Depósito Coluvial, y a bloques de arcillolitas y areniscas; el movimiento en masa, se manifiesta con zonas de remoldeo, montículos, desplazamientos laterales, y agrietamientos sucesivos. Actualmente los taludes de la zona de estudio siguen resistiendo las presiones de sobrecarga sin mayores cambios o movimientos recientes, posteriores a la falla, debido a que los taludes aún conservan alguna resistencia residual.

- El movimiento en masa se dio inicialmente por la infiltración de aguas lluvias y de escorrentía, ayudado a la vez por la estratificación del macizo rocoso infrayacente a la zona de estudio, el cual corresponde a arcillolitas con intercalaciones de areniscas de la Formación Arcillas de Socha (Pgas), las cuales forman una ladera estructural, es decir que los estratos buzan levemente en el mismo sentido de la pendiente del terreno; luego se empezaron a generar grietas de tensión, por las cuales se infiltraron las aguas lluvias y superficiales, y se comenzó a desplazar parte del suelo coluvial hacia la parte baja del talud; de acuerdo a lo anterior, el movimiento en masa comenzó con un proceso se reptación, luego de esto, se presentaron

movimientos en masa de tipo traslacional, y flujos de materiales sueltos de suelo y roca con alto contenido de humedad, debido a la falta de adecuados sistemas de drenaje, a la falta de una adecuada canalización de los cauces de agua existentes, y a la construcción de reservorios de agua en el cuerpo de los taludes de la zona de estudio, sin ningún tipo de impermeabilización.

- Debe tenerse en cuenta que las condiciones actuales de los materiales han mejorado y se encuentran parcialmente más secos en comparación al momento en el que se generó el movimiento en masa, sin embargo, esta humedad puede ser variable y la estabilidad puede disminuir considerablemente en condiciones más saturadas; por lo cual, no garantiza la estabilidad de la zona de estudio a través del tiempo, más teniendo en cuenta que el movimiento en masa es de gran magnitud.

- El movimiento en masa se clasifica como un movimiento complejo, debido a que incluye varios tipos de movimientos en masa, tales como procesos de reptamientos, deslizamientos de tipo traslacional, y flujos de suelo y roca, en estado inactivo latente, con distribución retrogresiva, de gran magnitud.

- Como factor detonante se puede indicar principalmente la saturación de los materiales que conforman los taludes de la zona de estudio; originada por la infiltración de aguas lluvias y superficiales, teniendo en cuenta los periodos atípicos de lluvias que se están presentando en todo el país, que antecedieron a la ocurrencia del movimiento en masa. El incremento en el nivel de humedad de los materiales afectados, genero igualmente un incremento de su peso, que venció su capacidad de resistencia y provoco la falla de los taludes de la zona de estudio.

- Como factores contribuyentes se han definido los siguientes:

- Los cortes sin empradizar y sin control, que se generaron para la construcción de las vías veredales existentes en el cuerpo de los taludes de la zona de estudio.

- La falta de adecuados sistemas y/u obras de drenaje en las vías veredales existentes dentro de la zona de estudio, que captaran y descargaran técnicamente las aguas superficiales a un lugar seguro.

- Se produjeron cambios en el uso del suelo, cambiando la cobertura vegetal existente de pastos, adecuando los terrenos como potreros para uso

agrícola y ganadero; lo cual, causo una mayor facilidad para la infiltración de las aguas lluvias y superficiales.

- La estratificación de los estratos rocosos aflorantes, y que infrayacen la zona de estudio, los cuales buzan levemente en el mismo sentido de la pendiente del terreno; lo cual favoreció la ocurrencia del movimiento en masa.

- El deficiente manejo de las aguas superficiales en el cuerpo de los taludes de la zona de estudio, debido a su escasa canalización y captación de estas aguas, acompañados por cambios bruscos de humedad y susceptibilidad de los materiales constitutivos del terreno, fueron grandes contribuyentes a la inestabilidad de los taludes del predio.

- El pisoteo de ganado que se presenta en la mayoría del área de la zona de estudio, lo cual ayudo a la meteorización y erosión del suelo, y por ende a la falla del talud.

- La fuerte actividad tectónica que presenta la zona en general, debido al complejo sistema de fallas geológicas existentes en el sector; por lo cual, la zona de estudio, se encuentra en una zona de amenaza sísmica alta.

- La actividad sísmica de la zona en general, fue un factor contribuyente importante para la inestabilidad de la zona de estudio, debido a que las vibraciones sísmicas implican un cambio transitorio en los esfuerzos actuantes en los taludes, donde una componente horizontal desestabiliza, y una componente en diversas direcciones incrementa la presión de poros, y por ende la falla de los taludes.

- Debido a la morfología de la zona de estudio, la cual presenta pendientes moderadas, y a que en los sondeos realizados se encontró la presencia de nivel freático a una profundidad entre 1,9 m y 2,8 m, por lo cual, para los análisis de estabilidad en condiciones actuales, se asumió un valor de relación de presión de poros (ru) de 0,5, con lo cual se considera que el suelo se encuentra saturado.

Con base en este proyecto y lo observado en campo, se determina que el principal agente causante de inestabilidad en la zona de estudio es el inadecuado manejo del agua. No existen obras de drenaje que conduzcan la escorrentía de manera segura, incluso la vía veredal no presenta obras de control de drenaje. A partir de esto, se recomienda lo siguiente:

De acuerdo con los resultados de los modelamientos y/o análisis de estabilidad realizados en condición actual, los cuales arrojaron valores de factores de seguridad medios a bajos, presentando un nivel de amenaza medio a alto, según los lineamientos establecidos en la Resolución 227 de 2006 del DPAE (DPAE, 2006), se recomienda la implementación de medidas de mitigación de tipo no estructural, que permitan el desarrollo integral del territorio.

6.1. DEFINICIÓN DE MEDIDAS DE TIPO NO ESTRUCTURAL

6.1.1. ESPACIOS DE CONOCIMIENTO DEL RIESGO

Para lograr una gestión integral del riesgo de desastres por procesos de remoción en masa, es necesario que los resultados del estudio de zonificación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo sean socializados con la administración municipal y con la población del área de estudio. De esta manera, se busca generar espacios de participación e información en los que se dé a conocer los resultados del estudio, así como las medidas que se proponen en el marco del estudio para mitigar el impacto de estos fenómenos. Así mismo, se pretende sensibilizar a los actores locales sobre la importancia de adoptar una cultura de prevención y preparación frente a los riesgos asociados a los procesos de remoción en masa.

6.1.2. ACERCAMIENTO CON LOS PROPIETARIOS

Se debe llevar a cabo un acercamiento directo con los propietarios de los predios afectados en donde se informe de la magnitud del evento existente y los escenarios que podrían llegar a tener a causa de los procesos de remoción en masa activos, así como los factores detonantes que están influyendo sobre el movimiento.

Asimismo, se debe escuchar y atender las inquietudes y sugerencias que tengan los propietarios sobre el tema, y buscar soluciones conjuntas que permitan proteger tanto a las personas como a los bienes afectados.

6.1.3. ARTICULACIÓN DEL USO DEL SUELO CON EL EOT DEL MUNICIPIO

Por otro lado, se debe respetar el área forestal protectora adyacente a cuerpos de agua superficial de tipo perenne o intermitente, de tal manera que no se puedan realizar actividades de aprovechamiento del suelo en una franja de 30 metros a cada lado del cauce. En estas zonas se propone la reforestación con especies nativas de porte alto que se observen en el entorno, las cuales permiten el mejoramiento de las condiciones del suelo a través de la absorción de agua y la mejora en las condiciones de saturación del suelo. Se prone igualmente el aislamiento de estas franjas mediante el cerramiento con una valla con alambre de púas, que facilite el éxito de estos procesos de plantación.

Dado que las zonas en las cuales se desarrollan los procesos de remoción en masa son zonas con coberturas de pastos, desprovistas de vegetación arbórea o arbustiva, regularmente son usadas para el pastoreo, y en menor medida para un uso agrícola. Sin embargo, estas prácticas aumentan el riesgo de desestabilización de la ladera, ya que el ganado compacta el suelo con sus pisadas y la vegetación protectora se pierde. Por lo tanto, es necesario implementar medidas de conservación del suelo y la vegetación para prevenir el desarrollo de estos procesos y estabilizar las laderas.

En este sentido se recomienda dar un uso silvopastoril o agrosilvopastoril a estas zonas, incluyendo la siembra de especies nativas como arbustales, especies de porte medio o árboles frutales, las cuales, en primera instancia permiten disminuir el porcentaje de ocupación directa del terreno y que además pueden contribuir a través de sus raíces al mejoramiento de las condiciones del suelo mediante la absorción de agua y la mejora en las condiciones de saturación del suelo, a la vez que lo protegen del impacto de agentes meteorizantes como la lluvia, el viento y el sol. Esta medida permite proteger la ladera sin restringir el desarrollo de actividades económicas como el pastoreo o la agricultura.

Se recomienda no fomentar la ocupación en el polígono definido como área de análisis, teniendo en cuenta que existe un evento latente en el cual la ocurrencia imprevista podría desencadenar el riesgo inminente de colapso, así las cosas, se recomienda a la entidad no emitir licencias de construcción y llevar a cabo jornadas de control urbano, en donde se garantice que no hay intervenciones de obra para construcción de infraestructura habitacional.

Se recomienda que se haga un control estricto a las actividades mineras de la zona, específicamente en el marco del plan de manejo ambiental y la zonificación de manejo ambiental, de tal forma que, se exija que el área del presente deslizamiento sea considerada coma una zona de exclusión para efectos de aprovechamiento minero.

6.1.4. Monitoreo Geotécnico

Se recomienda llevar como medida preventiva y de control un monitoreo o programa de mediciones topográficas a lo largo y ancho del área en cuestión, en diversas secciones transversales y cada seis (6) meses como mínimo; lo anterior, con el fin de prever y cuantificar cualquier movimiento en los taludes de los predios afectados.

La medición topográfica permite monitorear y así verificar si este presenta indicios de inestabilidad, y se puede dar seguimiento a sus desplazamientos teniendo como referencia puntos fijos ubicados estratégicamente dentro y fuera del polígono. Las mediciones topográficas también permiten dar seguimiento a la formación y progresión de grietas, que comúnmente anteceden a la falla de los taludes.

El fundamento de las mediciones topográficas se basa en la medida de las variaciones de las coordenadas de una serie de puntos durante un determinado intervalo de tiempo. Para ello, se han de repetir las medidas de las coordenadas (X, Y, Z) de los puntos de control varias veces en diferentes instantes, para así determinar si se ha producido o no variación en cualquiera de las tres (3) direcciones del sistema de referencia. Las lecturas de estos puntos de control deben realizarse desde unos puntos de coordenadas conocidas denominados bases topográficas, que han de permanecer fijas durante todo el periodo de lectura.

6.1.5. Medidas de Mantenimiento

A continuación, se describen las medidas de mantenimiento que se deben llevar a cabo, para darle una mayor estabilidad a los taludes del predio del proyecto.

- Se recomienda realizar un monitoreo y mantenimiento preventivo a los sistemas de drenaje existentes, con el fin de que estos cumplan con la función principal de evacuar las aguas colectadas directamente sobre el cauce de los cuerpos de agua existentes.

- Se debe hacer un seguimiento mensual a los sistemas de drenaje, en cuanto a su funcionalidad y estabilidad; por lo anterior, de presentarse fisuras en los sistemas de drenaje existentes, estas fisuras se deben sellar, para no permitir infiltraciones que puedan generar problemas de inestabilidad.

ANEXOS

ESTUDIO DE SUELOS

GAIA J&S S.A.S.
gaiaconsultoresjys@gmail.com / Carrera 11 # 11 – 53 OF 306 Sogamoso – Boyacá / 3112161523





ELABORADO POR:

INGEOSPACIAL
INGENIERÍA & TECNOLOGÍA

PRESENTADO:

GAIA JYS SAS

INFORME DEL ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DEL SUELO PARA EL PROYECTO REALIZAR UN ESTUDIO DETALLADO DE AMENAZA ORIENTADO AL CONOCIMIENTO DEL RIESGO PARA LA INCORPORACIÓN DE MEDIDAS NO ESTRUCTURALES EN EL ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE SOCOTA

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

TABLA DE CONTENIDO 2
INTRODUCCIÓN 4
1. OBJETIVOS 5
1.1. OBJETIVO GENERAL 5
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 5
2. GENERALIDADES DEL PROYECTO 6
2.1. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO 6
2.2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 7
3. EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA 7
3.1. ENSAYOS DE CAMPO 7
3.2. ENSAYOS DE LABORATORIO 10
4. RESULTADOS DE LA EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA 11
4.1. NIVEL FREÁTICO 11
4.2. CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LAS CAPAS Y/O ESTRATOS ENCONTRADOS 11
4.3. PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DE LAS CAPAS Y/O ESTRATOS ENCONTRADOS 13
4.4. ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE LA ZONA DE ESTUDIO 15
5. PARÁMETROS DE DISEÑO SISMO RESISTENTE 15
CONCLUSIONES 16
6. limitaciones del estudio 17
7. Bibliografía 18

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.
Tabla 1. Información de cada uno de los sondeos realizados. 9
Tabla 2. Tipo de ensayos de laboratorio realizados. 10
Tabla 3. Norma y cantidad de los ensayos realizados en campo y laboratorio. 14
Tabla 7. Parámetros sísmicos de la zona de estudio. 15

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.
Figura 1. Ubicación general de la zona de estudio. 6
Figura 2. Ubicación en planta de los Cuatros (4) sondeos realizados. 10
Figura 3 Perfil Sondeo Uno 12

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

Pág.
Fotografía 1. Localización del sondeo uno (S1). 7
Fotografía 2. Localización del sondeo dos (S2). 8
Fotografía 3. Localización del sondeo Tres (S3). 8
Fotografía 4. Localización del sondeo Cuatro (S4). 9

ÍNDICE DE ANEXOS

Pág.
Anexo 1. Registro fotográfico de cuatro (4) sondeos y ensayos de laboratorio realizados 19
Anexo 2. Resultados de los ensayos de laboratorio 20

INTRODUCCIÓN

El presente informe contiene los resultados del estudio geotécnico y de suelos para el proyecto "REALIZAR UN ESTUDIO DETALLADO DE AMENAZA ORIENTADO AL CONOCIMIENTO DEL RIESGO PARA LA INCORPORACIÓN DE MEDIDAS NO ESTRUCTURALES EN EL ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE SOCOTA – BOYACÁ", En el área rural el cual hace parte de las veredas Guita, San Pedro y Centro Cochia del municipio de Socotá Boyacá, departamento de Boyacá.

La exploración del subsuelo dentro de la zona de estudio se llevó a cabo mediante la ejecución de Cuatro (4) sondeos con barreno manual a una profundidad entre 0.05 m a 4,0 m, efectuando ensayos de campo de acuerdo con las normas A.S.T.M. D1586-67 y NSR-10; para posteriormente realizar los ensayos de laboratorio requeridos en la determinación de las características de resistencia y compresibilidad del subsuelo explorado, propiedades geomecánicas.

Por último, el informe presenta detalladamente los resultados del estudio de suelos en cuanto la caracterización y memorias de la investigación del subsuelo explorado, clasificación y parámetros Geomecánicos, parámetros sismo resistente, los parámetros geotécnicos del perfil del subsuelo explorado.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

- El objetivo principal del presente estudio es determinar las características geotécnicas del subsuelo mediante la ejecución de sondeos en el área afectada por el deslizamiento, con el fin de identificar las propiedades geomecánicas del terreno, caracterizar los materiales presentes y evaluar las condiciones generales de la zona de estudio.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar mediante la ejecución de ensayos de campo el perfil del subsuelo existente y su resistencia al corte, para de esta manera obtener los parámetros geomecánicos.

- Dar los parámetros geomecánicos del subsuelo, de acuerdo con los resultados de la exploración por medio de sondeos y ejecución ensayos laboratorio realizados.

- Establecer los parámetros sísmicos del área de estudio.

- Elaboración de informe final.

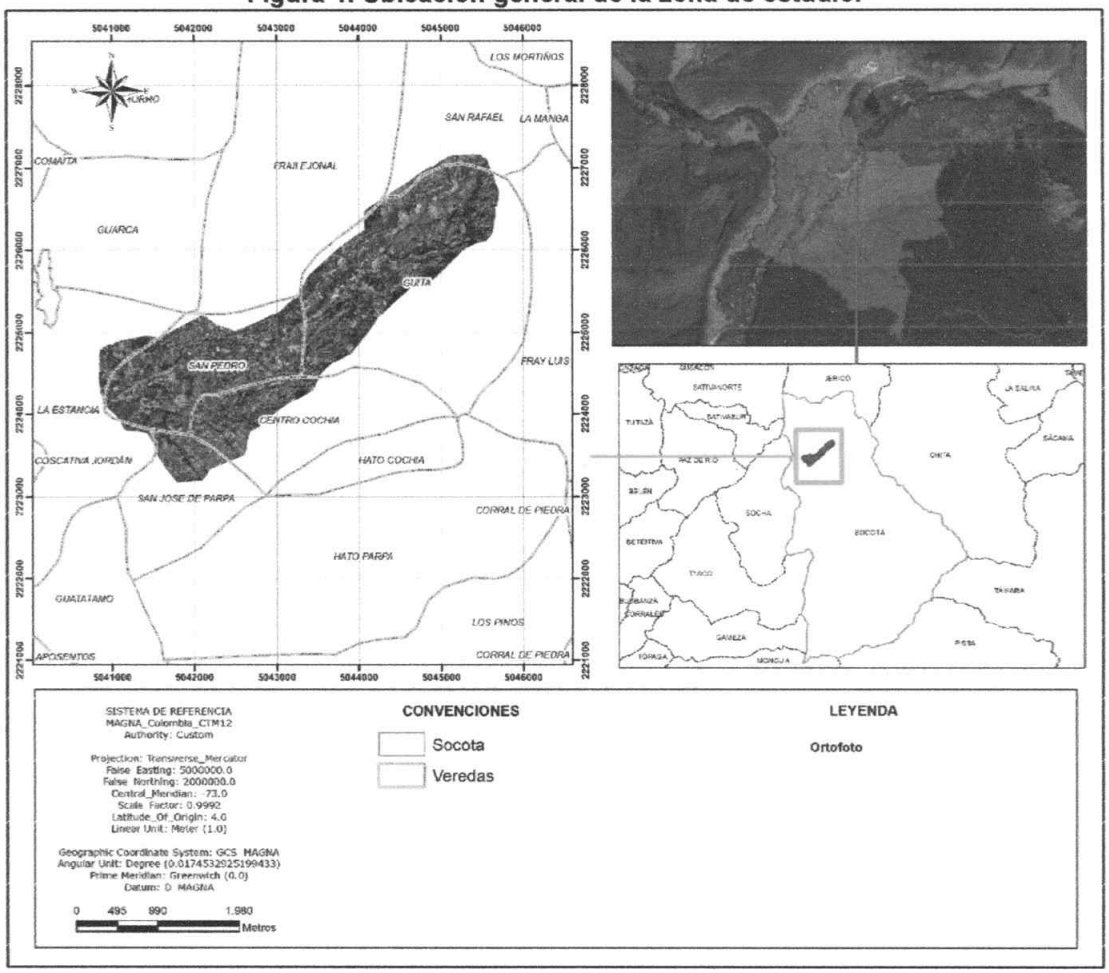
2. GENERALIDADES DEL PROYECTO

A continuación, se describe la localización de la zona de estudio, descripción del proyecto, y las características generales de la zona de estudio, así:

2.1. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se encuentra ubicado, al Noroeste del municipio de Socotá en el área Rural en cual hace parte de las Veredas Guita, San Pedro y Centro Cochia, departamento de Boyacá, en las coordenadas geográficas de origen nacional (CTM-12) (E: 5043.823 - N: 2.225.562), la **Figura 1**, muestra la ubicación general de la zona de estudio.

Figura 1. Ubicación general de la zona de estudio.



Fuente: Ingeospacial S.A.S.

2.2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecta contempla realizar la caracterización del suelo por medio de sondeos a una profundidad promedio de 0. 05 – 4,0 m con la finalidad de encontrar el perfil estratigráfico y los parámetros geomecánicos de los materiales presentes.

Con los datos obtenidos de la exploración de campo y procesamiento de información los cuales van a hacer utilizados para tener en cuenta en el componente del estudio detallado.

3. EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

Para la realización del estudio geotécnico o de suelos, se ejecutaron los siguientes ensayos de campo y laboratorio, los cuales se describen a continuación, así:

3.1. ENSAYOS DE CAMPO

Para conocer el perfil litológico del subsuelo, las propiedades geomecánicas de las capas y/o estratos encontrados, y la posición del nivel freático, se realizaron cuatro (4) sondeos en condiciones de tiempo normal con barreno manual (SPT), hasta alcanzar una profundidad máxima de exploración entre 0.05 m y 4 m, en la **Tabla 1**, se puede ver la profundidad, las coordenadas y la altura barométrica de cada uno de los sondeos realizados. La disposición de los sondeos se planeó de la forma que se indica en la **Figura 2**, con el propósito de lograr una correlación tridimensional del perfil del subsuelo explorado. En cada sondeo se efectuó un muestreo representativo de las diferentes capas y/o estratos, tomando muestras alteradas en bolsa, muestras semialteradas con Split Spoon o cuchara partida.

Fotografía 1. Localización del sondeo uno (S1).

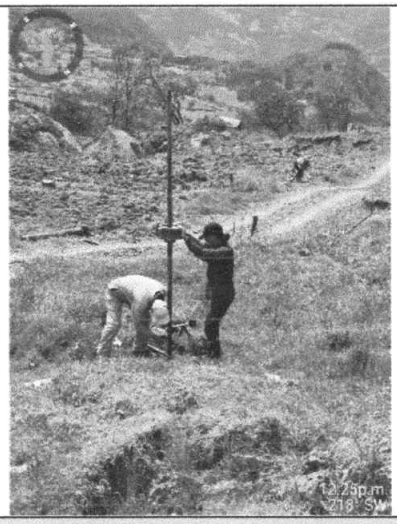


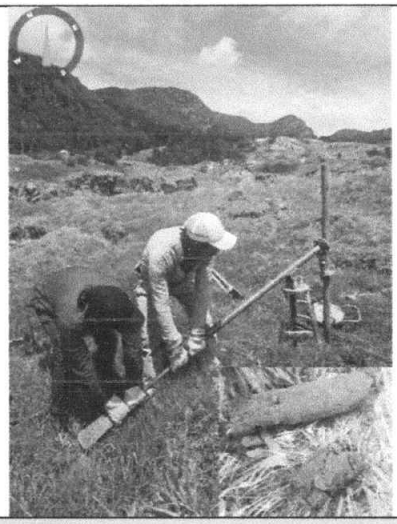


22-01-2026
Coordenadas: Sistema Único Nacional CTM 12
Este: 5044535,838 ; Norte: 2225912,693 ; Altura: 3236m.s.n.m.

Fuente: Ingeospacial

Fotografía 2. Localización del sondeo dos (S2).





22-01-2026
Coordenadas: Sistema Único Nacional CTM 12
Este: 5.043.391,256; Norte: 2.225.047,091 ; Altura: 2971 m.s.n.m.

Fuente: Ingeospacial S.A.S.

Fotografía 3. Localización del sondeo Tres (S3).

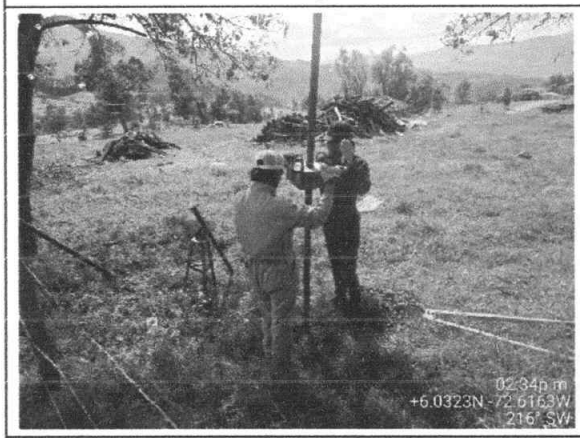




22-01-2026
Coordenadas: Sistema Único Nacional CTM 12
Este: 5042883,475; Norte: 2224630,222; Altura: 2883 m.s.n.m.

Fuente: Ingeospacial S.A.S.

Fotografía 4. Localización del sondeo Cuatro (S4).





22-01-2026
Coordenadas: Sistema Único Nacional CTM 12
Este: 5042442,843; Norte: 2224576,13; Altura: 2807m.s.n.m.

Fuente: Ingeospacial S.A.S.

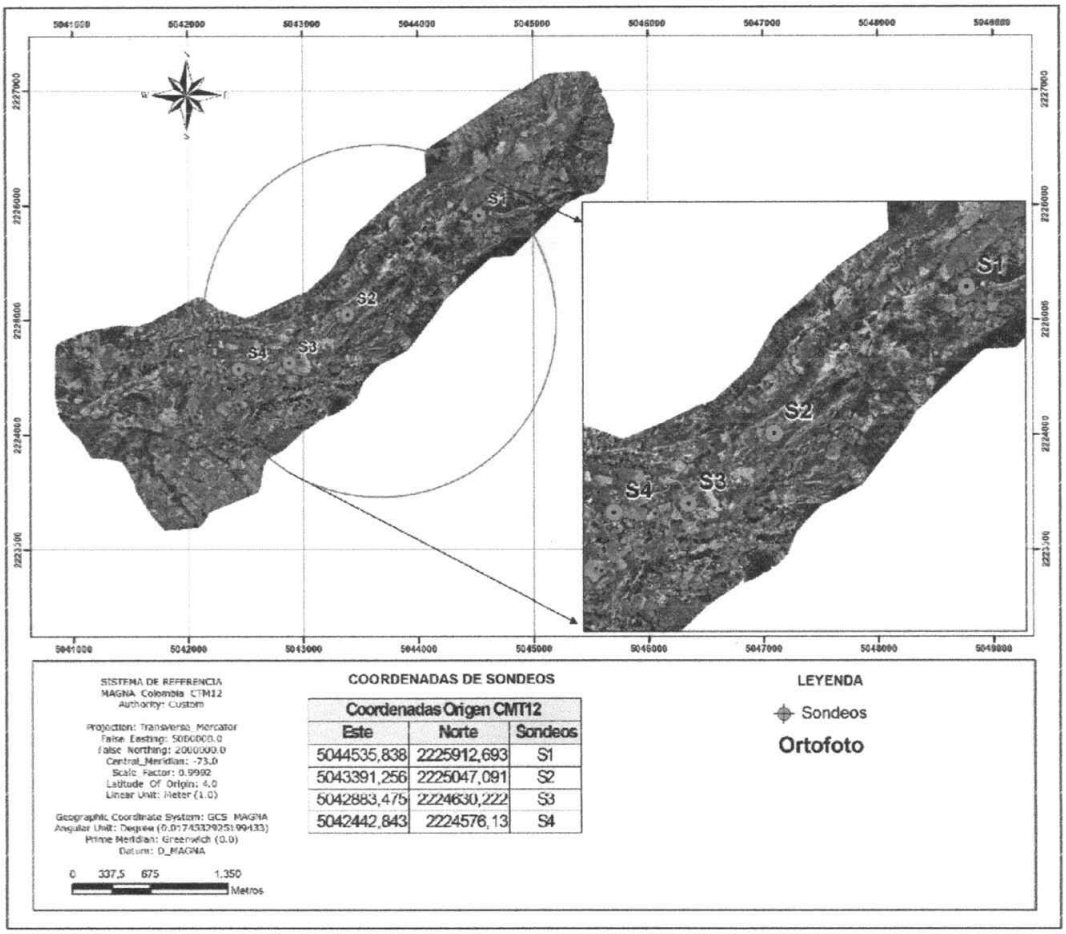
En el **Anexo 1**, se muestra el registro fotográfico de los ensayos de campo y laboratorio de los cuatro (4) sondeos realizados.

Tabla 1. Información de cada uno de los sondeos realizados.

SONDEO (No.)	TIPO DE PERFORACIÓN	PROF. SONDEO (m)	NIVEL FREÁTICO (m)	COORDENADAS CTM-12		ALTURA m.s.n.m.
				ESTE	NORTE	
S1	Manual (SPT)	4,0	1,9	5044535,838	2225912,693	3236
S2	Manual (SPT)	4,0	2,8	5043391,256	2225047,091	2971
S3	Manual (SPT)	4,0	2,5	5042883,475	2224630,222	2883
S4	Manual (SPT)	4,0	2,4	5042442,843	2224576,13	2807

Fuente: Ingeospacial S.A.S.

Figura 2. Ubicación en planta de los Cuatros (4) sondeos realizados.



Fuente: Ingeospacial S.A.S.

3.2. ENSAYOS DE LABORATORIO

La totalidad de las muestras obtenidas en los cuatros (4) sondeos realizados en esta zona del proyecto, fueron identificadas visualmente tanto en campo como en laboratorio, y sobre un número representativo de ellas se realizó el siguiente programa de ensayos, de acuerdo a lo estipulado en las normas ASTM (Dudley, 1902) e INVIAS (Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2013), ver **Tabla 2**.

Tabla 2. Tipo de ensayos de laboratorio realizados.

TIPO DE ENSAYO REALIZADO	NORMA DEL ENSAYO REALIZADO
Humedad natural (W_n)	ASTM D2216-71 - INVE 122-13
Límites de Atterberg (LA)	ASTM 423-66 y D424-59 - INVE 125-13
Granulometría por tamizado (Gran)	ASTM D421-58 y D422-63 - INVE 123-13

Peso unitario total y seco (γ_t y γ_d)	ASTM D2937-71 - INVE 146-13
Corte directo no consolidado no drenado (UU)	ASTM D3080-72 - INVE 154-13

Fuente: Normas ASTM e INVIAS

En el **Anexo 2**, se muestra una tabla resumen de los ensayos de laboratorio realizados y se muestra los resultados de los ensayos de laboratorio de cada uno de los cuatro (4) sondeos realizados en general.

4. RESULTADOS DE LA EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

A continuación, se describen los resultados de la exploración geotécnica realizada dentro de la zona de estudio, así:

4.1. NIVEL FREÁTICO

Durante la exploración geotécnica se identificó la presencia del nivel freático en los cuatro (4) sondeos realizados, a profundidades comprendidas entre 1,9 m y 2,8 m respecto a la superficie actual del terreno. Esta condición se asocia con la presencia de estratos clasificados según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) como ML (limo de baja plasticidad con presencia de gravas), SM (arena limosa con grava) y GM (grava limosa con arena) dentro del perfil del subsuelo explorado. Estos materiales presentan permeabilidad moderada a alta, lo que favorece la infiltración y circulación del agua subterránea.

4.2. CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LAS CAPAS Y/O ESTRATOS ENCONTRADOS

De acuerdo con el sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.), creado por el Ing. Arthur Casagrande (Casagrande, 1948), las capas y/o estratos encontrados dentro de la zona de estudio pertenecen a los grupos SM (Arena limosa con Grava) y GM (Grava Limosa con Arena), (suelo natural), y se clasifican geológicamente como un Depósito Cuaternario de tipo Coluvial (Qal).

El subsuelo explorado muestra características litológicas homogéneas para el perfil tridimensional explorado, las capas encontradas presentan continuidad, sólo con variaciones en sus espesores y están compuestas ML (Limo baja plasticidad con gravas), SM (Arena limosa con Grava) y GM (Grava Limosa con Arena).

Con base en los registros litológicos y los resultados de los ensayos de campo y laboratorio, se extractó el perfil litológico promedio de la zona de estudio, el cual se describe a continuación, así:

- Capa A: De 0,0 m a 1,0 m de profundidad promedio se encontró una capa de limo inorgánico de plasticidad media (ML) con 19,9 % de arenas y 28,1 % de gravas, color café oscuro, consistencia blanda y contenido de humedad medio; es una capa continua, pero de espesor variable.

- Capa B: Seguidamente entre 1,0 m y 2, 0 m de profundidad promedio se encontró una capa de arena limosa inorgánico de plasticidad baja (SM) con 47,3 % de finos y 12.4 % de gravas, color café claro con óxidos de hierro, consistencia media y contenido de humedad medio; es una capa continua, pero de espesor variable.

- Capa C: Seguidamente entre 2,0 m y 4, 0 m de profundidad promedio se encontró una capa de Grava Limosa con arena (GM) con 31,9 % de finos y 19,2 % de arenas color oscuro, la fracción fina presenta plasticidad baja y contenido de humedad medio; es una capa continua, pero de espesor variable.

A continuación, se presenta el perfil litológico promedio del subsuelo, elaborado con base en la información obtenida durante la exploración geotécnica mediante la ejecución de cuatro (4) sondeos dentro del área de estudio. Este perfil permite identificar la secuencia estratigráfica predominante, así como las características generales de los materiales presentes en el subsuelo:

Figura 3 Perfil Sondeo Uno

TIPO EXPLORACIÓN SONDEO			PERFIL LITOLÓGICO PROMEDIO DEL SUBSUELO CORRESPONDIENTE A LOS CUATRO (4) SONDEOS REALIZADOS DENTRO DEL ÀREA DE ESTUDIO.						
PROF. (M)	LITOLOGÍA	NIVEL FREATICO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	USCS	W n (%)	LL (%)	LP (%)	PASA # 4 %	PASA 200 %
-									
			COBERTURA VEGETAL						
1,00			SUELO - LIMO DE BAJA PLASTICIDAD CON GRAVAS CON 28,1 % DE GRAVAS Y 19,9 % DE ARENAS DE BAJA PLASTICIDAD DE COLOR CAFÉ OSCURO, CONSISTENCIA MEDIA CONTENIDO DE HUMEDAD BAJO	ML	30,00	42,90	32,80	71,93	52,05
2,00		1,9 - 2,8 m	SUELO - ARENA LIMOSA DE BAJA PLASTICIDAD CON 47,3 % DE FINOS Y 40,3 % DE ARENAS DE COLOR CAFÉ OSCURO Y ARENAS FINAS DE FORMA SUBANGULAR, CONSISTENCIA MEDIA CONTENIDO DE HUMEDAD BAJO.	SM	17,70	32,40	23,70	87,6	47,30
4,0			SUELO - GRAVA ARCILLOSA MAL GRADADA, COLOR CAFÉ CLARO, TAMAÑO GRANULOS, GUIJOS, GUIJARROS Y ARENAS GRUESAS Y MEDIAS, FORMA SUBANGULAR, COMPOSICIÓN CUARZOSA Y COMPACIDAD MEDIA. LA FRACCIÓN FINA PRESENTA PLASTICIDAD	GM	36,00	32,40	23,70	47,4	29,71
Fin de exploración 4,00 m.									
El nivel freático se encontró a partir de 1,9 - 2,8 m de profundidad durante la exploración geotécnica.									

Fuente: Ingeospacial S.A.S.

4.3. PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DE LAS CAPAS Y/O ESTRATOS ENCONTRADOS

La **Tabla 3** presenta el resumen de los resultados de los ensayos de campo y laboratorio correspondientes al perfil promedio del subsuelo establecido. En ella se incluyen las principales propiedades geotécnicas de los materiales, tales como humedad natural, límites de consistencia, peso unitario y los resultados del ensayo de corte directo no consolidado no drenado (UU), así como la resistencia a la corte estimada y su clasificación comparativa de acuerdo con nomenclaturas empleadas en estudios geotécnicos similares y referencias bibliográficas especializadas.

Tabla 3. Norma y cantidad de los ensayos realizados en campo y laboratorio.

NORMAS Y CANTIDAD DE ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO REALIZADOS																				
TIPO DE ENSAYO REALIZADO				ENSAYOS											UNIDAD	CANTIDAD TOTAL DE ENSAYOS REALIZADOS				
Perforación en suelo con equipo manual				ASTM D-1586 - INVE 111-13											Num	4				
Humedad natural				ASTM D2216-71 - INVE 122-13											Un	6				
Límites de Atterberg				ASTM 423-66 y D424-59 - INVE 125-13											Un	6				
Granulometría por tamizado				ASTM D421-58 y D422-63 - INVE 123-13											Un	6				
Peso unitario total y seco				ASTM D2937-71 - INVE 146-13											Un	2				
Corte directo no consolidado no drenado				ASTM D3080-72 - INVE 154-13											Un	2				
RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO POR MUESTRA DE CADA SONDEO REALIZADO																				
Sondeo No.	Muestra No.	Espesor muestra (m)		Espesor total de la capa (m)		Coordenadas Origen CTM12		Capas y/o estratos definidos	Profundidad total del sondeo (m)	Pasa 200 (0,074 mm)	Clasificación S.U.C.S.	Wn (%)	Weq (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ (t/m³)	γ_d (t/m³)	C (corte directo) (t/m²)	C (SPT) (t/m²) (referencias bibliográficas)	ϕ (SPT) (t/m²) (referencias bibliográficas)	ϕ (corte directo) (°)
No.		De	Hasta	De	Hasta	Este (X)	Norte (Y)							(%)	(%)	(%)						
S1	M1	0,05 - 0.40		0,40 - 1,0		5044535,84	2225912,59	A	4,0	52,1	ML	30,0	20,2	42,9	32,8	10,1	/	/	/	/	/	/
	M2	1,0 - 2,50		2,50 - 4,0				B		47,3	SM	17,70	15,2	32,4	23,7	8,6	2,03	1,86	9,9	5,50	23,0	15,8
S2	M1	0,30 - 1,80		1,80 - 4,0		5043391,26	2225047,09	B	4,0	32,0	SM	21,2	0,0	0,0	0,0	0,0	/	/	/	2,3	25,0	/
S3	M1	0,30 - 2,40		2,40 - 4,0		5042883,48	2224630,22	C	4,0	29,7	GM	36,0	15,2	32,4	23,7	8,6	/	/	/	1,8	37,0	/
S4	M1	0,20 - 0,80		0,80 - 1,50		5042442,84	2224576,13	A	4,0	58,2	ML	27,6	22,4	47,7	45,8	1,9	1,96	1,62	/	2,3	25,0	/
	M2	1,50 -2,50		2,50 - 4,0				C		31,9	GM	37,8	17,2	36,4	24,9	11,5	2,09	1,49	/	1,5	41,0	/

Fuente: Ingeospacial S.A.S

Los parámetros anteriores están sustentados principalmente con base en ensayos de campo y laboratorio, complementados con estudios similares e información secundaria, producto de correlaciones de fórmulas y tablas de diferente literatura técnica.

4.4. ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

Con base en las características topográficas, geológicas, geomorfológicas, clasificación y propiedades geomecánicas del perfil del subsuelo explorado y drenaje, se determinó una (1) sola zona geotécnica, para la zona de estudio.

5. PARÁMETROS DE DISEÑO SISMO RESISTENTE

Según las normas colombianas de diseño y construcción sismo resistente (Ley 400 de 1998 y decretos 1229 de 2008 y 926 del 19 de marzo de 2010 (Ministerio de Ambiente, 2010)), y teniendo en cuenta los criterios locales de esfuerzos activos producidos por las fallas, en la **Tabla 4**, se dan los parámetros sísmicos de acuerdo a los municipios de Puerto Boyacá y Cimitarra, y al perfil del subsuelo explorado dentro de la zona de estudio.

Tabla 4. Parámetros sísmicos de la zona de estudio.

PARÁMETRO	NOMENCLATURA	VALOR
Zona de amenaza sísmica	-	Alta
Coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva	A_a	0,25
Coeficiente que representa la velocidad horizontal pico	A_v	0,30
Perfil de suelo	-	D
Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos cortos	Ae	0,16
Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos intermedios	Ad	0,08

Fuente: https://srvags.sgc.gov.co/Flexviewer/Mapa_Intensidad_Maxima_Observada_Colombia

El tipo de perfil de suelo del proyecto se determinó con base en la zonificación de amenaza sísmica establecida en la NSR-10, utilizando la información disponible en el portal de mapas sísmicos del Servicio Geológico Colombiano (SGC).

CONCLUSIONES

- El presente estudio geotécnico fue realizado con el fin de determinar el perfil del subsuelo dentro del área afectada por el deslizamiento localizado en la zona rural del municipio de Socotá. Para tal fin, se llevó a cabo una exploración del terreno mediante la ejecución de sondeos manuales, a partir de los cuales se identificaron las condiciones estratigráficas y las propiedades geomecánicas de los materiales presentes en el subsuelo.

- La zona de estudio se localiza al noroeste del municipio de Socotá, en área rural correspondiente a las veredas Guita, San Pedro y Centro Cochia, departamento de Boyacá, con coordenadas geográficas del sistema de origen nacional (CTM-12) E: 5043.823 – N: 2.225.562. En este sector se realizó la exploración geotécnica mediante la ejecución de cuatro (4) sondeos, a partir de los cuales se identificó el perfil litológico del subsuelo, las propiedades geomecánicas de los estratos encontrados y la posición del nivel freático.

- Con base en la exploración geotécnica realizada en el área de estudio, se concluye que el nivel freático se encuentra presente dentro del perfil del subsuelo, registrándose a profundidades aproximadas entre 1,9 m y 2,8 m respecto a la superficie actual del terreno. Esta condición está asociada a la presencia de estratos de naturaleza granular dentro del subsuelo, los cuales favorecen la infiltración y circulación del agua subterránea. En consecuencia, la presencia del nivel freático deberá ser considerada durante el desarrollo de las obras proyectadas, particularmente en lo relacionado con excavaciones, estabilidad del terreno y manejo de drenajes.

- Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), el perfil litológico del subsuelo explorado dentro del área de estudio está constituido predominantemente por suelos clasificados como ML (limo de baja plasticidad con presencia de arenas y gravas), así como por suelos SM (arena limosa con grava) y GM (grava limosa con arena). Estos materiales evidencian un perfil conformado principalmente por suelos granulares con contenido variable de finos, lo cual influye en sus propiedades geotécnicas y en el comportamiento mecánico del terreno.

6. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

- Los resultados obtenidos en este estudio están basados en las propiedades geomecánicas del subsuelo explorado, obtenidas mediante ensayos de campo y laboratorio, lo mismo que en las características geométricas, geológicas y topográficas del proyecto,

Realizó:

JUAN MOJICA GÓMEZ
M.P. 15223268348 BYC
Consejo Profesional Nacional de Ingeniería
Ingeniero Geólogo - Especialista en Geotecnia Vial y Pavimentos

7. BIBLIOGRAFÍA

- Casagrande, A. (1948). Sistema Unificado de Clasifiación de Suelos (S.U.C.S.). Estados Unidos: American Society for Testing and Materials (Normas ASTM).
- Das, B. M. (2001). Fundamentos de Ingenieria Geotécnica, Cuarta Edición. México D.F.: Thomson-Learning.
- DPAE. (2006). Resolución 227 de 2006. Bogotá D.C.: Secretaría Distrital de Gobierno-Dirección de Prevención y Atención de Emergencias.
- Dudley, C. B. (1902). American Society for Testing and Materials (Normas ASTM). West Conshohocken, Estados Unidos: ASTM International, Estados Unidos.
- Gerscovich, D. M. (2012). Estabilidad de Taludes. Sao Paulo, Brasil: Lemoine Editores.
- González, A. J. (1999). Estimativos de Parámetros Efectivos de Resistencia con el SPT. X Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería Colombiana. Bogota D.C.: Sociedad Colombiana de Ingenieros y Sociedad Colombiana de Geotécnia.
- Gonzalez, N. A. (2016). Mecanica de Suelos. Tunja, Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC).
- GRP, L. (2008). Geología de la Plancha 149 - Puerto Serviez. Minesterio de Minas y Energía. Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero-Ambiental y Nuclear-Ingeominas, Cundinamarca. Bogota D.C.: Ingeominas.
- Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (2022). Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayos para materiales de carreteras. Bogotá D.C.: INVIAS.
- Ministerio de Ambiente, V. y. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), ley 400 de 1997 (modificada ley 1229 de 2008), Decreto 926 del 19 de marzo de 2010. Bogotá, D.E., Colombia: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica-AIS.
- Suárez, J. (2009). Deslizamientos, Análisis Geotécnico (Vol. 1). Bucaramanga, Colombia: División de Publicaciones UIS.
- Vargas, M. D. (1996). Ingeniería de Fundaciones-Fundamentos e introducción al Análisis Geotécnico. Bogotá D.C., Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Villalaz, C. C. (1994). Mecánica de Suelos y Cimentaciones. México D.F.: Limusa S.A.

Anexo 1. Registro fotográfico de cuatro (4) sondeos y ensayos de laboratorio realizados

Anexo 2. Resultados de los ensayos de laboratorio

ESTUDIO GEOELECTRICO

GAIA J&S S.A.S.
gaiaconsultoresjys@gmail.com / Carrera 11 # 11 – 53 OF 306 Sogamoso – Boyacá / 3112161523

ESTUDIO GEOELÉCTRICO MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA DE RESISTIVIDAD ORIENTADO AL CONOCIMIENTO DEL RIESGO EN EL MUNICIPIO DE SOATÁ

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 4
1. OBJETIVOS 5
   1.1. Objetivo general: 5
   1.2. Objetivos específicos: 5
2. CONTEXTO TERRITORIAL DEL ÁREA DE ESTUDIO 6
   2.1. Contexto Geológico Regional 7
3. FUNDAMENTOS DEL MÉTODO GEOELÉCTRICO APLICADO 9
   3.1. Principio físico de la resistividad eléctrica 9
   3.2. Resistividad aparente 10
   3.3. Resistividad de suelos y rocas 10
   3.4. Arreglo Schlumberger 12
4. METODOLOGÍA 13
   4.1. Diseño del levantamiento 13
   4.2. Adquisición de datos en campo 14
   4.3. Procesamiento e inversión de datos 17
5. RESULTADOS 19
   5.1. Tomografía N° 1. 19
   5.2. tomografía N° 2. 21
6. CONCLUSIONES 23
7. RECOMENDACIONES 24
8. BLIBLIOGRAFIA 25
9. ANEXOS 25

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. *Rangos típicos de resistividad para suelos, rocas y materiales naturales* 11
Tabla 2. Interpretación Tomografía No. 1 21
Tabla 3. Interpretación Tomografía No. 2. 23

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Panorámica deslizamiento vereda Güita municipio de Socotá. 6
Ilustración 2. Mapa Geológico Regional 9
Ilustración 3. Esquema del arreglo Schlumberger 12
Ilustración 4. Localización líneas de tomografía 14
Ilustración 5. Trazado Línea 1. 15
Ilustración 6. Trazado Línea 2. 15
Ilustración 7. Humedecimiento con solución salina 16
Ilustración 8. Adquisición de datos L1 16
Ilustración 9. Adquisición de datos L2 17
Ilustración 10. Inversión preliminar L1 18
Ilustración 11. Inversión preliminar L1 18
Ilustración 12. Perfil de resistividades Tomografía No. 1. 19
Ilustración 13. Modelo geológico Tomografía No. 1. 20
Ilustración 14. Perfil de resistividades Tomografía No. 2. 21
Ilustración 15. Modelo geológico interpretado Tomografía No. 2. 22

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe corresponde al estudio geoeléctrico mediante Tomografía Eléctrica de Resistividad (ERT) desarrollado en la vereda Güita, municipio de Socotá (Boyacá), como parte de las actividades técnicas orientadas al conocimiento de la amenaza por movimientos en masa que afectan este sector del municipio. El estudio constituye un insumo técnico para el análisis del riesgo, en la medida en que aporta información del subsuelo necesaria para comprender las condiciones físicas que influyen en la estabilidad del terreno.

La zona de estudio ha registrado procesos de inestabilidad recientes, asociados a movimientos en masa que han generado afectaciones sobre el terreno, infraestructura y áreas productivas. Estas manifestaciones evidencian la presencia de un fenómeno activo o con potencial de evolución, cuyo comportamiento se encuentra estrechamente relacionado con las características internas del macizo, la distribución de materiales y la dinámica del agua subterránea. En este contexto, resulta fundamental contar con información que permita caracterizar el subsuelo en profundidad, complementando los análisis geomorfológicos y las observaciones realizadas en superficie.

La Tomografía Eléctrica de Resistividad (ERT) es una técnica geofísica no invasiva ampliamente aplicada en estudios de deslizamientos, debido a su capacidad para identificar contrastes eléctricos asociados a variaciones en el contenido de humedad, heterogeneidad de materiales y zonas de alteración o debilidad. El método permite obtener imágenes bidimensionales del subsuelo que constituyen una base objetiva para la caracterización de las condiciones subsuperficiales en áreas afectadas por movimientos en masa.

El levantamiento geoeléctrico desarrollado comprende la adquisición de datos a lo largo de perfiles de tomografía eléctrica ubicados estratégicamente dentro del área de estudio, con el propósito de obtener una visión transversal del sector afectado. La información generada servirá como soporte técnico para la integración con estudios geológicos, geotécnicos e hidrogeológicos que se adelanten posteriormente, y contribuirá a orientar las acciones de gestión del riesgo en el municipio de Socotá.

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo general:

Caracterizar las condiciones subsuperficiales del sector afectado por el movimiento en masa localizado en la vereda Güita, municipio de Socotá, mediante la aplicación del método de Tomografía Eléctrica de Resistividad (ERT), con el fin de identificar la distribución de resistividad eléctrica del subsuelo y aportar información técnica para el conocimiento de la amenaza y el análisis de la estabilidad del terreno.

1.2. Objetivos específicos:

- Determinar la distribución espacial de resistividad eléctrica en el área afectada, identificando variaciones laterales y verticales relacionadas con cambios litológicos y condiciones de humedad.

- Reconocer zonas de baja y alta resistividad, asociadas respectivamente a materiales saturados o poco competentes, y a unidades más rígidas o de mayor resistencia.

- Delimitar la posible superficie de deslizamiento mediante la identificación de contrastes geoeléctricos que indiquen interfaces entre el coluvión movilizado y la roca o material estable subyacente.

- Generar información técnica que permita la integración de los resultados geoeléctricos con estudios geológicos, geotécnicos e hidrogeológicos que se desarrollen en el área, en el marco de la gestión del riesgo en el municipio de Socotá.

2. CONTEXTO TERRITORIAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio se localiza en la vereda Güita, jurisdicción del municipio de Socotá, al norte del departamento de Boyacá, dentro del ámbito geográfico de la Cordillera Oriental colombiana. El territorio municipal presenta un relieve predominantemente montañoso, con laderas de pendiente moderada a alta y una red de drenaje encajada, condiciones que caracterizan gran parte del norte del departamento y que influyen de manera directa en la dinámica de los procesos de remoción en masa.

Desde el punto de vista territorial, la vereda Güita forma parte de un entorno rural con uso del suelo principalmente agropecuario, acompañado de infraestructura básica como viviendas dispersas, vías terciarias y obras menores de adecuación del terreno. Estas actividades se desarrollan sobre laderas naturales y zonas de transición hacia fondos de valle, donde la interacción entre topografía, escorrentía superficial e infiltración condiciona el comportamiento del terreno.

En este sector se han registrado eventos recientes de movimientos en masa, los cuales han generado afectaciones significativas sobre viviendas, vías rurales, infraestructura comunitaria y áreas productivas. De acuerdo con reportes institucionales, durante los meses de noviembre y diciembre de 2024 se presentaron al menos dos eventos principales, uno inicial en el sector conocido como *La Playa* y otro posterior en el sector de Güita, asociado al desplazamiento y desconfinamiento de materiales previamente movilizados. Estos eventos motivaron la activación de acciones de respuesta, evaluación técnica y medidas preventivas por parte de las autoridades locales y departamentales.

Ilustración 1. Panorámica deslizamiento vereda Güita municipio de Socotá.



Fuente: Autor

Las afectaciones reportadas evidencian que el fenómeno no corresponde a un evento puntual aislado, sino a un proceso de inestabilidad con evolución temporal, condicionado por factores propios del territorio, tales como la pendiente, el régimen de lluvias, la presencia de materiales superficiales poco consolidados y la dinámica hidrológica local. En este contexto, la caracterización de las condiciones físicas del subsuelo adquiere especial relevancia para apoyar el conocimiento de la amenaza y orientar los análisis posteriores del riesgo.

2.1. Contexto Geológico Regional

En el ámbito geológico, el área de estudio se localiza dentro de la Cordillera Oriental de los Andes colombianos, región caracterizada por la presencia de secuencias sedimentarias deformadas durante los procesos tectónicos asociados al levantamiento andino. De acuerdo con la cartografía geológica del Servicio Geológico Colombiano, en el sector predominan unidades sedimentarias del Paleógeno compuestas principalmente por rocas arcillosas y arenosas con diferentes grados de meteorización y fracturamiento. Sobre este sustrato se desarrollan depósitos cuaternarios de origen coluvial, constituidos por materiales heterogéneos como bloques, gravas, arenas y matriz arcillosa, con bajo grado de consolidación. Debido a estas características y a la frecuente presencia de humedad en el subsuelo, dichos depósitos presentan alta susceptibilidad a procesos de inestabilidad en laderas.

2.1.1. Estratigrafía Regional

Desde el punto de vista estratigráfico, el área de estudio se encuentra dominada por unidades sedimentarias del Paleógeno cartografiadas en las planchas geológicas 152 y 172 del Servicio Geológico Colombiano. Entre las principales unidades presentes se identifican la Formación Arcillolitas de Socha (Pgars), la Formación Picacho (Pgp) y depósitos cuaternarios de origen coluvial (Qc).

La **Formación Arcillolitas de Socha (Pgars)** está compuesta principalmente por arcillolitas abigarradas de tonalidades rojizas, amarillentas y verdosas, con intercalaciones de areniscas de poco espesor. Estas rocas presentan altos grados de meteorización superficial, generando suelos arcillosos de baja permeabilidad que favorecen la retención de humedad en el subsuelo. Estas características litológicas pueden incidir en la disminución de la resistencia mecánica de los materiales y favorecer la ocurrencia de procesos de inestabilidad en laderas.

La **Formación Picacho (Pgp)** está constituida principalmente por areniscas de grano medio a grueso, de carácter feldespático, que en algunos niveles presentan concentraciones o líneas de guijos de cuarzo de pocos centímetros de diámetro.

Estas areniscas suelen presentar mayor resistencia mecánica y permeabilidad en comparación con las unidades predominantemente arcillosas, generando contrastes litológicos que influyen en el comportamiento hidrogeológico y geotécnico del terreno.

Cubriendo parcialmente estas unidades se identifican **depósitos coluviales (Qc)**, los cuales corresponden a acumulaciones de materiales heterogéneos derivados de la meteorización y remoción de las rocas preexistentes en las laderas. Estos depósitos están conformados por bloques, gravas, arenas y matriz fina arcillosa, con bajo grado de consolidación y espesores variables, siendo los materiales más directamente asociados a los procesos de inestabilidad presentes en el área de estudio.

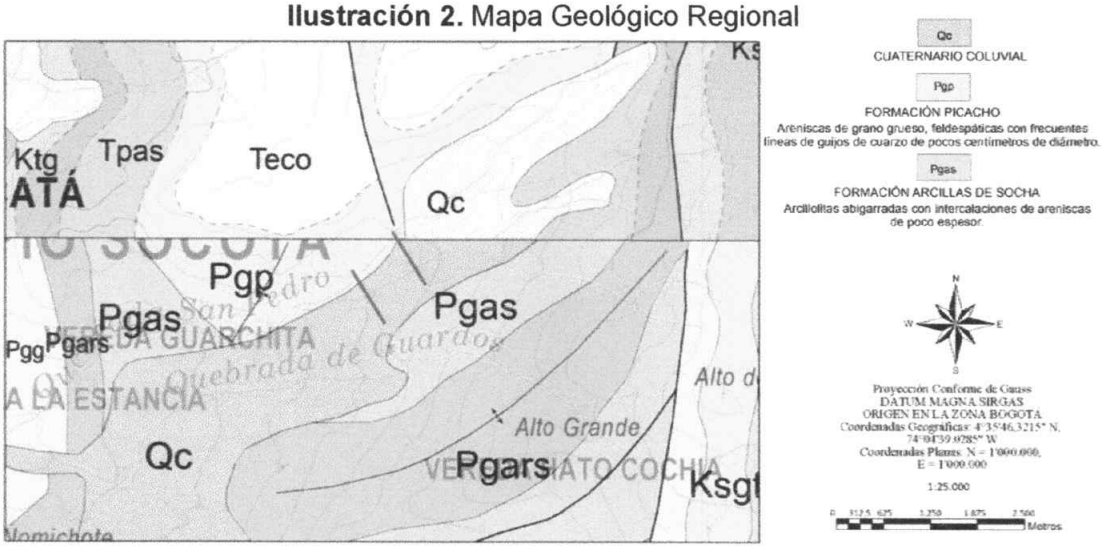
2.1.2. Estructuras Geológicas

Desde el punto de vista estructural, el área de estudio se encuentra influenciada por estructuras de plegamiento de carácter local desarrolladas dentro del contexto tectónico de la Cordillera Oriental. De acuerdo con la cartografía geológica del Servicio Geológico Colombiano correspondiente a las planchas 152 (Soatá) y 172 (Paz de Río), en el sector se identifican pliegues de dirección aproximada noreste–suroeste (NE–SW), los cuales afectan las unidades sedimentarias presentes en el área.

En las inmediaciones del área de estudio se reconoce la presencia de un anticlinal hacia el sector oriental y un sinclinal hacia el sector occidental. Esta disposición estructural sugiere que los estratos presentes en el área presentan un buzamiento general hacia el noroeste (NW), lo cual influye en la disposición de las unidades litológicas y puede tener incidencia en el comportamiento hidrogeológico y geotécnico de los materiales.

No obstante, dentro del área específica de estudio no se identifican fallas regionales mayores o estructuras tectónicas de gran escala que controlen directamente la dinámica del terreno, por lo que la configuración estructural está dominada principalmente por el plegamiento de las unidades sedimentarias.

Ilustración 2. Mapa Geológico Regional



Fuente: Autor

3. FUNDAMENTOS DEL MÉTODO GEOELÉCTRICO APLICADO

El estudio se desarrolló mediante la aplicación del método de Tomografía Eléctrica de Resistividad (ERT), una técnica geofísica no invasiva que permite estimar la distribución espacial de la resistividad eléctrica del subsuelo a partir de la inyección controlada de corriente eléctrica y la medición del potencial generado en superficie. A partir de estas mediciones se obtienen modelos bidimensionales que representan la respuesta eléctrica de los materiales en profundidad.

La resistividad eléctrica es una propiedad sensible a factores como el contenido de humedad, la porosidad, el grado de fracturamiento y la naturaleza de los materiales presentes en el subsuelo. En zonas con procesos de inestabilidad, el método ERT permite identificar contrastes eléctricos asociados a variaciones en las condiciones físicas del terreno que no son evidentes mediante observación superficial.

3.1. Principio físico de la resistividad eléctrica

La resistividad eléctrica (ρ) es una propiedad física que expresa la oposición de un material al paso de la corriente eléctrica. En términos físicos, se define a partir de la relación entre la resistencia medida y la geometría del medio conductor, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\rho = R \cdot LA$$

donde:

- **R** es la resistencia medida (ohmios),
- **A** es el área transversal del material,
- **L** es la longitud del conductor.

En materiales naturales como suelos y rocas, la resistividad eléctrica no es una propiedad constante, sino que depende de múltiples factores, entre los que se destacan el contenido de humedad, la salinidad del agua intersticial, la porosidad, el grado de compactación, la mineralogía, el nivel de meteorización, la presencia de materiales arcillosos y el grado de fracturamiento. En términos generales, los materiales finos y saturados presentan valores bajos de resistividad, mientras que rocas más competentes, secas o poco meteorizadas muestran resistividades elevadas. Esta variabilidad convierte a la resistividad eléctrica en un parámetro útil para inferir cambios en las condiciones físicas del subsuelo.

3.2. Resistividad aparente

En los levantamientos geoeléctricos de campo no se mide directamente la resistividad verdadera del subsuelo, sino la respuesta integrada de un volumen de terreno influenciado por la geometría de los electrodos utilizados. El valor obtenido bajo estas condiciones se denomina resistividad aparente (ρ^a) y representa una aproximación inicial al comportamiento eléctrico del subsuelo.

La resistividad aparente se calcula a partir de la resistencia eléctrica medida (R) y un factor geométrico (K), el cual depende de la disposición y separación entre los electrodos emisores de corriente (A y B) y los electrodos receptores de potencial (M y N), de acuerdo con la expresión:

$$\rho a = K \cdot R$$

Cada arreglo de electrodos posee un factor geométrico particular, lo que condiciona la profundidad de investigación, la resolución del método y su sensibilidad frente a variaciones laterales y verticales del terreno. Los valores de resistividad aparente constituyen la base para el proceso posterior de inversión, mediante el cual se obtiene un modelo de resistividad que reproduce de manera aproximada la respuesta medida en campo.

3.3. Resistividad de suelos y rocas

La resistividad eléctrica de los materiales naturales constituye un parámetro clave para el análisis de los modelos obtenidos mediante Tomografía Eléctrica de

Resistividad (ERT), en la medida en que refleja cambios en las propiedades físicas del subsuelo. En áreas afectadas por movimientos en masa, esta propiedad permite diferenciar materiales con distinto comportamiento eléctrico, como suelos finos saturados, depósitos coluviales heterogéneos y unidades más competentes del sustrato, los cuales influyen en la respuesta mecánica de la ladera.

A continuación, se presenta una tabla ampliada con rangos típicos de resistividad para diversos suelos y rocas, útil para apoyar la interpretación de las secciones invertidas:

Tabla 1. *Rangos típicos de resistividad para suelos, rocas y materiales naturales*

Material / Unidad geológica	Rango típico de resistividad (Ω·m)	Interpretación geológica / geotécnica
Arcillas saturadas	1 – 40	Muy conductivas por alta humedad y contenido de minerales arcillosos; asociadas a debilidad y zonas de ruptura.
Arcillas compactas / poco saturadas	20 – 100	Material fino, plastificado, baja permeabilidad; puede comportarse como plano de falla.
Limos húmedos	10 – 100	Suelos de baja permeabilidad con retención de agua.
Arenas saturadas	30 – 200	Alta porosidad con agua; conductividad depende de la salinidad.
Arenas secas	200 – 1000	Material granular sin humedad; comportamiento competente.
Gravas saturadas	100 – 300	Buen drenaje pero respuestas variables según granulometría.
Gravas secas	300 – 1000	Material denso y competente; alta resistividad.
Coluviones heterogéneos	20 – 300	Mezcla de fragmentos meteorizados, suelo y humedad; común en deslizamientos.
Depósitos aluviales	10 – 300	Material variable según granulometría y humedad.
Roca metamórfica muy meteorizada	50 – 300	Alta alteración, fracturamiento y humedad.
Roca metamórfica moderadamente meteorizada	200 – 1000	Competencia media, fracturamiento moderado.
Esquistos / filitas saturadas	30 – 200	Materiales con foliación que facilitan infiltración.
Roca ígnea meteorizada	100 – 800	Fracturamiento y degradación mineralógica.
Roca ígnea poco meteorizada	500 – 2000	Alta competencia; comportamiento estructural.
Basaltos	100 – 1000	Muy variable según grado de vesicularidad y humedad.
Granitos	500 – 5000	Alta resistividad por baja porosidad y fracturamiento limitado.
Areniscas	100 – 2000	Depende fuertemente de la cementación y humedad.
Calizas	50 – 3000	Rango amplio; cavidades y karst reducen resistividad.
Roca sana o poco fracturada	> 500	Unidad basal competente; posible límite inferior del deslizamiento.
Acuíferos saturados (agua dulce)	10 – 100	Alta humedad; identificables como zonas conductivas.
Acuíferos con agua mineralizada	1 – 50	Alta conductividad por sales disueltas.
Suelos orgánicos / turba	1 – 30	Material altamente conductivo, elevado contenido orgánico y humedad.
Rellenos antrópicos	10 – 500	Rango variable, depende de escombros, compactación y humedad.

Fuente: Los rangos de resistividad presentados se basan en valores reportados por Reynolds (2011), Telford et al. (1990), Loke (2016), Palacky (1987) y Keller & Frischknecht (1966), reconocidos internacionalmente como referencias estándar en la interpretación geoeléctrica de suelos y rocas.

3.4. Arreglo Schlumberger

Para este estudio se utilizó el arreglo Schlumberger, una configuración simétrica en la cual los electrodos emisores de corriente (A y B) se ubican hacia los extremos de la línea, mientras que los electrodos de potencial (M y N) se disponen en la parte central del dispositivo.

Las características principales de este arreglo son:

- Alta sensibilidad vertical, ideal para detectar capas y contrastes verticales.
- Mayor profundidad de investigación con menor amplitud de desplazamiento de electrodos.
- Menor influencia de heterogeneidades laterales respecto a otros arreglos.
- Adecuado para laderas y zonas de deslizamiento, donde se requiere identificar interfaces profundas.

El factor geométrico para el arreglo Schlumberger viene dado por:

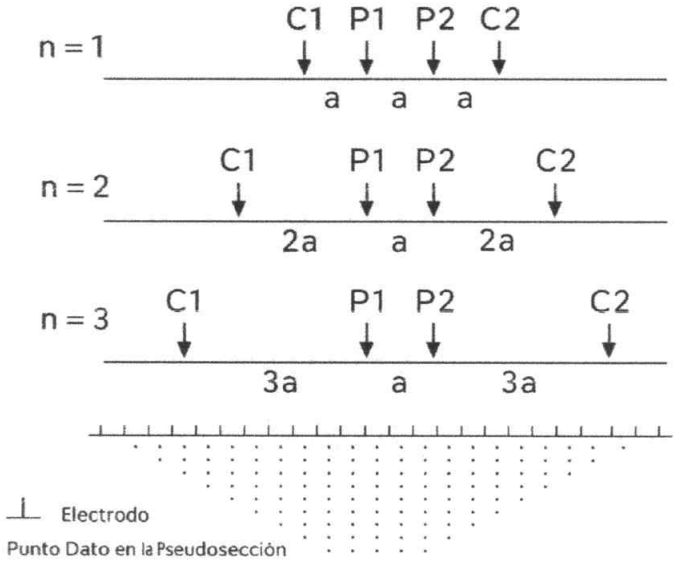
$$K = \pi \cdot \left(\frac{(AB/2)^2 - (MN/2)^2}{MN} \right)$$

donde:

- **AB** es la separación entre electrodos de corriente,
- **MN** es la separación entre electrodos de potencial.

Al aumentar AB, la corriente profundiza más, permitiendo investigar niveles más profundos del subsuelo.

Ilustración 3. Esquema del arreglo Schlumberger



Fuente: Adaptado de Loke, 2010

4. METODOLOGÍA

Para la caracterización de las condiciones físicas del subsuelo en el sector afectado por el movimiento en masa en la vereda Güita, municipio de Socotá, se aplicó el método de Tomografía Eléctrica de Resistividad (ERT), empleando un arreglo Schlumberger. Esta configuración fue seleccionada por su adecuada profundidad de investigación y su sensibilidad para identificar contrastes verticales en la respuesta eléctrica del terreno, asociados a variaciones en las propiedades físicas de los materiales.

El desarrollo metodológico comprendió el diseño del levantamiento geoeléctrico, la adquisición de datos en campo y el procesamiento e inversión de la información obtenida, siguiendo procedimientos técnicos estándar para estudios geoeléctricos. Cada una de estas etapas se describe a continuación.

4.1. Diseño del levantamiento

El levantamiento geoeléctrico se estructuró a partir de dos perfiles de tomografía eléctrica, dispuestos de manera transversal al cuerpo del deslizamiento, con el propósito de obtener información representativa sobre la variación lateral y vertical de las propiedades físicas del subsuelo en los sectores más relevantes del área afectada.

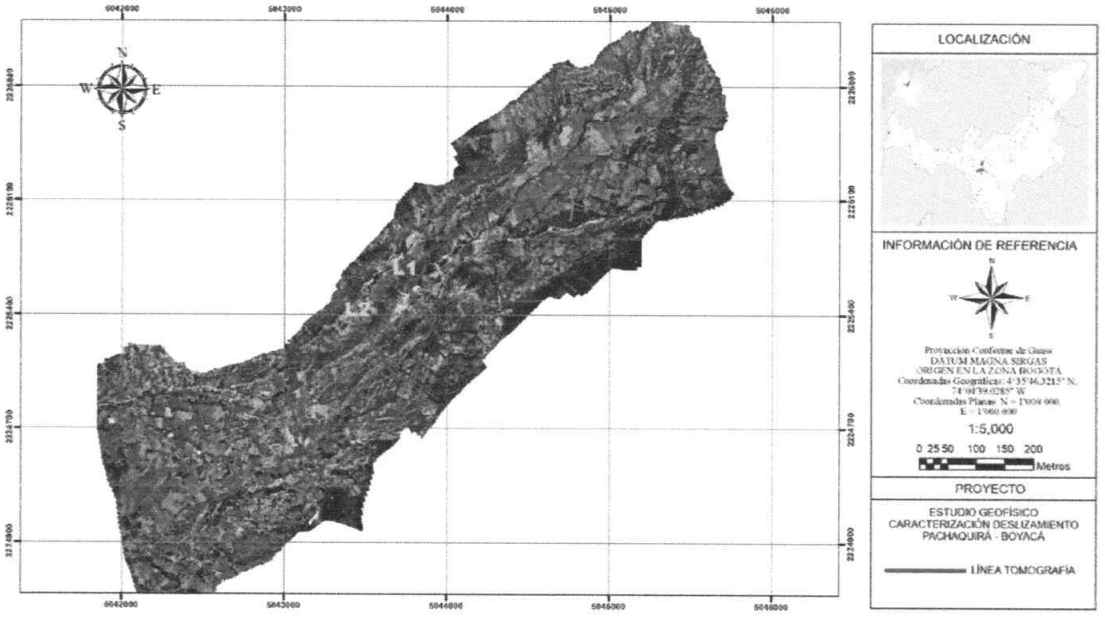
Cada perfil estuvo conformado por 48 electrodos con un espaciamiento de 10 metros, lo que corresponde a una longitud efectiva aproximada de 470 metros por línea y una profundidad de investigación potencial del orden de 70 a 90 metros, en función de las condiciones del terreno y de la configuración empleada.

Las líneas se dispusieron de la siguiente manera:

- **Línea 1 (L1):** Localizada en la **parte media–alta del deslizamiento**, con orientación transversal, con el objetivo de caracterizar las condiciones subsuperficiales del sector superior del cuerpo inestable y evaluar la continuidad lateral de las respuestas geoeléctricas en esta zona.

- **Línea 2 (L2):** Dispuesta en la **parte media–baja del deslizamiento**, también con orientación transversal, orientada a identificar la variación de las propiedades físicas del subsuelo hacia la zona de acumulación de materiales y su relación con las condiciones del terreno en este sector.

Ilustración 4. Localización líneas de tomografía.



Fuente: Autor

4.2. Adquisición de datos en campo

Las actividades de campo se desarrollaron siguiendo un protocolo técnico orientado a garantizar la calidad y confiabilidad de las mediciones geoeléctricas. En primera instancia, se realizó el trazado y marcación de los perfiles, verificando que la alineación de cada línea fuera consistente con la orientación definida en la

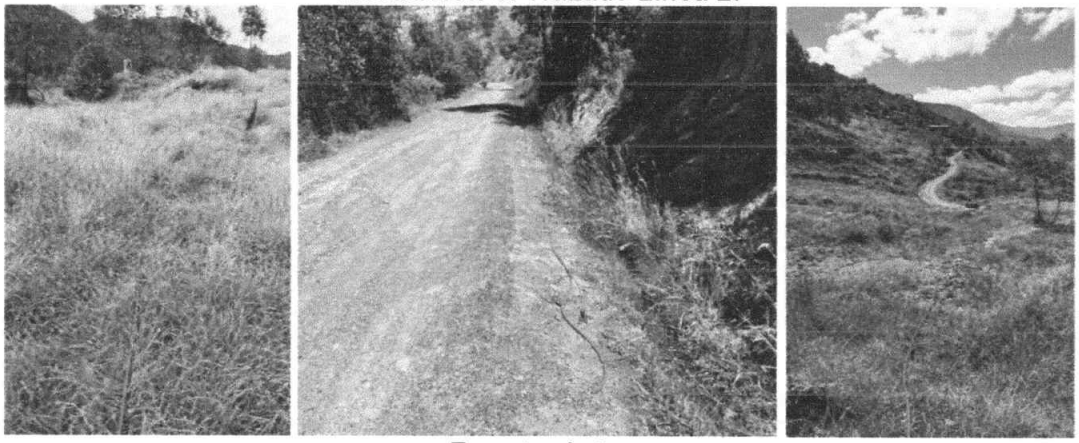
etapa de diseño y que el espaciamiento entre electrodos se mantuviera uniforme a lo largo de toda la extensión del levantamiento.

Ilustración 5. Trazado Línea 1.



Fuente: Autor

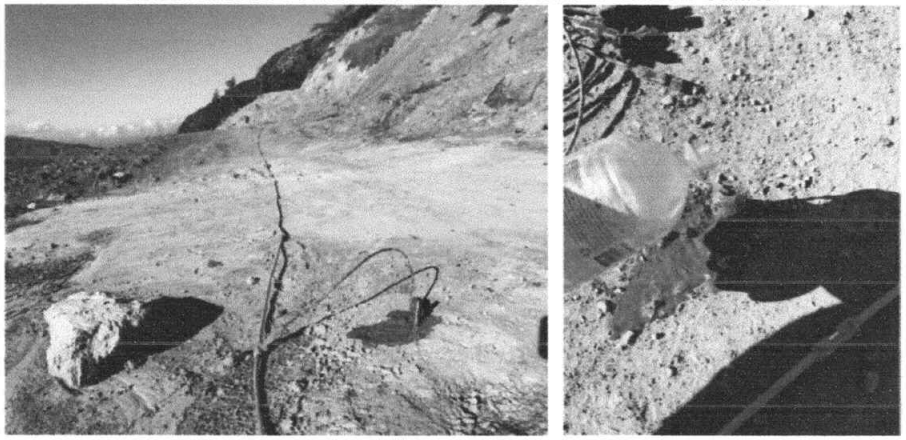
Ilustración 6. Trazado Línea 2.



Fuente: Autor

Posteriormente se procedió a la instalación de los electrodos, garantizando su correcta inserción en el terreno y la conexión apropiada al resistivímetro. Antes de iniciar las mediciones, se evaluó la resistencia de contacto electrodo–suelo, un parámetro fundamental para minimizar errores y reducir la dispersión en las lecturas. En aquellos puntos donde la resistencia resultó elevada o inestable, se aplicaron procedimientos de mejora del contacto, principalmente mediante humedecimiento local del suelo o el uso de solución salina.

Ilustración 7. Humedecimiento con solución salina



Fuente: Autor

Paralelamente, se llevó a cabo el registro topográfico y georreferenciación de los perfiles con equipo GPS, con el propósito de integrar la topografía real en las etapas posteriores de modelación. Esto permite que las secciones de resistividad representen de forma más precisa las condiciones geométricas del terreno.

Durante la adquisición de datos se prestó especial atención a la estabilidad de las lecturas y al comportamiento general del equipo. Cuando se detectaron valores anómalos o inconsistentes, se repitieron las mediciones bajo las mismas condiciones instrumentales para verificar la confiabilidad del dato. Asimismo, se tomó en consideración la presencia de posibles fuentes de interferencia externa, como cercas metálicas, líneas eléctricas o estructuras enterradas, ajustando la ubicación del cableado o modificando el protocolo de adquisición cuando fue necesario.

En conjunto, estas acciones garantizaron la obtención de un conjunto de datos robusto y adecuado para los procedimientos de procesamiento e inversión.

Ilustración 8. Adquisición de datos L1



Fuente: Autor

Ilustración 9. Adquisición de datos L2



Fuente: Autor

4.3. Procesamiento e inversión de datos

Una vez finalizada la adquisición, los datos crudos fueron sometidos a un proceso de revisión y depuración preliminar. Este procedimiento consistió en analizar cada lectura registrada para identificar valores atípicos, inconsistencias numéricas o efectos asociados a un mal contacto eléctrico en alguno de los electrodos. Todas las mediciones consideradas poco confiables fueron descartadas con el fin de evitar su influencia en las etapas posteriores del modelamiento.

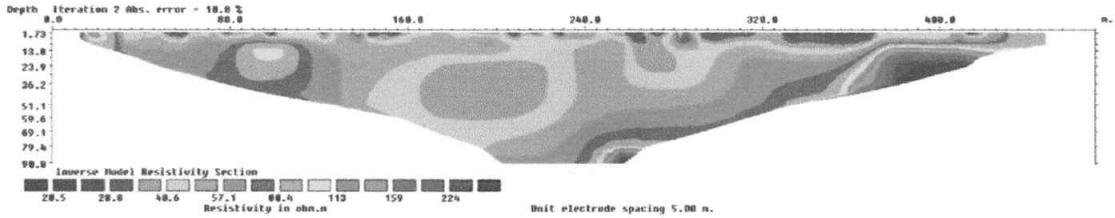
Posteriormente, los datos depurados se incorporaron al software especializado de inversión bidimensional **RES2DINV versión 4.8.10 (Geotomo Software).** El procesamiento e inversión de los datos se desarrolló dentro de un esquema de mínimos cuadrados no lineales, utilizando una malla de elementos finitos que permitió reproducir adecuadamente la distribución espacial de los electrodos y la variación topográfica. Como parte de la regularización, se aplicó un suavizado espacial, lo que contribuyó a obtener modelos estables, físicamente consistentes y libres de oscilaciones artificiales.

Durante la etapa de inversión, RES2DINV ejecutó iteraciones sucesivas ajustando el modelo de resistividad hasta lograr que la respuesta sintética se aproximara a las mediciones reales dentro de un margen aceptable de error. La reducción progresiva del error cuadrático medio (RMS) permitió alcanzar un compromiso adecuado entre el ajuste a los datos y la estabilidad del modelo, garantizando que las soluciones obtenidas fueran coherentes tanto numérica como geológicamente.

Una vez conseguido un nivel de ajuste satisfactorio, se generaron las secciones finales de resistividad 2D. Estas secciones constituyen el insumo principal para la interpretación geológica y geotécnica del área de estudio, permitiendo identificar

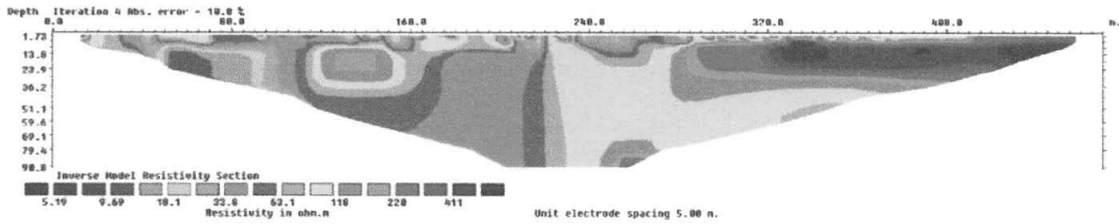
contrastes en el subsuelo y definir zonas con diferentes propiedades hidrogeológicas y geomecánicas.

Ilustración 10. Inversión preliminar L1



Fuente: Autor

Ilustración 11. Inversión preliminar L1



Fuente: Autor

La inversión preliminar de los datos de Tomografía Eléctrica de Resistividad presenta resultados coherentes y estables, con valores de error absoluto del orden del 10 %, lo cual se considera aceptable para esta etapa del estudio y consistente con la complejidad del terreno y la geometría del levantamiento. Los modelos invertidos muestran una distribución continua de resistividades, sin evidencias de artefactos numéricos dominantes ni oscilaciones no físicas asociadas al proceso de inversión.

En ambas secciones se reconocen contrastes resistivos bien definidos, con variaciones laterales y verticales que reflejan cambios significativos en las propiedades físicas del subsuelo. La geometría general de las anomalías es consistente entre iteraciones, lo que indica que la solución alcanzada es robusta desde el punto de vista geofísico y que los datos adquiridos en campo poseen una calidad adecuada para avanzar hacia etapas posteriores de análisis.

No obstante, dado que los modelos actuales se encuentran referidos a una geometría simplificada del terreno, las secciones obtenidas deben interpretarse como una representación preliminar de la distribución de resistividad, cuya posición y geometría real requieren ser ajustadas mediante la incorporación de la topografía y el análisis integrado con la información geológica disponible.

Como siguiente etapa del estudio, se incorporará la topografía real de los perfiles dentro del proceso de inversión, con el fin de ajustar la geometría de los modelos geoeléctricos y representar de manera más precisa las condiciones del terreno. Esta integración permitirá mejorar la ubicación en profundidad de las anomalías resistivas y reducir posibles distorsiones asociadas a la simplificación geométrica del modelo actual.

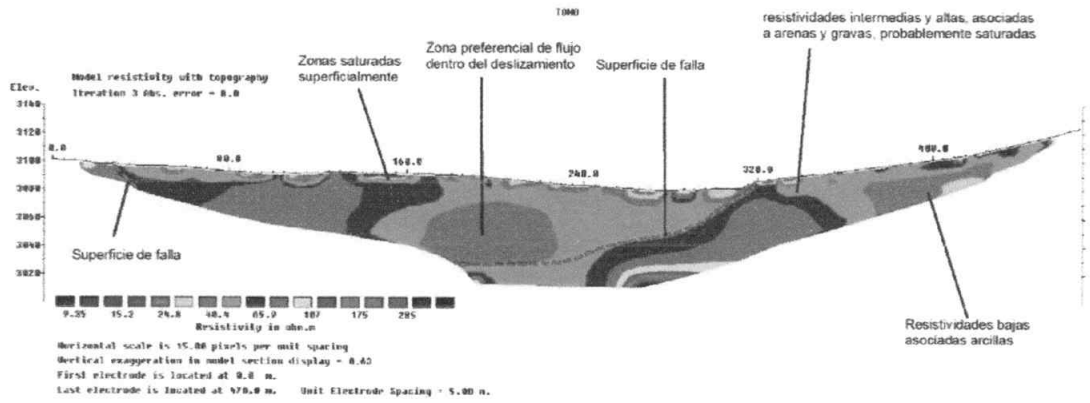
Posteriormente, con los modelos ajustados topográficamente, se realizará la interpretación geofísica integrada, correlacionando los contrastes de resistividad con la información geológica disponible y las observaciones de campo.

5. RESULTADOS

5.1. Tomografía N° 1.

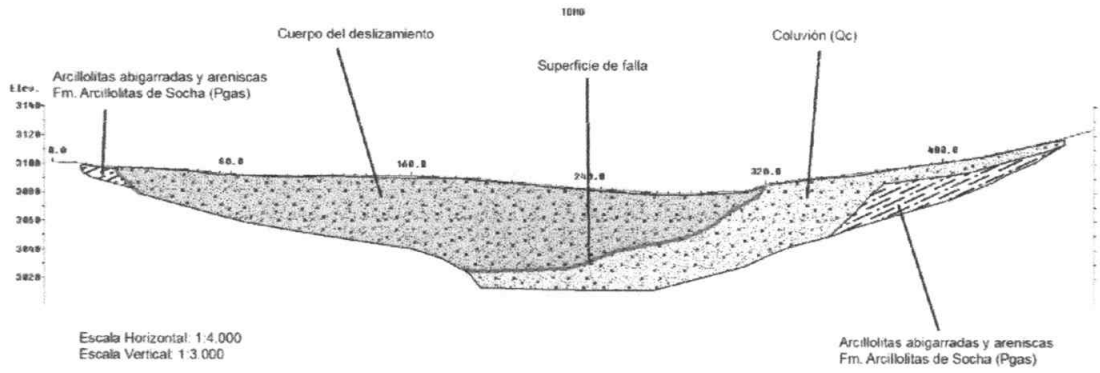
Azimuth: 132.3°; punto inicial X 5.043.705 m, Y: 2.225.547; punto final: X: 5.044.017 m, Y: 2.225.262 m; longitud de 470 m, espaciamiento de electrodos 10 m, medidas de resistividad 363, profundidad obtenida 85 m.

Ilustración 12. Perfil de resistividades Tomografía No. 1.



Fuente: Autor

Ilustración 13. Modelo geológico Tomografía No. 1.



Fuente: Autor

En la zona suroriental del perfil, a profundidades mayores a 15 m, se registran resistividades bajas en el rango de 30 a 40 Ω·m, las cuales se asocian a materiales finos con alto contenido de humedad, interpretados como arcillolitas de la Formación Arcillolitas de Socha (Pgars). Estos valores son consistentes con materiales de granulometría fina y elevada capacidad de retención de agua.

Suprayaciendo esta unidad, en los primeros 10 a 15 m de profundidad, se identifican resistividades intermedias entre 55 y 85 Ω·m, interpretadas como arenas y gravas parcialmente saturadas, correspondientes a depósitos cuaternarios. Esta unidad superficial muestra un incremento progresivo de espesor hacia el noroccidente, lo cual sugiere un control topográfico y acumulación diferencial de sedimentos recientes.

Hacia el metro 320 del perfil se observa un salto topográfico marcado, el cual coincide con un contraste geoeléctrico donde las resistividades descienden al rango de 40–50 Ω·m. Este cambio lateral está asociado con el escarpe sur del deslizamiento, indicando una zona de mayor alteración y contenido de humedad, probablemente vinculada con la superficie de ruptura o con materiales removilizados.

En la porción centro–norte del perfil se concentran resistividades ligeramente menores respecto a los sectores adyacentes, lo que sugiere la presencia de una zona de flujo preferencial dentro del cuerpo del deslizamiento. Esta interpretación es coherente con la acumulación de agua en zonas de fracturamiento interno o en trayectorias de drenaje subsuperficial.

Hacia el sector norte, las resistividades aumentan al rango de 65–80 Ω·m, lo que indica condiciones relativamente menos saturadas dentro del cuerpo del deslizamiento, posiblemente asociadas a materiales más gruesos o a sectores con mejor drenaje interno.

Finalmente, en el extremo norte del perfil, se identifica un nuevo contraste de resistividades que coincide espacialmente con el escarpe norte del deslizamiento, observado en campo. Este contraste lateral sugiere un límite estructural o geomorfológico bien definido del movimiento en masa.

Tabla 2. Interpretación Tomografía No. 1

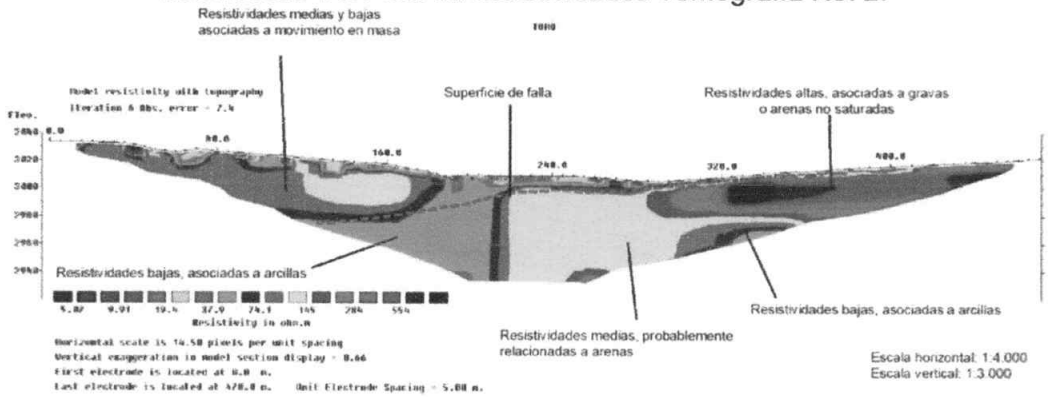
Resistividad (Ω·m)	Interpretación geológica	Unidad geológica
30–40 Ω·m (sector suroriental profundo)	Arcillolitas	Formación Arcillolitas de Socha (Pgars)
55–85 Ω·m (superficial suroriental)	Arenas y gravas parcialmente saturadas	Depósitos Cuaternarios
40–50 Ω·m (m 320 – escarpe sur)	Zona alterada y saturada asociada a superficie de ruptura	Zona de deslizamiento
45–60 Ω·m (centro–norte)	Zona de flujo preferencial con mayor contenido de humedad	Cuerpo del deslizamiento
65–80 Ω·m (sector norte)	Material menos saturado dentro del deslizamiento	Cuerpo del deslizamiento
Contraste lateral extremo norte	Límite del deslizamiento	Escarpe norte

Fuente: Autor

5.2. tomografía N° 2.

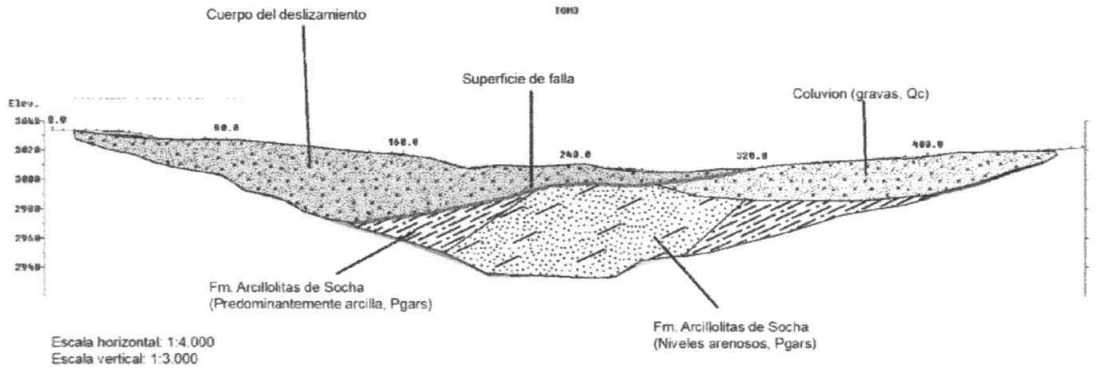
Azimuth: 198°; punto inicial: 5.043.655 m Y: 2.225.288; punto final: X: 5.043.535 m Y: 2.224.909; longitud de 470 m, espaciamiento de electrodos 10 m, medidas de resistividad 363, profundidad obtenida 85 m.

Ilustración 14. Perfil de resistividades Tomografía No. 2.



Fuente: Autor

Ilustración 15. Modelo geológico interpretado Tomografía No. 2.



Fuente: Autor

En el sector sur del perfil, en los primeros 35 m de profundidad, se identifica una zona de alta resistividad superior a 200 Ω·m, interpretada como gravas y materiales gruesos pertenecientes a un depósito coluvial. Esta unidad presenta una geometría relativamente continua y alcanza profundidades cercanas a los 30 m, lo cual sugiere la acumulación de materiales removilizados provenientes de sectores superiores de la ladera.

Subyacente a esta unidad se reconoce una zona de resistividades bajas entre 40 y 70 Ω·m, interpretada como arcillas pertenecientes a la Formación Arcillolitas de Socha (Pgars). Estos valores son consistentes con materiales finos, de baja permeabilidad y mayor contenido de humedad, característicos de esta unidad geológica.

En la zona central del perfil se identifica una franja somera, con un espesor aproximado de 10 m, caracterizada por resistividades entre 20 y 70 Ω·m, la cual se relaciona con el escarpe sur del deslizamiento. Esta zona corresponde probablemente a materiales alterados y parcialmente saturados asociados con la superficie de ruptura o con depósitos movilizados durante los eventos de inestabilidad.

Hacia el sector norte del perfil, esta zona de baja resistividad se profundiza progresivamente hasta alcanzar aproximadamente 50 m de profundidad, lo cual indica el desarrollo del cuerpo principal del deslizamiento. En este sector, la respuesta geoeléctrica sugiere la presencia de materiales heterogéneos con diferentes grados de saturación y compactación.

Bojo este, se identifican resistividades intermedias cercanas a 145 Ω·m, particularmente en la porción central del perfil, las cuales se interpretan como un nivel arenoso perteneciente a la Formación Arcillolitas de Socha, posiblemente intercalado dentro de la secuencia arcillosa.

Adicionalmente, hacia el sector centro–norte, se observan resistividades cercanas a 45 Ω·m, asociadas nuevamente a niveles arcillosos de la Formación Arcillolitas de Socha (Pgars). Estos valores reflejan materiales finos con mayor contenido de humedad y menor permeabilidad, lo cual favorece la acumulación de agua y puede contribuir a la reducción de la resistencia al corte dentro del cuerpo del deslizamiento.

Tabla 3. Interpretación Tomografía No. 2.

Resistividad (Ω·m)	Interpretación geológica	Unidad geológica
>200 Ω·m (sector sur)	Gravas y materiales gruesos del depósito coluvial	Depósito coluvial
40–70 Ω·m (subyacente)	Arcillolitas	Formación Arcillolitas de Socha (Pgars)
20–70 Ω·m (zona somera central y sector norte profundo)	Material heterogéneo saturado correspondiente al cuerpo del deslizamiento	Cuerpo del deslizamiento
~145 Ω·m (zona central profunda)	Nivel arenoso dentro de la Formación	Formación Arcillolitas de Socha (Pgars)
~45 Ω·m (centro–norte)	Arcillolitas	Formación Arcillolitas de Socha (Pgars)

Fuente: Autor

6. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos mediante Tomografía Eléctrica de Resistividad (ERT) permitieron caracterizar las condiciones subsuperficiales del sector evaluado en la vereda Güita, municipio de Socotá, evidenciando la presencia de contrastes geoeléctricos asociados a variaciones litológicas, grados de saturación y procesos de inestabilidad del terreno.

Las secciones geoeléctricas muestran una clara diferenciación entre depósitos superficiales de origen coluvial y niveles arcillosos correspondientes a la Formación Arcillolitas de Socha (Pgars). Los depósitos coluviales se caracterizan por resistividades altas, superiores a 200 Ω·m, asociadas a materiales gruesos como gravas y bloques con menor grado de saturación, mientras que las arcillolitas presentan resistividades bajas a intermedias (30–70 Ω·m), coherentes con materiales finos con mayor contenido de humedad y baja permeabilidad.

Las zonas de resistividad baja e intermedia identificadas en ambas tomografías evidencian la presencia de materiales saturados y heterogéneos asociados al cuerpo del deslizamiento. Estas zonas se desarrollan principalmente hacia el sector central y norte de los perfiles, donde se observa un incremento del espesor de materiales movilizados y una mayor acumulación de humedad.

Los contrastes laterales de resistividad identificados en los perfiles coinciden espacialmente con rasgos geomorfológicos observados en campo, tales como escarpes y zonas de deformación, lo que permite inferir la posible delimitación del cuerpo del deslizamiento y de las superficies de ruptura asociadas al proceso de inestabilidad.

Asimismo, la presencia de niveles arcillosos con bajo valor de resistividad sugiere condiciones hidrogeológicas que favorecen la retención y acumulación de agua en el subsuelo, lo cual puede contribuir a la disminución de la resistencia mecánica de los materiales y al desarrollo o reactivación de movimientos en masa.

En conjunto, los resultados geoeléctricos evidencian un subsuelo heterogéneo compuesto por depósitos coluviales y materiales arcillosos saturados, cuya interacción con la dinámica del agua subterránea constituye un factor relevante en la inestabilidad del terreno en el área de estudio.

7. RECOMENDACIONES

Se recomienda efectuar la correlación entre los resultados de tomografía eléctrica y los estudios geotécnicos directos realizados en el área, con el fin de validar la interpretación geoeléctrica y relacionarla con las propiedades físicas y mecánicas de los materiales del subsuelo.

Es conveniente realizar monitoreos periódicos de las condiciones de humedad y drenaje en el área del deslizamiento, especialmente en los sectores donde se identificaron zonas de baja resistividad asociadas a mayor saturación, con el fin de evaluar la evolución del fenómeno y su posible reactivación.

Se recomienda evaluar la implementación de obras de manejo de aguas superficiales y subsuperficiales, tales como drenajes, zanjas interceptoras o sistemas de disipación, orientadas a reducir la infiltración y acumulación de agua dentro del cuerpo del deslizamiento.

Para una mejor comprensión de la geometría del fenómeno, se sugiere ampliar la cobertura del estudio geofísico mediante la adquisición de perfiles adicionales de tomografía eléctrica o la aplicación de métodos geofísicos complementarios, lo que permitiría delimitar con mayor precisión la extensión y profundidad del movimiento en masa.

Finalmente, los resultados obtenidos deben ser integrados con análisis geomorfológicos, geológicos e hidrogeológicos del área, con el fin de fortalecer los estudios de amenaza y apoyar la toma de decisiones en materia de gestión del riesgo y ordenamiento territorial en el municipio de Socotá.

8. BLIBLIOGRAFIA

Reynolds, J. M. (2011). *An introduction to applied and environmental geophysics* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied geophysics* (2nd ed.). Cambridge University Press.

Loke, M. H. (2016). *Tutorial: Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies*. Geotomo Software. https://www.geotomosoft.com

Palacky, G. J. (1987). Resistivity characteristics of geologic targets. In M. Nabighian (Ed.), *Electromagnetic methods in applied geophysics* (Vol. 1, pp. 53–129). Society of Exploration Geophysicists.

Keller, G. V., & Frischknecht, F. C. (1966). *Electrical methods in geophysical prospecting*. Pergamon Press.

Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2015). *Geología de la plancha 191 - Tunja*. Memoria explicativa y mapa geológico 1:100.000. Bogotá, Colombia.

Ingeominas. (2000). *Geología del cuadrángulo J-12 Tunja*. Memoria explicativa y mapa geológico 1:100.000. Bogotá, Colombia.

Gobernación de Boyacá. (s.f.). *Información general del departamento de Boyacá*. Recuperado de https://www.boyaca.gov.co/

IDEAM – Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (s.f.). *Atlas climático de Colombia*. Recuperado de https://www.ideam.gov.co/

9. ANEXOS

1. Datos_tomografias_socotá.rar

PUNTOS DE CONTROL RTK

GAIA J&S S.A.S.
gaiaconsultoresjys@gmail.com / Carrera 11 # 11 – 53 OF 306 Sogamoso – Boyacá / 3112161523

TOMA DE PUNTOS DE CONTROL RTK

El trabajo de campo se realizó durante el día 03 de febrero del 2026, para lo cual se realizó un recorrido de campo dentro del área con el objeto de identificar puntos estratégicos que permita un mayor rendimiento en cuanto a señal y visualización entre los mismos de acuerdo con los equipos topográficos a utilizar, posteriormente, en la razón a lo analizado con el recorrido en mención se procede a ejecutar el trabajo con un (1) frente o comisión de topografía.

frente de trabajo

Relación de personal y equipos:

Juan Mojica Gómez (ing. geológico toma de información en campo y oficina)
Juan Carlos Condia (auxiliar de topografía – toma de información en campo)

1. Instrumentos o equipos utilizados.

GNSS

Fotografía 1 EQUIPOS GPS – RTK MARCA CHCNAV



Materialización de puntos estratégicos

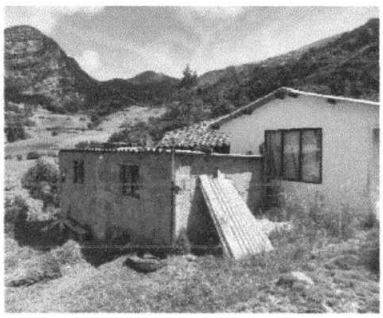
Se posiciona (gps_01) para la respectiva sesión de posicionamiento, los cuales se ubicó en puntos estratégicos para dar un cubrimiento del área de estudio, posteriormente se materializan puntos auxiliares o transitorios para la captura de información detallada georreferenciar equipos de manera que funcionan como puntos de control y proceder a capturar la información correspondiente de la topografía. toda la información de campo fue capturada en la memoria de los receptores de gps bases, rover marcas (chcnav), para posteriormente ser descargada a la computadora a través de los programas chc geomatics

office 2. esta información ha sido procesada en la misma memoria de los gps por archivos rinex.

Tabla 1 coordenadas GPS RTK

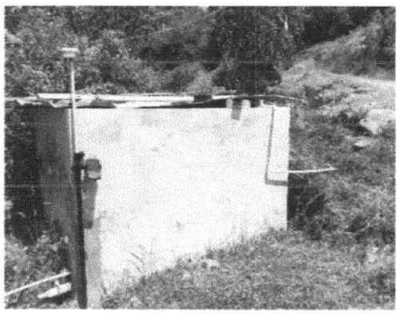
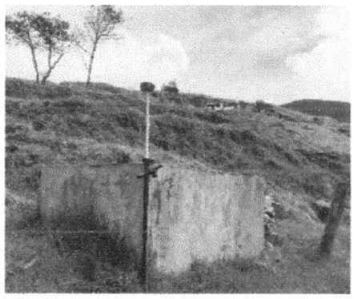
PUNTO	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
base_1	1160076,996	1163111,176	3118,727
CHKBASF	1160076,959	1163111,221	3116,718
PCcasa1	1160373,845	1163857,769	3234,464
PCcasa2	1160230,125	1163867,093	3222,97
PCcasa3	1160131,692	1163800,579	3210,275
PCcasa4	1160194,695	1163801,003	3213,04
Tanque	1160370,996	1163632,979	3178,506
Pccasa5	1160122,558	1163052,499	3112,521
Pcrocavia	1159542,102	1163025,815	3026,597
pcalc	1159610,387	1163090,525	3032,364
pcrocatienda	1159534,709	1163078,4	3052,014
pctanque	1159424,679	1162933,86	3017,198
pccasa6	1159440,6	1162934,298	3015,557
pctanque2	1159520,783	1162755,007	2974,281
pctanque3	1159121,597	1162199,613	2870,362
pctanque4	1159145,992	1162003,685	2839,745
pcalc2	1159182,303	1162195,516	2868,739
pccasa7	1159013,44	1161789,183	2806,285
pccancha	1158997,51	1161815,732	2809,006
pccasa8	1159343,428	1161374,097	2758,299
pccasa9	1159411,826	1161364,283	2767,321
pccasa10	1159073,35	1161599,636	2790,815

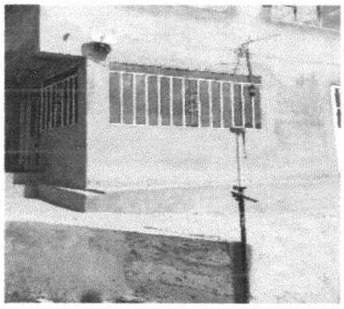
Evidencia de Puntos de Control GPS – RTK sobre el área de estudio











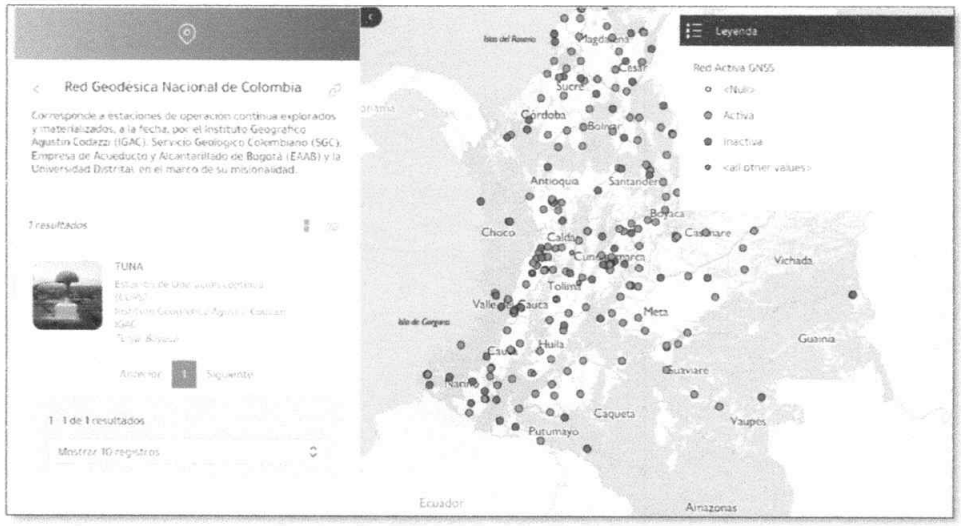
Descargue de información

una vez culminadas las actividades de levantamiento topográfico en campo, se procede a realizar la descarga y consolidación de la información registrada. los datos crudos obtenidos por los equipos, receptores gnss y demás instrumentos de medición— son extraídos desde su memoria interna para garantizar la integridad, exactitud y trazabilidad de cada observación capturada. este proceso asegura que toda la información recolectada esté lista para su posterior depuración, procesamiento y análisis en gabinete.

Procesamiento de la información georreferenciación:

para la georreferenciación de los vértices topográficas, se realizó la verificación del posicionamiento y traslado de coordenadas utilizando como referencias las estaciones fijas-permanentes en tuna, patu, socb y suam, utilizando el equipo en modo estático y un gps móvil que se estacionó sucesivamente en los vértices amojonados con tiempos establecidos de observación en cada estación, tiempos que se toman en función de las distancias entre los puntos a resolver.

Red geodésica nacional de Colombia

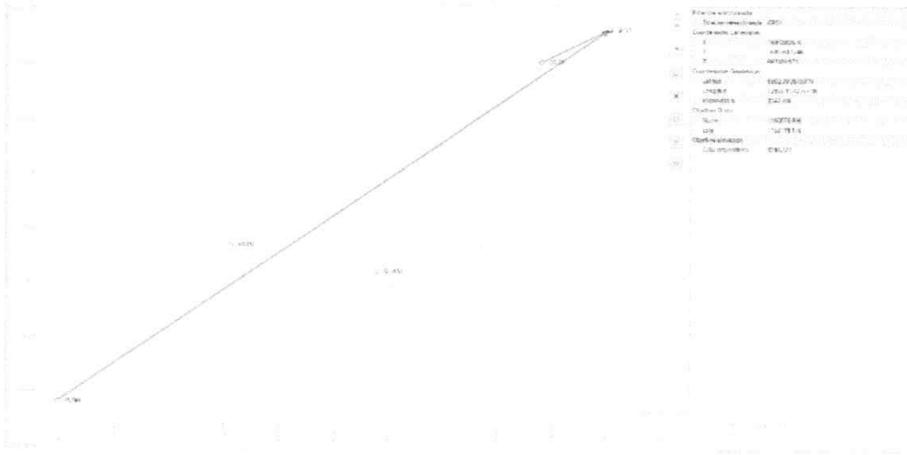


fuente: geo portal igac, 2026

- **bases permanentes y/o vértices**

para la realización del trabajo se utilizaron; los vértices materializados en terreno, denominados según nomenclatura gps 1.

procesamiento de puntos base y vértices



Red de GPS - RTK

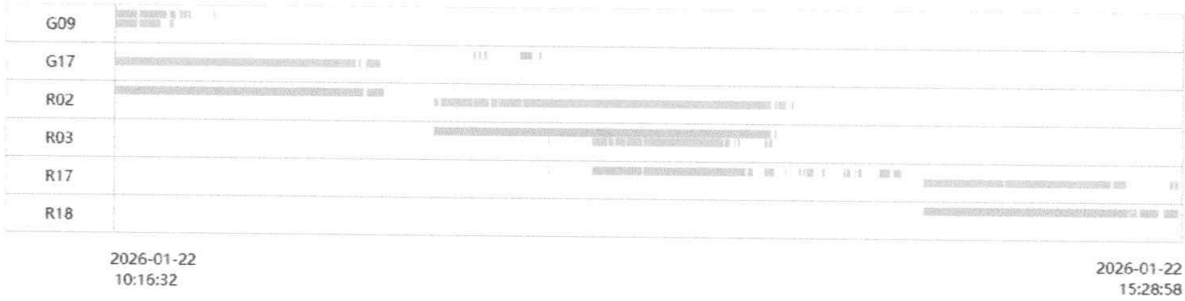
la conformación de la red gps se llevó a cabo el 03 de 2026. las actividades de campo iniciaron con la planeación de la secuencia de rastreos, garantizando que los tiempos de observación compartidos fueran suficientes para obtener una solución confiable. para la definición de los tiempos mínimos de rastreo se empleó como referencia la siguiente relación:

$t=65(3\times(n-10))$
donde:
t = tiempo estimado de rastreo
n = número de kilómetros del vector
durante el trabajo en campo, los equipos se instalaron sobre los puntos previamente programados, verificando el adecuado nivel de carga de las baterías, la calidad de la señal satelital y el correcto almacenamiento de la información en los receptores. las observaciones en modo estático tuvieron un tiempo promedio de 5 horas y 15 minutos, empleando receptores de doble frecuencia, los cuales ofrecen alta estabilidad y precisión para este tipo de levantamientos. ejecución de rastreos

una vez posicionados los puntos correspondientes al área de estudio, y siguiendo la logística establecida, se procedió a la ejecución de las sesiones de rastreo definidas en la planeación de la red, para la toma de datos se utilizaron dos equipos estáticos de doble frecuencia, garantizando compatibilidad y calidad en la adquisición de las observaciones. las sesiones mantuvieron un tiempo promedio de 5 horas y 15 minutos, incluyendo la sesión

de amarre, asegurando la consistencia y robustez de la red de control.

sesiones de rastreo de tiempos establecidos



CARTOGRAFÍA

GAIA J&S S.A.S.
gaiaconsultoresjys@gmail.com / Carrera 11 # 11 – 53 OF 306 Sogamoso – Boyacá / 3112161523

CONTINUACION CONTRATO C-MS-MC-049-2025 DE LAS PAGINAS 483 A LA 493
CONTIENE PLANOS DEBIDAMENTE ROTULADOS