

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

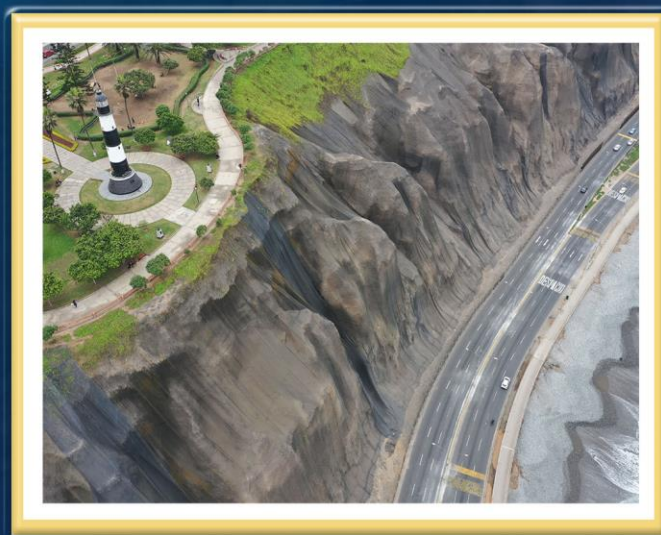
Informe Técnico N° A7351

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA, HIDROGEOLÓGICA, EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA E IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE DEPÓSITOS ANTROPOGÉNICOS EN LA COSTA VERDE

Departamento Lima

Provincia Lima

Distritos Barranco, Chorrillos, Miraflores, San Isidro,
Magdalena del Mar, San Miguel



ENERO
2023

**“CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA, HIDROGEOLÓGICA, EVALUACIÓN DE PELIGROS
GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA E IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE
DEPÓSITOS ANTROPOGÉNICOS EN LA COSTA VERDE”**

*Distritos Barranco, Chorrillos, Miraflores, San Isidro, Magdalena del Mar, San Miguel,
provincia y departamento Lima.*

Elaborado por la Dirección de Geología Ambiental
y Riesgo Geológico del INGEMMET

Equipo de investigación:

Coordinación técnica

*Lionel Fidel
Segundo Nuñez
Luis Albinez
Baclimer Quispe
Cristhian Chiroque*

Equipo de trabajo

*Cristhian Chiroque
Abraham Gamonal
Kiko Valencia
Luis Agurto
Deysi Arriola
Walter Vasquez
Alexandra Benites
Darwin Romero
Daniel Portocarrero
Ronald Zavaleta
Vladimir Aquino
Francisco Díaz*

Citación:

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). Caracterización Geológica, Hidrogeológica, Evaluación de Peligros Geológicos por Movimientos en Masa e Identificación de Zonas de Depósitos Antropogénicos en la Costa Verde, Distritos, Barranco, Chorrillos. Miraflores, San Isidro, Magdalena del Mar, San Miguel, provincia y departamento de Lima. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7351, 361 p.

INDICE

RESUMEN.....	10
1 ASPECTOS GENERALES.....	11
1.1 Introducción.....	11
1.2 Ubicación y extensión del área	11
1.3 Objetivos del estudio.....	12
1.4 Metodología de trabajo.....	13
1.5 Adquisición de información digital.....	14
1.5.1 Captura y procesamiento fotogramétrico	14
1.5.2 Preparación de ortomosaico y modelos de elevación digital.....	16
1.6 Trabajos anteriores.....	23
1.7 Agradecimientos	28
2 CARACTERIZACION GEOLOGICA	29
2.1 Caracterización geológica	29
2.1.1 Evolución geomorfológica.....	29
2.1.2 Estratigrafía.....	30
2.1.3 Levantamiento y medición de columnas estratigráficas.....	33
2.1.4 Correlación estratigráfica.....	41
2.1.5 Ensayos de suelos sobre muestras del acantilado	42
2.1.6 Resultados de ensayos de laboratorio, clasificación (SUCS) y otros	42
2.1.7 Algunas características ingeniero geológicas de los materiales en las zonas muestreadas de la CV.	47
2.1.8 Correlación de información geológica con datos geofísicos	54
2.1.9 Mapeo litológico y geológico detallado.....	85
2.1.10 Correlación geológica.....	89
2.1.11 Secciones geológicas.....	94
2.1.12 Modelo geológico en 3D	100
3 CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA.....	109
3.1 Modelo digital de elevaciones	109
3.1.1 Modelo digital de elevaciones en el distrito de San Miguel	109
3.1.2 Modelo digital de elevaciones en el distrito de Magdalena del Mar.....	109
3.1.3 Modelo digital de elevaciones en el distrito de San Isidro.....	110
3.1.4 Modelo digital de elevaciones en el distrito de Miraflores	111
3.1.5 Modelo digital de elevaciones en el distrito de Barranco	111
3.1.6 Modelo digital de elevaciones en el distrito de Chorrillos.....	112
3.2 Pendientes del terreno	112
3.2.1 Pendientes en el distrito de San Miguel	113
3.2.2 Pendientes en el distrito de Magdalena del Mar.....	114
3.2.3 Pendientes en el distrito de San Isidro.....	115
3.2.4 Pendientes en el distrito de Miraflores	116
3.2.5 Pendientes en el distrito de Barranco	117
3.2.6 Pendientes en el distrito de Chorrillos.....	118
3.3 Unidades geomorfológicas en el distrito de San Miguel	119
3.3.1 Unidades geomorfológicas antiguas en el distrito de San Miguel	119
3.3.1.1 Unidades de carácter deposicional o agradacional	119
A.Sub-unidad de planicie aluvial	119
B.Sub-unidad de depósitos antrópicos.....	120
C.Sub-unidad de acantilado	120
D.Sub-unidad de cárcavas y surcos	121
E.Sub-unidad de borde litoral y playas.....	121
3.3.2 Unidades geomorfológicas actuales en el distrito de San Miguel.....	122
3.3.2.1 Unidades de carácter deposicional o agradacional	122
A.Sub-unidad de acantilado	122
B.Sub-unidad de planicie aluvial	123
C.Sub-unidad de borde litoral y playa.....	123
D.Sub-unidad de cárcavas	124

3.3.2.2	Unidades geomorfológicas de carácter antropogénico.....	124
	E. Sub-unidad de terraplén.....	125
	F. Sub-unidad de terraza baja.....	125
3.4	Unidades geomorfológicas en el distrito de Magdalena del Mar	129
3.4.1	Unidades geomorfológicas antiguas en el distrito de Magdalena del Mar	129
3.4.1.1	Unidades de carácter deposicional o agradacional	129
	A. Sub-unidad de planicie aluvial	129
	B. Sub-unidad de depósitos antrópicos.....	129
	C. Sub-unidad de acantilado	130
	D. Sub-unidad de cárcavas y surcos	130
	E. Sub-unidad de borde litoral y playa.....	131
3.4.2	Unidades geomorfológicas actuales en el distrito de Magdalena del Mar	132
3.4.2.1	Unidades de carácter deposicional o agradacional	132
	A. Sub-unidad de acantilado	132
	B. Sub-unidad de planicie aluvial	132
	C. Sub-unidad de borde litoral y playa.....	133
	D. Sub-unidad de cárcavas	133
3.4.2.2	Unidades geomorfológicas de carácter antropogénico.....	134
	E. Sub-unidad de terraplén.....	134
	F. Sub-unidad de terraza alta.....	135
	G. Sub-unidad de terraza baja	135
3.5	Unidades geomorfológicas en el distrito de San Isidro	139
3.5.1	Unidades geomorfológicas antiguas en el distrito de San Isidro	139
3.5.1.1	Unidades de carácter deposicional o agradacional	139
	A. Sub-unidad de planicie aluvial	139
	B. Sub-unidad de depósitos antrópicos.....	139
	C. Sub-unidad de acantilado	140
	D. Sub-unidad de cárcavas y surcos	140
	E. Sub-unidad de borde litoral y playa.....	141
3.5.2	Unidades geomorfológicas actuales en el distrito de San Isidro	142
3.5.2.1	Unidades de carácter deposicional o agradacional	142
	A. Sub-unidad de acantilado	142
	B. Sub-unidad de planicie aluvial	142
	C. Sub-unidad de borde litoral y playa.....	143
	D. Sub-unidad de cárcavas	143
3.5.2.2	Unidades geomorfológicas de carácter antropogénico.....	144
	E. Sub-unidad de terraplén.....	144
	F. Sub-unidad terraza alta.....	145
	G. Sub-unidad de terraza baja	145
3.6	Unidades geomorfológicas en el distrito de Miraflores.....	149
3.6.1	Unidades geomorfológicas antiguas en el distrito de Miraflores	149
3.6.1.1	Unidades de carácter depositacional o agradacional	149
	A. Sub-unidad de planicie aluvial	149
	B. Sub-unidad de depósitos antrópicos.....	149
	C. Sub-unidad de acantilado	150
	D. Sub-unidad de cárcavas y surcos	150
	E. Sub-unidad de borde litoral y playa.....	151
3.6.2	Unidades geomorfológicas actuales en el distrito de Miraflores.....	152
3.6.2.1	Unidades de carácter deposicional o agradacional	152
	A. Sub-unidad de acantilado	152
	B. Sub-unidad de planicie aluvial	152
	C. Sub-unidad de borde litoral y playa.....	153
	D. Sub-unidad de cárcavas	153

3.6.2.2	Unidades geomorfológicas de carácter antropogénico.....	154
E.	Sub-unidad de terraplén.....	154
F.	Sub-unidad terraza alta.....	155
G.	Sub-unidad de terraza baja	155
H.	Sub-unidad de espigón	156
3.7	Unidades geomorfológicas en el distrito de Barranco	160
3.7.1	Unidades geomorfológicas antiguas en el distrito de Barranco.....	160
3.7.1.1	Unidades de carácter deposicional o agradacional	160
A.	Sub-unidad de planicie aluvial	160
B.	Sub-unidad de depósitos antrópicos.....	160
C.	Sub-unidad de acantilado	161
D.	Sub-unidad de cárcavas y surcos	161
E.	Sub-unidad de borde litoral y playa.....	162
3.7.2	Unidades geomorfológicas actuales en el distrito de Barranco.....	163
3.7.2.1	Unidades de carácter deposicional o agradacional	163
A.	Sub-unidad de acantilado	163
B.	Sub-unidad de planicie aluvial	163
C.	Sub-unidad de borde litoral y playa.....	164
D.	Sub-unidad de cárcavas	164
3.7.2.2	Unidades geomorfológicas de carácter antropogénico.....	165
E.	Sub-unidad de terraplén.....	165
F.	Sub-unidad de terraza alta.....	166
G.	Sub-unidad de terraza baja	166
H.	Sub-unidad de espigón	166
3.8	Unidades geomorfológicas en el distrito de Chorrillos	170
3.8.1	Unidades geomorfológicas antiguas en el distrito de Chorrillos.....	170
3.8.1.1	Unidades de carácter deposicional o agradacional	170
A.	Sub-unidad de planicie aluvial	170
B.	Sub-unidad de depósito antropogénico	170
C.	Sub-unidad de acantilado	171
D.	Sub-unidad de cárcavas y surcos	171
E.	Sub-unidad de borde litoral y playas.....	172
3.8.2	Unidades geomorfológicas actuales en el distrito de Chorrillos	173
3.8.2.1	Unidades de carácter deposicional o agradacional	173
A.	Sub-unidad de acantilado	173
B.	Sub-unidad de planicie aluvial	174
C.	Sub-unidad de borde litoral y playa.....	174
D.	Sub-unidad de cárcavas	175
3.8.2.2	Unidades geomorfológicas de carácter antropogénico.....	175
E.	Sub-unidad de terraplén.....	176
F.	Sub-unidad de terraza alta.....	176
G.	Sub-unidad de terraza baja	177
H.	Sub-unidad de espigón	177
4	CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA.....	181
4.1	Inventario de fuentes.....	181
4.1.1	Manantiales.....	182
4.1.2	Puntos de control	185
4.1.3	Pozos de bombeo	187
4.1.4	Parámetros hidrogeológicos	190
4.1.4.1	Porosidad	190
4.1.4.2	Permeabilidad.....	190
A.	Acuitardo.....	191
B.	Acuifugo	191

C.Acuicludo	191
4.1.4.3 Conductividad hidráulica	191
A.Distribución de la Conductividad Hidráulica y Permeabilidad (Apnca-Gl)	196
B.Distribución de la Conductividad Hidráulica y Permeabilidad (Apncb-Al).....	197
C.Distribución de la Conductividad Hidráulica y Permeabilidad (Apncb-Al).....	198
D.Distribución de la Conductividad Hidráulica y Permeabilidad (Ats-Col)	199
4.2 Gradiente hidráulico.....	209
4.3 Caracterización hidrogeológica	214
4.3.1 Acuíferos.....	216
4.3.1.1 Acuíferos porosos no consolidados	216
A.Acuífero poroso no consolidado de alta productividad graba de Lima (APNCA-gl)	217
B.Acuífero poroso no consolidado de alta productividad fluvial (APNCA-fl)	220
C.Acuífero poroso no consolidado de alta productividad aluvial fluvial (APNCA-alf)	220
D.Acuífero poroso no consolidado de mediana productividad aluvial (APNCb-al)	220
E.Acuífero poroso no consolidado de mediana productividad eólico (APNCb-eo).....	220
F.Acuífero poroso no consolidado de baja productividad coluvio deluviales (APNCb-cd).	220
G. Acuífero poroso no consolidado de baja productividad de relleno de desmonte (APNCc-rd).....	220
H.Acuífero poroso no consolidado de baja productividad relleno sedimentario (APNCb-rs).....	221
4.3.2 Acuitardos	224
4.3.2.1 Acuitardo sedimentario de travertinos (ATS-tv).....	224
4.3.2.2 Acuitardo sedimentario coluvial (ATS-col)	224
4.3.2.3 Acuitardos sedimentarios	224
4.3.2.4 Acuitardos Volcano – sedimentarios.....	224
4.3.2.5 Acuitardos Volcánicos.....	224
4.3.2.6 Acuitardos Intrusivos.....	224
4.4 Hidroquímica.....	227
4.4.1 Generalidades.....	227
4.4.2 Estaciones de muestreo y aforo.....	227
4.4.3 Recursos hídricos (temporadas de entre el año 2022 y 2022 – Avenida y estiaje)	229
4.4.4 Parámetros fisicoquímicos de las aguas	229
4.4.5 Ph Potencial de hidrógeno.....	230
4.4.6 Conductividad eléctrica (CE)	230
4.4.7 Temperatura.....	231
4.4.8 Resistividad.....	232
4.4.9 Salinidad	233
4.4.10 Oxígeno reductor oxidante.....	234
4.4.11 Oxígeno disuelto	235
4.5 Caracterización y evolución hidroquímica	236
4.5.1 Clasificación de aguas.....	236
4.5.2 Intrusión salina.....	248
4.5.3 Análisis químicos de sales agresivas al concreto.....	251
4.5.4 Estadística de los parámetros fisicoquímicos.....	252

5	PELIGROS GEOLÓGICOS.....	255
5.1	Peligros geológicos antiguos en el distrito de San Miguel	255
5.1.1	Peligros por movimientos en masa en el distrito de San Miguel	256
5.1.1.1	Caída de suelos y rocas	256
5.1.1.1.1	Derrumbes.....	256
5.1.1.2	Movimientos complejos	256
5.1.1.2.1	Deslizamiento-derrumbe	256
5.1.2	Otros peligros geológicos en el distrito de San Miguel	257
5.1.2.1	Erosión de ladera.....	257
5.1.2.1.1	Erosión en cárcava y surco	257
5.2	Peligros geológicos recientes y potenciales en el distrito de San Miguel	261
5.2.1	Peligros recientes por movimientos en masa en el distrito de San Miguel	261
5.2.1.1	Caída de suelos y rocas	261
5.2.1.1.1	Derrumbes.....	261
5.2.1.2	Escarpes activos y agrietamientos	262
5.2.2	Peligros potenciales por movimientos en masa en el distrito de San Miguel	264
5.2.2.1	Deslizamiento	264
5.2.2.1.1	Deslizamiento rotacional	264
5.2.2.2	Movimiento complejo	268
5.2.2.2.1	Deslizamiento-derrumbe	268
5.2.3	Otros peligros geológicos	269
5.2.3.1	Hundimiento.....	269
5.2.3.2	Escarpes proyectados.....	269
5.3	Peligros geológicos antiguos en el distrito de Magdalena del Mar	273
5.3.1	Peligros por movimientos en masa en el distrito de Magdalena del Mar	273
5.3.1.1	Caída de suelos y rocas	273
5.3.1.1.1	Derrumbes.....	273
5.3.1.2	Movimientos complejos	274
5.3.1.2.1	Deslizamiento-derrumbe	274
5.3.2	Otros peligros geológicos en el distrito de Magdalena.....	274
5.3.2.1	Erosión de laderas	274
5.3.2.1.1	Erosión en cárcava y surco	274
5.4	Peligros geológicos recientes y potenciales en el distrito de Magdalena del Mar	278
5.4.1	Peligros geológicos recientes en el distrito de Magdalena del Mar	278
5.4.1.1	Caída de suelos y rocas	278
5.4.1.1.1	Derrumbes.....	278
5.4.1.2	Escarpes activos y agrietamientos	279
5.4.2	Peligros potenciales por movimientos en masa en el distrito de Magdalena	281
5.4.2.1	Deslizamiento	281
5.4.2.1.1	Deslizamiento rotacional	281
5.4.2.2	Movimiento complejo	283
5.4.2.2.1	Deslizamiento-derrumbe	283
5.4.3	Otros peligros geológicos	283
5.4.3.1	Hundimiento.....	284
5.4.3.2	Escarpes proyectados.....	285
5.5	Peligros geológicos antiguos en el distrito de San Isidro.....	288
5.5.1	Peligros por movimientos en masa en el distrito de San Isidro	288
5.5.1.1	Caída de suelos y rocas	288
5.5.1.1.1	Derrumbes.....	288
5.5.1.2	Movimientos complejos	289
5.5.1.2.1	Deslizamiento-derrumbe	289
5.5.2	Otros peligros geológicos en el distrito de San Isidro	289
5.5.2.1	Erosión de ladera.....	289
5.5.2.1.1	Erosión en cárcava y surco	289
5.6	Peligros geológicos recientes y potenciales en el distrito de San Isidro	293
5.6.1	Peligros recientes por movimientos en masa en el distrito de San Isidro	293
5.6.1.1	Caída de suelos y rocas	293

5.6.1.1.1	Derrumbes.....	293
5.6.1.2	Escarpes activos y agrietamientos	293
5.6.2	Peligros potenciales por movimientos en masa en el distrito de San Isidro.....	295
5.6.2.1	Deslizamiento	295
5.6.2.1.1	Deslizamiento rotacional	295
5.6.2.2	Movimiento complejo	296
5.6.2.2.1	Deslizamiento-derrumbe	296
5.6.3	Otros peligros geológicos	296
5.6.3.1	Hundimiento.....	296
5.6.3.2	Escarpe proyectado	297
5.7	Peligros geológicos antiguos en el distrito de Miraflores	301
5.7.1	Peligros por movimientos en masa en el distrito de Miraflores	301
5.7.1.1	Caída de suelos y rocas	301
5.7.1.1.1	Derrumbes.....	301
5.7.1.2	Movimientos complejos.....	302
5.7.1.2.1	Deslizamiento-derrumbe	302
5.7.2	Otros peligros geológicos en el distrito de Miraflores	302
5.7.2.1	Erosión de laderas	302
5.7.2.1.1	Erosión en cárcava y surco	302
5.8	Peligros geológicos recientes y potenciales en el distrito de Miraflores.....	306
5.8.1	Peligros recientes por movimientos en masa en el distrito de Miraflores	306
5.8.1.1	Caída de suelos y rocas	306
5.8.1.1.1	Derrumbes.....	306
5.8.1.2	Escarpes activos y agrietamientos	307
5.8.2	Peligros potenciales por movimientos en masa en el distrito de Miraflores	308
5.8.2.1	Deslizamiento	308
5.8.2.1.1	Deslizamiento rotacional	308
5.8.2.2	Movimientos complejos.....	309
5.8.2.2.1	Deslizamiento-derrumbe	309
5.8.3	Otros peligros geológicos	310
5.8.3.1	Hundimiento.....	310
5.8.3.2	Escarpe proyectado	311
5.9	Peligros geológicos antiguos en el distrito de Barranco	314
5.9.1	Peligros por movimientos en masa en el distrito de Barranco.....	314
5.9.1.1	Caída de suelos y rocas	314
5.9.1.1.1	Derrumbes.....	314
5.9.1.2	Movimientos complejos.....	315
5.9.1.2.1	Deslizamiento-derrumbe	315
5.9.2	Otros peligros geológicos en el distrito de Barranco.....	315
5.9.2.1	Erosión de laderas	315
5.9.2.1.1	Erosión en cárcava y surco	315
5.10	Peligros geológicos recientes y potenciales en el distrito de Barranco.....	319
5.10.1	Peligros recientes por movimiento en masa en el distrito de Barranco	319
5.10.1.1	Caída de suelos y rocas.....	319
5.10.1.1.1	Derrumbes.....	319
5.10.1.2	Escarpes activos y agrietamientos	320
5.10.2	Peligros potenciales por movimiento en masa en el distrito de Barranco	322
5.10.2.1	Deslizamientos	322
5.10.2.1.1	Deslizamiento rotacional	322
5.10.2.2	Movimientos complejos.....	323
5.10.2.2.1	Deslizamiento-derrumbe	323
5.10.3	Otros peligros geológicos	324
5.10.3.1	Hundimiento	324
5.10.3.2	Escarpe proyectado	324
5.11	Peligros geológicos antiguos en el distrito de Chorrillos.....	328
5.11.1	Peligros por movimientos en masa en el distrito de Chorrillos	328

5.11.1.1	Caída de suelos y rocas.....	328
5.11.1.1.1	Derrumbes.....	328
5.11.1.2	Movimientos complejos.....	329
5.11.1.2.1	Deslizamiento-derrumbe	329
5.11.1.3	Erosión de laderas.....	329
5.11.1.3.1	Erosión en cárcavas y surcos.....	329
5.12	Peligros geológicos recientes y potenciales en el distrito de Chorrillos	333
5.12.1	Peligros geológicos recientes en masa en el distrito de Chorrillos	333
5.12.1.1	Caída de suelos y rocas.....	333
5.12.1.1.1	Derrumbes.....	333
5.12.1.2	Escarpes activos y agrietamientos	335
5.12.2	Peligros potenciales por movimientos en masa en el distrito de Chorrillos.....	336
5.12.2.1	Movimiento complejo	336
5.12.2.1.1	Deslizamiento-derrumbe	336
5.12.3	Otros peligros geológicos	337
5.12.3.1	Hundimiento	337
5.12.3.2	Escarpes proyectados.....	338
6	CONCLUSIONES	341
6.1	Geología.....	341
6.2	Hidrogeología	343
6.3	Geomorfología.....	344
6.4	Peligros geológicos	347
7	RECOMENDACIONES	351
8	BIBLIOGRAFÍA	353

RESUMEN

El presente proyecto involucra la evaluación geológica de los acantilados de la Costa Verde, que comprenden los distritos de San Miguel, Magdalena del Mar, San Isidro, Miraflores, Barranco y Chorrillos.

El informe presenta las características generales de la zona de estudio, los rasgos geológicos propiamente dichos, que contempla el levantamiento y medición de 51 columnas estratigráficas con información detallada de las características litológicas de los conglomerados, areniscas, y sedimentos finos que componen la secuencia estratigráfica de los acantilados.

Se mencionan las características geomorfológicas del acantilado, realizada a partir del análisis de fotografías aéreas de los años 1943 y 1960, mediante la comparación de cambios morfológicos, se realizó el análisis multitemporal, que destaca la variación severa a la que ha estado expuesta la zona de estudio.

Respecto a los aspectos hidrogeológicos de los acantilados, se identifica a las formaciones geológicas por su capacidad de almacenar y transmitir agua subterránea utilizando diferentes metodologías para su caracterización y entendimiento de la dinámica química y de flujo subterráneo. Para ello se han realizado varias actividades de recolección de datos en campo. Siendo uno de ellos el inventario y monitoreo de fuentes de agua, los ensayos de infiltración, la prospección geofísica aplicada para determinar los niveles freáticos y la dirección del flujo para correlacionar toda esta información con la litología.

Del análisis, se obtiene que la mayor parte del área son acuíferos porosos no consolidados con diferentes comportamientos en la dinámica del agua subterránea. En los acantilados de la Costa Verde, se muestra una ligera humedad producto de tres factores: la humedad del mar, las precipitaciones y el riego de áreas verdes, esta última actividad es diaria y de manera muy silenciosa van afectando a la estabilidad del acantilado, compuesto por gravas arenas y limos. Las arenas en sus diferentes tamaños en algunos lugares bien acompañados de limos, los cuales juegan un rol muy importante con el flujo del agua subterránea.

Los ensayos de infiltración realizadas en algunos horizontes de este material muestran bajas permeabilidades de agua a un inicio, pasado un tiempo estas aceleran debido a que los limos y arenas finas son arrastrando por el agua, quedando solo material grueso.

Se evaluó los peligros geológicos de mayor recurrencia, como son derrumbes de suelos, caída de rocas y deslizamientos de suelos. Todos estos eventos están condicionados por la elevada pendiente de los taludes, así como la presencia de relleno no controlados en los bordes del acantilado.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones a las que el equipo de autores ha confluído.

1 ASPECTOS GENERALES

Ing. Geol. Abraham Gamonal, CIP: 211188

Ing. Geol. Cristhian Chiroque, CIP: 236400

1.1 Introducción

El día 08 de agosto de 2019, a horas de la madrugada, se produjo un derrumbe en la Costa Verde a la altura del final de la Av. Sucre (Malecón Castañeda) en el distrito de Magdalena del Mar, esto dañó rejas y geomallas en la zona e interrumpió el tránsito vehicular con sentido hacia el Callao; además alertó a los vecinos y autoridades locales ante la posible ocurrencia del mismo incidente en otros lugares. Frente a lo sucedido, INDECI convocó a entidades técnico-científicas para elaborar un informe, que fue presentado como “Informe Técnico Consolidado sobre los Acantilados de la Costa Verde”. En base al informe sustentado por INDECI en la PCM el 20 de setiembre, se declaró Estado de Emergencia por peligro inminente ante derrumbes en los acantilados de la Costa Verde, comprendidos en los distritos de San Miguel, Magdalena del Mar, San Isidro, Miraflores, Barranco y Chorrillos mediante Decreto Supremo N° 161-2019-PCM.

INDECI en coordinación con la Municipalidad de Lima Metropolitana convocaron a las autoridades del Proyecto Costa Verde, autoridades locales, representantes de los ministerios involucrados y representantes de las entidades técnico-científicas a fin de coordinar esfuerzos y acciones conjuntas frente a la Declaratoria de Emergencia en la Costa Verde.

El día 20 de noviembre se emite el DS N°178-2019 PCM que prorroga el Estado de Emergencia en la Costa Verde. El día 18 de diciembre se registró nuevamente desprendimientos de rocas en la Costa Verde (Barranco).

El INGEMMET a través de su Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico - DGAR, realiza investigaciones, programas y proyectos Geoambientales, Geotécnicos y de Evaluación y Monitoreo de Peligros Geológicos del territorio nacional, a fin de contribuir con los organismos competentes en materia de ordenamiento territorial, planificación y desarrollo nacional; así como, la seguridad física dentro del país y la conservación del patrimonio natural y cultural. Además, es la encargada de realizar estudios sobre hidrogeología en el país.

En tal sentido, mediante este proyecto de emergencia, el INGEMMET brindará la caracterización geológica e hidrogeológica local, necesarias para los estudios geotécnicos y de prevención, desarrollados por el CISC MID, los entes involucrados y la academia en general. De forma paralela y complementaria se realizarán trabajos que permitan conocer la localización de zonas de depósitos de origen antrópico (rellenos) a lo largo de la Costa Verde, acumulados desde los años 40's. Estos trabajos serán complementados con la evaluación de peligros geológicos que afectan la Costa Verde en la actualidad, donde se identificarán geoformas, caracterizando los movimientos en masa y su ámbito de afectación.

1.2 Ubicación y extensión del área

Los acantilados de la Costa Verde corresponden a la parte más occidental del abanico fluvio-aluvial de Lima, el mismo que se ubica en la región Lima Metropolitana, provincia de Lima, abarca los distritos de San Miguel, Magdalena del Mar, San Isidro, Miraflores, Barranco y Chorrillos, así como el distrito de La Perla de la provincia constitucional de El Callao (**Plano PG.UB-01 Ubicación**). El área del presente estudio está comprendida en un polígono que involucra los seis distritos mencionados de Lima y tiene los límites de coordenadas aproximadas de la Tabla 1.

Los trabajos en la zona de estudio fueron realizados en el Sistema Geodésico Mundial del año 1984 (WGS 1984), zona 18 Sur del esferoide internacional (WGS-84, Zona 18 sur).

Tabla 1. Coordenadas del área de estudio.

Coordenadas UTM			
Proyección WGS-84 ZONA18S	Vértice	Este (m)	Norte (m)
	1	270100	8663575
	2	270350	8664100
	3	276080	8661400
	4	279830	8657700
	5	280125	8654150
	6	278950	8653710
	7	278700	8654240
	8	279530	8654600
	9	279200	8657360
	10	278650	8660740

En general, la altura de los acantilados varía desde 36 m s.n.m. en el sur (Chorrillos) a 70 m s.n.m. (Miraflores) y 25 m s.n.m. en el norte (La Perla) llegando al nivel del mar en La Punta (Callao).

El área de la Costa Verde está sometida a condiciones climáticas particulares dentro de la costa peruana, que presenta un clima desértico, árido, pero con humedad relativa alta asociada a brisas marinas. No se registran variaciones extremas entre las temperaturas máximas y mínimas anuales, con nubosidad permanente durante los meses de abril a noviembre, y un alto contenido de humedad en todos los meses del año, son características típicas de esta área. Los vientos no son de gran intensidad y las precipitaciones están referidas a la presencia de garúas invernales que ocurren cuando la saturación de la humedad relativa ha llegado a su máximo pico.

De acuerdo con datos proyectados por el INEI a junio del 2022, la población de Lima Metropolitana, conformada por 43 distritos alcanza los 10 millones 4 mil 141 habitantes, que representan el 29,9% de la población proyectada del Perú (33 millones 396 mil 698 habitantes), lo que indica que en Lima habitan 3823 personas por kilómetro cuadrado, constituyendo los acantilados de la Costa Verde un área muy importante de la ciudad por el constante crecimiento urbano y gran densidad poblacional.

1.3 Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- Caracterización geológica local e ingeniero geológica de la Costa Verde que

involucra los acantilados de los distritos de San Miguel, Magdalena del Mar, San Isidro, Miraflores, Barranco y Chorrillos.

- Evaluación geomorfológica en los acantilados de los distritos de San Miguel, Magdalena del Mar. San Isidro, Miraflores, Barranco y Chorrillos.
- Caracterización hidrogeológica en los acantilados de los distritos de San Miguel, Magdalena del Mar. San Isidro, Miraflores, Barranco y Chorrillos.
- Evaluación de peligros geológicos en los acantilados de los distritos de San Miguel, Magdalena del Mar. San Isidro, Miraflores, Barranco y Chorrillos.

1.4 Metodología de trabajo

Para el presente proyecto se realizaron actividades que involucraron trabajos de adquisición de datos de campo, así como también trabajos de gabinete referentes a interpretación e integración de información adquirida en campo y también la revisión de informes de trabajos anteriores. El proyecto fue realizado en cinco meses calendario, comenzando una primera etapa de un mes en diciembre del año 2020 y continuando en otra etapa de 4 meses (entre septiembre y diciembre del año 2021).

Se planificó realización de las actividades de adquisición y procesamiento fotogramétrico de capturas frontales de fotografías aéreas y terrestres de los acantilados de la Costa Verde de toda el área de estudio, así como trabajos de control de campo para validación de información. Ello con el fin de obtener la máxima cantidad de información geológica posible a través de la adquisición de dichas imágenes.

Para el primer mes se planificó realización de las actividades de inventario de fuentes de agua y los ensayos de infiltración, de estas actividades es que se obtiene una base de datos tanto para el inventario de fuentes como para los ensayos de infiltración.

Posteriormente en el segundo mes se continua con el monitoreo de fuentes de agua de 13 fuentes y trabajos de gabinete para análisis e interpretación de los resultados de análisis químico de las aguas subterráneas.

Se priorizó el trabajo de campo con medición de 51 columnas estratigráficas con información detallada de las características litológicas de los conglomerados, areniscas, y sedimentos finos que componen la secuencia estratigráfica de los acantilados, con lo cual se preparó una correlación estratigráfica preliminar.

Se procesó y editó gráficamente la información de campo de las columnas estratigráficas y se prepararon mapas geológicos / litológicos detallados para los seis distritos involucrados, con la respectiva revisión de campo.

Luego, con la digitalización y edición final de datos de las columnas medidas, se trabajó en la versión final de la correlación estratigráfica de los acantilados, así como la integración de la información geofísica recibida del Instituto Geofísico del Perú. Así mismo, se realizó también la recolección de muestras de suelos para su envío correspondiente para los ensayos de laboratorio pertinentes. Para dichos estudios se escogió el Laboratorio de Suelos de la Carrera de Ingeniería Civil - Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Lima.

Con toda la información previamente obtenida, se ejecutaron las tareas de construcción de un modelo Geológico en 3D de los acantilados de la Costa Verde, preparación de secciones geológicas, así como la elaboración final del Mapa Geológico detallado

(Escala 1:1000) de todas las secuencias sedimentarias expuestas en los acantilados de la Costa Verde y un poster compuesto con la información detallada a manera de diagnóstico.

Para la caracterización y delimitación de las unidades geomorfológicas se realizó el análisis de modelos digitales de terreno (MDT). Se recopilaban fotografías aéreas antiguas proporcionadas por el Servicio Aerofotográfico Nacional (SAN) y el Instituto Geográfico Nacional (IGN), se encontraron dos series de tiempo correspondientes a los años 1960 y 1943, la serie de fotografías del año 1960 conto con las características adecuadas para realizar una correcta restitución mediante estaciones fotogramétricas, obteniéndose un MDT en formato GEOTIFF de 1 m de resolución.

El MDT actualizado, del año 2021, fue obtenido mediante vuelos con RPAS/drone. El vuelo se realizó a una altura promedio de 150 m con una resolución de 5 cm. Ambos modelos (1960 y 2021), fueron resampleados a 1m de resolución para realizar la cartografía 2D en planta y 3D en perspectiva.

También se realizó el análisis de las fotografías aéreas de los años 1943 y 1960, además de imágenes satelitales del 2000, 2001 y 2005, se pueden observar procesos antrópicos que han modificado las geoformas originales observadas entre los años 1943 y 2000.

1.5 Adquisición de información digital

1.5.1 Captura y procesamiento fotogramétrico

Con el objetivo principal de obtener la máxima cantidad de información geológica posible a través de la adquisición de imágenes de fotografías aéreas y su posterior procesamiento, se planificó y ejecutó la captura de fotografías aéreas y el procesamiento fotogramétrico para la obtención de ortomosaicos georreferenciados, mosaicos frontales de los acantilados de la Costa Verde, así como modelos de elevación digital (DEMs), utilizando el software Agisoft Metashape.

El procesamiento se efectuó considerando 38 áreas pre establecidas (Figura 1) de los acantilados de la Costa Verde, ubicados en los distritos de Chorrillos, Barranco, Miraflores, San Isidro, Magdalena del Mar y San Miguel, planteadas según direcciones preferentes de los taludes.



Figura 1. Mapa de ubicación de áreas de adquisición y procesamiento de fotografías aéreas en los acantilados de la Costa Verde.

Tabla 2. Áreas de adquisición y procesamiento de fotografías aéreas, así como elaboración de mosaicos y modelos de elevación digital.

POLÍGONOS DE LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO CON RPAS POR DISTRITOS					
	ÁREA DE LEVANTAMIENTO	Distrito		ÁREA DE LEVANTAMIENTO	Distrito
1	Área 01 CH	Chorrillos	20	Área 20 MI	Miraflores
2	Área 02 CH	Chorrillos	21	Área 21 MI	Miraflores
3	Área 03 CH	Chorrillos	22	Área 22 MI	Miraflores
4	Área 04 CH	Chorrillos	23	Área 23 MI	Miraflores
5	Área 05 CH	Chorrillos	24	Área 24 MI	Miraflores
6	Área 06 CH	Chorrillos	25	Área 25 MI	Miraflores
7	Área 07 CH-B	Chorrillos/ Barranco	26	Área 26 SI	San Isidro
8	Área 08 B	Barranco	27	Área 27 SI	San Isidro
9	Área 09 B	Barranco	28	Área 28 SI	San Isidro
10	Área 10 B	Barranco	29	Área 29 SI	San Isidro
11	Área 11 B	Barranco	30	Área 30 SI	San Isidro
12	Área 12 B	Barranco	31	Área 31 MM	Magdalena del Mar
13	Área 13 B	Barranco	32	Área 32 MM	Magdalena del Mar
14	Área 14 B	Barranco	33	Área 33 MM	Magdalena del Mar
15	Área 15 B	Barranco	34	Área 34 SM	San Miguel

16	Área 16 MI	Miraflores	35	Área 35 SM	San Miguel
17	Área 17 MI	Miraflores	36	Área 36 SM	San Miguel
18	Área 18 MI	Miraflores	37	Área 37 SM	San Miguel
19	Área 19 MI	Miraflores	38	Área 38 SM	San Miguel

1.5.2 Preparación de ortomosaico y modelos de elevación digital

Un ortomosaico es el producto de la combinación de varias fotografías tomadas de forma perpendicular al terreno y que ha sido ortorrectificadas mediante estaciones fotogramétricas. Mediante algoritmos, los programas corrigen la distorsión geométrica, el balance de colores, entre otros; para producir un set de datos de mosaico continuo. En este trabajo se prepararon 38 ortomosaico mediante Adobe Illustrator de los cuales se presentan los tramos de inicio y final de cada distrito evaluado (figuras 2, 3, 4, 5, 6 y 7), además, los mosaicos completos se presentan en el apartado de Anexos (ANEXO I).

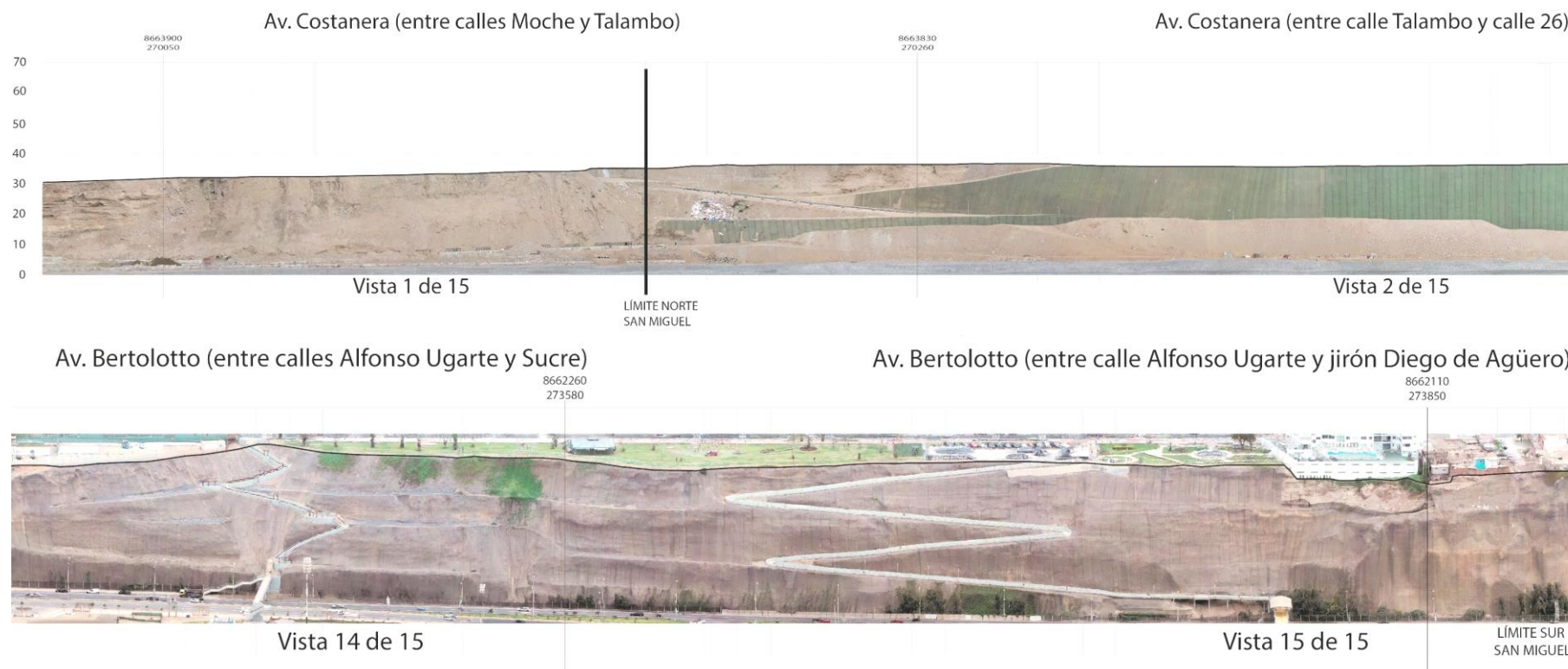


Figura 2. Mosaico frontal del distrito de San Miguel. Tramo de inicio (límite norte de San Miguel con el distrito del Callao) y el tramo final (límite sur de San Miguel con Magdalena del Mar).



Figura 3. Mosaico frontal del distrito de Magdalena del Mar. Tramo de inicio (límite norte del distrito Magdalena y San Miguel) y el tramo final (límite sur de Magdalena y San Isidro).

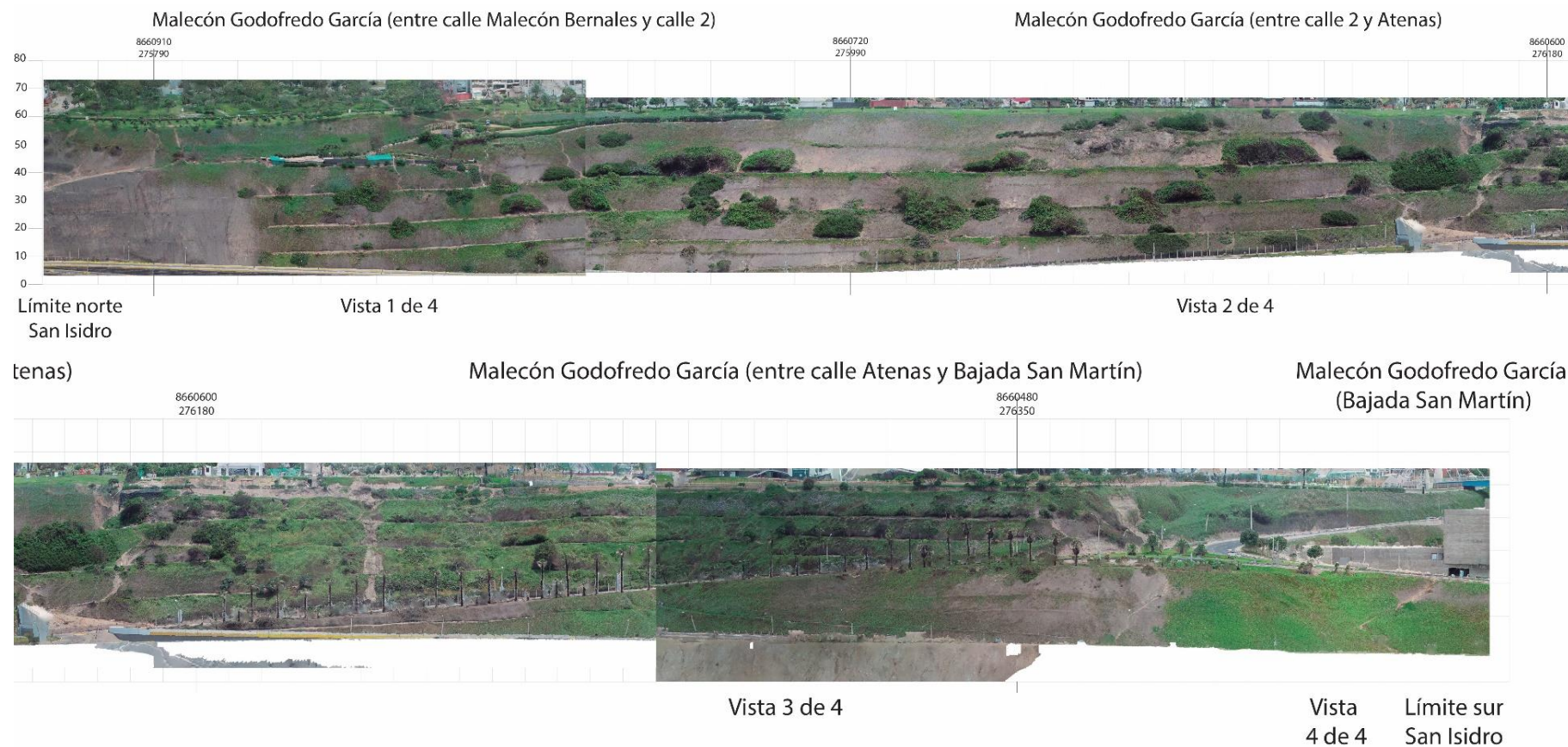


Figura 4. Mosaico frontal del distrito de San Isidro. Tramo de inicio (límite norte de San Isidro y Magdalena) y el tramo final (límite sur de San Isidro y Miraflores).

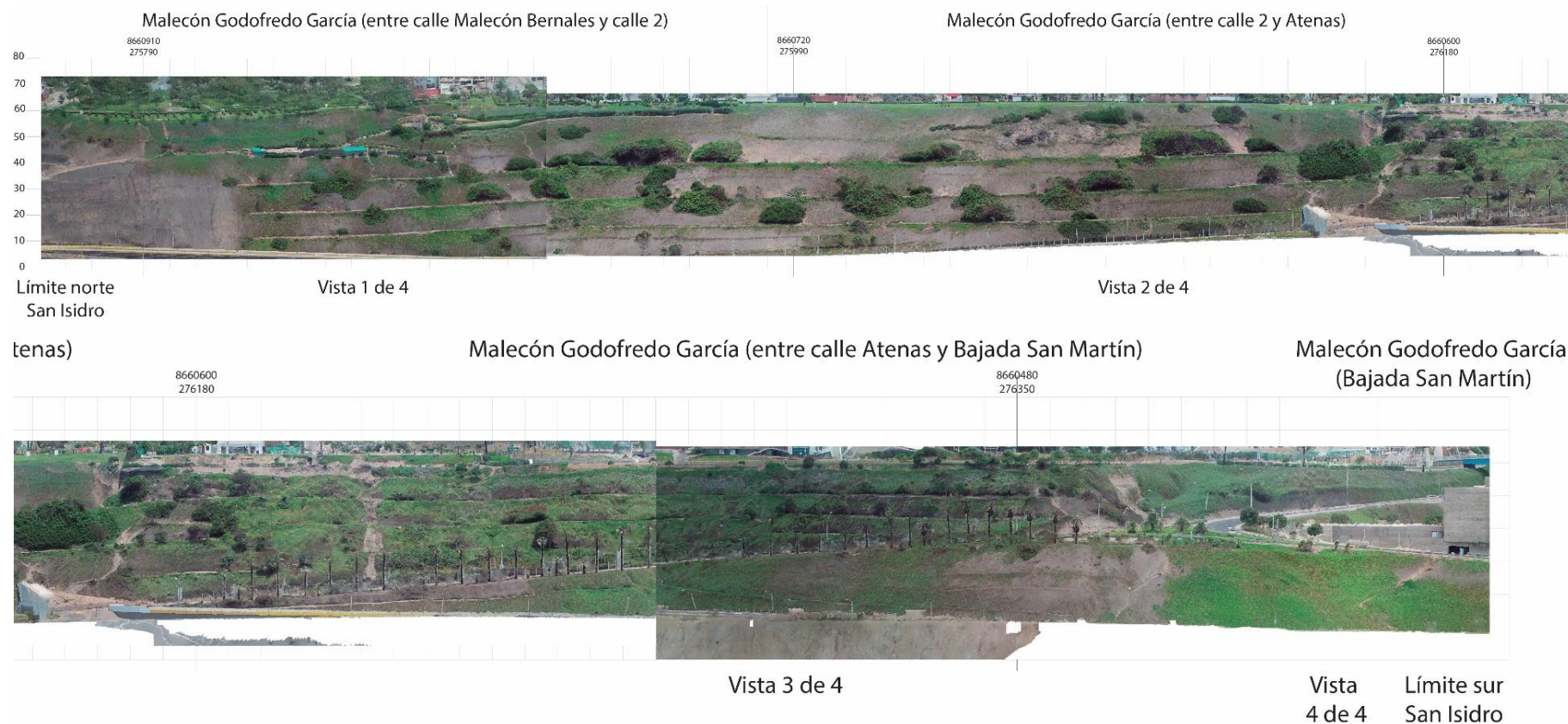


Figura 5. Mosaico frontal del distrito de Miraflores. Tramo de inicio (límite norte de San Isidro y Magdalena) y el tramo final (límite sur de San Isidro y Miraflores).

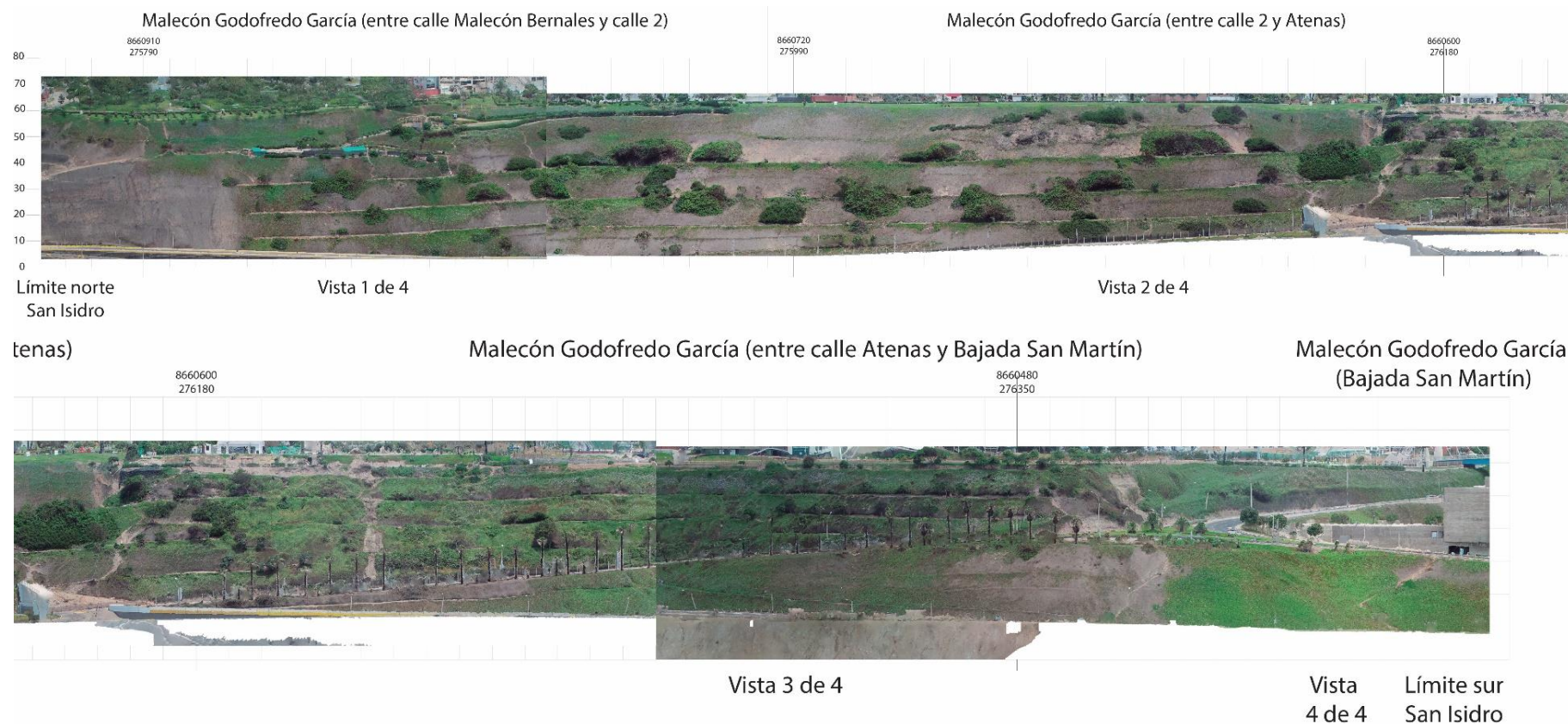


Figura 6. Mosaico frontal del distrito de Barranco. Tramo de inicio (límite norte de San Isidro y Magdalena) y el tramo final (límite sur de San Isidro y Miraflores).

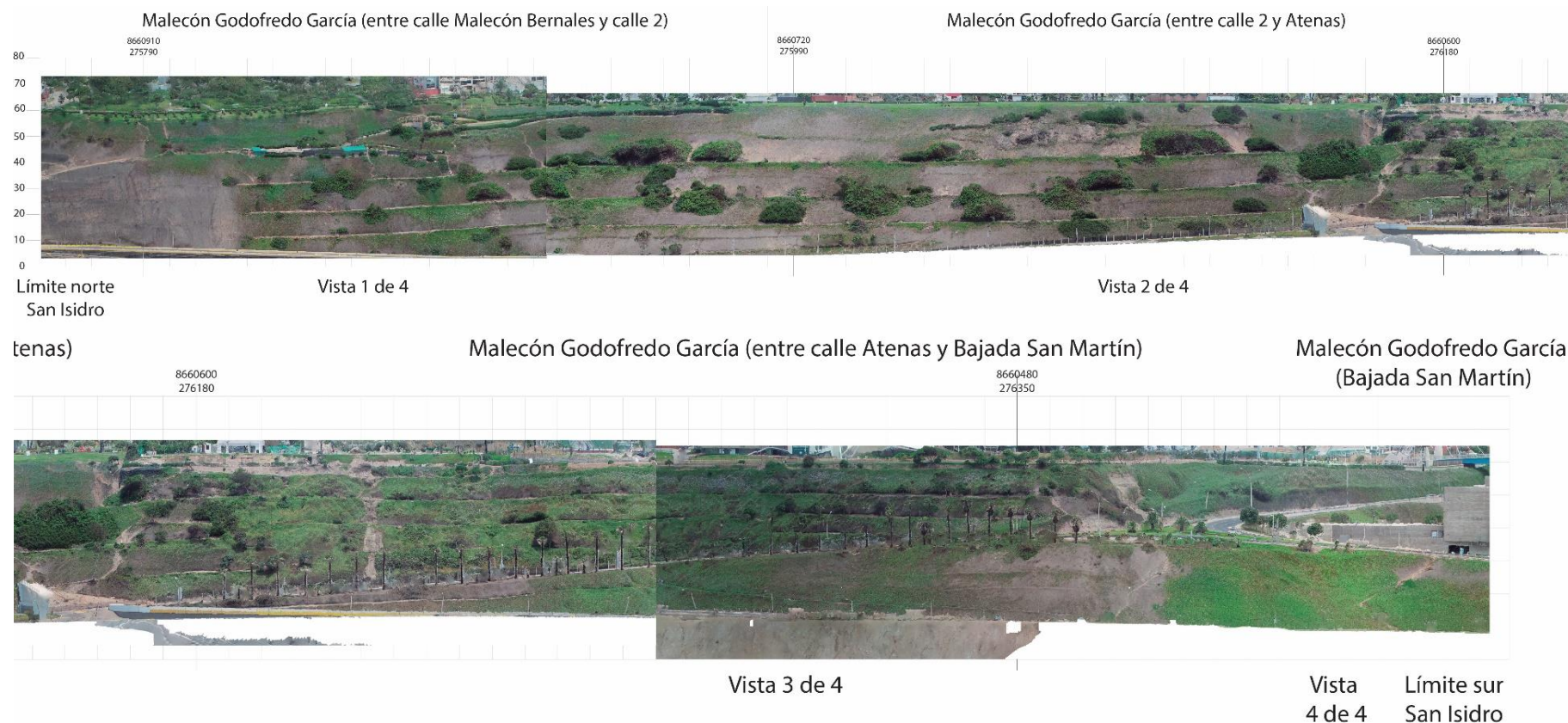


Figura 7. Mosaico frontal del distrito de Chorrillos. Tramo de inicio (límite norte de San Isidro y Magdalena) y el tramo final (límite sur de San Isidro y Miraflores).

Tabla 3. Resumen consolidado de descripción de los mosaicos frontales de los acantilados de la Costa Verde correspondiente a los seis distritos trabajados.

MOSAICO		Coordenadas Inicio UTM (WGS84)		Coordenadas Final UTM (WGS84)		Long. Aprox	Rango de Elevacione	UBICACIÓN CON TOPONIMIA	REFERENCIAS DE UBICACIÓN
AREA	DISTRITO	Este	Norte (m.)	Este (m.)	Norte (m.)	m.	m.s.n.m.		
1 AREA 1 CHORR	Chorrillos	278,857	8,654,108	279,250	8,654,187	500	45 y 55	Entre Av Paseo Billinghurst - Circuito de Playas y Malecón Miguel Grau.	Extremos SO y NO del Club Regatas, Salida a Boulevard Herradura
2 AREA 2 CHORR	Chorrillos	278,981	8,654,100	279,303	8,654,206	500	30 y 60	Entre Av Circuito de Playas y Malecón Miguel Grau.	Extremos SO y NO del área al Club Regatas
3 AREA 3 CHORR	Chorrillos	279,140	8,654,120	279,570	8,654,360	540	80 y 60	Entre las Av Circuito de Playas y Malecón Miguel Grau. Transversalmente se ubican los Jrs M, Prado, B. Cruz, Viera y G. Balarezo.	Extremo SE del área a la Escuela Especialidad Música Católica
4 AREA 4 CHORR	Chorrillos	279,551	8,654,338	279,636	8,654,528	470	45 y 75	Malecón Miguel Grau, entre las Avs Circuito de Playas y Malecón Miguel Grau y transversalmente se ubican la Av Bajada de Agua Dulce y el Jr M.Prado.	Extremos SO-NO de la Playa Agua Dulce
5 AREA 5 CHORR	Chorrillos	279,660	8,654,611	279,676	8,654,964	540	40 y 70	Malecón M. Grau, entre Avs Circuito de Playas y Malecón Grau. Transversal al área se encuentran la Avenida Bajada Agua Dulce y la Calle Enrique Nereni.	Extremo SE del área al Monumento Virgen María
6 AREA 6 CHORR	Chorrillos	279,713	8,654,758	279,717	8,655,134	540	25 y 70	Malecón Costa Sur, entre Avs Circuito de Playas, Huaylas y Malecón Miguel Grau	Extremo SE del área, a la intersección entre Malecón Costa Sur y Jirón Oton Gastañeta
7 AREA 7 CHORR_BARR	Chorrillos / Barranco	279,712	8,655,268	279,737	8,655,643	840	25 y 75	Malecón Pedro de Osmá-Costa Sur, entre Avs Circuito de Playas y Male-cón Costa sur y transversalmente los Jrs Alfredo Silva, P. Solari y Oton Gastañeda.	Extremos SO-NO del área a la Playa Las Sombrillas
8 AREA 8 BARR	Barranco	279,732	8,655,433	279,758	8,655,808	510	25 y 80	Psj Hernando Lavalles, Av Circuito de Playas y la Calle José Diez Canseco. Transversalmente Psjs Bresciani, Pedro Solari y Hernando de Lavalles.	Extremo NO del área a Lima Marina Club.
9 AREA 9 BARR	Barranco	279,740	8,655,653	279,726	8,655,973	410	25 y 80	Pasaje Bresciani, a lo largo de la Av Circuito de Playas, transversalmente al área están el Jirón 28 de Julio y los pasajes Bresciani y Pedro Solari.	Extremos NO-SO del área a la Playa Los Yuyos
10 AREA 10 BARR	Barranco	279,768	8,655,835	279,728	8,656,203	540	26 y 80	Bajada de los Baños, a lo largo de la Av Circuito de Playas, transversalmente la Av Bajada de los Baños y Malecón R. Castilla, Jr 28 de Julio y el Psj Bresciani.	Extremo SO-NO del área a la Playa Barranco
11 AREA 11 BARR	Barranco	279,721	8,656,249	279,689	8,656,623	440	26 y 85	Jirón Batalla de Junin y Av Circuito de Playas. Transversalmente al área se encuentran los jirones Colina, Alfonso Ugarte y Domeyer.	Extremo SO-NO del área a las playas Barranco y Los Pavos
12 AREA 12 BARR	Barranco	279,695	8,656,440	279,597	8,656,823	540	26 y 85	Jr Carlos Martínez de Pinillos, entre la Av Circuito de Playas y el Malecón Pasos.	Extremo SO-NO del área a las playas Los Pavos y Barranquito
13 AREA 13 BARR	Barranco	279,675	8,656,672	279,535	8,657,019	650	26 y 88	Malecón Sousa - Pazos, entre Av Circuito de Playas y los malecones Souza y Saenz Peña. Transversalmente Jrs Centenario, Perez Roca y Carlos Martínez	Extremo SO-NO del área a la playa Barranquito y el extremo SE del Malecón Paul Harris
14 AREA 14 BARR	Barranco	279,601	8,656,947	279,508	8,657,173	630	28 y 88	Malecón Paul Harris, entre las avenidas Circuito de Playas y Quebrada Armendáriz.	Extremo SO-NO del área a la playa Las Cascadas y en el extremo SE al Viaducto Armendáriz
15 AREA 15 BARR	Barranco	279,406	8,657,051	279,520	8,657,344	410	80 y 87	Viaducto Armendáriz, entre las avenidas Circuito de Playas y Quebrada Armendáriz.	Extremo SO-NO al Viaducto Armendáriz y en el extremo Este al Malecón Paul Harris
16 AREA 16 MIRAF	Miraflores	279,430	8,657,160	279,320	8,657,550	380	20 y 70	Malecón Armendáriz y el Viaducto de la Armendáriz.	Quebrada Armendáriz
17 AREA 17 MIRAF	Miraflores	279,360	8,657,340	279,010	8,658,020	910	15 y 70	Malecón de la Reserva y el malecón Armendáriz, Av. Vasco Núñez de Balboa y el Viaducto de la Armendáriz.	Extremo SE el Viaducto de Armendáriz
18 AREA 18 MIRAF	Miraflores	279077	8,657,947	278537	8,658,337	850	5 y 70	Malecón de La Reserva, entre la calle Porta y la bajada del Parque Salazar.	Centro comercial Larcomar en el extremo SE
19 AREA 19 MIRAF	Miraflores	278653	8,658,232	277980	8,658,921	1070	12 y 65	Malecón Cisneros, entre el Faro de Miraflores y el Puente Villena Rey.	Al E-SE, la Bajada del Malecón Balta
20 AREA 20 MIRAF	Miraflores	278080	8,658,870	277480	8,659,280	915	4 y 67	Malecón Cisneros, entre el parque Yitzhiac Rabin y el parque Antonio Raimondi.	Extremo N, bajada puente peatonal Isaac Rabin, y en la parte central, el Hotel Del Pilar y la Calle Tupac Amaru
21 AREA 21 MIRAF	Miraflores	277630	8,659,100	277360	8,659,510	580	3 y 65	Malecón Cisneros, entre el parque Miguel Grau y la calle José Gálvez.	Referencia en la parte Sur del área, la bajada al puente peatonal Isaac Rabin
22 AREA 22 MIRAF	Miraflores	277480	8,659,400	276920	8,659,920	795	3 y 65	malecón de La Marina, entre las calles Ignacio Merino y José Gálvez.	Extremo NE, al Parque María Reiche; y en el centro Este, la bajada de María Reiche
23 AREA 23 MIRAF	Miraflores	277060	8,659,720	276930	8,659,910	405	4 y 60	Malecón de La Marina, entre las calles José Toribio Polo y Toribio Pacheco.	Al Este, al Parque María Reiche; y hacia el extremo SE, la bajada de María Reiche
24 AREA 24 MIRAF	Miraflores	277060	8,659,700	276830	8,660,150	660	5 y 66	malecón de La Marina, entre la avenida Federico Villareal y la calle Toribio Pacheco.	Extremo NE, al Complejo Deportivo "Chino" Vásquez; y hacia el extremo SE, la bajada de María Reiche
25 AREA 25 MIRAF	Miraflores	276830	8,660,100	276320	8,660,470	715	5 y 65	Acantilados de La Marina, entre la bajada San Martín del Lugar de la Memoria y el parque Federico Villareal.	Al NE, al Complejo Deportivo Manuel Bonilla
26 AREA 26 MIRAF	San Isidro	276430	8,660,390	276260	8,660,560	475	30 y 60	Acantilados de Orrantía del Mar, entre el parque Bicentenario y la Bajada San Martín.	Al E-SE, el Museo del Lugar de la Memoria
27 AREA 27 MIRAF	San Isidro	276460	8,660,360	266040	8,660,710	595	23 y 62	Junta Vecinal Orrantía del Mar, entre la calle Godofredo García y la Bajada San Martín.	Al Este, al parque Bicentenario; y en el extremo SE, el Museo del Lugar de la Memoria
28 AREA 28 MIRAF	San Isidro	276240	8,660,570	275840	8,660,870	700	7 y 63	Malecón Godofredo García, entre el parque Virgen María y el parque Grecia.	Al Este del área, la Plaza Guilde
29 AREA 29 MIRAF	San Isidro	276040	8,660,680	275650	8,661,000	595	9 y 62	Malecón Godofredo García, entre la calle Malecón Bemales y el parque Mahatma Gandhi.	Extremo NE, los edificios de la Residencial Marbella
30 AREA 30 MAGDA	San Isidro	275,747	8,660,866	275,320	8,661,229	555	10 y 90	Residencial Marbella, entre las avenidas Malecón y Circuito de playas.	Al extremo SO del Parque del Amor y la bajada de Marbella que abarca un amplio sector.
31 AREA 31 MAGDA	Magdalena	275,510	8,661,100	275,110	8,611,410	337	0 y 60	Bajada Marbella, entre las avenidas Ejército y Circuito de playas.	Extremo Sur del campo de la Organización de las Naciones Unidas. La bajada de Marbella al S
32 AREA 32 MAGDA	Magdalena	275,295	8,661,252	274,560	8,661,658	840	5 y 58	Bajada Av. Brasil, entre las avenidas Ejército y Circuito de playas.	Extremo S del Puericultorio Pérez Aranibar. La bajada Brasil corta un gran sector
33 AREA 33 MAGDA	Magdalena	274,665	8,661,597	274,384	8,661,821	362	5 y 55	Bajada Av Brasil, entre las avenidas Ejército y Circuito de playas.	Extremo Sur del Parque de Malecón Grau. La bajada Av Brasil
34 AREA 34 SANMIG	San Miguel	274,475	8,661,749	272,912	8,662,563	1770	20 y 70	Sector Boulevard de Bertoloto, entre las avenidas Bertoloto y Circuito de playas.	Extremo sur del Boulevard de Bertoloto. La bajada Circuito las Playas en el sector N.
35 AREA 35 SANMIG	San Miguel	272,957	8,662,519	272,009	8,662,951	1035	5 y 30	Sector Costanera, entre las Avs Costanera y Circuito de playas	Extremo sur del Parque Espinar. Bajada Circuito de Playas
36 AREA 36 SANMIG	San Miguel	272,021	8,662,924	271,763	8,663,063	292	20 y 50	Sector bajada del Circuito las Playas, entre las avenidas Costanera Auxiliar y Circuito de playas.	Extremo sur del estadio Adolfo Magallanes
37 AREA 37 SANMIG	San Miguel	271,669	8,663,092	271,088	8,663,285	613	20 y 70	Sector Costanera, entre Avs Costanera Auxiliar y Circuito de playas.	Extremo sur del Centro de Menores Maranga.
38 AREA 38 SANMIG	San Miguel	271,113	8,663,267	270,035	8,663,877	1236	12 y 70	Sector Costanera, entre Avs Costanera Auxiliar y Circuito de playas.	La zona de nueva construcción de Circuito las Playas

1.6 Trabajos anteriores

Existen algunos trabajos anteriores orientados a evaluar la geología de los acantilados de la Costa Verde (CV) preparados entre los años 1997 al 2021. Entre los más importantes se tienen los trabajos de Guzmán et al (1997), Villacorta (2018) e IGP (2020).

Boletín N° 59, serie C, geodinámica e ingeniería geológica: “Peligros geológicos en el área de Lima Metropolitana y la Región Callao” (2015); dentro de las 848 ocurrencias de peligros, se determinan 107 zonas críticas, de las cuales la zona crítica N° 95 corresponde la zona de los acantilados de la Costa Verde correspondiente a los distritos de Magdalena del Mar, Barranco, Miraflores, San Isidro, Chorrillos y San Miguel. Los peligros geológicos identificados en esta zona son de caída de rocas, derrumbes y procesos de erosión de laderas (surcos y cárcavas).

Boletín N° 18, serie C, geodinámica e ingeniería geológica: “Estudio de seguridad física de los acantilados de la Costa Verde” (1997); presenta información de la composición, origen y características geomecánicas de los materiales que conforman los acantilados.

Guzmán, A., Zavala, B. y Valenzuela, G. realizaron el “Estudio de la Seguridad Física de los Acantilados de la Costa Verde. Proyecto: Mapa de Suelos de Fundación de Lima-Callao, Incluyendo Taludes de los Acantilados del Suroeste para el INGEMMET.

Allí concluyen que geomorfológicamente, Lima Metropolitana se encuentra asentada sobre el abanico aluvial del río Rímac, desarrollándose en su parte terminal una línea costera de acantilados conocida como CV de 22.5 Km de extensión y que los acantilados están conformados por suelos conglomerádicos, gravoso, masivo, constituido por bolos y cantos, gravas y gravillas, subredondeado a redondeado, de naturaleza intrusiva y volcánica, en matriz limo arenosa, no plástica, donde se intercalan horizontes lenticulares areno-limosos, secos, de mayor espesor en Chorrillos y La Perla y menores en la parte central (Miraflores). Cuyo análisis litológico de los cantos rodados muestra un predominio de rocas volcánicas (andesitas y brechas 47%) sobre intrusivos (granitos, granodioritas y dioritas 42%) y sedimentarias (11%).

Indican también que la CV en la bahía de Miraflores, se encuentra influenciada por procesos de geodinámica marina principalmente erosión de la línea de costa, sobre todo entre San Miguel y La Perla. Así como procesos de acumulación y transporte de sedimentos con formación de playas entre Chorrillos y Miraflores.

Los riesgos de inestabilidad que presentan los taludes de los acantilados de la CV son producto de erosión diferencial de las aguas marinas en los sectores donde no han sido tratados y la acción del viento y las condiciones climáticas en los otros sectores. La estabilidad de taludes del acantilado, se hallan en función de: características geomecánicas de los sedimentos que la constituyen, acción dinámica del mar y el viento, Descargas de las emisiones de desagüe y canales de regadío.

Concluyen que, geotécnicamente, Lima presenta diferentes tipos de suelos, desde los más resistentes (gravas con matriz arenosa, compactos a semi compactos), hasta los más blandos (limos y arcillas de mediana a alta plasticidad, parcial o totalmente saturados). En Lima cercado y alrededores, los suelos son relativamente compactos con capacidades admisibles de carga de 4kg/cm². En áreas marginales los valores de la capacidad portante son menores y varían de un lugar a otro. Para La Perla y Callao se recomiendan presiones admisibles sobre el suelo de hasta 0.5 Kg/cm²; en Bellavista 1 a 1.8 kg/cm², en Chorrillos 0.5 a 1.5 (Villa y La Campiña) y 2kg/cm² (Los Laureles, Escuela Militar y Urb. Matellini); en La Molina valores entre 0.5 (U Agraria) a 2.5 kg/cm² (Molina Vieja y El Remanso).

Sandra Villacorta (2018), sustentó su Tesis Doctoral en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía de la Universidad Politécnica de Madrid, la misma que titula “Evolución Geomorfológica del Abanico Aluvial de Lima y sus Relaciones con la Peligrosidad por Inundaciones”.

Allí concluye que el abanico se formó en un marco tectónico seguido de una sucesión de eventos asociados a un fenómeno derivado de los cambios climáticos en el pasado geológico, y es un relieve que resulta de las aportaciones del río Rímac y la coalescencia de los aluviones de sus afluentes. Así mismo, está influenciado por el paleo relieve heredado de un clima semiárido y probablemente bajo condiciones ambientales próximas a las de un clima tropical.

Indica que la secuencia sedimentaria superior del abanico, expuesta en la Costa Verde, es de edad Pleistoceno superior-Holoceno. Los sedimentos que la forman no son cohesivos y son muy móviles durante las inundaciones y los terremotos. La secuencia corresponde a facies de canal entrelazados y flujos laminares que habrían sido influenciadas por la transgresión marina post glacial del Holoceno.

Resalta que la mejor comprensión de la evolución del abanico, brinda revelaciones del desarrollo de abanicos influenciados por tectónica activa y cambios climáticos y ello contribuye a una mejor definición de áreas de alto riesgo de desastre por los procesos que actúan en los abanicos aluviales.

Indica también que el ciclo de desarrollo del abanico, actualmente es controlado por la geomorfología, la tectónica y las condiciones climáticas que continuarán actuando ya que la cuenca del río Rímac es inestable desde la cabecera hasta la desembocadura debido a la Tectónica Andina. Esto es común en las cuencas de la Cordillera de los Andes con desembocadura hacia el océano Pacífico donde la influencia de la subducción es importante. Corresponde con un río joven que busca el equilibrio donde los procesos de erosión y fluviales continuaran. La génesis del abanico del río Rímac es compleja y puede resumirse en hasta nueve etapas de desarrollo y conformación.

Por otra parte, durante el año 2021, el Instituto Geofísico de Perú, realizó los trabajos de campo para la recolección, in situ, de datos geofísicos, y posteriormente hizo el procesamiento e interpretación de dicha información, a fin de determinar la estructura del subsuelo en los acantilados de la CV y su comportamiento dinámico ante la posible ocurrencia de sismos.

Presenta seis informes, uno por cada distrito, donde dan a conocer los resultados obtenidos del estudio geofísico realizado aplicando técnicas geofísicas como refracción sísmica (RS), análisis multicanal de ondas superficiales (MASW) y análisis multicanal de micro temblores (MAM) para identificar espesores de capas y velocidades de ondas a diferentes niveles de profundidad; tomografía eléctrica (ERT) para conocer el contenido de humedad de los suelos; georadar para definir la presencia de estructuras superficiales como grietas; razones espectrales (H/V), para conocer el periodo de respuesta del suelo y estimar su factor de amplificación ante la ocurrencia de sismos y gravimetría, para definir la interface de los estratos a diferentes profundidades en base a la densidad de los materiales presentes en el subsuelo.

Gómez, D., & Tobón, D. (2017). Correlaciones entre algunas variables geotécnicas y velocidades de onda compresiva y corte. ** El objetivo principal de este estudio fue establecer correlaciones entre variables geofísicas y parámetros geotécnicos, que permitan visualizar las velocidades de ondas diferenciadoras de estratos y que sirva como soporte a extrapolación de parámetros geotécnicos. Se tomaron 538 datos de proyectos de ingeniería reales de un mismo sitio, concluye diciendo que las

correlaciones cuantitativas se mostraron una correlación significativa mientras que la correlación resultante entre velocidades de onda y granulometría no puede ser explicada.

Jongmans, D., & Garambois, S. (2007). Geophysical investigation of landslides: A review. En su artículo científico tienen como objetivo presentar un estado actual de las técnicas sobre la aplicación de métodos geofísicos aplicados a deslizamientos en taludes, con esto se proporcionará imágenes en términos de parámetros físicos que no están directamente vinculados a las propiedades geológicas y mecánicas requeridas por los geólogos e ingenieros, se destaca también las características de la imagen geofísica que se debe proporcionar para evaluar su confiabilidad, así como los requisitos absolutos para combinar métodos geofísicos y calibrarlos con los datos geológicos y geotécnicos existentes.

Jurado, A., & Pérez, R. (2019). Análisis comparativo de métodos destructivos y no destructivos en la determinación de parámetros geotécnicos para estabilización de un talud en la Costa Verde – Miraflores. El objetivo es comparar parámetros de resistencia dados por ensayos geotécnicos y ensayos geofísicos de manera cuantitativa, para ellos se recopila información de base de datos de parámetros geofísicos y por otro lado parámetros de ensayos geotécnicos de diferentes instituciones y se hace comparación usando softwares como Pickwin, Plotrefra, Surface Wave Analysis Wizard, Slide y AutoCAD Civil 3D. Concluye que, los métodos no destructivos, permiten determinar con mayor precisión los parámetros de resistencia, mientras para los métodos destructivos los alcances son limitados y los resultados son someros.

Macedo, J. (2018). Análisis de productividad de la línea de refracción sísmica para la optimización del estudio de mecánica de suelos en Villa el Salvador, Lima – 2018. En su tesis tiene como objetivo realizar el análisis de productividad de la línea de refracción sísmica y su influencia para optimizar el estudio de mecánica de suelos, con ello llegar a una correlación entre los parámetros obtenidos por el método de refracción sísmica y los parámetros geotécnicos, y a su vez evaluar el impacto ambiental que genera la aplicación de estos métodos a la zona de estudio.

Naranjo, H., & Dranichnikov, T. (2012). Cálculo de capacidad portante basado en geofísica y método convencional. El caso del puente sobre el río Maicito. En su tesis realizan comparaciones de carácter técnico, económico y ecológico, revelando las ventajas enormes que trae el emplear métodos geofísicos para estimación de parámetros geotécnicos, Asimismo se comenta que la aplicación de estos métodos en países como México, Japón, Turquía y Rusia es de manera amplia.

Núñez, M. & Vilchez, M., llevaron a cabo la Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el Malecón Pedro de Osma – Acantilado de la Costa Verde (2020), donde identificaron derrumbes y caída de rocas generados en depósitos aluviales.

Palacios, O., Caldas, J., & Vela, C. (1992). Geología de los Cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica. El objetivo es el cartografiado geológico de los cuadrángulos de Lima (25I), Lurín (25J), Chancay (24I) y Chosica (24J) a escala 1/100 000. para ello realizan varias campañas de campo, en ella se identifican y clasifican los diferentes tipos de rocas, la edad y la evolución tectónica que ha sufrido la corteza terrestre. El resultado son mapas a escala mencionada que servirá como información básica para caracterizar el mapa hidrogeológico de la CV.

Raygada, L. (2011). Análisis de estabilidad y deformaciones en el acantilado de la Costa Verde. El objetivo es buscar una explicación y entender este comportamiento de taludes en la Costa verde, para ello utiliza métodos de estabilidad por equilibrio límite en el caso

estático y pseudoestático, para las zonas más críticas en el caso estático se realiza el análisis complementario de esfuerzo deformación con el fin de conocer la superficie de falla, con ello concluye mostrando una zonificación en términos de riesgo la cual fue obtenida de los análisis descritos anteriormente.

Rojas, R., Montoya, M., Mamani, E., Maguiña, J., Montoya, E., Baltauno, O., Bedregal, P., Coria, L., Guerra, A., Justo, S., & Churasacari, T. (2013). Origen de los manantiales de la Costa Verde. El objetivo es determinar el origen los manantiales de la playa Costa Verde, situada en los distritos de Barranco, Miraflores y Magdalena de la provincia de Lima, para identificar el origen se realizan métodos de análisis isotópico, físico químico y bacteriológico de muestras tomadas de 5 manantiales, en conclusión, sugieren que las aguas de los manantiales de la Costa Verde provienen de una recarga directa en la cuenca media del río, producto de la infiltración del río o de precipitaciones a una altitud del orden de 3600 m.

Rodriguez, E., & Cuellar, M. (2012). Hidrogeología aplicada en la zonificación de amenazas por movimientos en masa. El objetivo es la ubicación de amenazas por movimientos en masa en posibles zonas para reubicación del casco urbano del municipio de Gramalote – Norte de Santander, para ello se utilizó la geología, geomorfología, geofísica, geología estructural y análisis hidrogeológico, contrastando esta información se define que los estudios realizados permitieron determinar el origen del agua, las direcciones del flujo y los niveles freáticos críticos en el área de estudio, los cuales influyen en la saturación del material que forma los taludes.

Tamashiro, J. (1973). Explotación de las Aguas Subterráneas en el sector Sur de Lima. El estudio está enfocado en la parte sur de la Gran Lima (Santiago de Surco, Chorrillos, San Juan de Miraflores, Villa María del Triunfo, Pachacamac y Lurín); el cual presenta un inventario de pozos describiendo la utilidad que le daban a cada uno, en los años setenta. Además, a través de la red de control piezométrico muestran el estado de la napa, apreciando que las fluctuaciones de la misma iban descendiendo y considerando que la recarga de la napa se daba a partir del mes de junio.

Taype, V. (1977). Estudio Geotécnico – Geodinámico y seguridad física de los centros poblados en el valle del río Rímac. El objetivo del informe es el estudio integral del valle del río Rímac y sus tributarios, como un plan piloto para efectuar estudios de otros valles del territorio nacional, la seguridad física de los centros poblados, obras de ingeniería y agricultura y, por ende, las medidas preventivas a adoptarse en los casos que puedan estar sujetos a fenómenos de Geodinámica externa. Enfocándose en forma amplia, el estudio de la seguridad física de las poblaciones ubicadas en los márgenes de los ríos Rímac y Santa Eulalia; los flancos de las vertientes y quebradas tributarias. Asimismo, lo concerniente a la estabilidad de los taludes, erosiones o socavamiento por los cursos de agua y la ocurrencia de huaycos que afectan anualmente a la carretera central Lima – La Oroya, a la línea férrea y a las tierras de cultivo.

Vílchez, M. & Gómez, D., desarrollaron la Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el Malecón Castagnola (2019), donde identificaron derrumbes y caída de rocas generados en depósitos antrópicos.

Zenteno, E., Salinas, J., & Carrillo, L. (2019). Evaluación hidrogeológica sobre el estado situacional de los acuíferos Chillón y Rímac. El objetivo es evaluar las características y condiciones hidrogeológicas de los componentes cuyo resultado determinara el estado situacional de los acuíferos Chillón y Rímac, para ello se ha realizado una recopilación-sistematización análisis de las bases de datos de fuentes de agua subterráneas (pozos) proporcionados por SEDAPAL y la ANA (DARH y AAA) para ambos acuíferos, concluye

La recuperación actual de los niveles de agua subterránea no se mantiene estable en Chorrillos, el acuífero Rímac es sobre explotado, La reserva total de agua almacenada estimado para el 2018 es 2017.347 hm³.

1.7 Agradecimientos

Especial agradecimiento a la compañía Seequent por dar las facilidades de uso de licencias del Software de modelado 3D, Leapfrog Geo, así como charlas de soporte técnico en el uso de dicha herramienta a cargo de la Ing. María Machengo.

Asimismo, agradecer a la Universidad de Lima que colaboró con los ensayos de laboratorio pertinentes por medio del Laboratorio de Suelos de la Carrera de Ingeniería Civil - Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

2 CARACTERIZACION GEOLOGICA

Ing. Geol. Kiko Valencia, CIP: 57040
Ing. Geol. Luis Agurto CIP: 207725
Ing. Geol. Deysi Arriola CIP: 258208
Ing. Geol. Walter Vazques CIP: 225228
Ing. Geol. Alexandra Benites, CIP: 216230
Ing. Geol. Darwin Romero, CIP: 58338
Ing. Geol. Cristhian Chiroque, CIP: 236400

2.1 Caracterización geológica

Las rocas más antiguas del área de Lima Metropolitana son de edad Mesozoica, afloran en los relieves modelados por el encajamiento de la red de drenaje (Morro Solar, cerro el Pino, cerro Mulería, cerros Oquendo, cerro Culebras y cerros de Ventanilla, entre otros) y en las primeras estribaciones andinas. Los materiales más recientes (de edad Pleistoceno, hace menos de 1,7 Ma, hasta los actuales) conforman el relleno de los fondos del valle y las planicies que descienden hacia la costa del Océano Pacífico, donde la erosión marina ha originado los acantilados de la CV.

La denominación de CV, se debe a que en la parte baja de los mismos hay presencia natural de vegetación debido a que existen niveles de aguas subterráneas o freáticos altos. Antiguamente también ocurrió lo mismo en Miraflores y San Isidro como evidencian los depósitos de travertinos en la base de los acantilados. Tanto en Chorrillos como en Barranco, hace algunas décadas, se presentaban manantiales y chorrillos que han ido desapareciendo con la explotación intensiva de las aguas subterráneas por pozos, lo que origina un descenso del nivel freático.

Los acantilados están constituidos por horizontes o bancos de cantos rodados, arenas finas y arenas limosas pertenecientes a la penúltima terraza fluvio aluvial del río Rímac que, a la altura de San Isidro, presentan su máxima altura de 70m.; mientras que en La Punta y el Callao están conformados por materiales finos arcillas y limos de la última terraza fluvio aluvial del río Rímac. Las playas históricamente han sido arenosas entre Miraflores y Chorrillos y de gravas/cantos rodados entre Miraflores y La Punta, Callao.

2.1.1 Evolución geomorfológica

La cuenca del río Rímac se ubica en el flanco occidental de los Andes centrales que se emplazaron allí como resultado de intrusiones magmáticas ocurridas como consecuencia de la subducción del fondo del Océano Pacífico por debajo de la placa Sudamericana. Por consiguiente, los procesos de deformación tectónica del levantamiento andino permitieron que la Cordillera Occidental alcanzara su actual configuración.

Geomorfológicamente el área urbana de Lima y Callao se ubican sobre el abanico fluvio aluvial del río Rímac, el mismo que constituye una terraza fluvio aluvial de relieve semi horizontal de extensión aproximada de 300 Km². En el límite costanero del abanico, se extiende por más de 22 km y está limitada hacia el Sur por las rocas del Cretácico Inferior del Grupo Morro Solar en el distrito de Chorrillos mientras que hacia el norte se extiende hasta aproximadamente 3 km hacia el Norte del aeropuerto Jorge Chávez.

Sobre el área de estudio, conformado por los acantilados de la CV, geomorfológicamente constituida como una unidad correspondiente a planicie costera, se han identificado las siguientes sub-unidades geomorfológicas cuyos ambientes son de origen marino: bahía, playas marinas y acantilados (figura 8).

La zona costera ubicada entre el Morro Solar (Chorrillos) y La Punta (Callao), es conocida como la Bahía de Miraflores, está conformada por entrantes y salientes que van conformando playas y acantilados conformados por depósitos fluvio aluviales que terminan abruptamente frente al Mar.

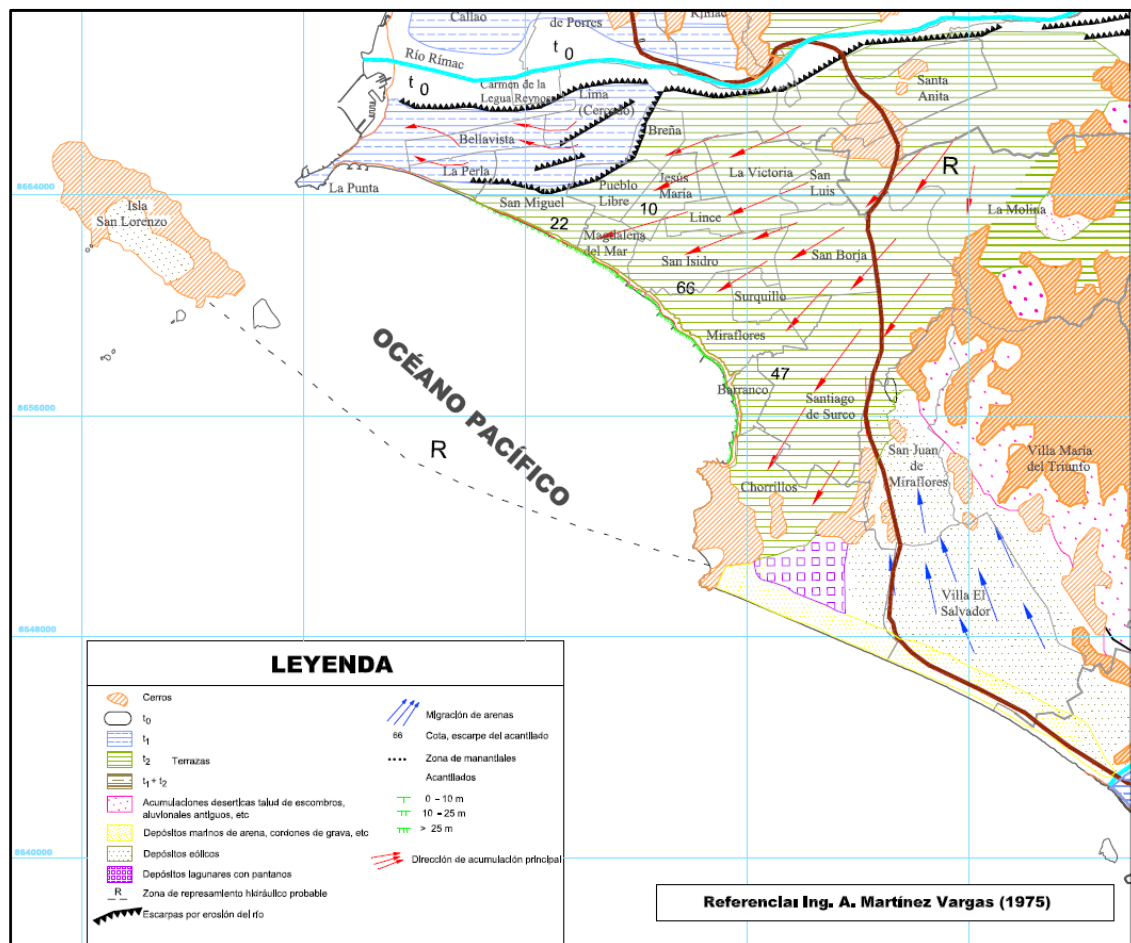


Figura 8. Mapa de contexto geomorfológico de la ciudad de Lima (R. Macazana 2006).

2.1.2 Estratigrafía

El registro sedimentario de la sección transversal expuesta en los acantilados permite interpretar el desarrollo y evolución del depósito que conforma el abanico de Lima, que se compone básicamente de facies de flujos fluvio aluviales rellenando paleo-cauces, depósitos de arroyada en manto y travertinos post-sedimentarios. Dichos materiales (gravas, arenas, limos y arcillas) varían en tamaño y distribución, tanto en la vertical como en la horizontal. El registro litológico se presenta en el **Plano PG.LIT.GEO-02 Litológico**.

Las secuencias sedimentarias que conforman la columna estratigráfica generalizada de los acantilados de la CV nos muestran las características litológicas, relaciones estratigráficas, así como las relaciones de contacto de las diferentes unidades geológicas que en su totalidad son de naturaleza sedimentaria. Es así que los ciclos menores presentan secuencias grano decrecientes con predominio de gravas que a su vez se agrupan conformando secuencias estrato crecientes indicativos de progradación de abanicos aluviales. Por su parte las arenas se presentan colmatando paleocanales y cuerpos lenticulares con estratificación cruzada que indican un origen de sistema fluvial trenzado (figuras 9 y 10).

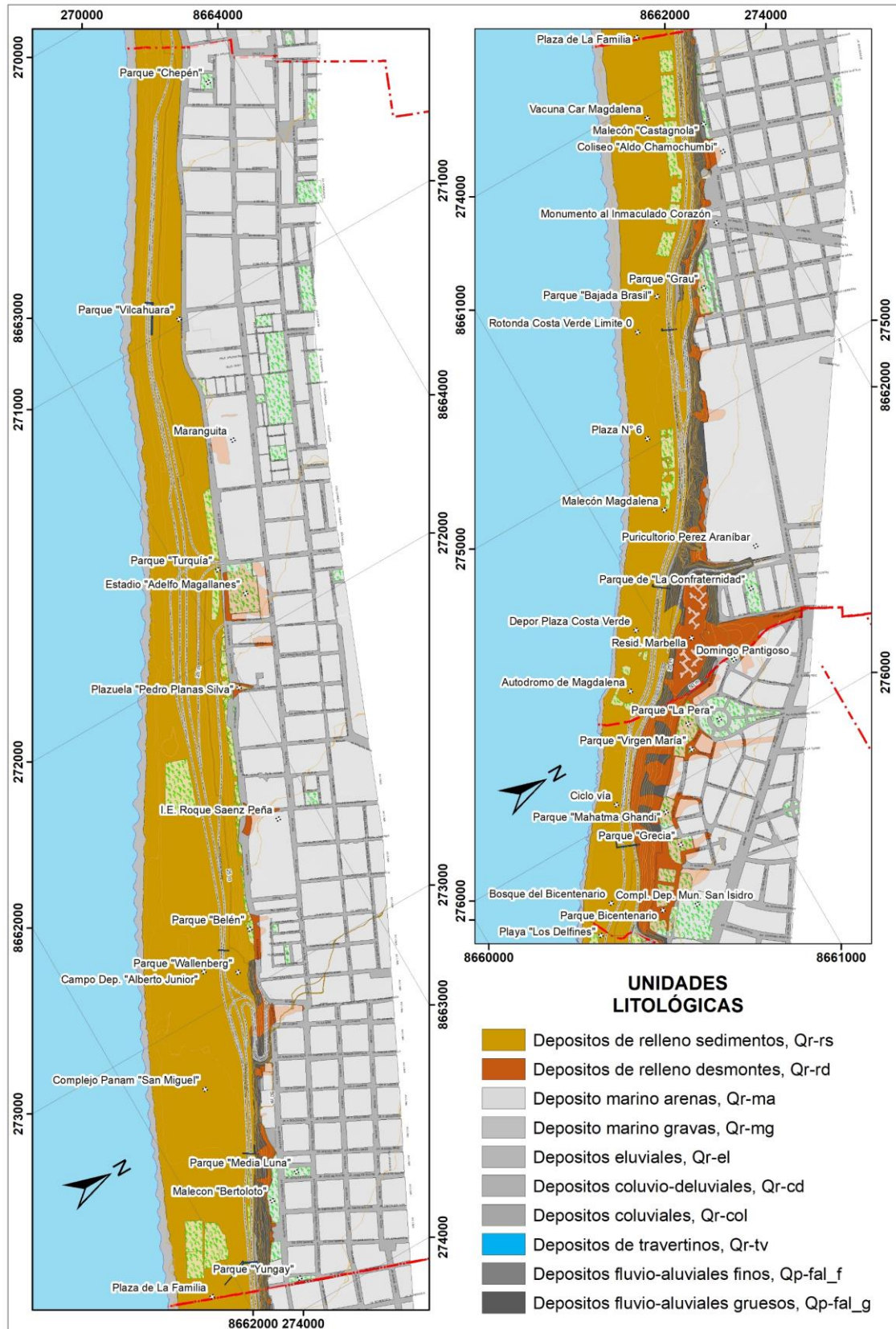


Figura 9. Unidades litológicas en los distritos de San Miguel, Magdalena y San Isidro.

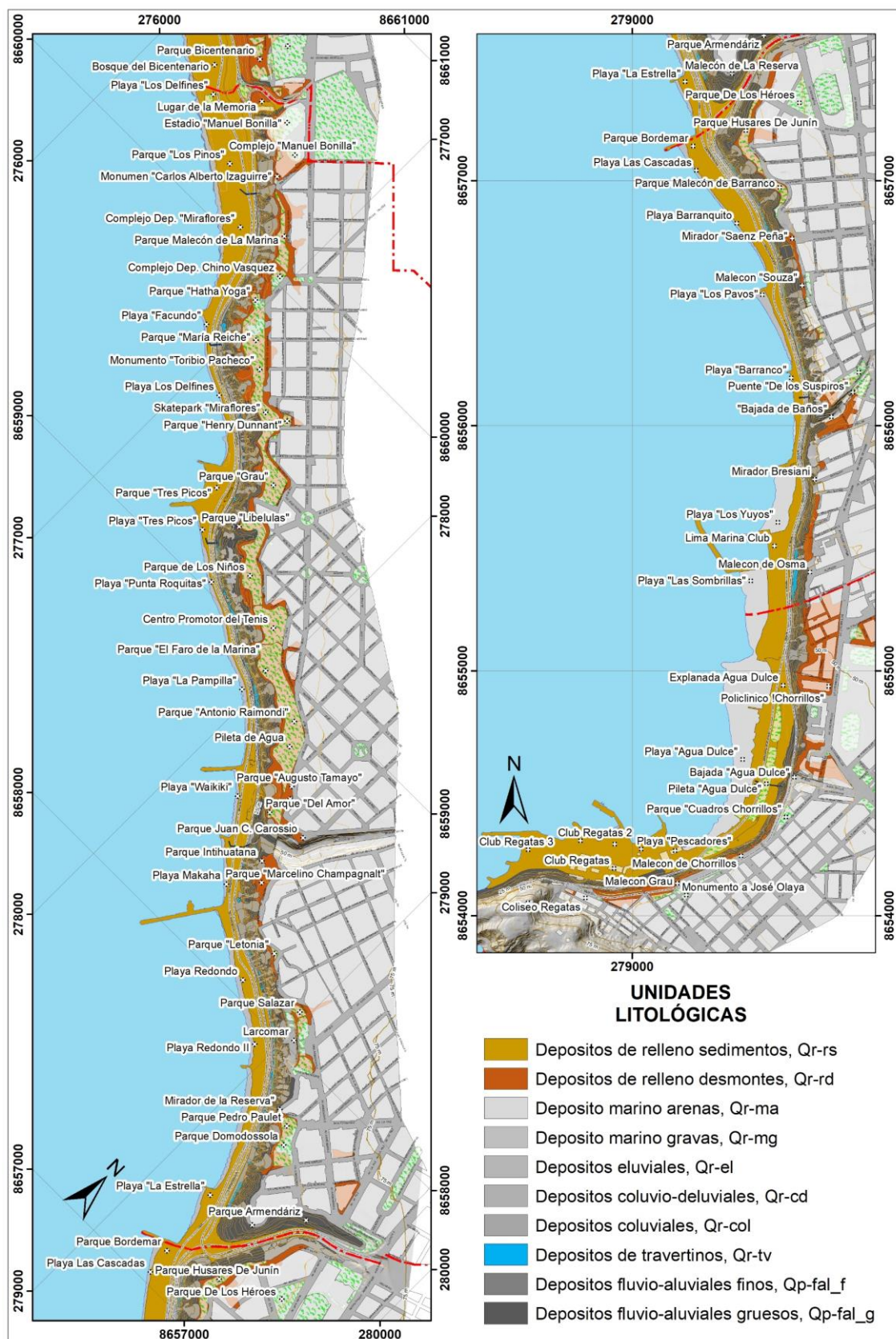


Figura 10. Unidades litológicas en los distritos de Miraflores, Barranco y Chorrillos.

Dichas secuencias están constituidas por horizontes o bancos de cantos rodados, arenas, arenas finas, arenas limosas, y en menor medida limos y arcillas pertenecientes a la penúltima terraza fluvio aluvial del río Rímac. En el distrito de San Isidro miden más

de 60 m de altura y son conglomerados que tienen bases erosivas y gradan hacia areniscas y limolitas según secuencias grano decreciente; mientras que tanto hacia el borde Sur en Chorrillos como el borde Norte en San Miguel adelgazan hasta poco menos de 30 m. de altura y están conformados por más capas de sedimentos arenas finas y limos, y en menor medida conglomerados y arenas gruesas.

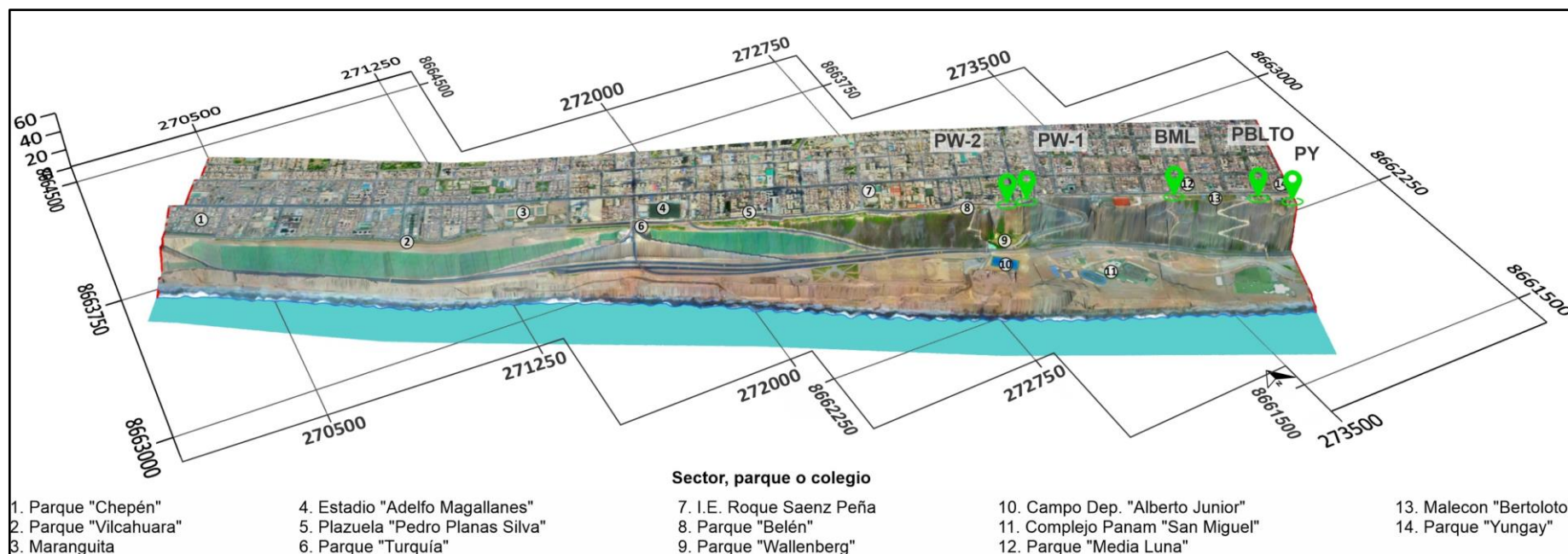
Sobre estas unidades fluvio aluviales, se han podido identificar otras, como una capa de travertinos que recubren las secuencias inferiores entre Barranco y Miraflores; depósitos coluviales en la gran mayoría de quebradas depósitos de gravas y arenas hacia las playas, y finalmente depósitos antrópicos de relleno de desmontes y/o sedimentos. Las unidades litológicas identificadas en los acantilados de la CV se resumen en la figura 9.

LEYENDA MAPA GEOLÓGICO INGENIERIL				
CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósito de relleno de sedimentos	Qr-rs	Material compuesto en su mayoría por sedimentos finos y gruesos, traídos especialmente para la extensión de espacios públicos. En algunos sectores se puede observar que cubren rellenos antiguos de desmonte. La mayoría se encuentran desde la base del acantilado hacia el mar.
		Depósitos de relleno desmontes	Qr-rd	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto, traídos especialmente para rellenar cárcavas. Generalmente se encuentran en la parte superior del acantilado de la CV.
		Depósitos de rocas	Qr-r	Compuesto de rocas ígneas, traídos para la creación de espigones y defensas ribereñas.
		Depósitos marinos de arena	Qr-ma	Acumulación de arenas de playas, localizado en el borde litoral.
		Depósitos marinos de grava	Qr-mg	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.
		Depósitos de travertinos	Qr-tv	Acumulaciones de costras de travertinos sobre la pared del acantilado.
		Depósitos coluviales	Qr-col	Acumulación de sedimentos finos y gruesos caídos del acantilado y esparcidos a lo largo del pie del talud, producto de la erosión y movimientos de masa.
	PLEISTOCENO	Depósitos fluvio-aluviales finos	Qp-fal_f	Estratos compuestos por sedimentos de arenas, limos y arcillas; ubicados en el acantilado.
		Depósitos fluvio-aluviales gruesos	Qp-fal_g	Secuencia compuesta por gravas con matriz areno limosa, ubicados en el acantilado.

Figura 11. Depósitos identificados en los acantilados de la Costa Verde.

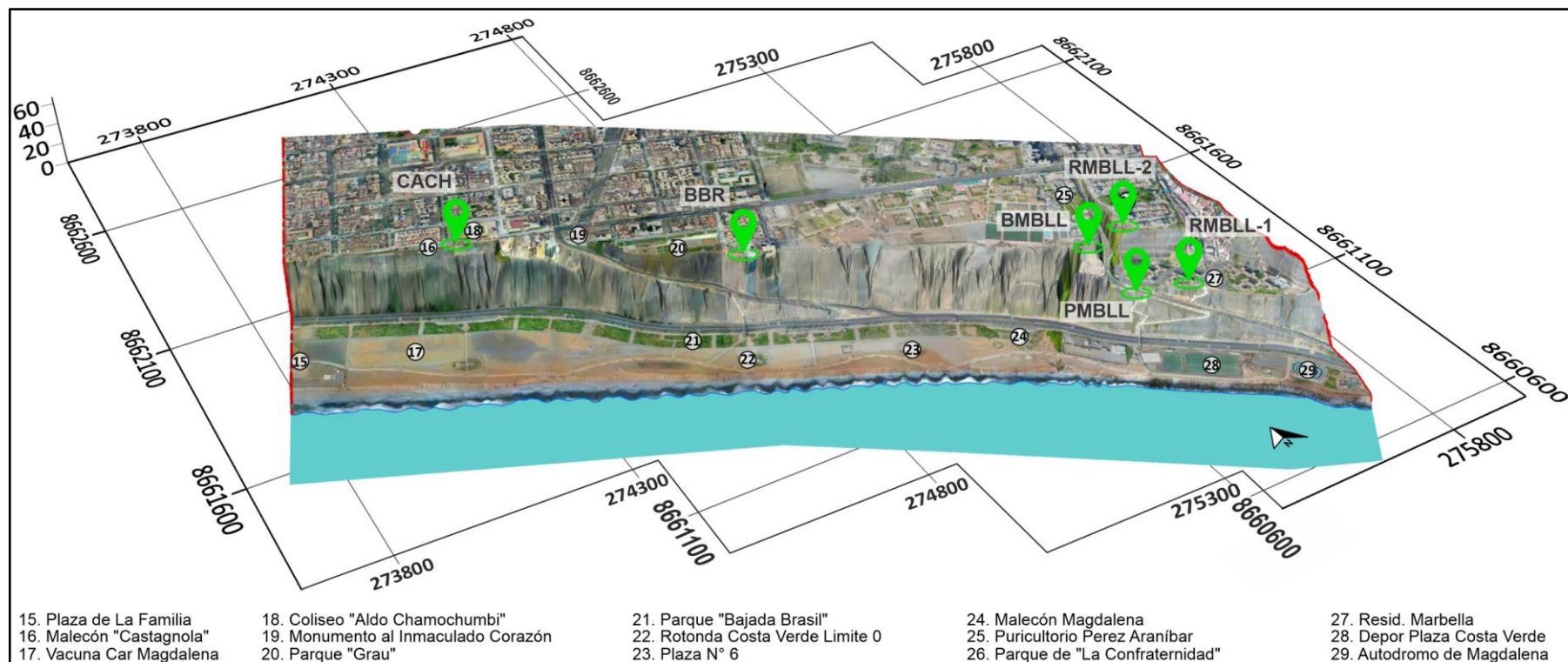
2.1.3 Levantamiento y medición de columnas estratigráficas

Una de las prioridades del presente proyecto, fue la adquisición de datos; es así que, bajo la premisa de obtener información detallada de las características litológicas de los conglomerados y areniscas, así como de la matriz que las soporta y de los sedimentos finos que los intercalan en toda la secuencia estratigráfica del abanico aluvial del Lima, se midieron 51 columnas estratigráficas entre el Club Regatas (Chorrillos) y el parque Wallenberg (San Miguel); más al norte está todo cubierto por una geomalla muy tupida que tapa toda la litología. La ubicación y distribución de las columnas estratigráficas se muestran en las figuras 12, 13, 14, 15, 16 y 17.



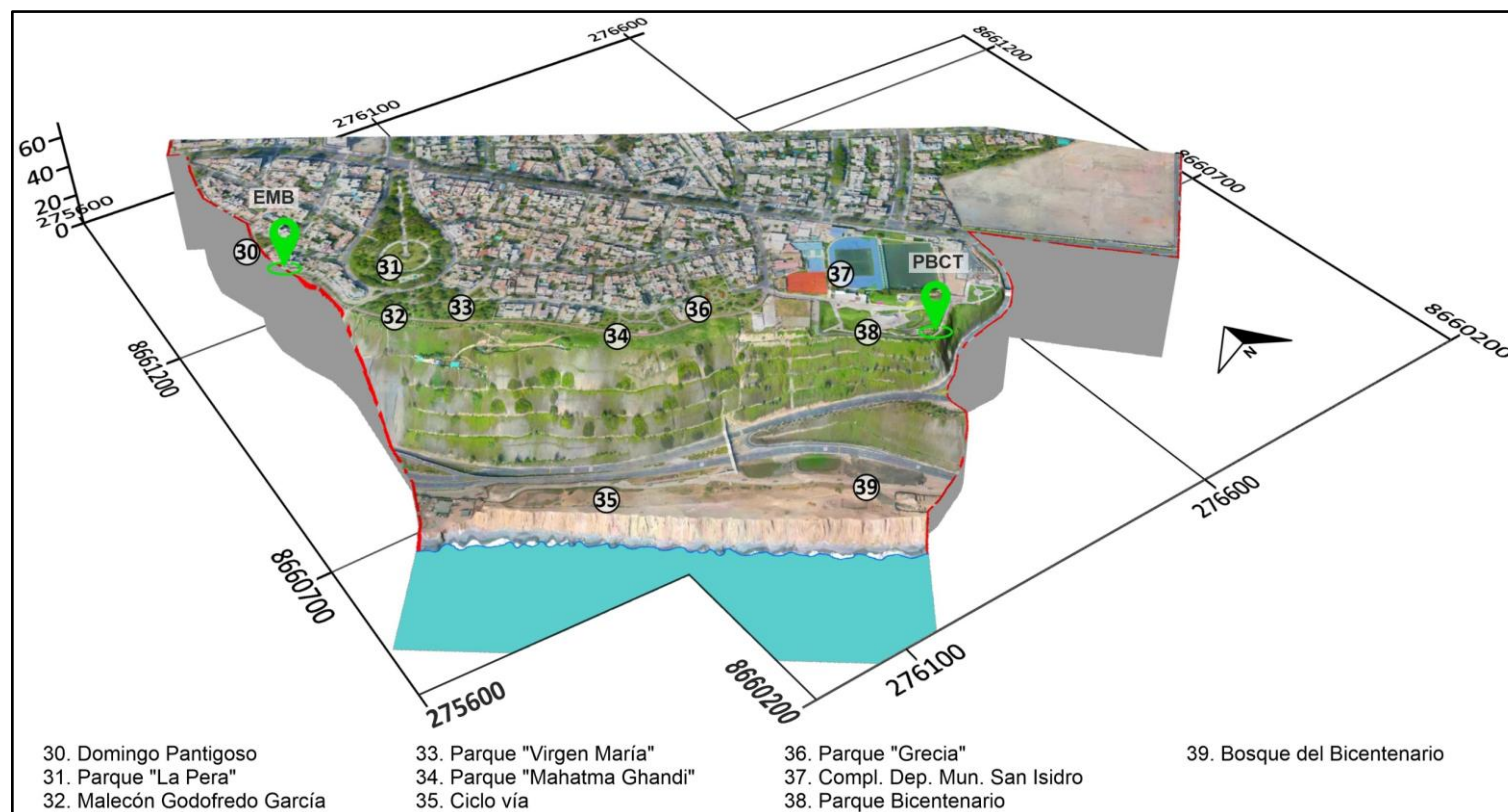
NOMBRE_OFICIAL	CODIGO	DISTRITO	TIPO	ESTE (m)	NORTE (m)	ALTURA
Parque Yungay	PY	SAN MIGUEL	GEOTECNICA	273845	8662052	7
Puente Bertolotto	PBLTO	SAN MIGUEL	GEOTECNICA	273745	8662105	8
Bajada_Media-Luna	BML	SAN MIGUEL	GEOTECNICA	273481	8662260	13
Parque_Wallenberg-1	PW-1	SAN MIGUEL	GEOTECNICA	273005	8662516	20
Parque_Wallenberg-2	PW_2	SAN MIGUEL	GEOTECNICA	272955	8662537	25

Figura 12. Ubicación de las 5 columnas estratigráficas medidas en los acantilados de la Costa Verde en el distrito de San Miguel.



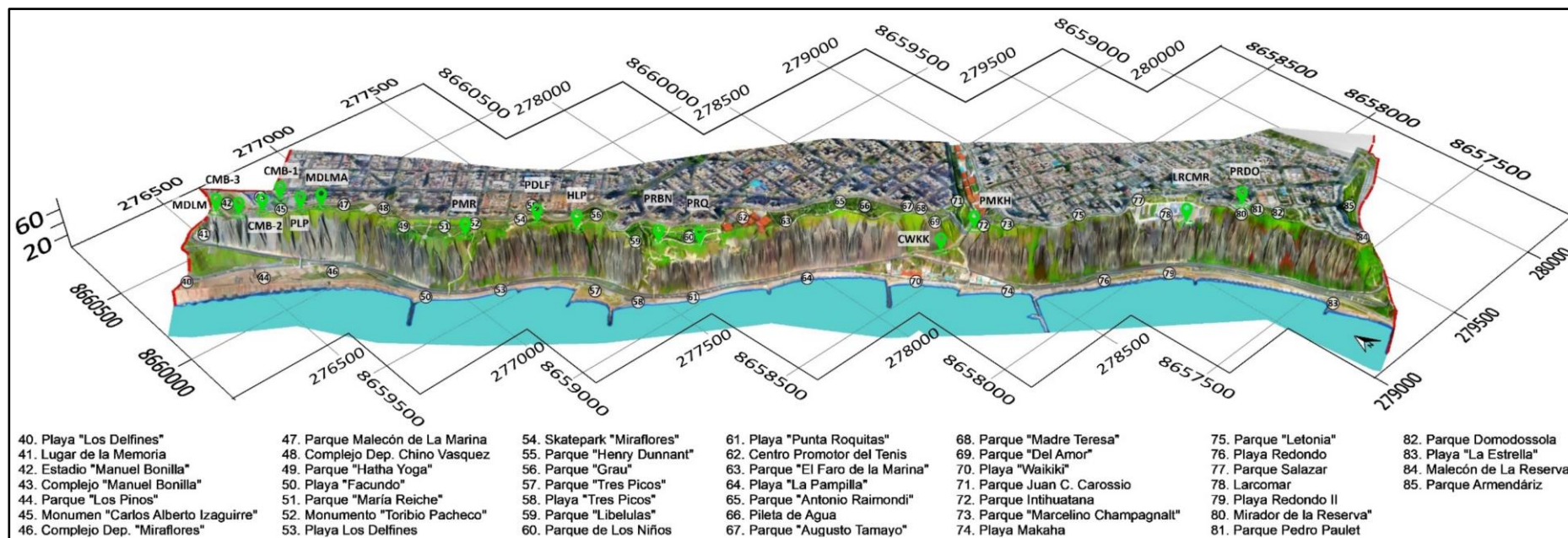
NOMBRE_OFICIAL	CODIGO	DISTRITO	TIPO	ESTE (m)	NORTE (m)	ALTURA
Residencial_Marbella-1	RMBLL-1	MAGDALENA DEL MAR	GEOTECNICA	275543	8661074	28
Puente_Marbella	PMBLL	MAGDALENA DEL MAR	GEOTECNICA	275414	8661091	7
Residencial_Marbella-2	RMBLL-2	MAGDALENA DEL MAR	GEOTECNICA	275468	8661219	37
Bajada_Marbella	BMBLL	MAGDALENA DEL MAR	GEOTECNICA	275406	8661182	36
Bajada_Brasil	BBR	MAGDALENA DEL MAR	GEOTECNICA	274700	8661535	9
Coliseo_Chamochoyumbi_Sed	CACH	MAGDALENA DEL MAR	SEDIMENTOLOGICA	274202	8661881	7

Figura 13. Ubicación de las 6 columnas estratigráficas medidas en los acantilados de la Costa Verde en el distrito de Magdalena del Mar.



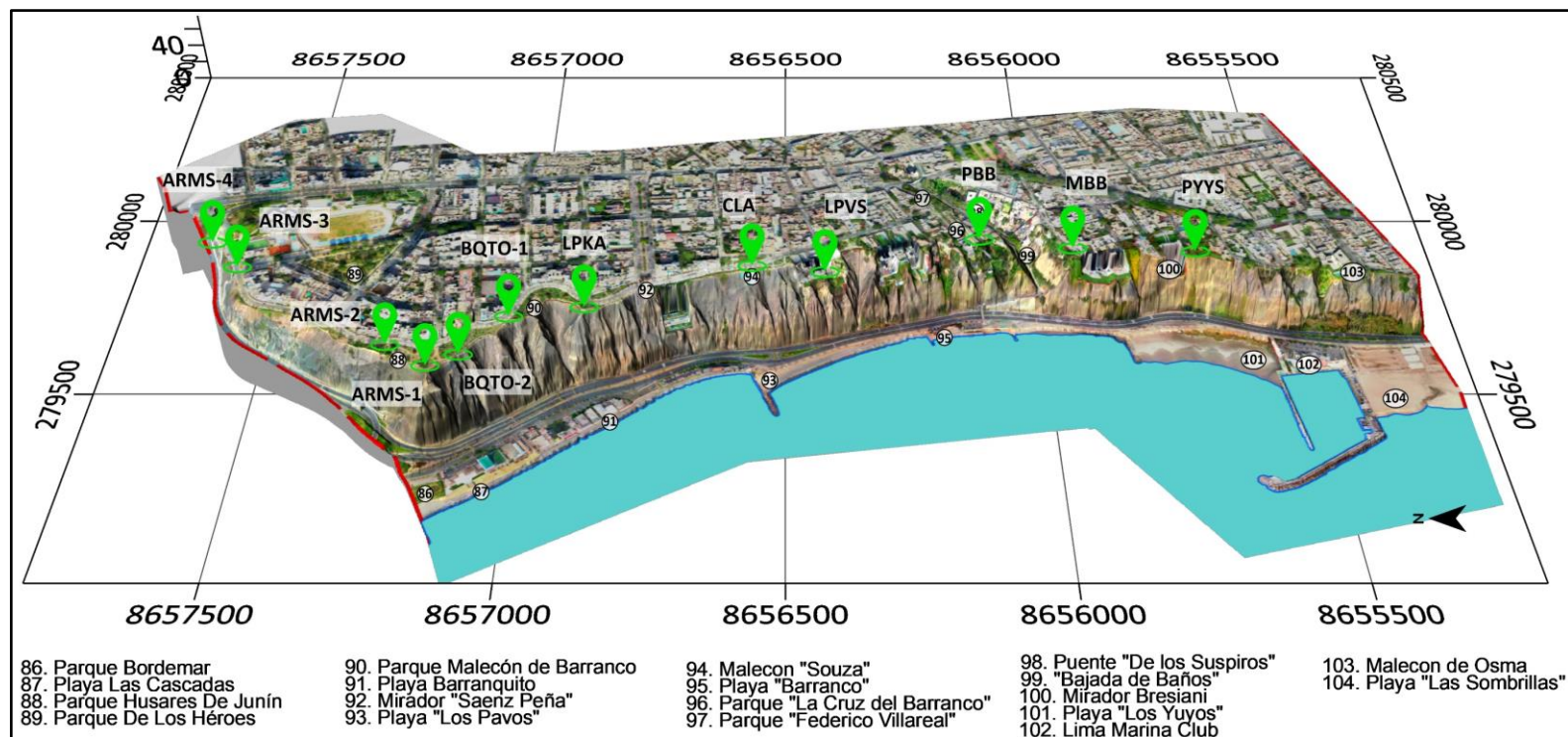
NOMBRE_OFICIAL	CODIGO	DISTRITO	TIPO	ESTE (m)	NORTE (m)	ALTURA
Parque_Bicentenario	PBCT	SAN ISIDRO	GEOTECNICA	276385	8660465	46
Escalera_Malecon-Bernales	EMB	SAN ISIDRO	GEOTECNICA	275720	8661088	41

Figura 14. Ubicación de las 2 columnas estratigráficas medidas en los acantilados de la Costa Verde en el distrito de San Isidro.



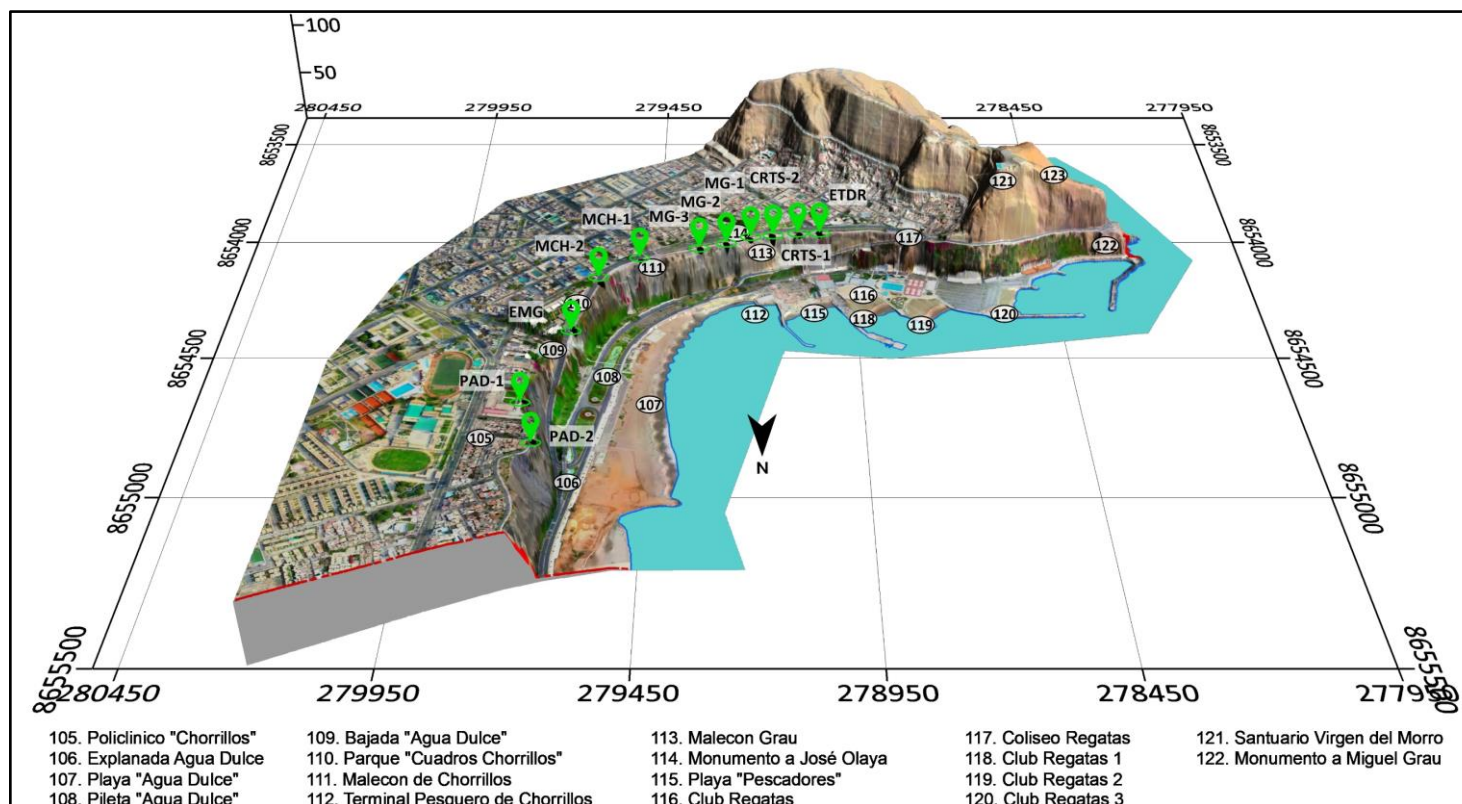
NOMBRE_OFICIAL	CODIGO	DISTRITO	TIPO	ESTE (m)	NORTE (m)	ALTURA	NOMBRE_OFICIAL	CODIGO	DISTRITO	TIPO	ESTE (m)	NORTE (m)	ALTURA
Playa_Redondo	PRDO	MIRAFLORES	GEOTECNICA	279129	8657775	12	Puente_María Reiche	PMR	MIRAFLORES	GEOTECNICA	277007	8659653	6
Larcomar	LRCMR	MIRAFLORES	GEOTECNICA	279014	8657930	6	Malecón De-La-Marina	MDLMA	MIRAFLORES	GEOTECNICA	276733	8660141	11
Puente_Makaha	PMKH	MIRAFLORES	GEOTECNICA	278389	8658429	15	Puente_Los-Pinos	PLP	MIRAFLORES	GEOTECNICA	276687	8660178	14
Club_Waikiki_Sed	CWKK	MIRAFLORES	SEDIMENTOLOGICA	278333	8658516	22	Complejo_Manuel-Bonilla-1	CMB-1	MIRAFLORES	GEOTECNICA	276630	8660237	17
Punta_Roquitas	PRQ	MIRAFLORES	GEOTECNICA	277640	8659040	5	Complejo_Manuel-Bonilla-2	CMB-2	MIRAFLORES	GEOTECNICA	276586	8660278	21
Puente_Rabin	PRBN	MIRAFLORES	GEOTECNICA	277505	8659139	6	Complejo_Manuel-Bonilla-3	CMB-3	MIRAFLORES	GEOTECNICA	276527	8660329	27
Helipuerto	HLP	MIRAFLORES	GEOTECNICA	277374	8659415	5	Museo_De-La-Memoria	MDLM	MIRAFLORES	GEOTECNICA	276470	8660382	35
Playa_Delfines	PDLF	MIRAFLORES	GEOTECNICA	277267	8659506	6							

Figura 15. Ubicación de las 15 columnas estratigráficas medidas en los acantilados de la Costa Verde en el distrito de Miraflores.



NOMBRE_OFICIAL	CODIGO	DISTRITO	TIPO	ESTE (m)	NORTE (m)	ALTURA	NOMBRE_OFICIAL	CODIGO	DISTRITO	TIPO	ESTE (m)	NORTE (m)	ALTURA
Playa_Yuyos_Derrumbe	PYYS	BARRANCO	GEOTECNICA	279714	8655710	7	Barranquito-1	BQTO-1	BARRANCO	GEOTECNICA	279473	8656959	17
Mirador_Bajada_Baños	MBB	BARRANCO	GEOTECNICA	279732	8655993	19	Barranquito-2	BQTO-2	BARRANCO	GEOTECNICA	279399	8657062	22
Puente_Bajada_Baños_Sed	PBB	BARRANCO	SEDIMENTOLOGICA	279723	8656112	12	Armendaris-1	ARMS-1	BARRANCO	GEOTECNICA	279345	8657184	18
Los_Pavos	LPVS	BARRANCO	GEOTECNICA	279650	8656401	22	Armendaris-2	ARMS-2	BARRANCO	GEOTECNICA	279404	8657248	33
Cala	CLA	BARRANCO	GEOTECNICA	279610	8656556	16	Armendaris-3	ARMS-3	BARRANCO	GEOTECNICA	279647	8657572	68
La-Panka	LPKA	BARRANCO	GEOTECNICA	279528	8656861	21	Armendaris-4	ARMS-4	BARRANCO	GEOTECNICA	279698	8657581	70

Figura 16. Ubicación de las 12 columnas estratigráficas medidas en los acantilados de la Costa Verde en el distrito de Miraflores.



NOMBRE_OFICIAL	CODIGO	DISTRITO	TIPO	ESTE (m)	NORTE (m)	ALTURA	NOMBRE_OFICIAL	CODIGO	DISTRITO	TIPO	ESTE (m)	NORTE (m)	ALTURA
Escalera_Tenderini	ETDR	CHORRILLOS	GEOTECNICA	279033	8654130	15	Malecón_Ch1	MCH-1	CHORRILLOS	GEOTECNICA	279460	8654294	6
Club_Regatas-1	CRTS-1	CHORRILLOS	GEOTECNICA	279083	8654145	11	Malecón_Ch2	MCH-2	CHORRILLOS	GEOTECNICA	279544	8654381	6
Club_Regatas-2	CRTS-2	CHORRILLOS	GEOTECNICA	279148	8654160	8	Escalera_Malecón-Grau	EMG	CHORRILLOS	GEOTECNICA	279618	8654514	23
Mirador_Grau-1	MG-1	CHORRILLOS	GEOTECNICA	279202	8654176	11	Agua_Dulce-1	PAD-1	CHORRILLOS	GEOTECNICA	279672	8654834	7
Mirador_Grau-2	MG-2	CHORRILLOS	GEOTECNICA	279261	8654200	8	Agua_Dulce-2	PAD-2	CHORRILLOS	GEOTECNICA	279639	8654980	7
Mirador_Grau-3	MG-3	CHORRILLOS	GEOTECNICA	279321	8654232	4							

Figura 17. Ubicación de las 11 columnas estratigráficas medidas en los acantilados de la Costa Verde en el distrito de Chorrillos.

Dicho segmento trabajado, entre el club Regatas y el Parque Wallenberg, involucra aproximadamente 12.2 Km. de longitud del acantilado, por lo que, en promedio, representaría una columna cada 230 m. Sin embargo, en algunos casos se ha medido cada 50 m. de acuerdo al requerimiento inicial, pero en la mayoría de casos, se tuvo que optar por un mayor distanciamiento debido a los criterios de inaccesibilidad, seguridad y/o cobertura mencionados líneas arriba.

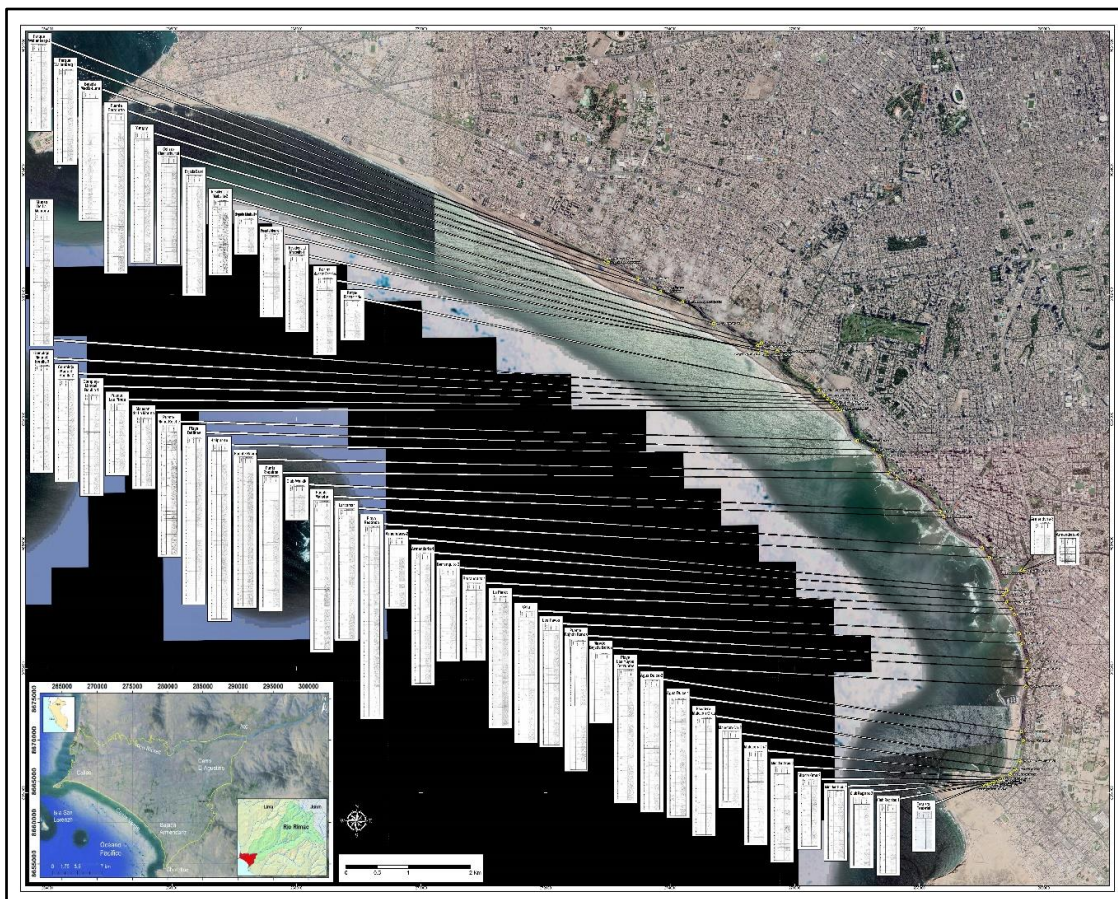


Figura 18. Imagen de la Costa Verde mostrando las 51 columnas estratigráficas medidas en el presente proyecto.

Para la descripción litológica hecha durante la medición de columnas, se tomó como referencia el criterio de granulometría internacional SUCS adaptando al siguiente criterio descriptivo:

- Arcillas, limos y arenas de grano fino de acuerdo con la granulometría SUCS
- Gránulos (arena de grano medio) a clastos de entre 0.42 mm a 2 cm
- Grava (arena de grano grueso) a los clastos entre 2 a 10 cm.
- Canto a clasto entre 10 a 25 cm
- Bolo a clasto de tamaño mayor a 25 cm.

Posteriormente, toda la información recolectada durante la medición de las columnas fue editada, procesada y graficada. El mosaico frontal de correlación estratigráfica se calibró con la información de las columnas estratigráficas digitalizadas y los datos obtenidos en campo. Se usaron los mosaicos trabajados en el software Adobe illustrator a escala 1:1000. Los intervalos observados entre columnas tienen límites secuenciales resaltantes o con mayor continuidad que en la vista generalizada de los mosaicos. En la correlación inicial, para identificar los estratos más pequeños, se usaron líneas

discontinuas de colores amarillo (arenas), naranja (limos), rojo (arcillas), celeste (travertinos).

2.1.4 Correlación estratigráfica

Se realizó con el objetivo de tener mejor comprensión de la extensión de las secuencias sedimentarias de mayor y menor orden, así como las relaciones de contacto entre ellas tanto a nivel local como de toda la extensión del afloramiento.

Para la elaboración de la correlación estratigráfica, previamente se realizó el análisis estratigráfico de secuencias en las columnas estratigráficas medidas, utilizando para ello la litología y el tamaño de clasto. Posteriormente se realizó la correlación de las secuencias definidas en el mosaico de imágenes de la CV.

El análisis estratigráfico permitió diferenciar dos secuencias de orden mayor (3er Orden), denominadas Secuencias 1 y 2. La Secuencia 1 corresponde a la parte inferior que se caracteriza por presentar niveles arenosos, limosos, y en menor medida gravosos; mientras que la Secuencia 2 corresponde a la parte superior, está compuesta mayormente por conglomerados, sin embargo, también presenta niveles y lentes de arenas. Cada una de estas secuencias son parciales, ya que no se presentan completas en los acantilados, se observa únicamente la parte superior de la Secuencia 1 y la parte inferior de la Secuencia 2. Sin embargo, en base a los análisis de las columnas medidas y las observaciones de campo, se interpreta que cada una de estas secuencias son grano decreciente.

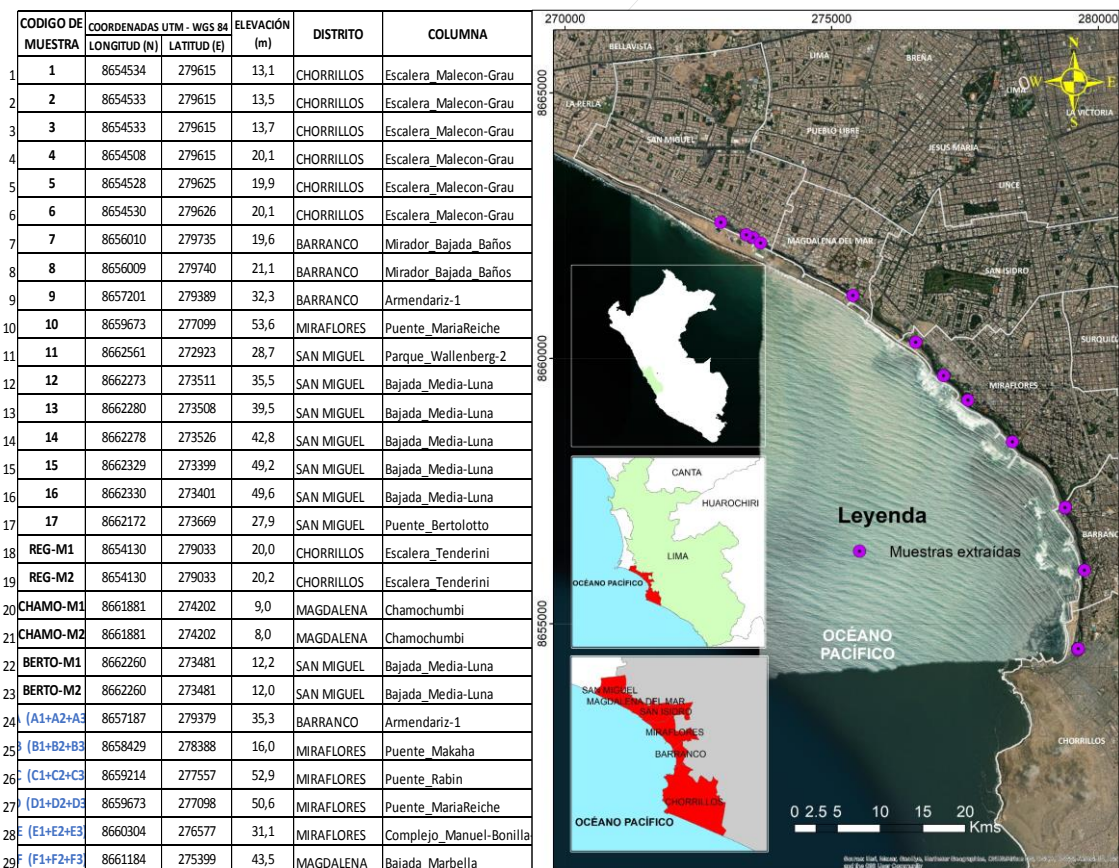


Figura 19. Ubicación de coordenadas X, Y, Z y mapa de ubicación de las muestras de suelos colectadas.

2.1.5 Ensayos de suelos sobre muestras del acantilado

Se seleccionaron varios lugares de toma de muestras de los materiales de los acantilados de la CV, ello en función a los criterios de accesibilidad, seguridad, cobertura de geomalla y/o calidad de afloramiento.

Para ello, primeramente, se identificaron las zonas con mayor representatividad y continuidad; así como las de mejor accesibilidad. La cobertura de la geomalla abarca prácticamente la totalidad del acantilado, ello sumado a las altas pendientes, dificultan o impiden un muestreo sistemático ideal de todos los acantilados de la CV. Por ello, sólo fue posible coleccionar un total de 29 muestras representativas (ANEXO II), de las cuales 06 son de gravas (códigos de la A la F) y 23 son muestras de arenas y/o limos.

Cabe mencionar que dichas muestras fueron ubicadas sobre columnas estratigráficas previamente medidas, por ello, en algunas locaciones, se recolectaron más de una muestra por columna, las mismas que fueron seleccionadas en unidades estratigráficas diferentes y litologías también diferentes, como por ejemplo, en la escalera del Malecón Grau en Chorrillos (6 muestras), bajada Armendáriz en Barranco (2 muestras), Puente María Reiche en Miraflores (2 muestras), Bajada Media Luna en San Miguel (7 muestras, 5 sobre la columna y 2 en un área cercana).

Con el objetivo de tener cantidad de muestra suficiente para los tipos de ensayo programados, se coleccionaron más de 20 kg para cada muestra de gravas y 5 kg para muestras de arenas, limos y arcillas. En el muestreo de las gravas se evitó tomar clastos que sobrepasaran los 10 cm de tamaño, poniendo énfasis en la matriz para identificar presencia de limos y arcillas.

2.1.6 Resultados de ensayos de laboratorio, clasificación (SUCS) y otros

Para la clasificación cualitativa de los materiales durante la medición de columnas y descripción de campo de las muestras, se utilizó el criterio de El Sistema Unificado de Clasificación del suelo (SUCS) que se utiliza mundialmente para los trabajos de ingeniería geotécnica (tablas 4 y 5).

Esta clasificación indica que las fracciones texturales del suelo son: Grava, Arena, Limo, Arcilla. A un material que comprende uno o más de estos componentes se le da un nombre descriptivo y una designación que consta de letras o números y letras. Estas letras dependen de las proporciones relativas de los componentes y de las características de plasticidad del material.

Los materiales de un sistema unificado se designan por un símbolo de dos letras: el primero considera que el principal componente de la tierra, y la segunda describe informaciones de la curva granulométrica o características de plasticidad. Por ejemplo, una arena pobremente graduada se denomina SP o una arcilla con baja plasticidad es denominada CL.

Posteriormente las muestras de campo fueron clasificadas de acuerdo con los resultados obtenidos en laboratorio, tomándose dicho dato como clasificación SUCS final.

Tabla 4. *Clasificación de Suelos SUCS.*

TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUFIJO
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Pobrementemente graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Límite líquido alto (>50)	L
Turba	Pt	Límite líquido bajo (<50)	H

Tabla 5. Clasificación granulométrica de suelos SUCS por tamaño de grano. Fuente: “Exploración y muestreo de suelos para proyecto de cimentaciones”. PEMEX, 1975.

NOMBRE	LÍMITES DE TAMAÑO	DESCRIPCIÓN Y/O REFERENCIA
Bolos	305 mm o más	Mayor que pelota de básquet ball
	(12 pulg)	
Canto rodado	76 mm a 305 mm	Naranja - sandía
	(3 a 12 pulg)	
Grava gruesa	19 – 76 mm	Uva - naranja
	(3/4 a 3 pulg)	
Grava fina	4.76 mm a 19 mm (malla 4 a ¾ pulg)	Alverja - uva
Arena gruesa	2 mm a 4.76 mm	Sal de cocina
	(Malla 10 a malla 4)	
Arena mediana	0.42 mm a 2 mm	Azúcar
	(Malla 40 a malla 10)	
Arena fina	0.074 mm a 0.42 mm (malla 200 a malla 40)	Azúcar en polvo
Finos	<0.074 mm	No se distinguen a simple vista a una distancia de 20 cm.
	Malla 200	

Tabla 6. Detalle de Clasificación SUCS.

DIVISIÓN MAYOR				SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS
SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 ⊕	Las partículas de 0.074 mm de diámetro (la malla No.200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4	GRAVAS LIMPIA Poco o nada de partículas finas	GW	Gravas bien graduadas,mezclas de grava y arena con poco o nada de finos
				GP	Gravas mal graduadas,mezclas de grava y arena con poco o nada de finos
			GRAVA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	* GM	d u Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo
				GC	Gravas arcillosas,mezclas de gravas,arena y arcilla
		ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4	ARENA LIMPIA Poco o nada de partículas finas	SW	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.
				SP	Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.
			ARENA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	* SM	d u Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
				SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
		LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor de 50		ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
				CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
				OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.
		LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido Mayor de 50		MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos.
				CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.
				OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.
SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 ⊕		SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.

Se seleccionó finalmente para la realización de los ensayos requeridos (Tabla 7), al Laboratorio de Ensayos de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad de Lima.

Tabla 7. Descripción del tipo de ensayo y la finalidad técnica de los análisis de laboratorio.

TIPO DE ENSAYO	FINALIDAD
Clasificación de suelos (SUCS y AASHTO). Incluye granulometría por tamizado, límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.	Clasificación granulométrica por diversos porcentajes de peso de fracciones de suelos comprendidas entre límites dimensional establecidos. Permite clasificar el tipo de suelo y estimar cuantitativamente sus características.
Contenido de humedad	Estimación de la resistencia del terreno, según su tipo, en comparación con las humedades de muestras patrón del mismo terreno. Llamado también contenido de agua en el suelo. Es la relación entre el peso de agua contenido en el mismo y el peso de su fase sólido, se expresa en %.
Ensayos químicos	Análisis del contenido de sales solubles totales, sulfatos y cloruros para la determinación de su agresividad a las cimentaciones, recubrimientos, revestimientos, u otros elementos protectores.
Gravedad específica de sólidos (finos y gruesos)	Caracterizar el tipo de suelos de forma aproximada y cualitativa calculando las relaciones de fases de suelos, tales como razón de vacíos y grado de saturación.

Se enviaron las 29 muestras de campo para realizar los ensayos de mecánica de suelos correspondientes a Clasificación Granulométrica de suelos (tabla 8) y límites dimensionales, contenido de humedad natural, ensayos químicos (total de sales solubles, sulfatos y cloruros) así como gravedad específica de sólidos. En el Anexo 1, se adjuntan los resultados de los ensayos de laboratorio realizados sobre las 29 muestras.

Tabla 8. Resultados de la Clasificación de Suelos en función al análisis granulométrico.

PROYECTO COSTA VERDE - RESULTADOS DE LABORATORIO								
COD. MUESTRA	COORDENADAS UTM - WGS 84 ZONA 18S		ELEVACIÓN (m)	DISTRITO	COLUMNA	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS	CLASIFICACION SUCS	CONTENIDO DE HUMEDAD
	LONGITUD (N)	LATITUD (E)				NORMA DE REFERENCIA (NTP 339.128, ASTM D2487 y ASTM D3282)		
1	8654534	279615	13.1	CHORRILLOS	Escalera_Mal econ-Grau	Arena limosa, mezcla de arena (52.9%) y finos limosos inorgánicos no plásticos (47.1%).	SM	3.8
2	8654533	279615	13.5	CHORRILLOS	Escalera_Mal econ-Grau	Limo inorgánico de baja plasticidad, mezcla de arena (38.8%) y finos limosos inorgánicos no plásticos (61.2%).	ML	2.6
3	8654533	279615	13.7	CHORRILLOS	Escalera_Mal econ-Grau	Arena limosa, mezcla de arena (81.3%) y finos limosos inorgánicos no plásticos (18.7%).	SM	2.3
4	8654508	279615	20.1	CHORRILLOS	Escalera_Mal econ-Grau	Limo inorgánico de alta plasticidad, mezcla de arena (16.2%) y finos limosos inorgánicos (83.8%).	MH	6.9
5	8654528	279625	19.9	CHORRILLOS	Escalera_Mal econ-Grau	Limo inorgánico de baja plasticidad, mezcla de arena (45.4%) y finos limosos inorgánicos no plásticos (54.6%).	ML	2.2
6	8654530	279626	20.1	CHORRILLOS	Escalera_Mal econ-Grau	Arena limosa, mezcla de arena (55.3%) y finos limosos inorgánicos no plásticos (44.7%).	SM	2.8
7	8656010	279735	19.6	BARRANCO	Mirador_Baja da_Baños	Limo inorgánico de baja plasticidad, mezcla de arena (34.7%) y finos limosos inorgánicos no plásticos (65.3%).	ML	21
8	8656009	279740	21.1	BARRANCO	Mirador_Baja da_Baños	Limo inorgánico de baja plasticidad, mezcla de arena (27%) y finos limosos inorgánicos no plásticos (73%).	ML	5.9
9	8657201	279389	32.3	BARRANCO	Armendariz-1	Limo inorgánico de baja plasticidad, mezcla de arena (22.6%) y finos limosos inorgánicos no plásticos (77.4%).	ML	15.2
10	8659673	277099	53.6	MIRAFLORES	Puente_Maria Reiche	Arena limosa, mezcla de arena (69.7%) y finos limosos inorgánicos no plásticos (30.3%).	SM	10.7
11	8662561	272923	28.7	SAN MIGUEL	Parque_Wall enberg-2	Limo inorgánico de baja plasticidad, mezcla de arena (17.3%) y finos limosos no plásticos (82.7%).	ML	6.7

12	8662273	273511	35.5	SAN MIGUEL	Bajada_Medi a-Luna	Limo inorgánico de baja plasticidad, mezcla de arena (22.6%) y finos limosos no plásticos (77.4%)	ML	2.1
13	8662280	273508	39.5	SAN MIGUEL	Bajada_Medi a-Luna	Limo inorgánico de baja plasticidad, mezcla de arena (17.1%) y finos limosos (82.9%)	ML	6
14	8662278	273526	42.8	SAN MIGUEL	Bajada_Medi a-Luna	Arena limosa mal graduada, mezcla de arena (90.8%) y finos limosos inorgánicos no plásticos (9.2%)	SP - SM	2.2
15	8662329	273399	49.2	SAN MIGUEL	Bajada_Medi a-Luna	Limo inorgánico de baja plasticidad, mezcla de arena (19.4%) y finos limosos no plásticos (80.6%)	ML	3.5
16	8662330	273401	49.6	SAN MIGUEL	Bajada_Medi a-Luna	Limo inorgánico de baja plasticidad, mezcla de arena (36.1%) y finos limosos no plásticos (63.9%)	ML	2.3
17	8662172	273669	27.9	SAN MIGUEL	Puente_Berto loto	Limo inorgánico de baja plasticidad, mezcla de arena (26.7%) y finos limosos no plásticos (73.3%)	ML	2.2
REG-M1	8654130	279033	20	CHORRILLOS	Escalera_Ten derini	Limo inorgánico de baja plasticidad, mezcla de arena (9.4%) y finos limosos de baja plasticidad (90.6%)	ML	2
REG-M2	8654130	279033	20.2	CHORRILLOS	Escalera_Ten derini	Limo inorgánico de baja plasticidad, mezcla de arena (27.8%) y finos limosos de baja plasticidad (72.2%)	ML	3.5
CHAMO-M1	8661881	274202	9	MAGDALENA	Chamochumb i	Limo inorgánico de baja plasticidad, mezcla de arena (35.1%) y finos limosos no plásticos (64.9%)	ML	1.6
CHAMO-M2	8661881	274202	8	MAGDALENA	Chamochumb i	Arena limosa, mezcla de arena (81.9%) y finos limosos inorgánicos no plásticos (18.1%)	SM	5.1
BERTO-M1	8662260	273481	12.2	SAN MIGUEL	Bajada_Medi a-Luna	Arena limosa, mezcla de arena (81.5%) y finos limosos inorgánicos no plásticos (18.5%)	SM	3
BERTO-M2	8662260	273481	12	SAN MIGUEL	Bajada_Medi a-Luna	Arena limosa, mezcla de arena (54.1%) y finos limosos inorgánicos no plásticos (45.9%)	SM	4.9
A	8657187	279379	35.3	BARRANCO	Armendariz-1	Grava mal graduada, mezcla de grava (76.6%), arena (18.4%) y pocos finos limosos no plásticos (5.0%). La fracción gruesa presenta forma sub-redondeada, áspera y resistente.	GP	1.1
B	8658429	278388	16	MIRAFLORES	Puente_Maka ha	Grava mal graduada, mezcla de grava (80.0%), arena (15.3%) y pocos finos limosos no plásticos (4.7%). La fracción gruesa presenta forma sub-angulosa, áspera y resistente.	GP	2.1
C	8659214	277557	52.9	MIRAFLORES	Puente_Rabi n	Grava mal graduada, mezcla de grava (71.2%), arena (25.6%) y pocos finos limosos no plásticos (3.2%). La fracción gruesa presenta forma sub-redondeada, áspera y resistente.	GP	4.2
D	8659673	277098	50.6	MIRAFLORES	Puente_Maria Reiche	Grava bien graduada, mezcla de grava (90.6%), arena (8.3%) y pocos finos limosos no plásticos (1.1%). La fracción gruesa presenta forma sub-redondeada, áspera y resistente.	GW	4.7
E	8660304	276577	31.1	MIRAFLORES	Complejo_Ma nuel-Bonilla-2	Grava mal graduada, mezcla de grava (78.3%), arena (18.1%) y pocos finos limosos no plásticos (3.6%). La fracción gruesa presenta forma sub-redondeada, áspera y resistente.	GP	3.5
F	8661184	275399	43.5	MAGDALENA	Bajada_Marb ella	Grava bien graduada, mezcla de grava (87.4%), arena (11.1%) y pocos finos limosos no plásticos (1.5%). La fracción gruesa presenta forma sub-redondeada, áspera y resistente.	GW	6

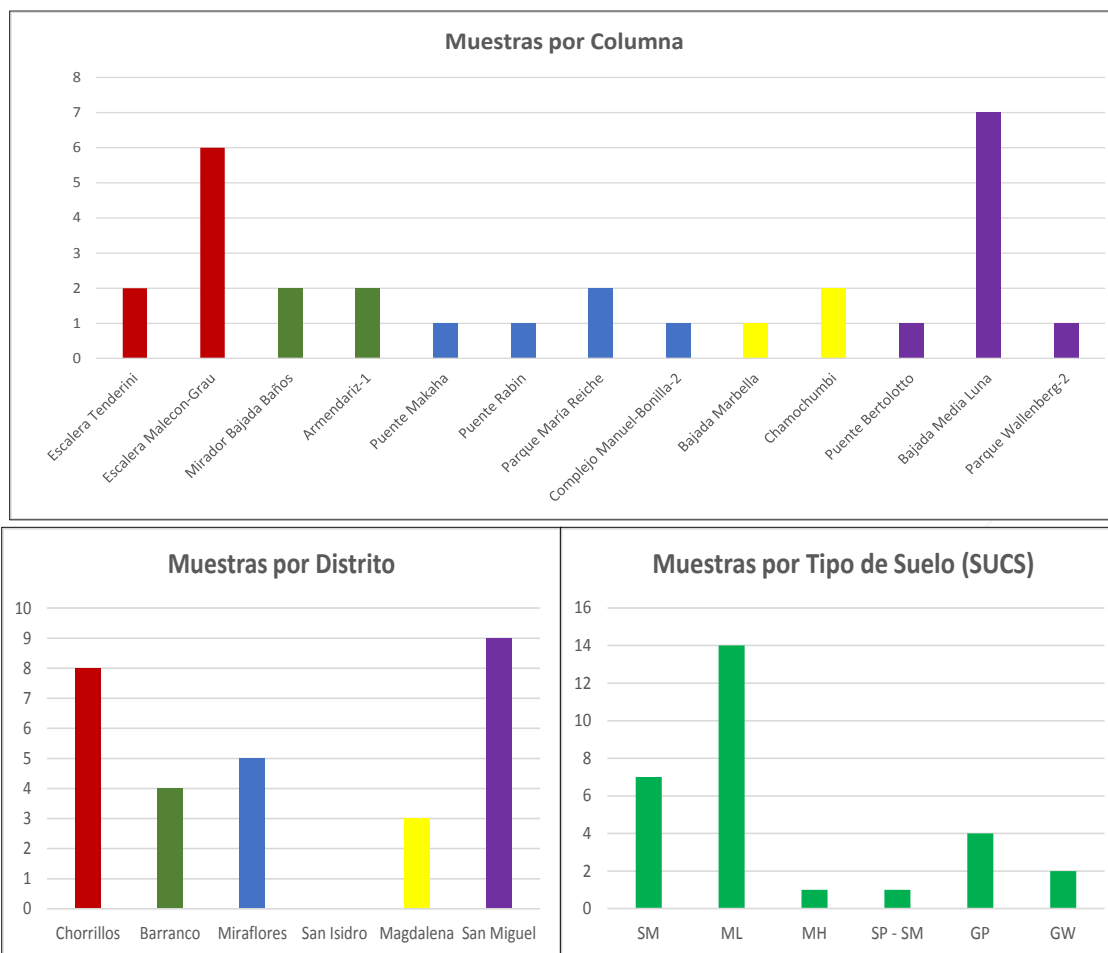


Figura 20. Gráficos indicando el número de muestras recolectados según su ubicación y clasificación.

2.1.7 Algunas características ingeniero geológicas de los materiales en las zonas muestreadas de la CV.

Desde el punto de vista geotécnico, existen diferentes tipos de suelo en los acantilados de la CV, se observan mayormente los más resistentes (gravas. con matriz de arena en estado compacto a semicompacto) y también más blandos o suaves (limos y arcillas de plasticidad media a alta, parcialmente saturados).

El comportamiento de las ondas sísmicas en estos suelos, sufrirán refracciones, reflexiones y/o amplificaciones, así como también, inducirán efectos de densificación o licuefacción, pudiendo originar daños estructurales y/o generando pérdidas materiales y de vidas humanas.

En suelos relativamente compactos o muy compactos (zona central de Lima - Cercado y Alrededores). las vibraciones sísmicas se transmiten a la superficie con un grado de amplificación o amortiguamiento sin pérdida de resistencia o deformaciones locales significativas, y originan efectos sobre estructuras, pero sin daños directos en su cimentación (Guzmán et al 1997).

La mayor cantidad de muestras fueron recolectadas en los distritos de Chorrillos (8) y San Miguel (9) y Miraflores (5), mientras que en San Isidro no se pudo recuperar ninguna debido a su inaccesibilidad por cobertura vegetal.

PROFUNDIDAD (metros)	CLASIFICACIÓN		MUESTRA	DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL: COLOR, HUMEDAD NATURAL, PLASTICIDAD, ESTADO NATURAL DE COMPACTAD, FORMA DE LAS PARTICULAS, TAMAÑO MÁXIMO DE LAS PIEDRAS, PRESENCIA DE MATERIAL ORGÁNICO.
	SÍMBOLOS (SUCS)	Granulometría Simbología		
0	GW			GRAVA 5 y 6/1 esferico,redondeado a subredondeado , no plastico, masivo ,med consolidado, bien gradado, clasto soportado Canto>16; Canto promedio 6cm , 5%cantos, 75%grava, 10%granulo y arena
1	CH			ARCILLA linosa N8/0 masiva , harinosa con presencia de carbonatos, blanda a compacta , lisa, arenosa , uniforme
2	ML-MS			Intercalacion de limo arenoso y limo arcilloso 5 y 7/6 , esferico y laminar ,baja plasticidad , estratificado , grava creciente , arenoso a harinoso , sin m.o, compacto a denso
3	GW			GRAVA 5 y 7/3 esferico,redondeado , no plastico, masivo ,aspero ,sin materia organica,med consolidado, bien gradado, clasto soportado Canto>20; Canto promedio 7cm ,55% Igneo, 40% Volcanico,5% Sedimentario , 5%cantos, 75%grava, 10%granulo y arena
4				
5	ML		REG-2	Limo inorgánico de baja plasticidad, mezcla de arena (27.8%) y finos limosos de baja plasticidad (72.2%). Humedad 5.9%.
5.4				Intercalacion de limo arenoso a arena limosa 5 y 7/6 , esferico ,baja plasticidad , estratificado ,arena linosa con presencia de carbonatos,arenosa a harinosa,compacta a densa, presencia de oxido humedo
6	ML-MS			
6.6	GW			Presencia de 2 lentes limo arenoso 5y 7/6 , esferico,masivo , arenoso a harinoso , base erosiva acumulada GRAVA 5y 7/2 , esferico,redondeado, no plastico , masivo,aspero , sin m.o, consolidado a med. Consolidado , bien gradado ,matriz soportado Canto>25
7				
8	CH-CM		REG-1	Limo inorgánico de baja plasticidad, mezcla de arena (9.4%) y finos limosos de baja plasticidad (90.6%). Humedad 21%.
9				ARCILLA Limo arenoso 5 y 4/3(humeda) laminar a esferico , baja a mediana plasticidad, estratificado, harinoso con carbonatos , compacto , uniforme
9	ML			
10				En rojo: Resultados de Laboratorio

Figura 21. Columna estratigráfica medida en la Escalera Tenderini (Chorrillos) frente al Club Regatas donde se recolectaron las muestras REG-1 y REG-2. En rojo se muestran los resultados de laboratorio.

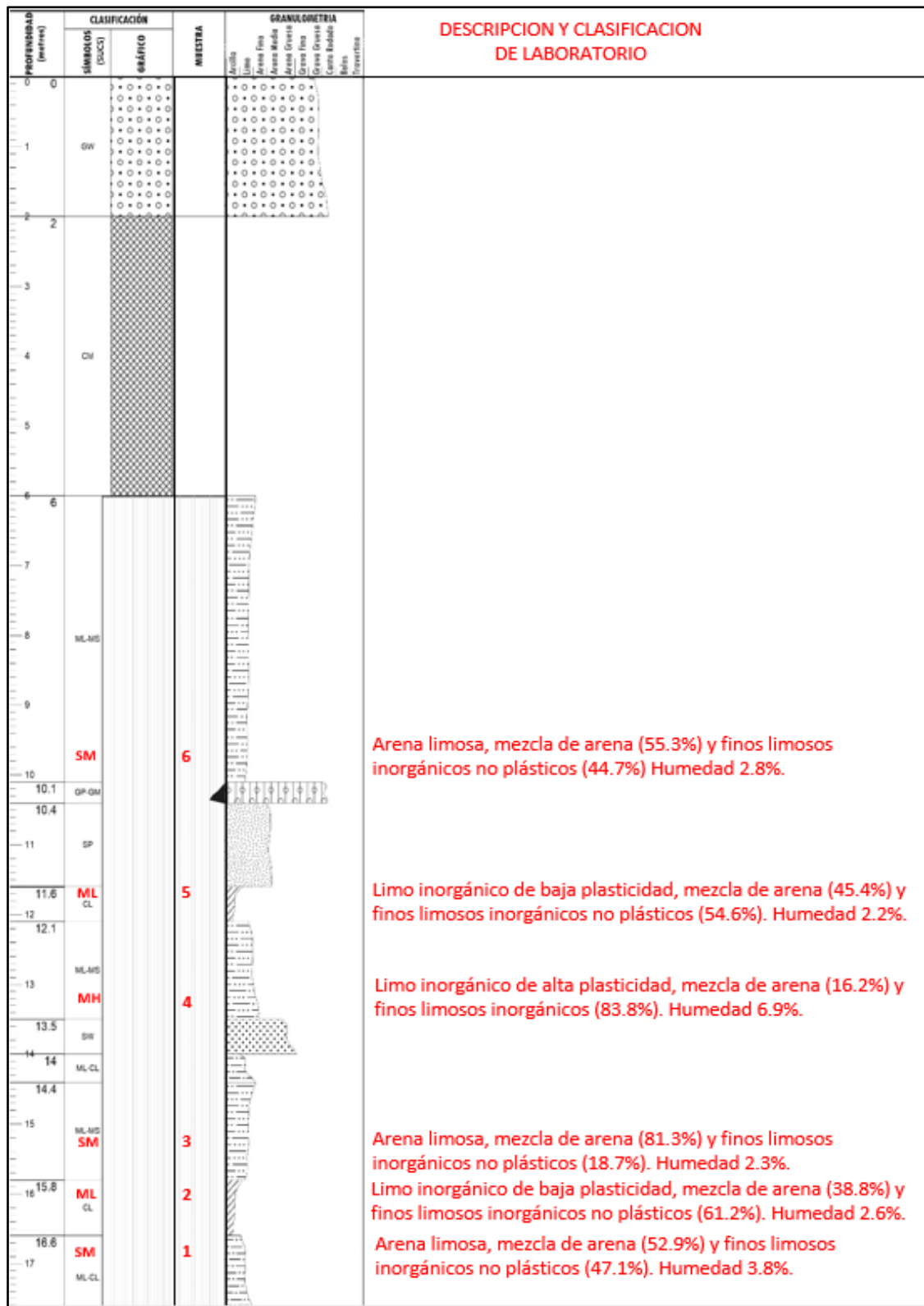


Figura 22. Columna estratigráfica medida en la Escalera Malecón Grau (Chorrillos) donde se recolectaron las muestras 1 a 6. En rojo se muestran los resultados de laboratorio.

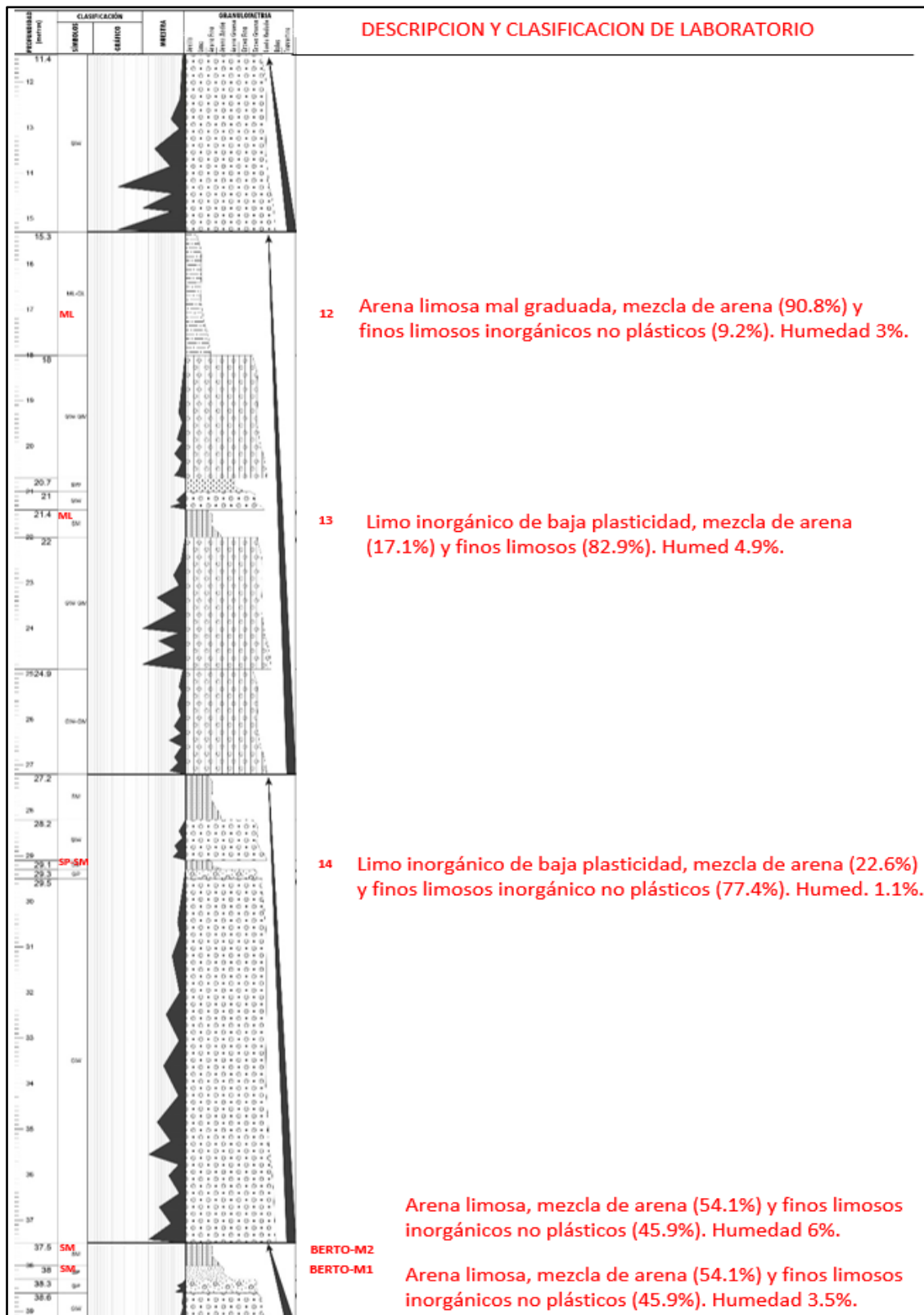


Figura 23. Columna estratigráfica medida en la Escalera Bajada Media Luna (Magdalena) donde se recolectaron las muestras Berto 1y2, 12, 13 y 14. En rojo se muestran los resultados de laboratorio.

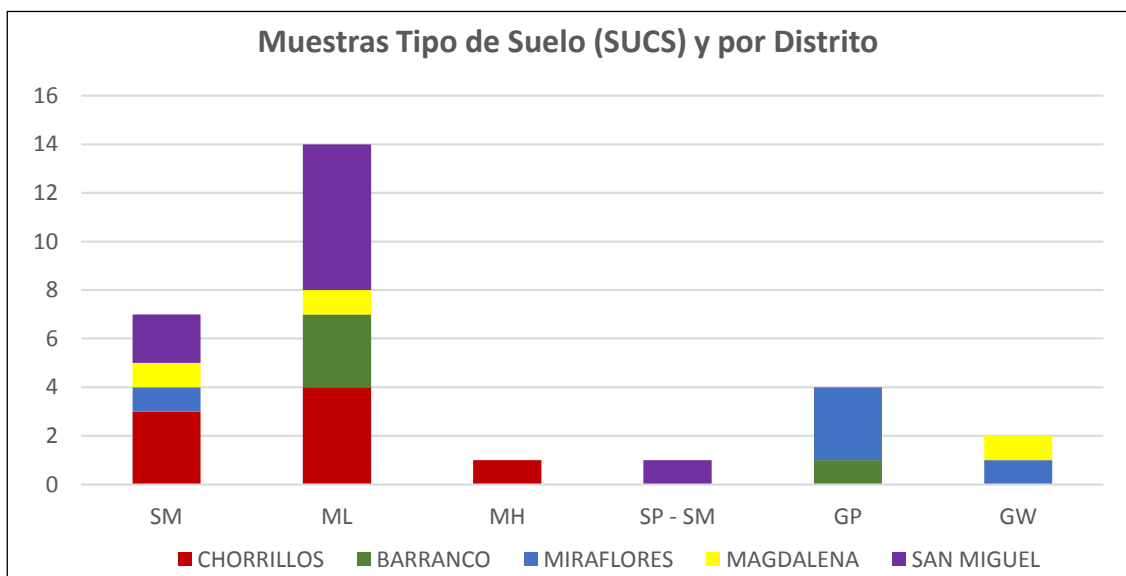


Figura 24. Clasificación de Ensayos de suelos (SUCS) de muestras de campo, según ubicación.

Siete muestras fueron clasificadas como arena limosa (SM), la mayoría de ellas ubicadas en Chorrillos (3) y San Miguel (2). Así mismo catorce muestras fueron clasificadas como limos de baja plasticidad (ML), la mayoría de ellas ubicadas en San Miguel (6) y Chorrillos (4). Una muestra de Chorrillos fue clasificada como limo de alta plasticidad (MH), otra muestra de San Miguel fue clasificada como arena limosa mal graduada (SP-SM), otras cuatro fueron clasificadas como gravas mal graduadas (GP), 3 de Miraflores y una de Barranco; y finalmente dos como gravas bien graduadas (GW), una de Magdalena y otra de Miraflores.

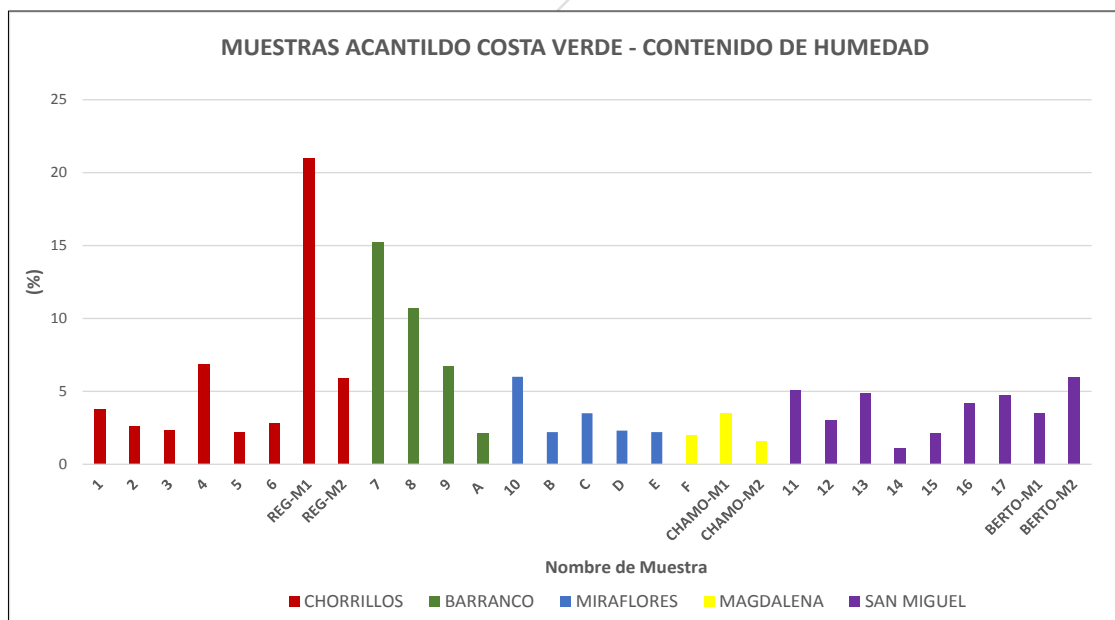


Figura 25. Contenido de Humedad de muestras, según su ubicación por distrito.

Respecto del contenido de humedad la gran mayoría de muestras presentan porcentajes bajos de entre 1 a 5%, teniendo sólo cinco muestras (dos de Chorrillos, uno de Barranco, uno de Miraflores y uno de San Miguel) con contenidos de humedad de entre 5 a 7%, mientras que hay dos muestras de Barranco (Bajada Baños) con contenidos de humedad de 10 y 15% respectivamente, clasificadas ambas como limos de baja plasticidad (ML), resaltando que estas dos muestras se encuentran ubicadas en áreas verdes donde hay vegetación que es regada constantemente. Finalmente se tiene

una sola muestra con contenido de 21% de humedad ubicada en la escalera Tenderini de Chorrillos y clasificada como limo inorgánico (ML) de baja plasticidad, mezcla de arena (9.4%) y finos limosos de baja plasticidad (90.6%).

Por otra parte, respecto de los resultados de los análisis químicos, todas las muestras, excepto cuatro de ellas, presentan contenidos de sulfatos totales por debajo de 1%; tres muestras mencionadas están ubicadas en el distrito de Chorrillos y presentan valores de 1.14, 1.44 y 1.76% respectivamente y la otra muestra está ubicada en Chorrillos, la misma que presenta valores de 1.26% de contenido de sulfatos totales.

Respecto de las sales solubles, todas las muestras, excepto 2 de ellas, presentan valores por debajo de 1%, las dos muestras indicadas proceden de Chorrillos y San Miguel con valores de 1.97 y .1.33% respectivamente.

Finalmente, se observa que el contenido de cloruros colubles es muy variable, teniendo la mayoría de ellas (16) valores menores a 2%, mientras que seis de ellas presentan valores entre 2 a 4% y cinco de ellas (dos de Barranco y cinco de San Miguel) presentan valores entre 4 a 6.5%.

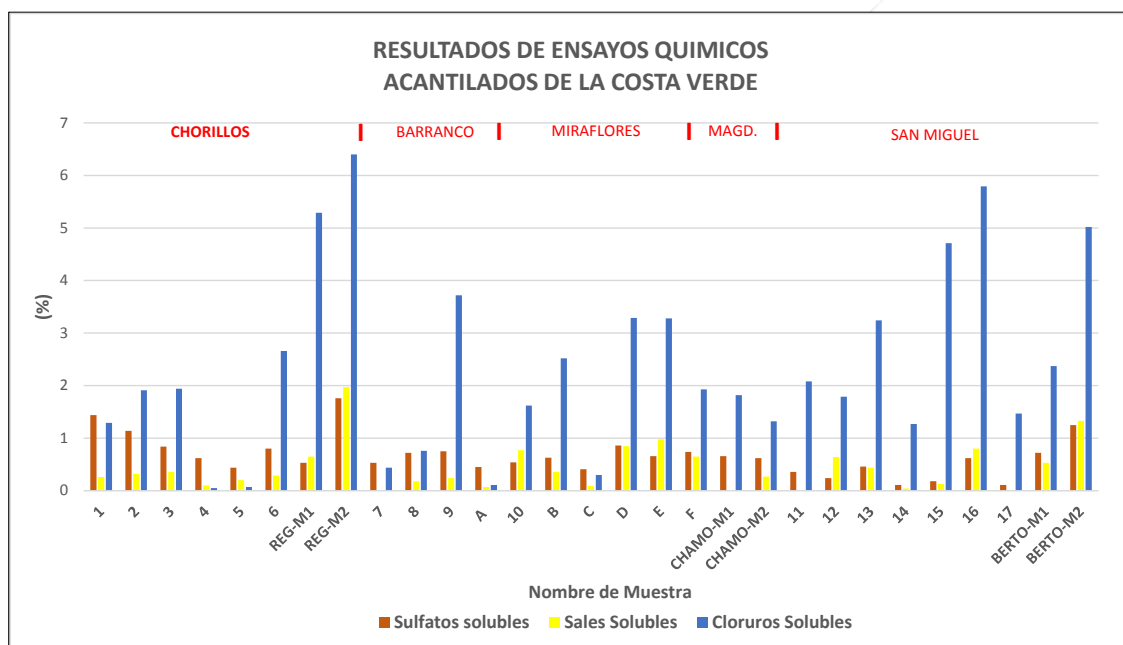


Figura 26. Resultados de los Ensayos Químicos según su ubicación distrital.

Tabla 9. Resultados de laboratorio de tipo de suelos y ensayos químicos.

PROYECTO COSTA VERDE - RESULTADOS DE LABORATORIO DE ENSAYOS QUIMICOS									
COD. DE MUESTRA	COORDENADAS UTM - WGS 84 ZONA 18S		DISTRITO	COLUMNA	CLASIFICACION	RESULTADOS DE ENSAYOS QUIMICOS (%)			CONTENIDO DE HUMEDAD
	LONGITUD (N)	LATITUD (E)				Sulfatos solubles	Sales Solubles	Cloruros Solubles	
1	8654534	279615	CHORRILLOS	Escalera Malecón-Grau	SM	1.44	0.26	1.29	3.8
2	8654533	279615	CHORRILLOS	Escalera Malecón-Grau	ML	1.14	0.32	1.91	2.6
3	8654533	279615	CHORRILLOS	Escalera Malecón-Grau	SM	0.84	0.36	1.94	2.3
4	8654508	279615	CHORRILLOS	Escalera Malecón-Grau	MH	0.62	0.10	0.05	6.9
5	8654528	279625	CHORRILLOS	Escalera Malecón-Grau	ML	0.44	0.20	0.07	2.2

6	8654530	279626	CHORRI LLOS	Escalera Malecón-Grau	SM	0.80	0.29	2.66	2.8
7	8656010	279735	BARRAN CO	Mirador Bajada_Baños	ML	0.53	0	0.44	21.0
8	8656009	279740	BARRAN CO	Mirador Bajada_Baños	ML	0.72	0.18	0.76	5.9
9	8657201	279389	BARRAN CO	Armendariz-1	ML	0.75	0.24	3.72	15.2
10	8659673	277099	MIRAFLO RES	Parque María Reiche	SM	0.54	0.77	1.62	10.7
11	8662561	272923	SAN MIGUEL	Parque Wallenberg-2	ML	0.36	0	2.08	6.7
12	8662273	273511	SAN MIGUEL	Bajada Media- Luna	ML	0.24	0.64	1.79	2.1
13	8662280	273508	SAN MIGUEL	Bajada Media- Luna	ML	0.46	0.44	3.24	6.0
14	8662278	273526	SAN MIGUEL	Bajada Media- Luna	SP - SM	0.11	0.04	1.27	2.2
15	8662329	273399	SAN MIGUEL	Bajada Media- Luna	ML	0.18	0.13	4.71	3.5
16	8662330	273401	SAN MIGUEL	Bajada Media- Luna	ML	0.62	0.80	5.79	2.3
17	8662172	273669	SAN MIGUEL	Puente Bertolotto	ML	0.11	0	1.47	2.2
REG-M1	8654130	279033	CHORRI LLOS	Escalera Tenderini	ML	0.53	0.65	5.29	2.0
REG-M2	8654130	279033	CHORRI LLOS	Escalera Tenderini	ML	1.76	1.97	6.40	3.5
CHAMO- M1	8661881	274202	MAGDAL ENA	Chamochumbi	ML	0.66		1.82	1.6
CHAMO- M2	8661881	274202	MAGDAL ENA	Chamochumbi	SM	0.62	0.27	1.32	5.1
BERTO- M1	8662260	273481	SAN MIGUEL	Bajada Media- Luna	SM	0.72	0.53	2.37	3.0
BERTO- M2	8662260	273481	SAN MIGUEL	Bajada Media- Luna	SM	1.25	1.33	5.02	4.9
A	8657187	279379	BARRAN CO	Armendariz-1	GP	0.45	0.07	0.11	1.1
B	8658429	278388	MIRAFLO RES	Puente_Makaha	GP	0.63	0.36	2.52	2.1
C	8659214	277557	MIRAFLO RES	Puente_Rabin	GP	0.41	0.09	0.30	4.2
D	8659673	277098	MIRAFLO RES	Paeque Maria Reiche	GW	0.86	0.85	3.29	4.7
E	8660304	276577	MIRAFLO RES	Complejo_Manu el Bonilla-2	GP	0.66	0.98	3.28	3.5
F	8661184	275399	MAGDAL ENA	Bajada_Marbella	GW	0.74	0.65	1.93	6.0

Tabla 10. Algunos valores estimativos propuestos, usuales de los parámetros geotécnicos de los materiales superficiales, en el GRUNDBAU TASCHENBUCH (1980).

TIPO DE SUELO	GRANULOMETRÍA		LÍMITES DE ATTERBERG (Fración < 0.04 mm)			PESO ESPECÍFICO		HDAD. NATURAL	PROCTOR NORMAL		DEFORMABILIDAD (2)		RESISTENCIA AL CORTE			PERM.
	<0.06 mm %	<2.0 mm %	w _L %	w _P %	I _p %	γ t/m ³	γ _{sum} t/m ³	w %	D. seca t/m ³	w _{P,N} %	$E_s = E_o \left(\frac{\sigma}{\sigma_{at}} \right)^n$ E _s kp/cm ²	$\frac{\sigma}{\alpha}$	φ' (°)	c' t/m ²	φ' _r	K m/s
Grava (GP - GW)	< 5	< 60	-	-	-	1.60 1.90	0.95 1.05	5 2	1.70 1.90	8 5	400 900	0.60 0.40	34 42	- -	32 35	2.10 ⁻¹ 1.10 ⁻²
Grava arenosa con pocos finos (GP - GW)	< 5	< 60	-	-	-	2.10 2.30	1.15 1.35	7 3	2.00 2.25	7 4	400 1100	0.70 0.50	35 45	- -	32 35	1.10 ⁻² 1.10 ⁻⁴
Arena con finos que no alteran su estructura granular (SP-SM)	8	< 60	20	16	4	1.90	1.05	15	2.00	13	150	0.80	32	1	30	1.10 ⁻⁵
	15		45	25	25	2.25	1.30	4	2.20	7	500	0.65	40	0	32	1.10 ⁻⁷
Limo poco plástico (ML)	> 50	> 80	25	20	4	1.75	0.95	28	1.60	22	40	0.80	28	2	25	1.10 ⁻⁵
			35	28	11	2.10	1.10	15	1.80	15	110	0.60	35	0.5	30	1.10 ⁻⁸
Limo de plasticidad media a alta (MH)	> 80	> 100	35	22	7	1.70	0.85	35	1.55	23	30	0.90	25	3	22	2.10 ⁻⁶
			50	25	20	2.00	1.05	20	1.75	16	70	0.70	35	1	29	1.10 ⁻⁹

(1) Según el Grundbau Taschenb.

(2) $\sigma_{at} = 0.1 \text{ kp/cm}^2$

2.1.8 Correlación de información geológica con datos geofísicos

Después de una detallada revisión de información geofísica publicada por el IGP, se escogió los datos de sísmica de refracción y tomografía eléctrica como los más representativos del subsuelo para poder ser correlacionados con la información geológica de columnas y correlaciones estratigráficas de los acantilados tomadas en campo, de tal manera de encontrar coincidencias o contrastes que permitan alcanzar una interpretación razonable del subsuelo del área de estudio usando diferentes fuentes de información.

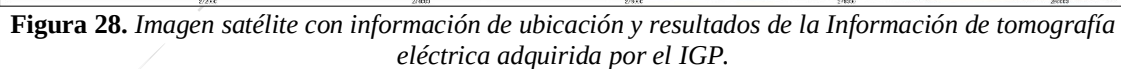
De acuerdo con los resultados obtenidos, ambos métodos geofísicos tienen alguna correlación con la información geológica adquirida en los afloramientos de los acantilados de la CV. Así, por una parte, la refracción sísmica ha permitido corroborar el material poco consolidado de relleno antropogénico, debido a sus valores bajos de velocidades, en las capas superficiales y, por otra parte, la tomografía de resistividad eléctrica muestra correlación de valores bajos de resistividad asociados a material con alto contenido de humedad en todas las zonas que muestran suelos de relleno antrópico.

A lo largo de los acantilados, en base a la refracción sísmica, se define la existencia de tres capas sísmicas en función a su respuesta de velocidad de ondas de compactación. Se observa que en general, conforme se incrementa la profundidad, los suelos son más compactos y la variabilidad de la capa de suelo más superficial poco compactado está en función tanto del relleno antrópico como del espesor de algunos suelos más finos en ciertas áreas de los seis distritos estudiados.



Figura 27. Imagen satélite con información de ubicación y resultados de la información de sísmica de refracción adquirida por el IGP.

Por otra parte, el método de tomografía eléctrica permite investigar las variaciones de resistividad y conductividad eléctrica de las rocas y suelos para conocer la ubicación de los niveles freáticos en su estructura. Los materiales que conforman el subsuelo varían en rangos de valores de resistividad que dependen principalmente conductividad de las partículas, la porosidad del suelo o roca y del contenido de agua o de sales disueltas en las fracturas y/o poros de las rocas.



56

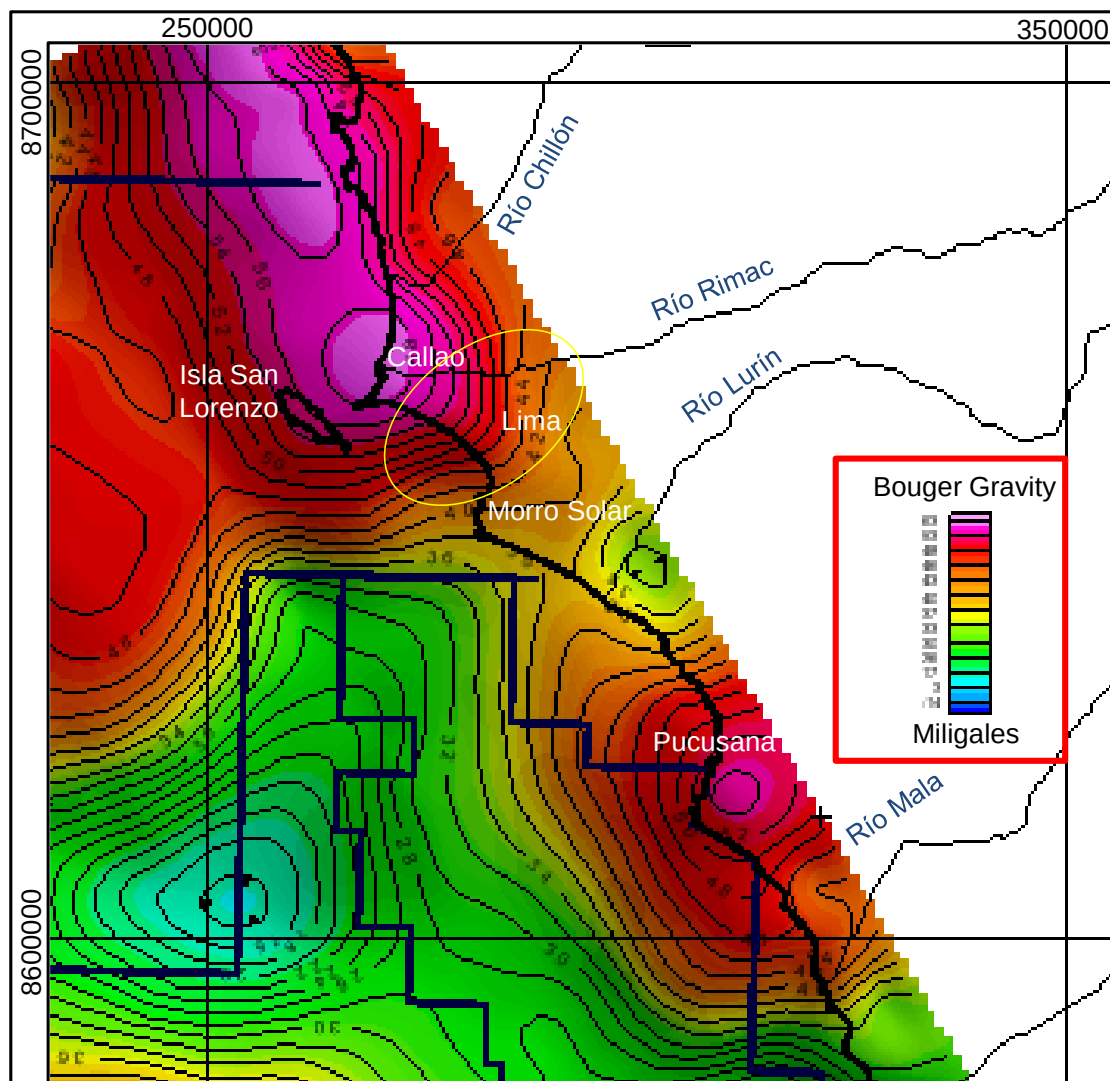


Figura 29. Mapa Gravimétrico Residual de Anomalías de Bouguer de la costa del departamento de Lima, en círculo amarillo el área de estudio del Aluvial de Lima. Fuente: Savia 2010.

La profundidad del substrato rocoso del abanico aluvial de Lima ha sido interpretada mediante mediciones de resistividad eléctrica (Arce 1984) que muestran que el relleno aluvial de Lima alcanza espesores del orden de los 400 m en las zonas centrales profundas, con un espesor máximo de 600 m en la zona de La Perla. Los espesores disminuyen hacia los márgenes del abanico (figura 29).

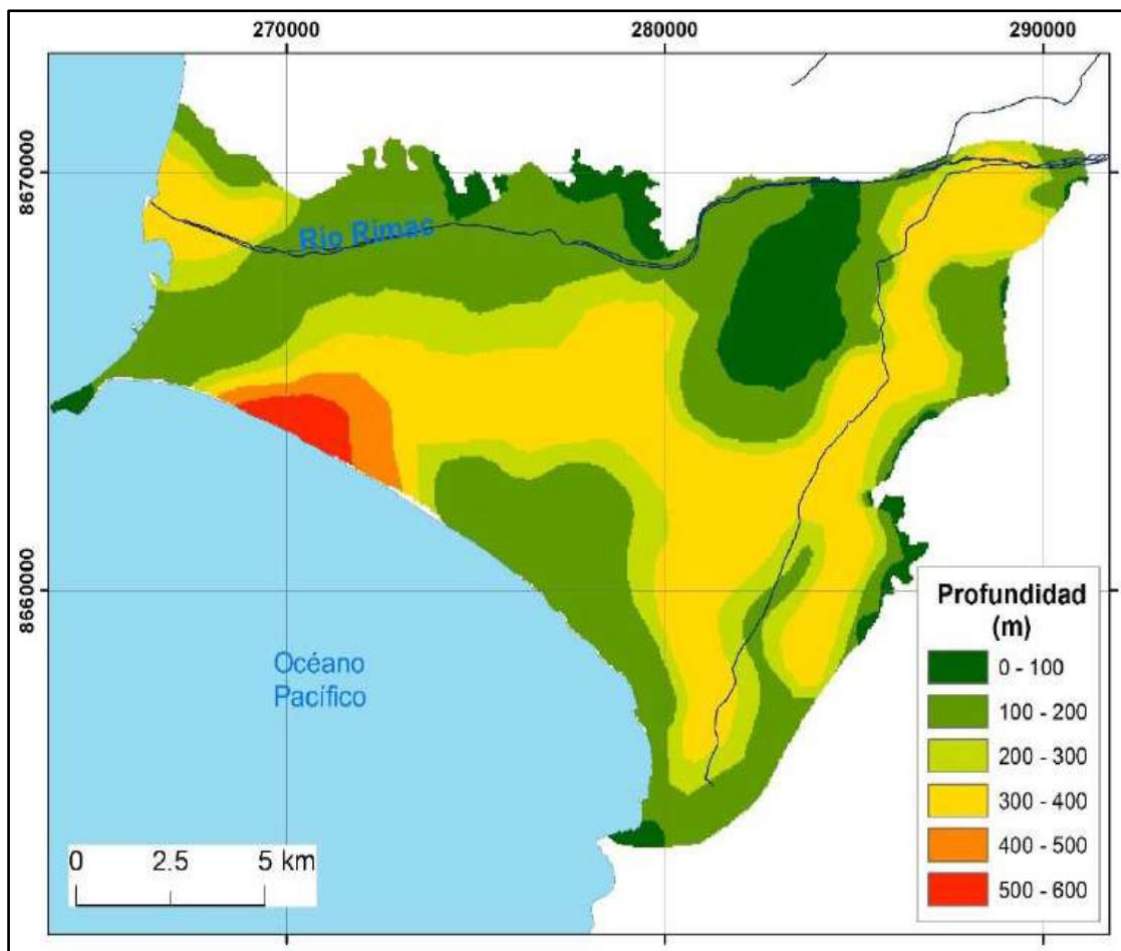


Figura 30. Mapa de profundidad del sustrato rocoso del aluvial de Lima, interpretado de mediciones de resistividad eléctrica del terreno. Villacorta 2019, modificado de Arce (1984).

Después de una detallada revisión de la información geofísica recibida del IGP, se ha escogido los datos de sísmica y tomografía como los más representativos del subsuelo para poder ser correlacionados con la información geológica de columnas y correlaciones estratigráficas de los acantilados, de tal manera de buscar coincidencias o contrastes que permitan alcanzar una interpretación razonable del subsuelo del área de estudio usando diferentes fuentes de información.

En el distrito de San Miguel, en base a la sísmica de refracción, en la zona del Parque Wallenberg (figura 31) se puede identificar la presencia de 3 capas, las cuales en función de las velocidades de ondas de compresión (V_p) tienen las siguientes características (IGP, 2021):

- 2 a 4 m de material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
- 9 a 18 m de material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados
- Mayor a 25 m de material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

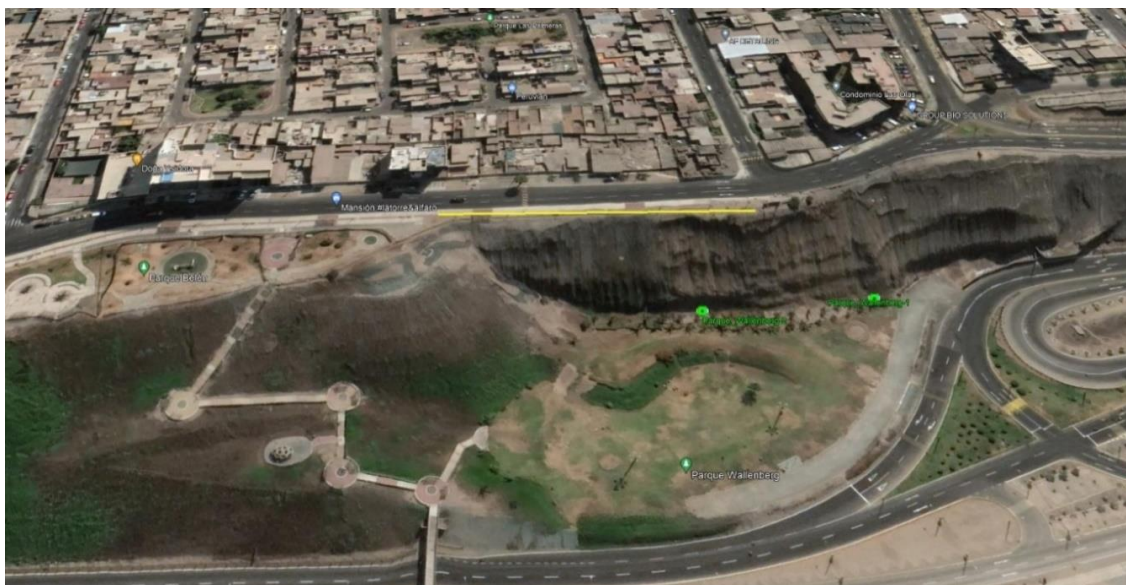


Figura 31. Foto del Acantilado de la Costa Verde y ubicación de la Línea Sísmica de Refracción RS06-SM a la altura del Parque Wallenberg en el distrito de San Miguel.

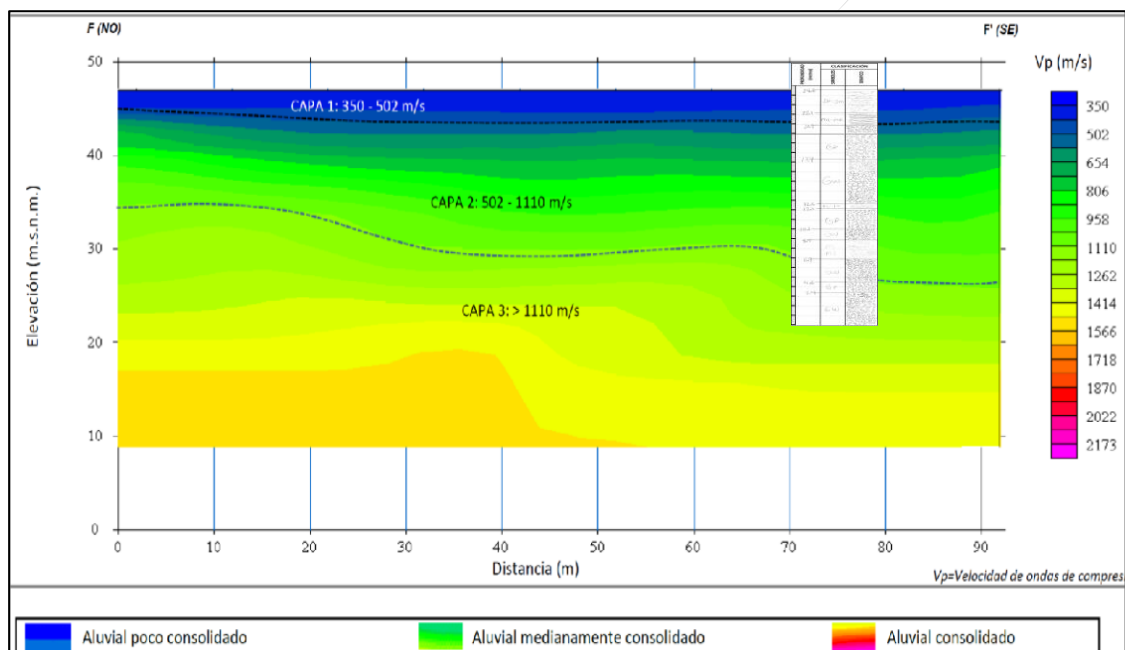


Figura 32. Línea Sísmica de Refracción RS06-SM a la altura del Parque Wallenberg y columna estratigráfica levantada por INGGEMMET en la zona (Modificado de IGP, 2021)

En los límites de dicha zona, se tiene una columna estratigráfica medida, la cual fue graficada en su ubicación respectiva debajo de la línea sísmica de refracción (figura 32), la misma que muestra que en los primeros 2.5 m justamente se presenta material de limos cubiertos por una capa delgada de suelos poco consolidados, lo cual tiene correlación con lo interpretado en la sísmica justamente como capas poco consolidadas.

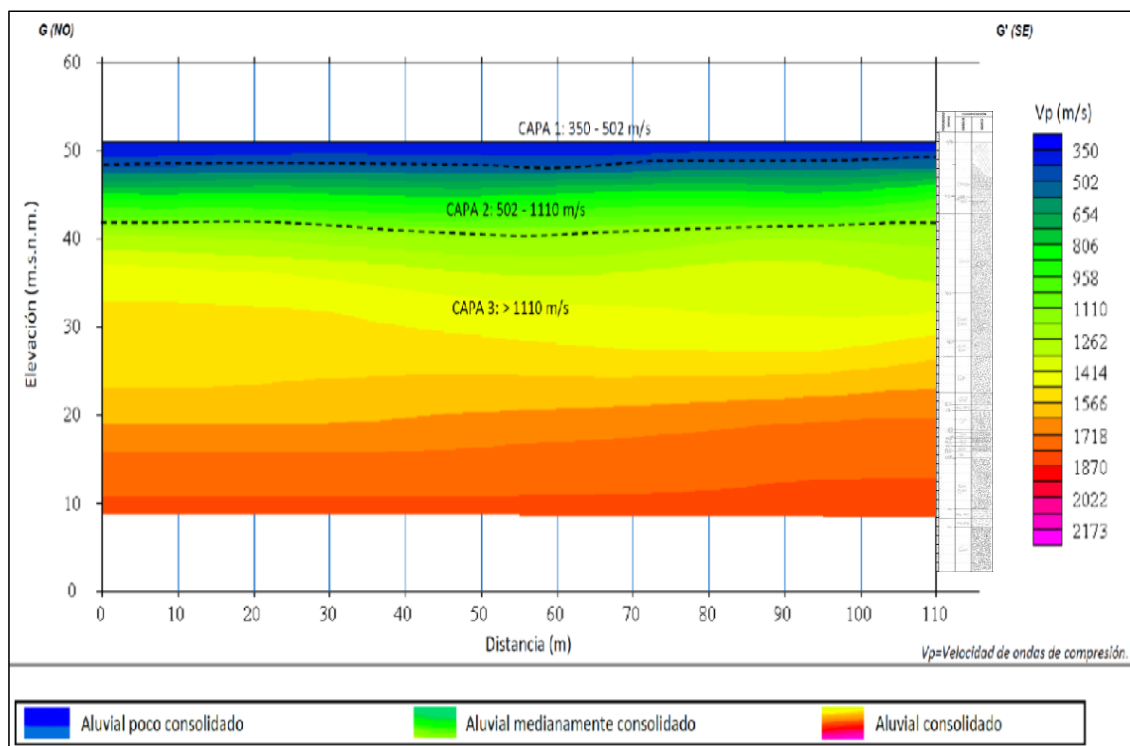
También el distrito de San Miguel, en la zona del Puente Bertolotto (figura 33) se puede identificar también la presencia de 3 capas, las cuales en función de las velocidades de ondas de compresión (V_p) han sido divididas en los siguientes espesores (IGP, 2021):



Figura 33. Foto amplia del Acantilado de la Costa Verde y ubicación de la Línea Sísmica de Refracción RS07-SM a la altura del Puente Bertolotto en el distrito de San Miguel (Tomado de IGP, 2021).

- 3 a 4 m de material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
- 6 a 9 m de material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados
- Mayor a 35 m de material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Hacia el final de dicha línea, se tiene una columna estratigráfica medida, la cual fue graficada en su ubicación respectiva debajo de la línea sísmica de refracción (figura 34), la misma que muestra que en los primeros 4 m justamente se presenta material de rellenos antropogénicos poco consolidados, lo cual tiene correlación con lo interpretado en la sísmica.



Ya en el distrito de Magdalena, a la altura del coliseo Aldo Chamochumbi (figura 33) se registró la línea sísmica de refracción RS04-MG (figura 35).

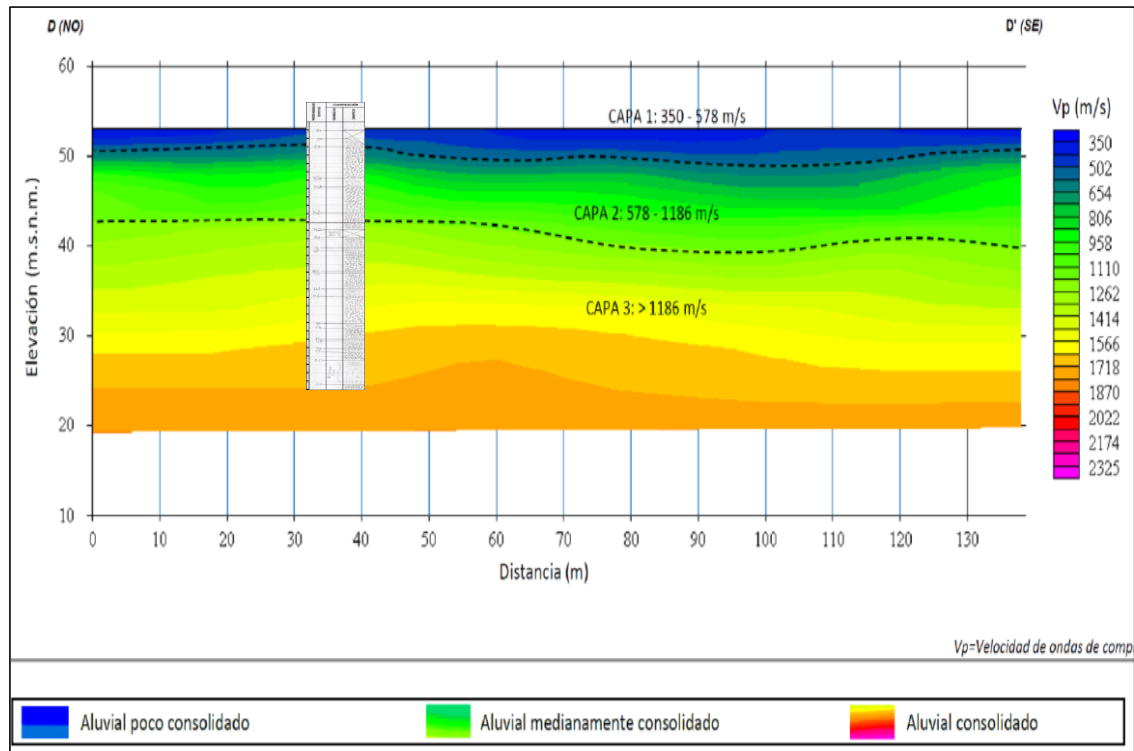


En dicha zona se puede hacer la identificación de las 3 capas mencionadas anteriormente, discriminadas en función de las velocidades de ondas de compresión (Vp), cuyos espesores obtenidos son los siguientes (IGP, 2021):

- 2 a 4 m de material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.

- 25 a 30 m de material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
- Mayor a 25 m de material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Hacia la zona lateral norte de dicha línea, se tiene una columna estratigráfica medida, la cual fue graficada en su ubicación respectiva debajo de la línea sísmica de refracción (figura 36), la misma que muestra que en los primeros 2 m aproximadamente, presenta material de rellenos antropogénicos y debajo una capa de aproximadamente de 1 m de limo arenoso, lo cual tiene correlación con lo interpretado en la sísmica que muestra una capa de 3 m de espesor de material poco consolidado.



También allí en el distrito de Magdalena, un poco más al sur, sobre la parte posterior del complejo Residencial Marbella se registró la línea sísmica de refracción RS02-MG (figura 37), la misma que está ubicada sobre un afloramiento de rocas bien expuesto y cortado por una escalera.

En dicha zona se puede hacer la identificación de las 3 capas mencionadas anteriormente, discriminadas en función de las velocidades de ondas de compresión (Vp), cuyos espesores obtenidos son los siguientes (IGP, 2021):



Figura 37. Foto del Acantilado de la Costa Verde y ubicación de la Línea Sísmica de Refracción RS02-MG a la altura de la parte posterior del complejo residencial Marbella en el distrito de Magdalena (Tomado de IGP, 2021).

- 1 a 4 m de material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
- 5 a 12 m de material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
- Mayor a 40 m de material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

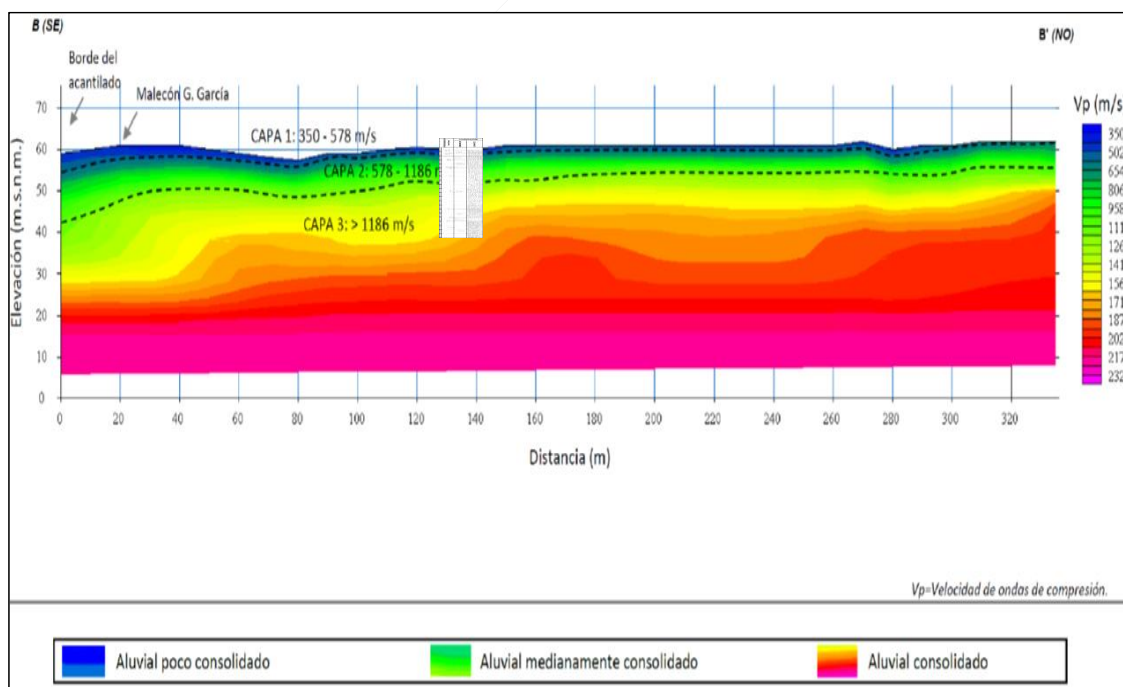


Figura 38. Línea Sísmica de Refracción RS04-MG altura de la parte posterior del complejo residencial Marbella y columna estratigráfica levantada por INGEMMET en la zona (Modificado de IGP, 2021).

Hacia la zona central de dicha línea, se tiene una columna estratigráfica medida, la cual fue graficada en su ubicación respectiva debajo de la línea sísmica de refracción (figura

38), la misma que muestra en dicho punto que en los primeros ausencia de material de rellenos antropogénicos y arranca con litología de graves (conglomerados), lo cual tiene correlación con lo interpretado en la sísmica que muestra una capa de muy delgada de material poco consolidado.

Un poco más al sur, ya en el distrito de San Isidro, muy cerca al límite distrital con Magdalena, en la zona conocida como Malecón Godofredo García se registró la línea sísmica de refracción RS09-MG (figura 39), la misma que está ubicada sobre zona de material de relleno que el municipio de San Isidro ha trabajado para su forestación vegetal en forma de terraplenes de andenería.



Figura 39. Foto del Acantilado de la Costa Verde y ubicación de la Línea Sísmica de Refracción RS09-MG en el distrito de San Isidro muy cerca al límite distrital con Magdalena (Tomado de IGP, 2021).

En dicha zona se puede hacer la identificación de las 3 capas mencionadas anteriormente, discriminadas en función de las velocidades de ondas de compresión (V_p), cuyos espesores obtenidos son los siguientes (IGP, 2021):

- 6 a 8 m de material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
- 12 a 14 m de material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
- Mayor a 8 m de material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

En esta zona no se tiene ninguna columna estratigráfica medida, justamente porque los afloramientos son en su gran mayoría de suelos rellenos, lo cual tiene correlación con lo interpretado en la sísmica que muestra una capa gruesa de material poco consolidado de hasta 8 metros de espesor y también hasta 14 m de material medianamente consolidado (figura 39).

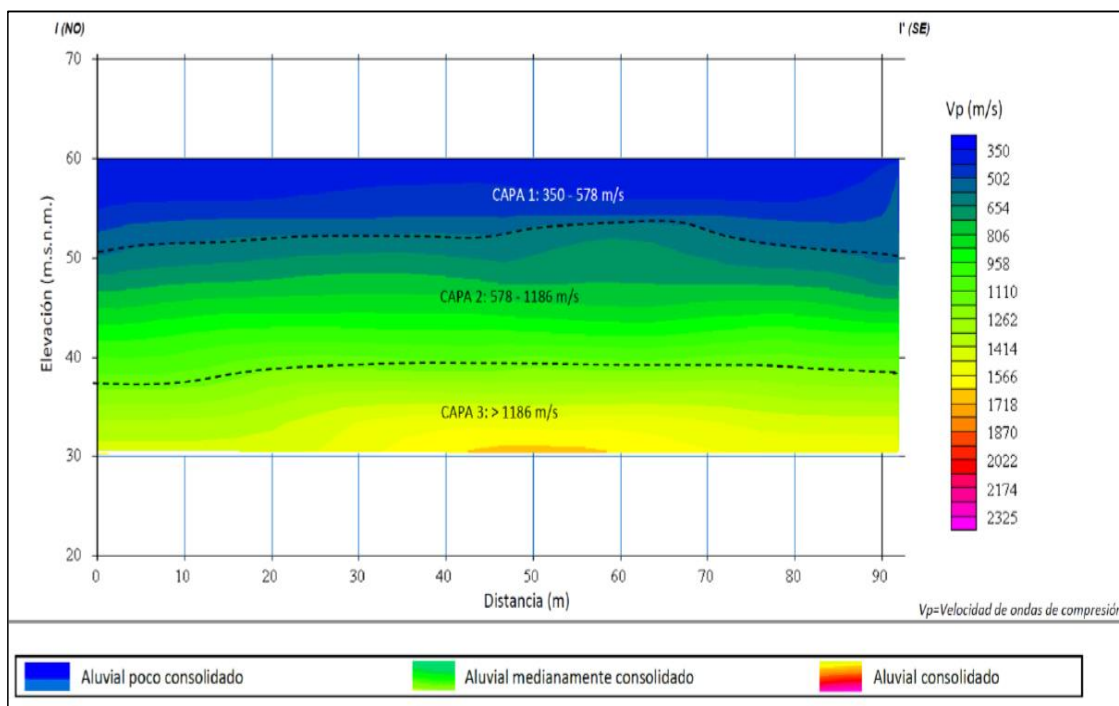


Figura 40. Línea Sísmica de Refracción RS09-MG a la altura del Malecón Godofredo García en el distrito de San Isidro muy cerca al límite distrital con Magdalena (Tomado de IGP, 2021).

En el distrito de Miraflores, se han identificado 5 zonas donde coinciden la presencia de datos de refracción sísmica y columnas estratigráficas. Así en la zona del coliseo Manuel Bonilla y museo de La Memoria (figura 39) se puede identificar la presencia de 3 capas, las cuales en función de las velocidades de ondas de compresión (V_p) tienen las siguientes características (IGP, 2021):

- 4 a 10 m de material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
- 7 – 26 m de material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
- Mayor a 40 m de material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.



Figura 41. Foto del Acantilado de la Costa Verde y ubicación de la Línea Sísmica de Refracción RS10-MR a la altura del coliseo M. Bonilla en el distrito de Miraflores (Tomado de IGP, 2021).

En los límites de dicha zona, se tienen tres columnas estratigráficas medidas, la cual fue graficada en su ubicación respectiva debajo de la línea sísmica de refracción (figura 42), la misma que muestra que en los primeros presenta material poco consolidados, lo cual tiene correlación con lo observado en campo donde hacia el norte hay material de relleno y hacia el sur el material predominante es de rocas (gravas) mayormente consolidadas.

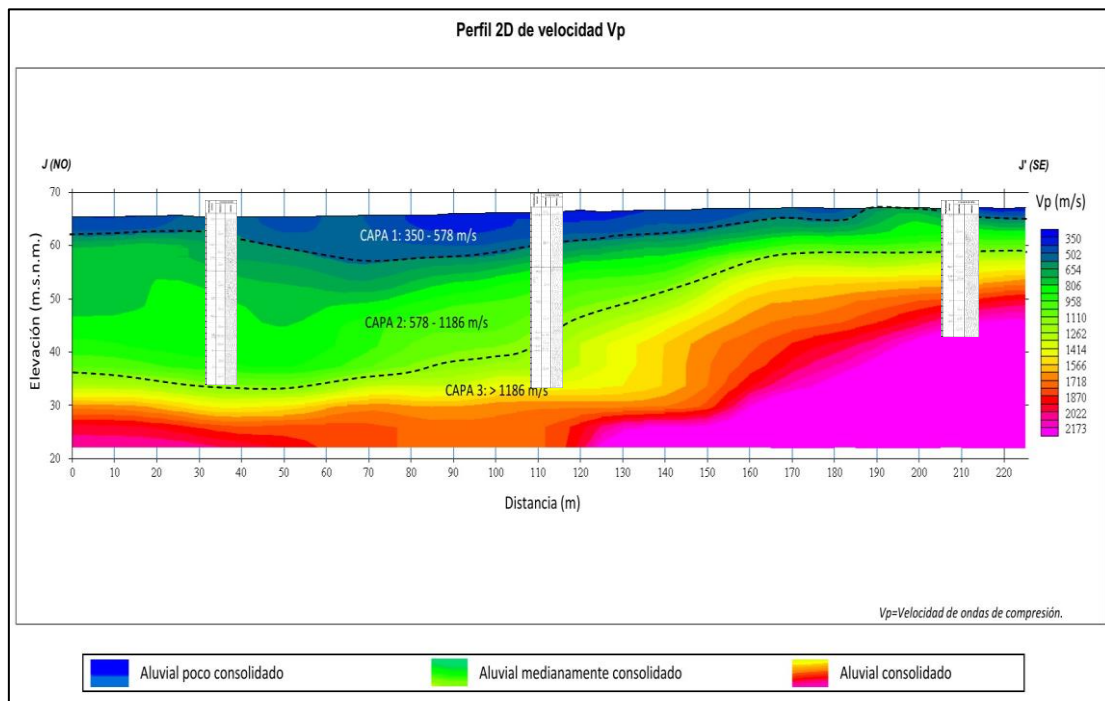


Figura 42. Línea Sísmica de Refracción RS10-MR a la altura del coliseo Manuel Bonilla y tres columnas estratigráficas levantadas por INGEMMET en la zona (Modificado de IGP, 2021)

También el distrito de Miraflores, un poco más al sur en la zona del Malecón de La Marina (figura 43) se puede identificar también la presencia de 3 capas, las cuales en función de las velocidades de ondas de compresión (V_p) han sido divididas en los siguientes espesores (IGP, 2021):

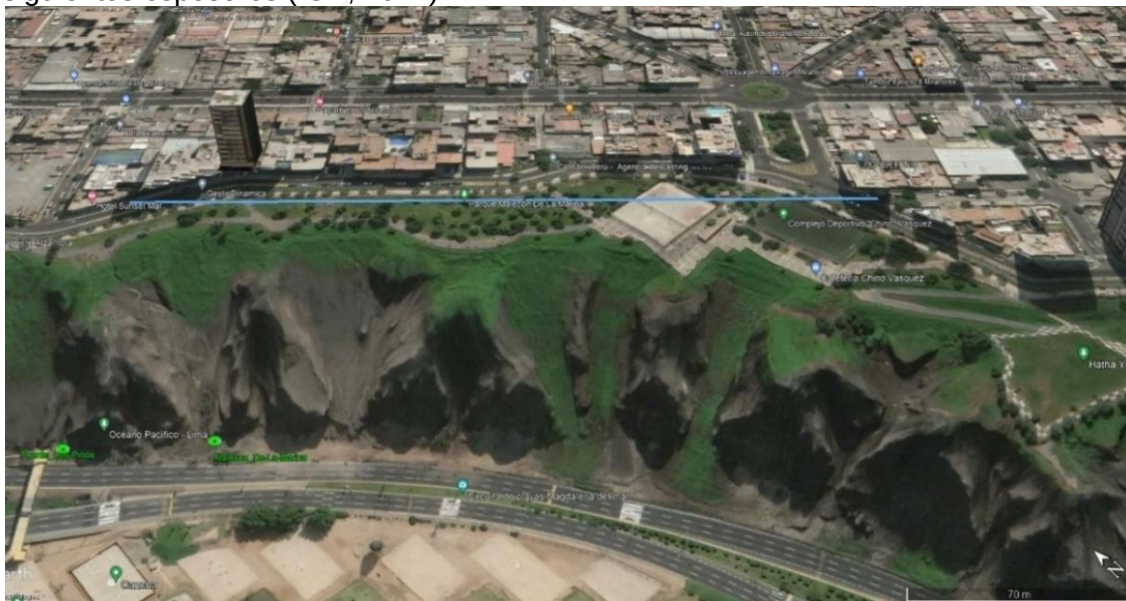


Figura 43. Foto del Acantilado de la Costa Verde y ubicación de la Línea Sísmica de Refracción RS11-MR a la altura del Museo de la Memoria en el distrito de Miraflores (Tomado de IGP, 2021).

- 1 a 2 m de material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
- 5 a 10 m de material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados
- Mayor a 30 m de material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

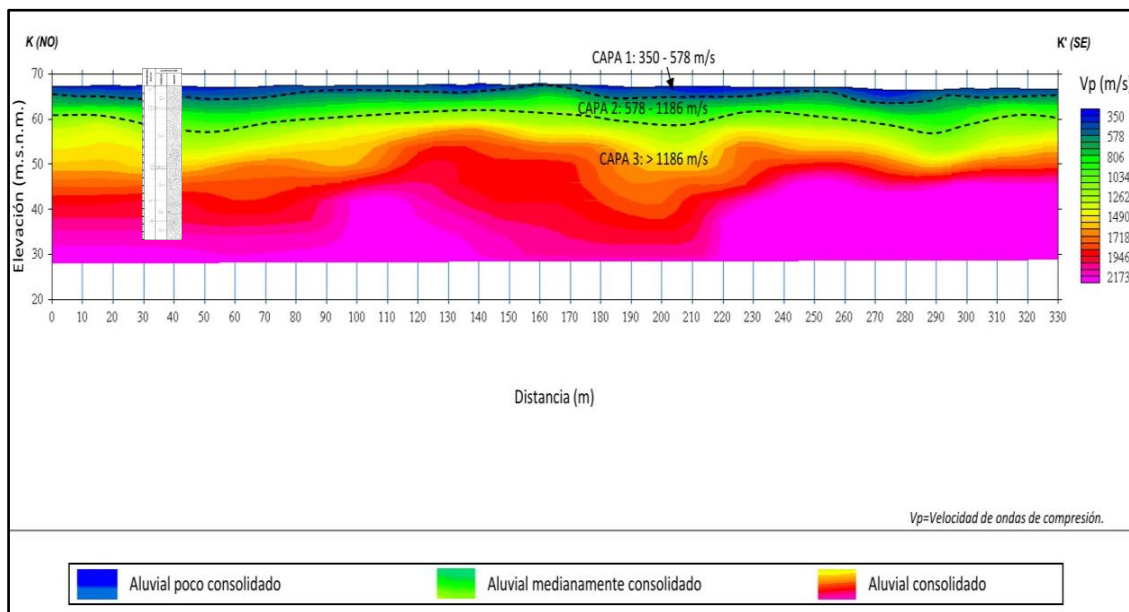


Figura 44. Línea Sísmica de Refracción RS11-MR registrada el parque del Malecón de La Marina y columna estratigráfica levantada por INGEMMET en la zona (Modificado de IGP, 2021).

Hacia el norte de dicha línea, se tiene una columna estratigráfica medida, la cual fue graficada en su ubicación respectiva debajo de la línea sísmica de refracción (figura 44), la misma que muestra que en los primeros metros, la capa poco consolidada, es en general más delgada y su composición en subsuelo es mayoritariamente gravoso.

También en Miraflores, a la altura del Parque María Reiche (figura 44) se registró la línea de sísmica de refracción RS15-MIR (figura 45).

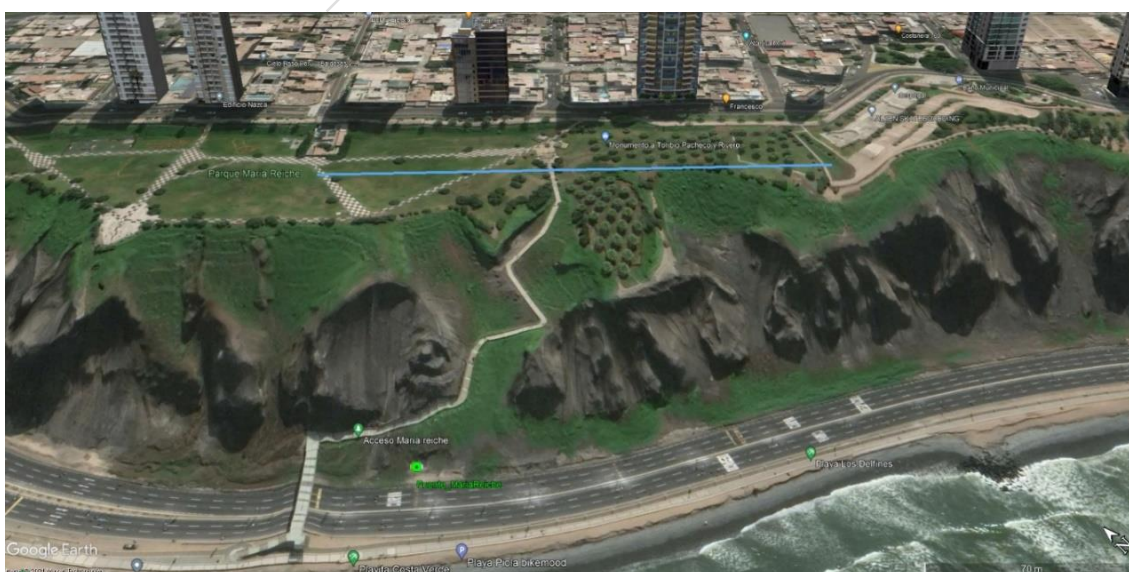


Figura 45. Vista del Acantilado de la Costa Verde y ubicación de la Línea Sísmica de Refracción RS15-MR a la altura del Parque María Reiche en el distrito de Miraflores (Tomado de IGP, 2021).

En dicha zona se puede hacer la identificación de las 3 capas mencionadas anteriormente, discriminadas en función de las velocidades de ondas de compresión (V_p), cuyos espesores obtenidos son los siguientes (IGP, 2021):

- 1 a 2 m de material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
- 4 a 12 m de material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
- Mayor a 35 m de material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Hacia la zona lateral norte de dicha línea, se tiene una columna estratigráfica medida, la cual fue graficada en su ubicación respectiva debajo de la línea sísmica de refracción (figura 46), la misma que muestra que los primeros metros de espesor, de material poco consolidado, es una capa delgada que inclusive no fue medida en la columna, sino interpretada como una capa fina del relleno antrópico presente en dicha zona.

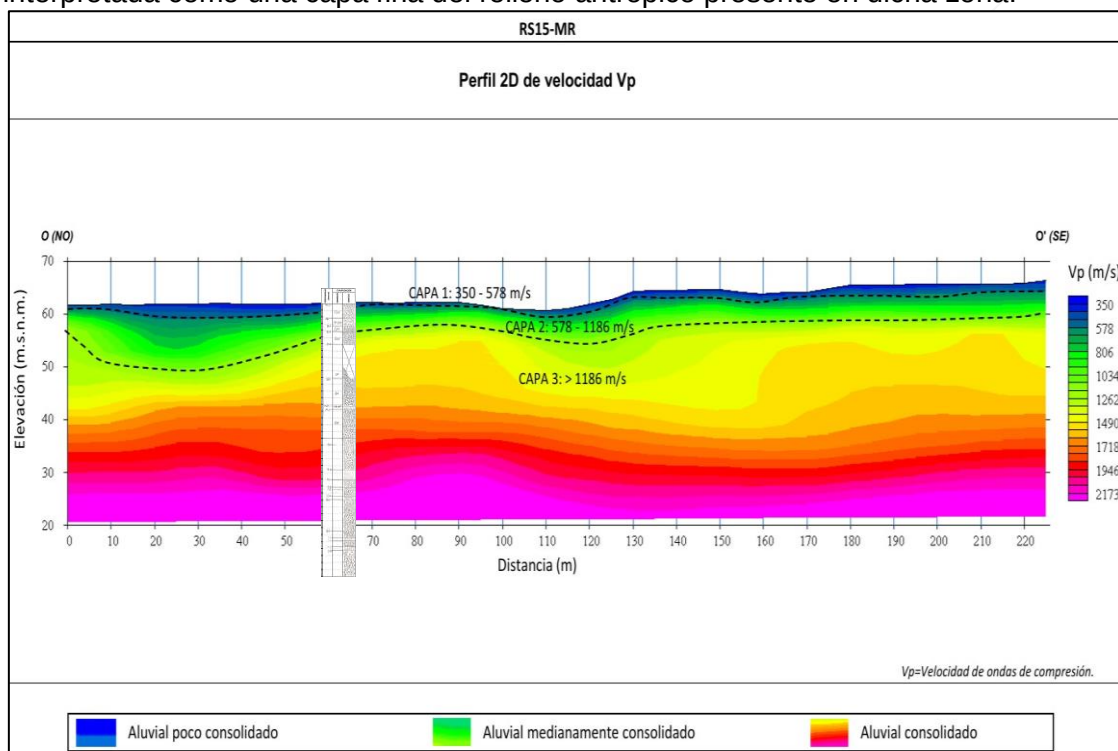


Figura 46. Línea Sísmica de Refracción RS15-MR a la altura del Parque María Reiche en el distrito de Miraflores y columna estratigráfica levantada por INGEMMET en la zona (Modificado de IGP, 2021).

También en el distrito de Miraflores, un poco más al sur, sobre la parte sur del puente de los Suspiros (Bajada Balta) zona de Makaha, se registró la línea sísmica de refracción RS31-MR (figura 47). En dicha zona se puede hacer la identificación de las 3 capas mencionadas anteriormente (Figura 46), discriminadas en función de las velocidades de ondas de compresión (V_p), cuyos espesores obtenidos son los siguientes (IGP, 2021):

- 2 a 6 m de material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
- 7 a 12 m de material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
- Mayor a 30 m de material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.



Figura 47. Foto del Acantilado de la Costa Verde y ubicación de la Línea Sísmica de Refracción RS31-MR a la altura de la playa Makaha en Miraflores (Tomado de IGP, 2021).

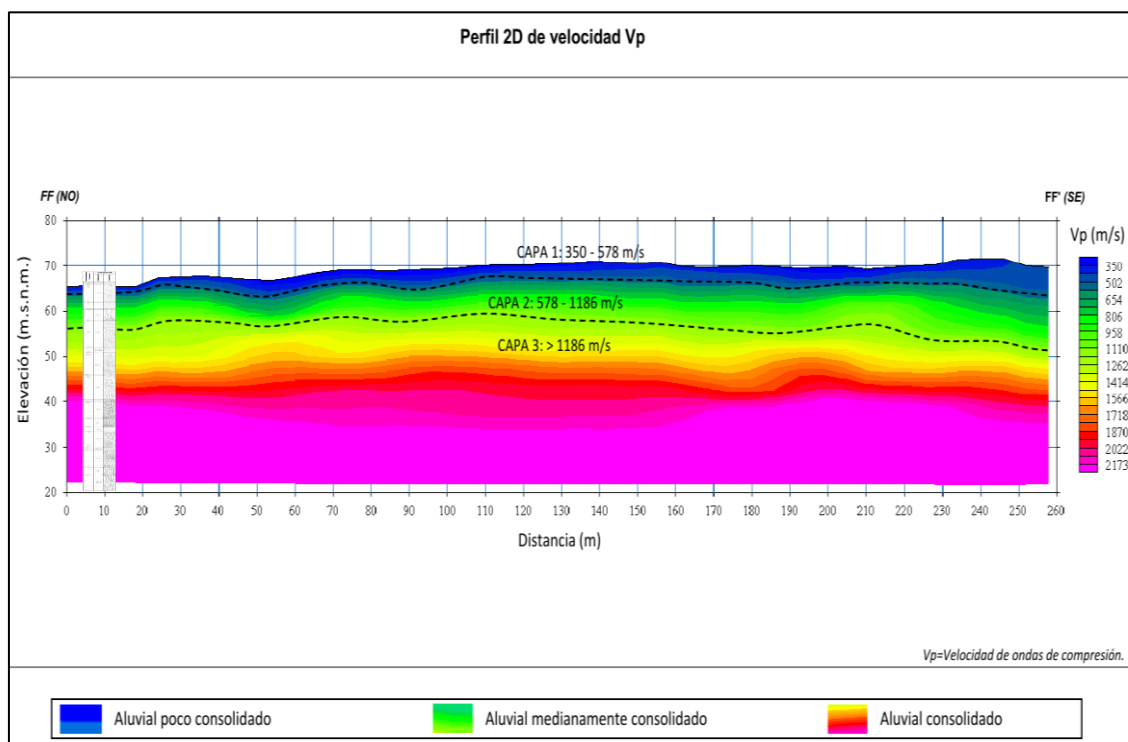


Figura 48. Línea Sísmica de Refracción RS31-MR altura de la playa Makaha en Miraflores y columna estratigráfica levantada por INGGEMMET en la zona (Modificado de IGP, 2021).

Hacia la zona norte de dicha línea, se tiene una columna estratigráfica medida, la cual fue graficada en su ubicación respectiva debajo de la línea sísmica de refracción (Figura 48), la misma que muestra que los primeros metros de espesor, que el material poco consolidado, es en una capa delgada que inclusive no fue medida en la columna, sino interpretada como una capa fina del relleno antrópico presente en dicha zona.

También en el distrito de Miraflores, un poco más al sur, a la altura de la playa Redondo, se registró la línea sísmica de refracción RS35-MR (figura 49). En dicha zona se puede hacer la identificación de las 3 capas mencionadas anteriormente discriminadas en

función de las velocidades de ondas de compresión (V_p), cuyos espesores obtenidos son los siguientes (IGP, 2021):

- 3 a 8 m de material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
- 8 - 18 m de material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
- Mayor a 30 m de material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

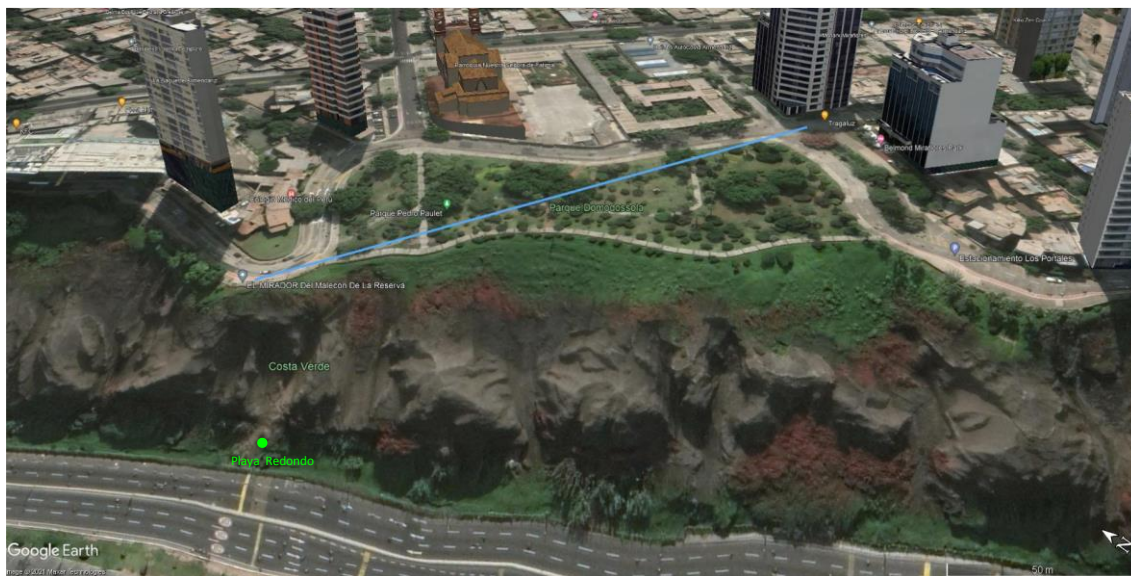


Figura 49. Vista del Acantilado de la Costa Verde y ubicación de la Línea Sísmica de Refracción RS35-MG a la altura de la playa Redondo en Miraflores (Tomado de IGP, 2021).

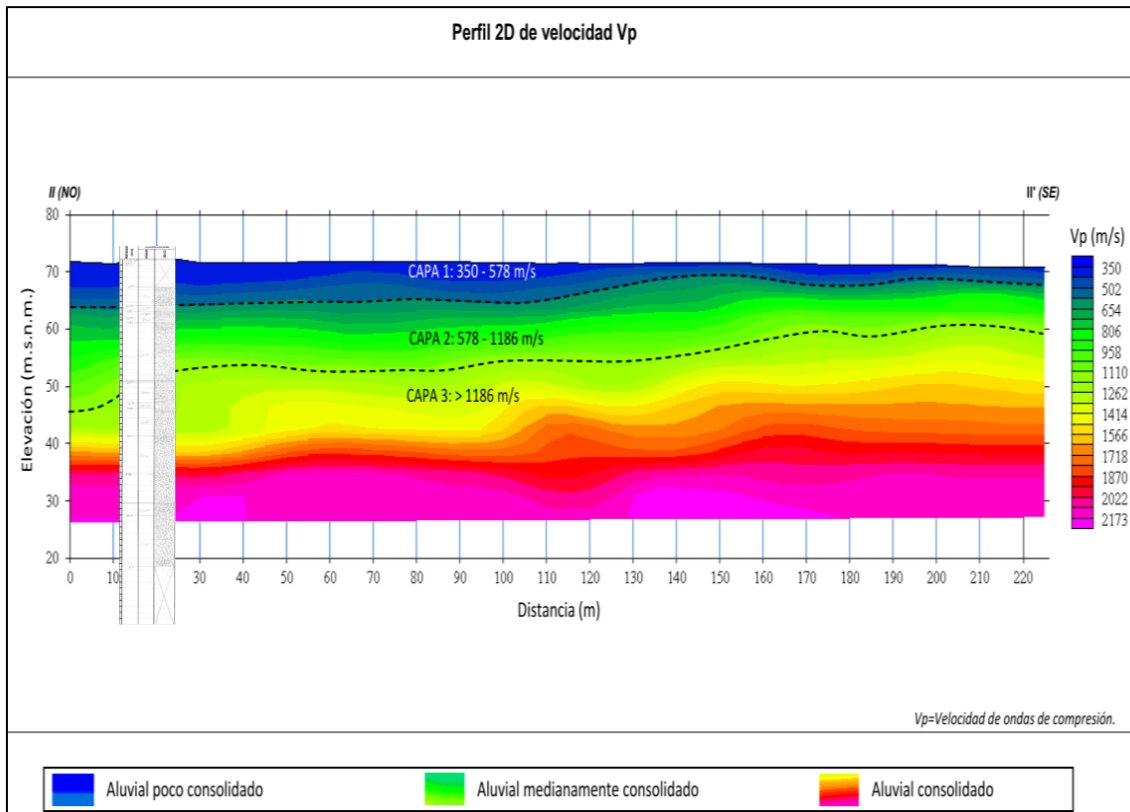


Figura 50. Línea Sísmica de Refracción RS35-MR altura de la playa Redondo en Miraflores y columna estratigráfica levantada por INGEMMET en la zona (Modificado de IGP, 2021).

Hacia la zona norte de dicha línea, se tiene una columna estratigráfica medida, la cual fue graficada en su ubicación respectiva debajo de la línea sísmica de refracción (figura 50), la misma que muestra que en los primeros 7 m de espesor existe un material de relleno antrópico y que coincide muy bien en espesores con la capa poco consolidada identificada en la sísmica,

Un poco más al sur, ya en el distrito de Barranco, en el lado sur de la quebrada Armendáriz, se registró la línea sísmica de refracción RS01-BR (figura 51), la misma que está ubicada sobre zona donde se puede apreciar las secuencias estratigráficas en ambos sentidos.

En dicha zona también se puede hacer la identificación de las 3 capas mencionadas anteriormente, discriminadas en función de las velocidades de ondas de compresión (Vp), cuyos espesores obtenidos son los siguientes (IGP, 2021):

- 1 a 5 m de material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
- 7 a 14 m de material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
- Mayor a 40 m de material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.



Figura 51. Foto del Acantilado de la Costa Verde y ubicación de la Línea Sísmica de Refracción RS01-BR a la altura de la bajada Armendáriz en el distrito de Barranco (Tomado de IGP, 2021).

Hacia el límite sur de dicha línea, se tiene una columna estratigráfica medida, la cual fue graficada en su ubicación respectiva debajo de la línea sísmica de refracción (figura 52), la misma que muestra que en los primeros metros de espesor existe una capa de material de relleno antrópico muy delgada, la misma que coincide con el espesor delgada de la capa poco consolidada identificada en las velocidades de la sísmica de refracción.

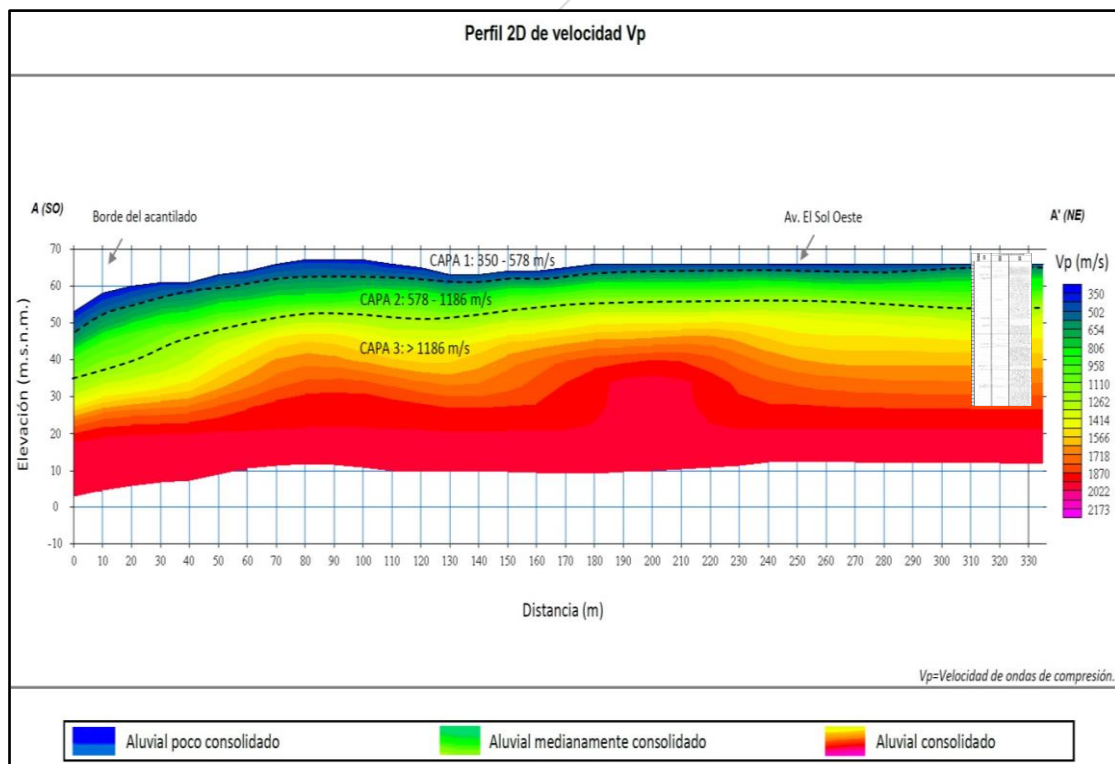


Figura 52. Línea Sísmica de Refracción RS01-BR a la altura de la bajada Armendáriz en el distrito de Barranco y columna estratigráfica levantada por INGEMMET en la zona (Modificado de IGP, 2021).

Un poco más al sur, también en el distrito de Barranco, se registró la línea sísmica de refracción RS03-BR (figura 53) a la altura de la playa Barranquito.



Figura 53. Foto del Acantilado de la Costa Verde y ubicación de la Línea Sísmica de Refracción RS03-BR a la altura de la Playa Barranquito en el distrito de Barranco (Tomado de IGP, 2021).

En dicha zona también se puede hacer la identificación de las 3 capas mencionadas anteriormente, discriminadas en función de las velocidades de ondas de compresión (V_p), cuyos espesores obtenidos son los siguientes (IGP, 2021):

- 2 a 5 m de material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
- 10 a 13 m de material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
- Mayor a 20 m de material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Hacia el límite sur de dicha línea, se tiene una columna estratigráfica medida, la cual fue graficada en su ubicación respectiva debajo de la línea sísmica de refracción (figura 54), la misma que muestra que en los primeros metros de espesor existe una capa de material de relleno antrópico muy delgada, la misma que incrementa de espesor hacia el norte.

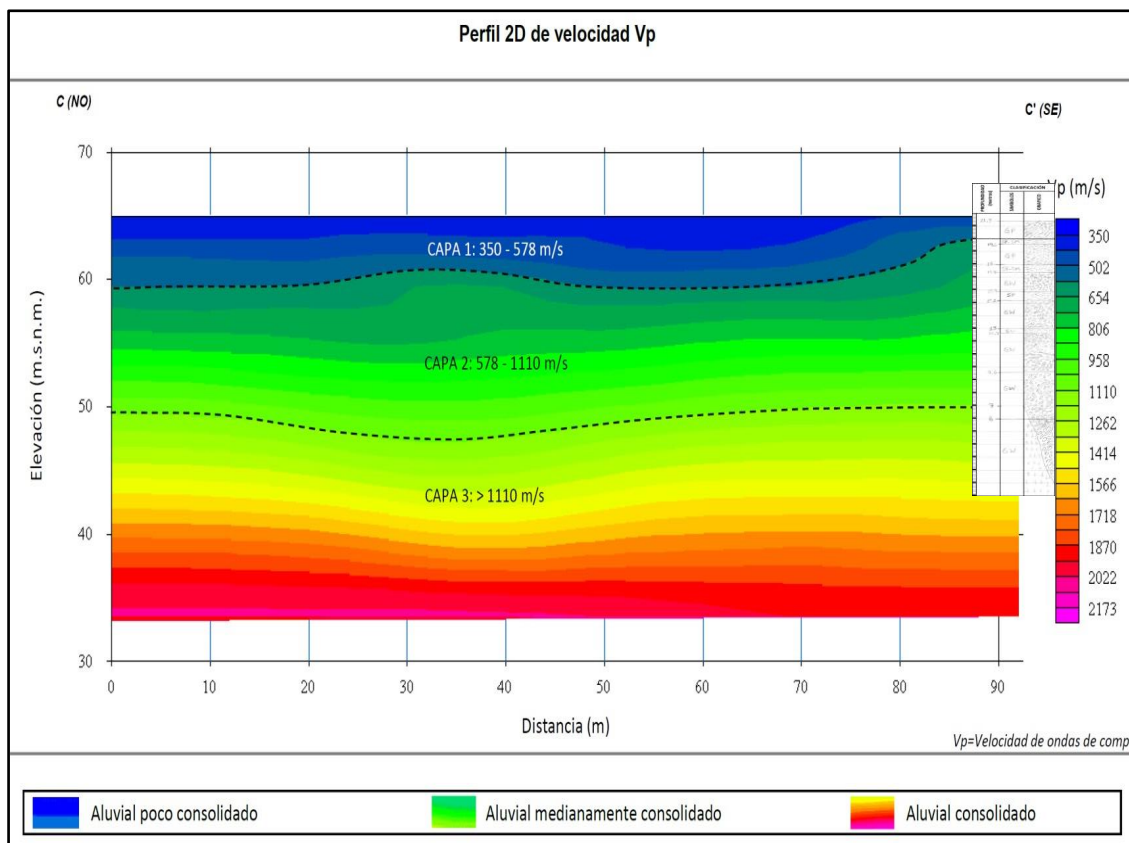


Figura 54. Línea Sísmica de Refracción RS03-BR a la altura de la bajada Armendáriz en el distrito de Barranco y columna estratigráfica levantada por INGEMMET en la zona (Modificado de IGP, 2021).

Más hacia el sur, también en el distrito de Barranco, se registró la línea sísmica de refracción RS04-BR (figura 54) a la altura del restaurante Cala. Es una línea corta de 69 m de longitud que permitió investigar casi 30 m de profundidad.

En dicha zona también se puede hacer la identificación de las 3 capas mencionadas anteriormente, discriminadas en función de las velocidades de ondas de compresión (Vp), cuyos espesores obtenidos son los siguientes (IGP, 2021):

- 1 a 7 m de material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
- 7 a 14 m de material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
- Mayor a 15 m de material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.



Figura 55. Foto del Acantilado de la Costa Verde y ubicación de la Línea Sísmica de Refracción RS04-BR a la altura del restaurante Cala en el distrito de Barranco (Tomado de IGP, 2021).

Hacia el límite sur de dicha línea, se tiene una columna estratigráfica medida, la cual fue graficada en su ubicación respectiva debajo de la línea sísmica de refracción (figura 55), la misma que muestra que en los primeros metros de espesor existe una capa de material de relleno antrópico muy delgada, la misma que coincide con el espesor delgada de la capa poco consolidada identificada en las velocidades de la sísmica de refracción.

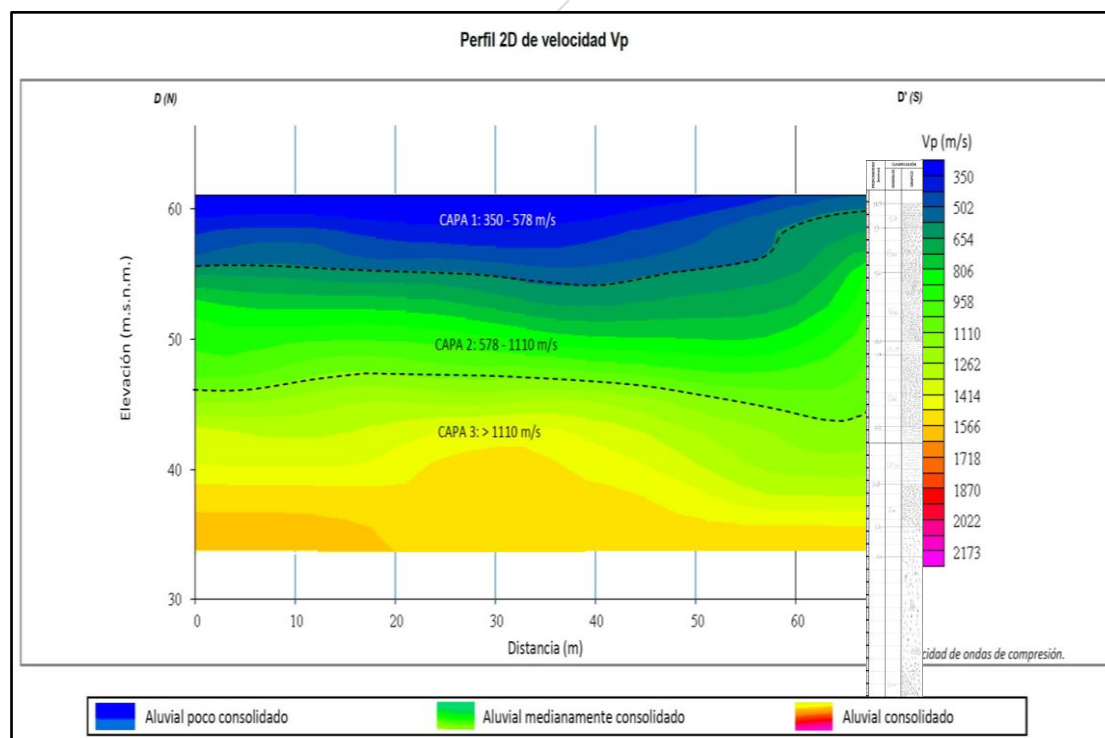


Figura 56. Línea Sísmica de Refracción RS04-BR a la altura del restaurante Cala en el distrito de Barranco y columna estratigráfica levantada por INGEMMET en la zona (Modificado de IGP, 2021).

Finalmente, en el distrito de Chorrillos se registró la línea sísmica de refracción RS05-CH (figura 57) a la altura de la escalera Tenderini y el Club Regatas. En dicha zona también se puede hacer la identificación de las 3 capas mencionadas anteriormente, discriminadas en función de las velocidades de ondas de compresión (V_p), cuyos espesores obtenidos son los siguientes (IGP, 2021):

- 6 a 9 m de material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
- 8 a 11 m de material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
- Mayor a 10 m de material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.



Figura 57. Acatilado de la Costa Verde y ubicación de la Línea Sísmica de Refracción RS05-CH a la altura de la escalera Tenderini en el distrito de Chorrillos (Tomado de IGP, 2021).

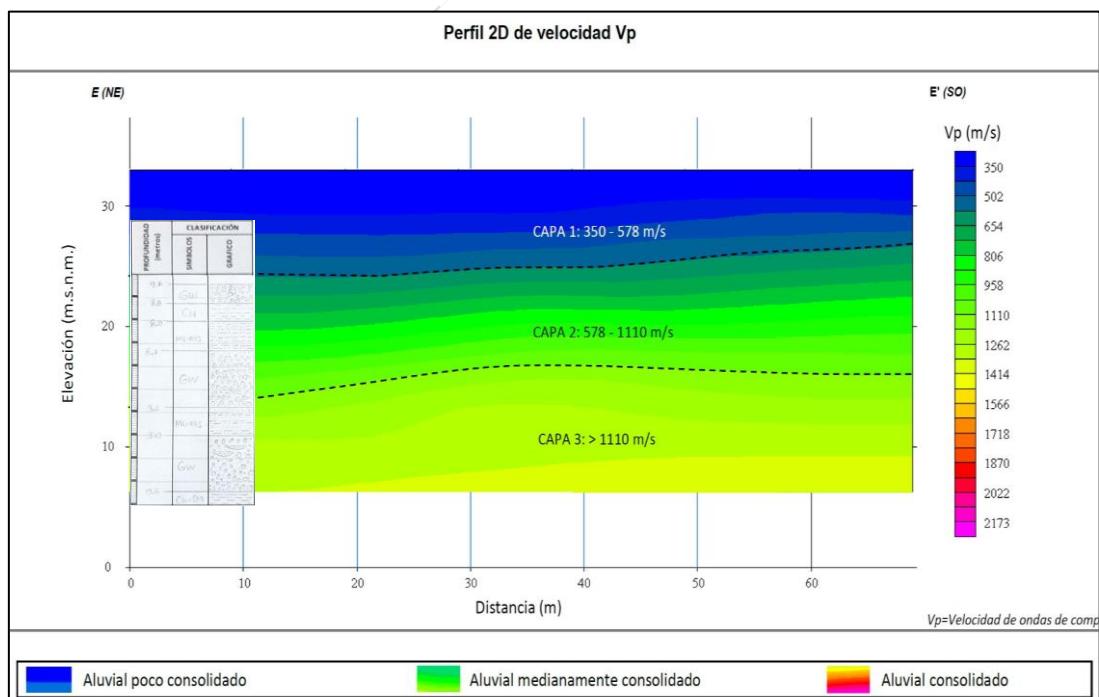


Figura 58. Línea Sísmica de Refracción RS05-CH a la altura de la escalera Tenderini en el distrito de Chorrillos y columna estratigráfica levantada por INGENMET en la zona (Modificado de IGP, 2021).

Hacia la el límite norte de dicha línea, se tiene una columna estratigráfica medida, la cual fue graficada en su ubicación respectiva debajo de la línea sísmica de refracción (Figura 56), la misma que muestra que en los primeros metros de espesor existe una capa potente de material de relleno antrópico, mientras que a mayor profundidad se tienen los horizontes estratigráficos de gravas intercaladas con arenas y limos que coinciden con la capa de material medianamente consolidada identificada en las velocidades de la sísmica de refracción en dicha línea sísmica.

Por otra parte, el método de Tomografía Eléctrica permite investigar las variaciones de resistividad y conductividad eléctrica de las rocas y suelos para conocer la ubicación de los niveles freáticos en su estructura.

Los materiales que conforman el subsuelo varían en rangos de valores de resistividad que dependen principalmente conductividad de las partículas, la porosidad del suelo o roca y del contenido de agua o de sales disueltas en las fracturas de las rocas (IGP, 2021).

A continuación, se muestran los perfiles geoelectricos con información más resaltante. Por ejemplo, en la zona del distrito de San Miguel, entre el parque Belén (Parte superior sobre el parque Wallenberg) y la proyección de la calle Comandante Espinar (zona central), se observa dos zonas anómalas (figura 59), una que va hacia el norte la presencia de horizontes con alto contenido de humedad y la otra hacia el sur con moderado a bajo contenido de humedad con un espesor de hasta 45 m.

Se observa y se interpreta que el alto grado de humedad presente en las capas superficiales se debe a la presencia de grandes áreas verdes, que son regadas continuamente y justamente muestran una marcada diferencia entre lo que es material de relleno antrópico (húmedo) hacia el norte del perfil y los suelos in situ de los acantilados del aluvial de Lima, moderadamente seco en este sector, hacia el sur del perfil.

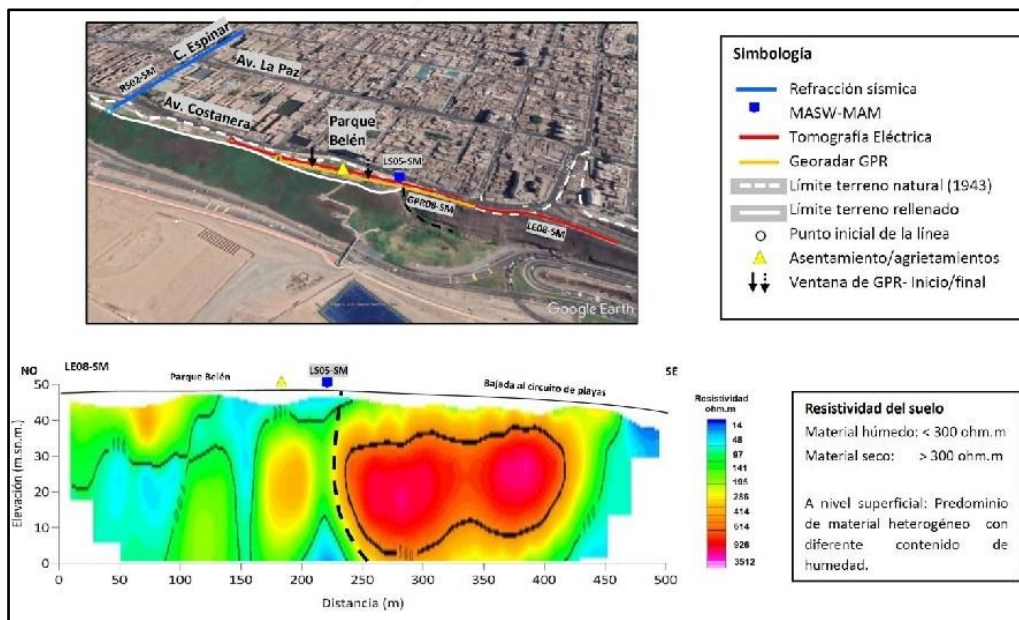


Figura 59. Perfil Geoelectrico LE08-SM ubicado a la altura del parque Belén (sobre el malecón) y el Parque Wallenberg (abajo en la Costa Verde) (Tomado de IGP, 2021).

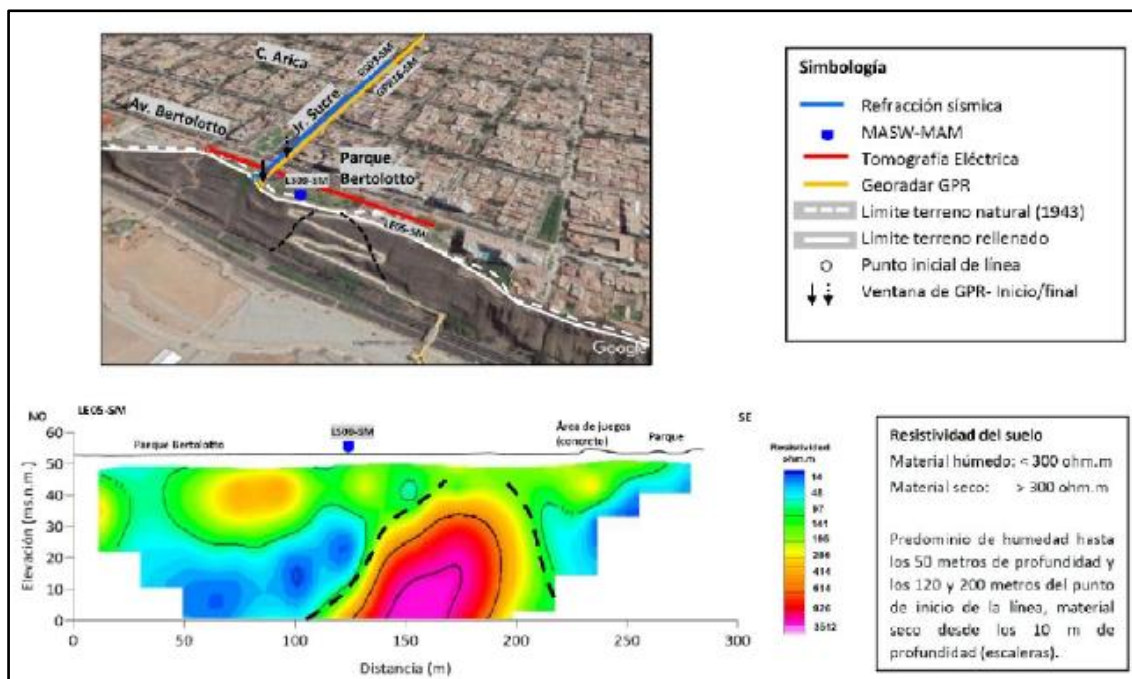


Figura 60. Perfil Geoeléctrico LE05-SM ubicado a la altura de la Bajada Bertolotto (Tonado de IGP, 2021).

En la Av. Bertolotto se ha identificado la existencia de un horizonte geoeléctrico de mayor resistividad (figura 58), con bajo contenido de humedad, justo enfrente de la escalera que baja hacia la Costa Verde. Mientras que hacia los extremos se pueden observar la presencia de un depósito con moderado a alto contenido de humedad.

En el distrito de Magdalena del Mar, el límite del acantilado, entre la zona del Malecón Castagnola y el Jr. Leoncio Prado (figura 59 izquierda), se ha identificado la existencia de horizontes geoeléctricos con alto a moderado contenido de humedad y espesores de 20 a 35 m, lo cual contribuye a la generación de deslizamientos, tal como ocurrió en el año 2019 en dicho Malecón a la altura del coliseo Chamochumbi.

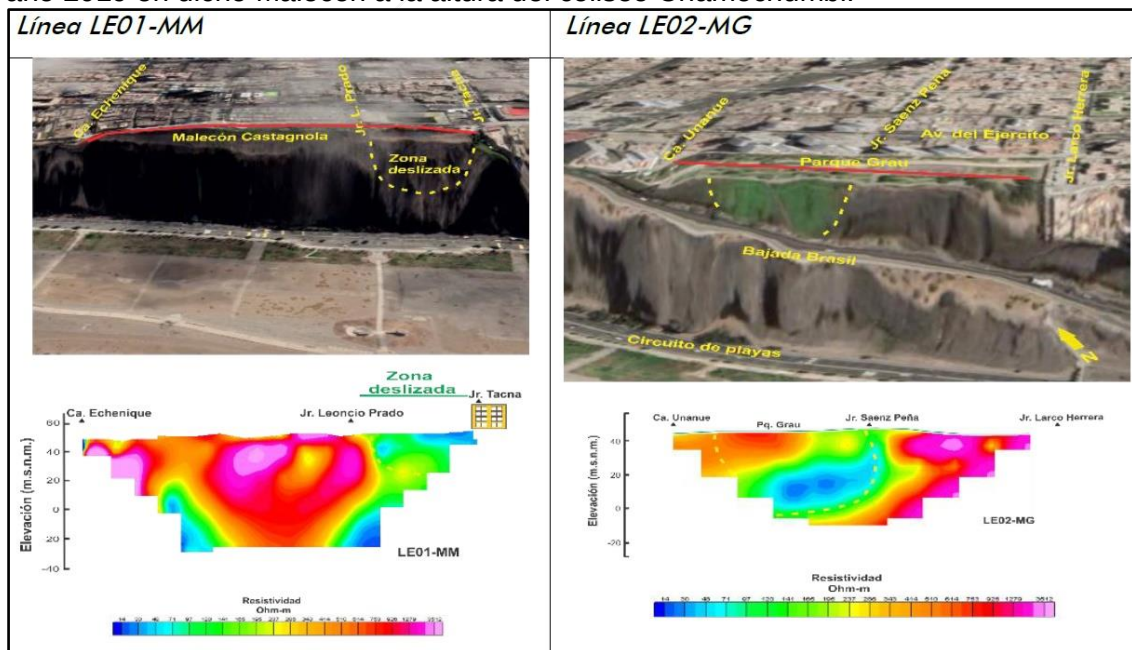


Figura 61. Perfiles Geoeléctricos LE01-MM ubicado sobre el malecón Castañola hasta el Coliseo Chamochumbi y LE02-MG a la altura del Parque Grau, altura de la bajada Av. Brasil (Tomado de IGP, 2021).

A la altura del Parque Grau (figura 59 derecha), se ha identificado la existencia de dos horizontes geoelectricos, uno con bajo contenido de humedad hacia el sur y el otro con moderado contenido de humedad, hacia la zona central, que se presenta en forma de lente y con un espesor de 50 m, también asociado a vegetación sobre el acantilado como indicativo de presencia de mayor humedad.

En el perfil geoelectrico realizado a la altura del Puericultorio Pérez Aranibar (figura 60 izquierda), se ha identificado la existencia de dos horizontes geoelectricos con moderado a alto contenido de humedad, tanto hacia el norte como hacia el sur, separados por una zona con bajo contenido de humedad, hacia la zona central y que se profundiza hacia el sur.

Entre el Conjunto Residencial Marbella y Malecón Godofredo García (figura 60 derecha), se ha identificado la existencia de un horizonte geoelectrico de 40 m de espesor con moderado a alto contenido de humedad hacia la parte sur. El alto grado de humedad, se asocia a las extensiones de áreas verdes que vienen desde el distrito de San Isidro (al sur) y que son regadas continuamente.

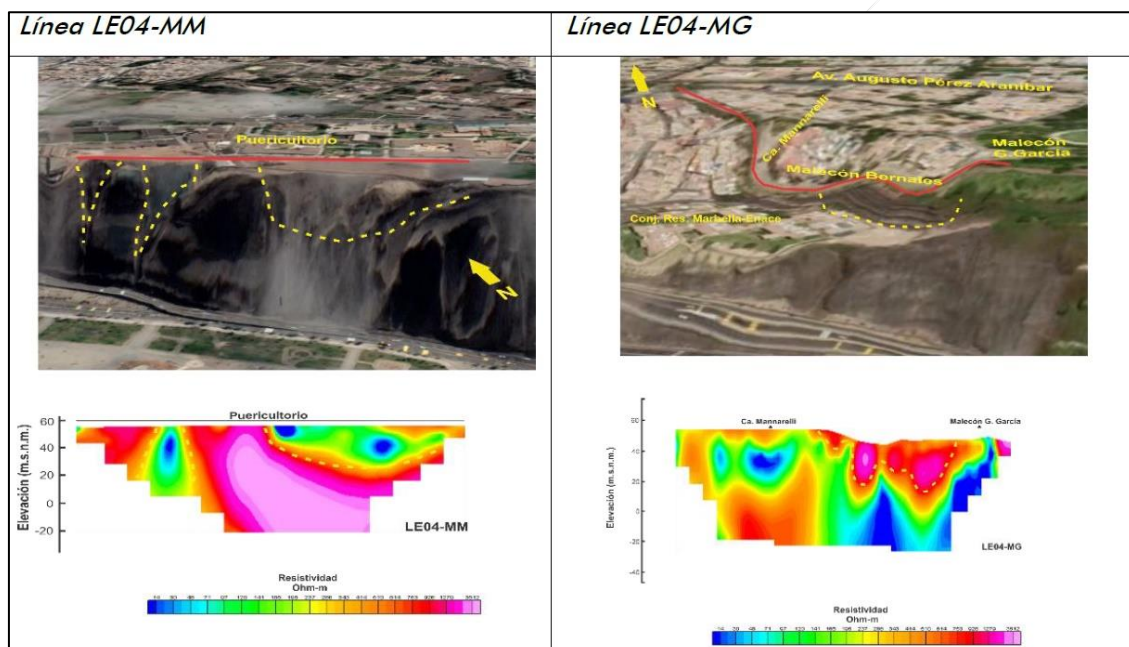


Figura 62. Perfiles Geoelectricos LE04-MM ubicado a la altura del Puericultorio Pérez Aranibar y LE04-MG en el Malecón Bernales, altura de la parte posterior de Residencial Marbella (Tomado de IGP, 2021).

En el distrito de San Isidro, sobre el perfil geoelectrico LE02-SI, realizado a la altura del Malecón Godofredo García y el parque Bicentenario (figura 60) sobre una longitud de 380 m y paralela al acantilado; se observa la predominancia depósitos de baja resistividad (<80 Ohm-m), debido a la presencia de materiales aluviales con alto contenido de humedad. En el lado sur de la sección se aprecian depósitos con moderado contenido de humedad hasta una profundidad de 40 m. Por otro lado, a nivel superficial, en la zona central de la sección, se identifica anomalías en forma de elipses con altos valores de resistividad que podrían asociarse a material seco o la presencia de grietas.

Hacia el norte de Miraflores a la altura del coliseo Manuel Bonilla, se ha identificado la presencia de una capa de suelos con alto contenido de humedad, presentando un espesor de hasta 20 m (figura 61 izquierda), mientras que, a la altura del Malecón de la

Marina, se observa que la presencia de suelos con alto contenido de humedad se da hasta los 10 m de profundidad (figura 61 derecha).

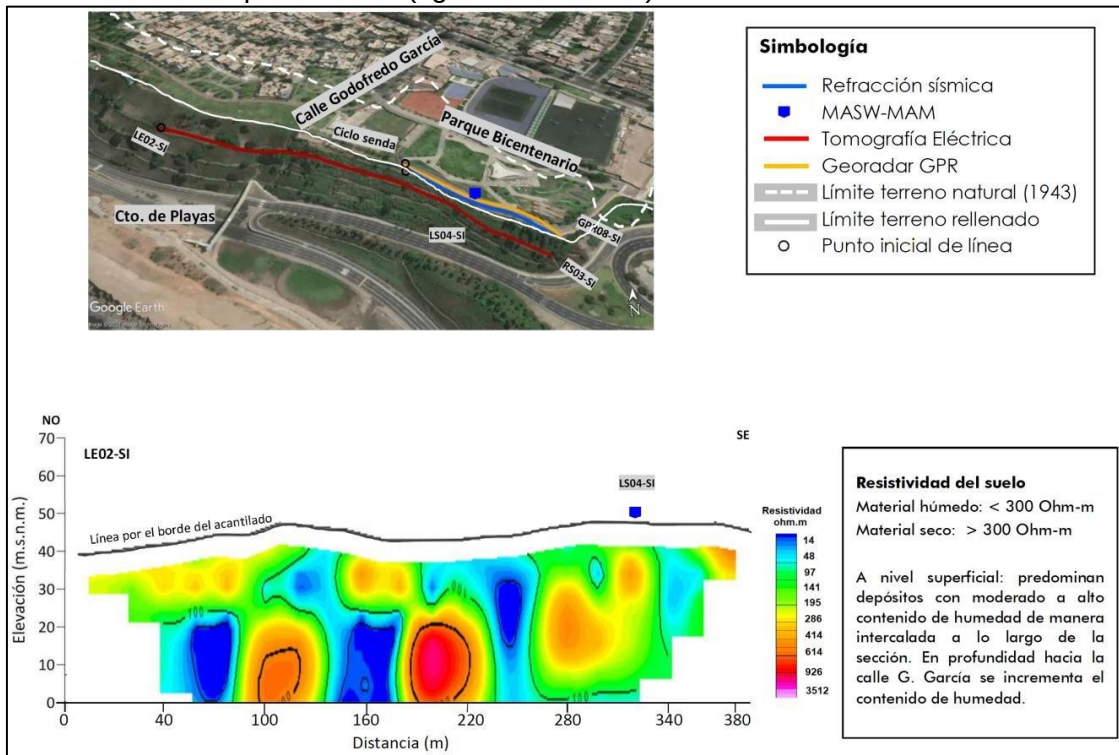


Figura 63. Perfil Geoeléctrico LE02-SI ubicado a la altura del Malecón Godofredo García (Tomado de IGP, 2021).

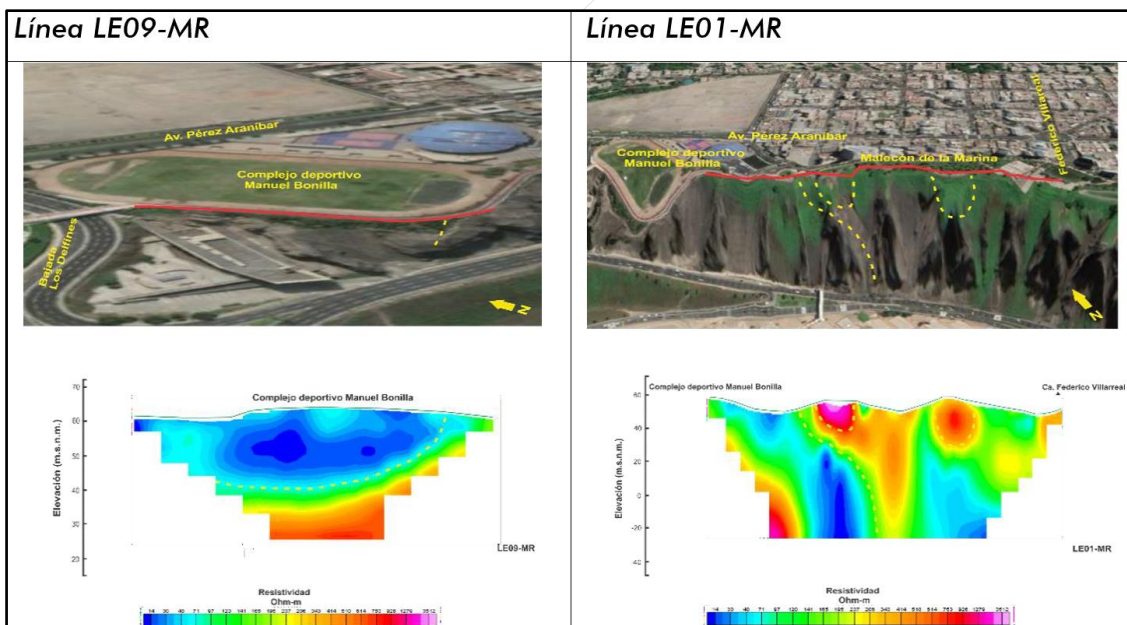


Figura 64. Perfiles Geoeléctricos LE09-MR y LE01-MR ubicados a la altura del Coliseo Manuel Bonilla y el Malecón de la Marina (Tomado de IGP, 2021).

En la zona central del distrito, a la altura del parque Antonio Raimondi, se observa predominancia de suelos con moderado contenido de humedad en capas con espesor mayor a 50 m y hacia el extremo sur del parque Raimondi, se identifica la presencia un sector angosto cuyos suelos superficiales presentan alto contenido de humedad hasta los 30 m de profundidad (figura 63 izquierda).

Hacia la zona sur de Miraflores en el Malecón de la Reserva (figura 63 derecha), se identifica la presencia de suelos con alto contenido de humedad sólo hasta profundidades menores a 5 m y por debajo en el subsuelo presenta predominantemente capas con bajo contenido de humedad con espesores de hasta 25 m.

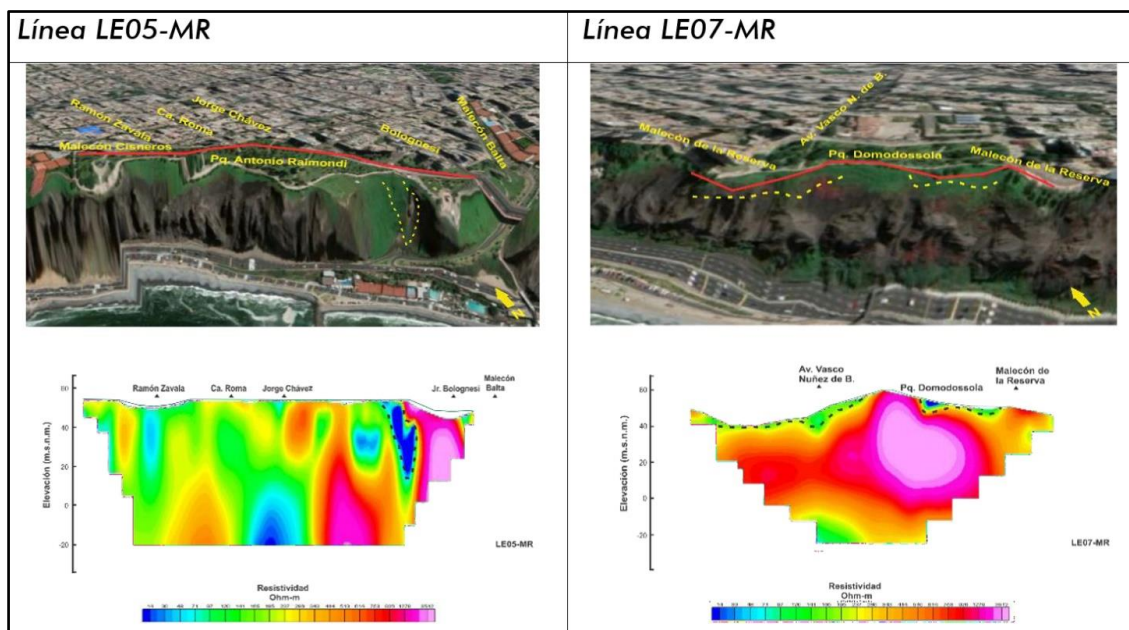


Figura 65. Perfiles Geoeléctricos LE05-MR y LE07-MR ubicados a la altura del Parque Raimondi y el Malecón de la Reserva (Tomado de IGP, 2021).

Hacia la zona de Barranco, altura de la bajada Armendariz (figura 64), se ha identificado la existencia de 2 horizontes geoelectricos: uno con bajo contenido de humedad hasta una profundidad de 30 a 50 m, y que desaparece hacia el extremo SO de la sección y un segundo horizonte que presenta moderado contenido de humedad con espesores de 10 a 40 m y que afloran hacia el extremo SO de la sección.

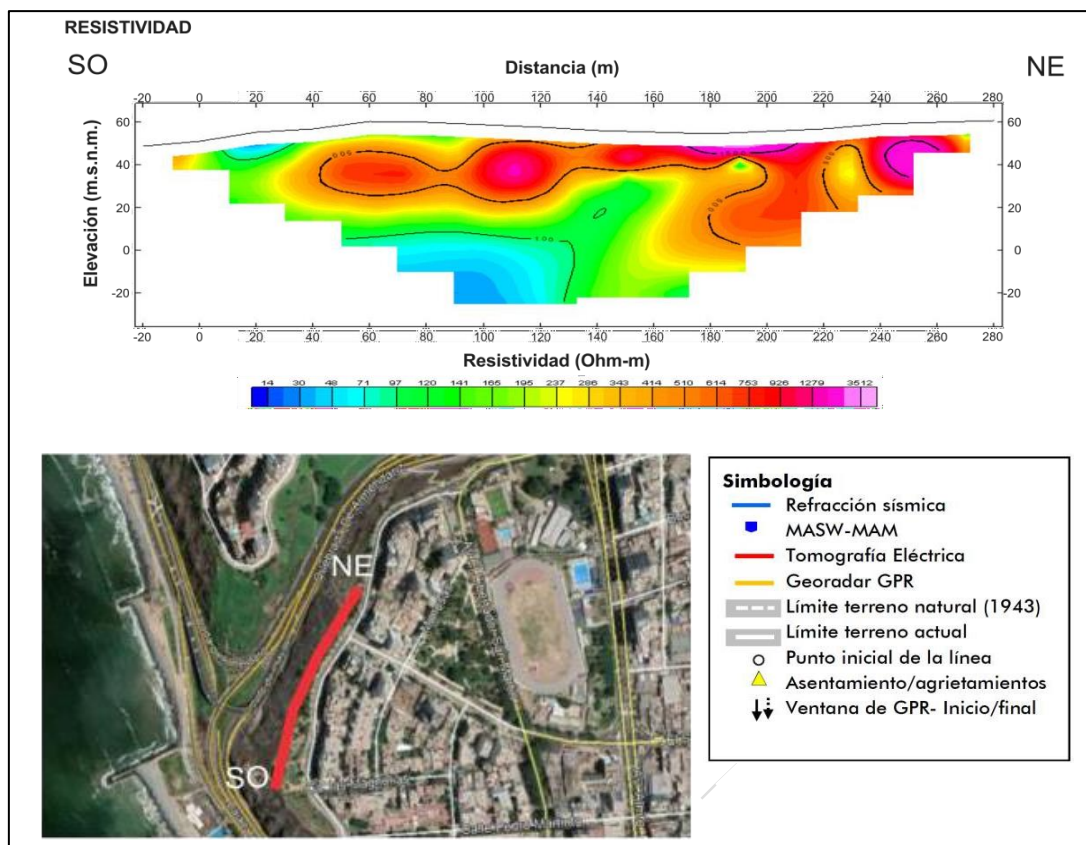


Figura 66. Perfil Geoeléctrico LE09-BR ubicado a la altura de la bajada Armendáriz hacia el lado sur, distrito de Barranco (Tomado de IGP, 2021).

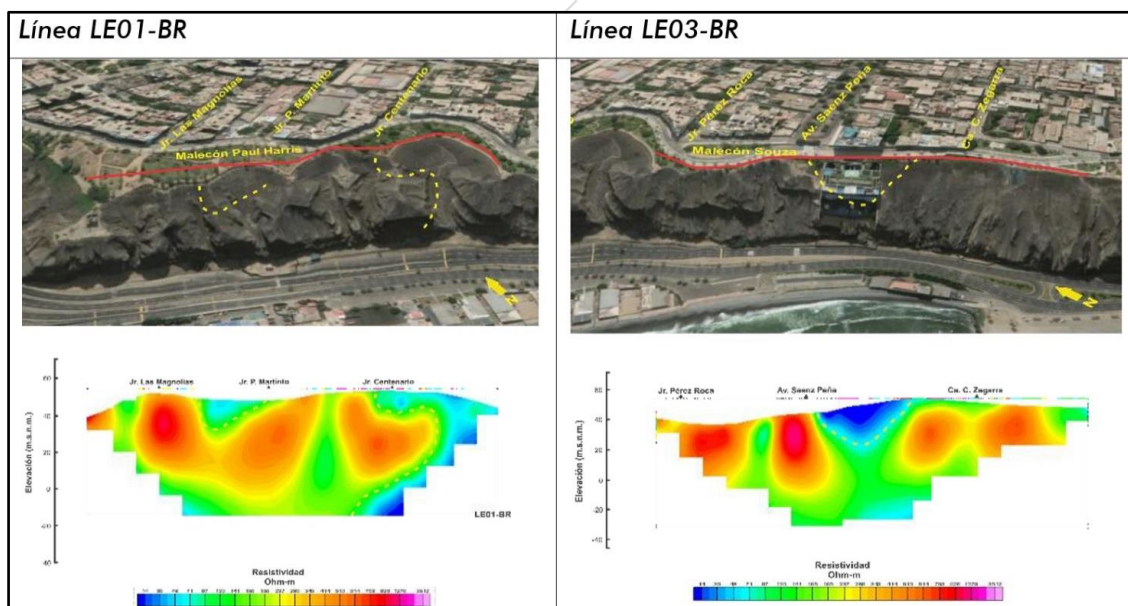


Figura 67. Perfiles Geoeléctricos LE01-BR y LE03-BR ubicado a la altura de los Malecones Paul Harris y Souza en el distrito de Barranco (Tomado de IGP, 2021).

A la altura del Malecón Paul Harris se registró el perfil geoeléctrico LE01-BR (figura 65 izquierda), donde se observa la predominancia un horizonte con depósitos de moderada resistividad debido a la presencia de materiales aluviales con moderado contenido de humedad. A nivel superficial, a la altura de la calle Pedro Martin y Jr. Centenario, se ha identificado depósitos con alto contenido de humedad hasta una profundidad de 10 m y conforme se tiende hacia el extremo SE, la sección alcanza mayor profundidad.

Así mismo a la altura del del Malecón Souza, se registró el perfil geoelectrico LE03-BR (figura 65 derecha), donde se observa la predominancia de un horizonte con moderado contenido de humedad. A nivel superficial se ha identificado una zona anómala con alto contenido humedad y espesores de hasta los 30 m. Asimismo, a lo largo de la sección se observa la presencia de otras anomalías con bajo contenido de humedad en capas de espesores de hasta 30 m.

Más al Sur, a la altura del Malecón Pedro de Osma, se registró el perfil geoelectrico LE07-BR (figura 66), donde se ha identificado la existencia de un horizonte geoelectrico que a lo largo de toda la sección presenta moderado contenido de humedad. Asimismo, en el tramo central de la sección, se observa la presencia de materiales con alto contenido de humedad hasta una profundidad de 5 a 8 m.

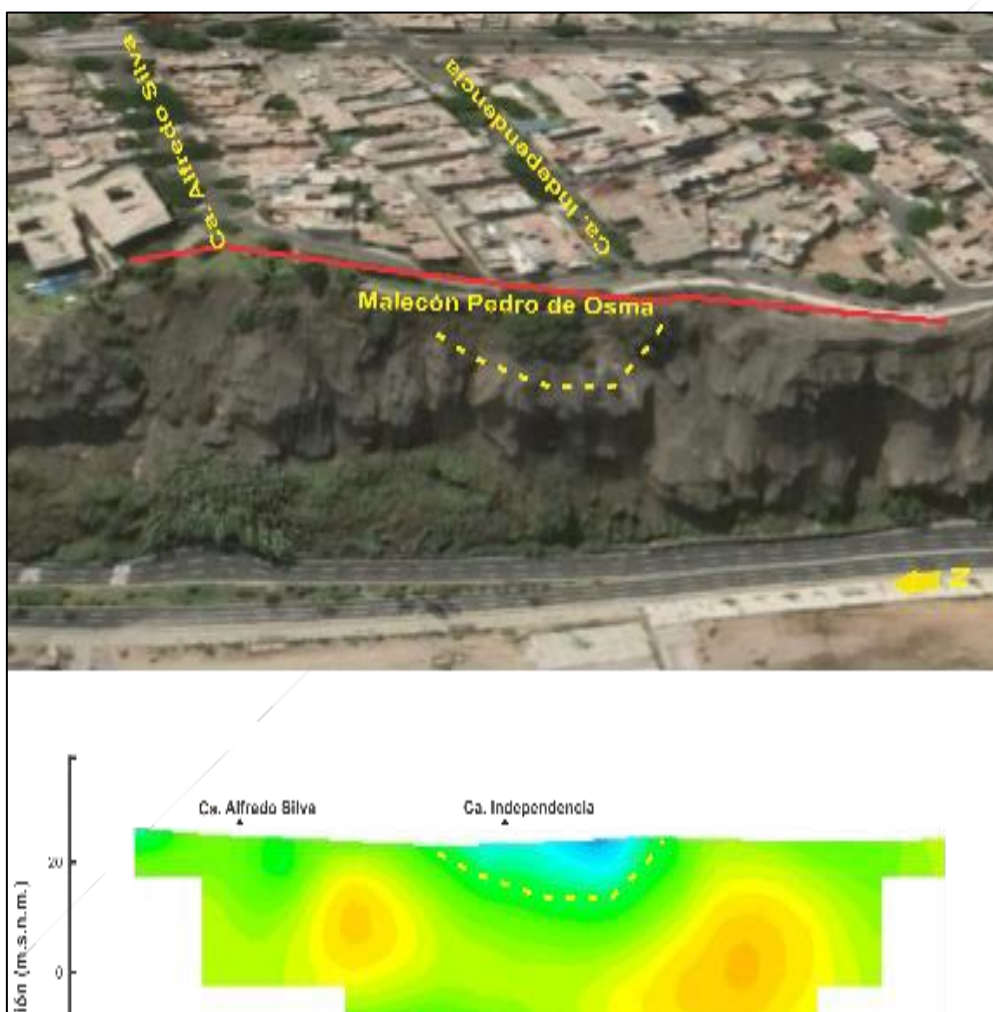


Figura 68. Perfil Geoelectrico LE07-BR ubicado a la altura del Malecón Pedro De Osma en el distrito de Barranco (Tomado de IGP, 2021).

En el distrito de Chorrillos, sobre el Malecón Costa Sur, se registró el perfil geoelectrico LE02-CH (figura 67) donde se observa la predominancia de un horizonte conformado por materiales con moderado contenido de humedad. Asimismo, dentro de este horizonte a nivel superficial, sobresalen anomalías locales con valores bajos de resistividad hasta profundidades de 10 m (alto contenido de humedad).

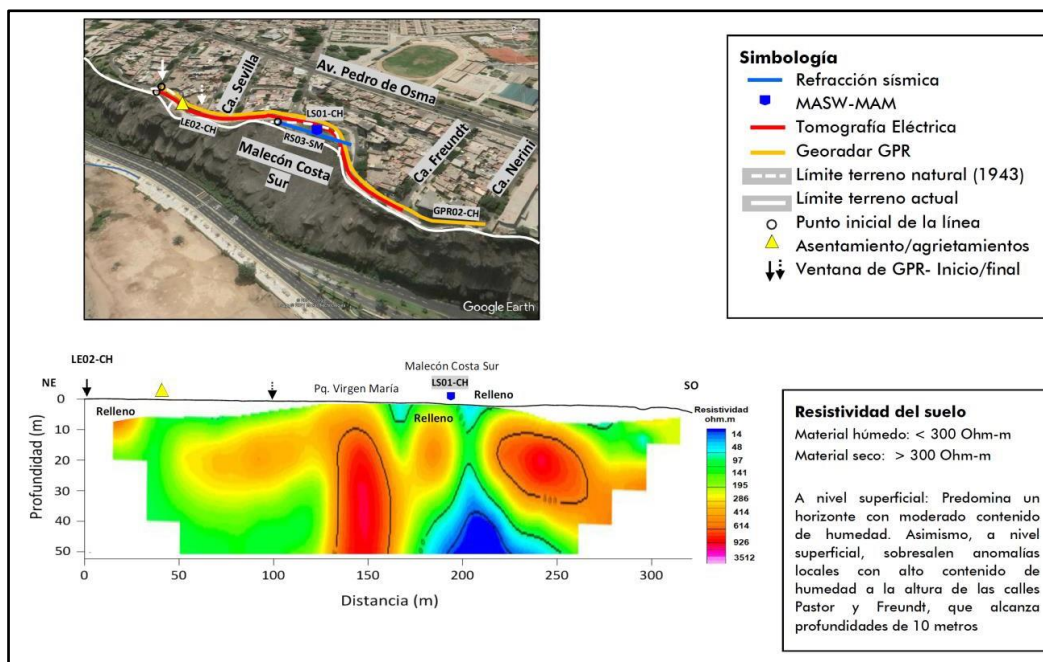


Figura 69. Perfil Geoelectrico LE02-CH ubicado a la altura del Malecón Costa en el distrito de Chorrillos (Tomado de IGP, 2021).

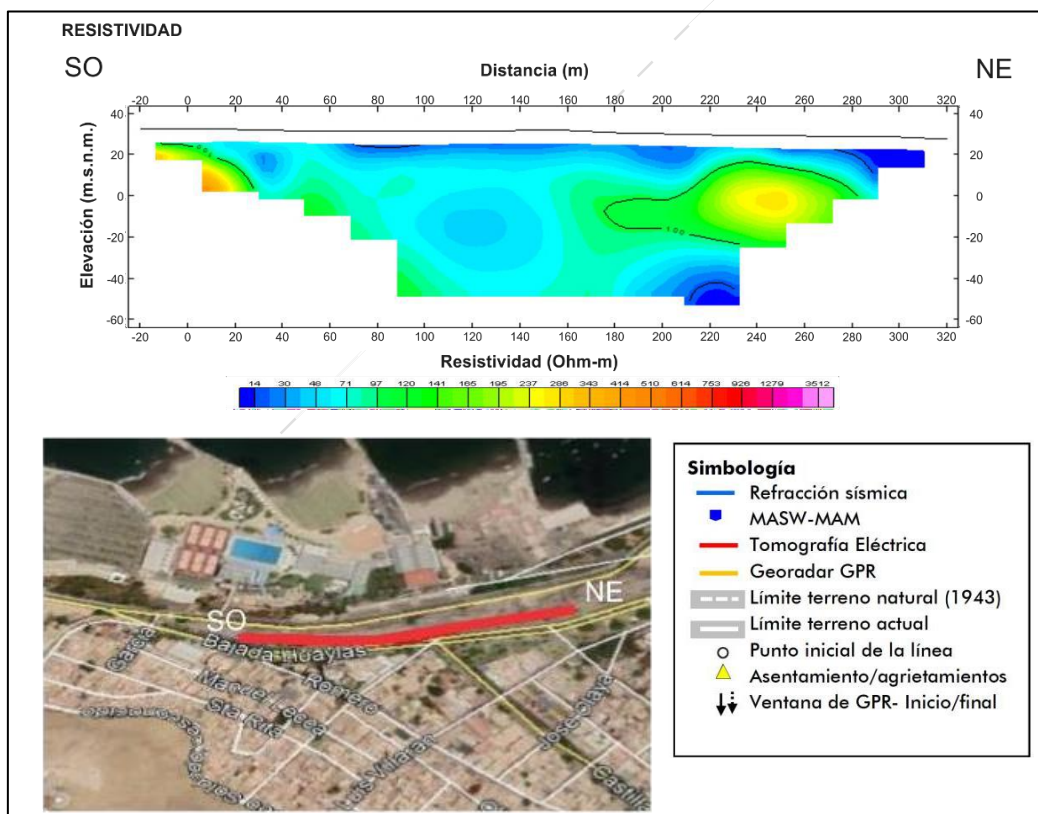


Figura 70. Perfil Geoelectrico LE05-CH ubicado a la altura del Malecón Grau en el distrito de Chorrillos (Tomado de IGP, 2021).

Finalmente, también en el distrito de Chorrillos, se registró el perfil geoelectrico LE05-CH (figura 68) sobre Malecón Grau donde se observa la predominancia de depósitos de baja resistividad debido a la presencia de materiales aluviales con alto contenido de humedad. Sin embargo, a nivel superficial y hacia el tramo inicial de esta sección, existen depósitos con moderado contenido de humedad.

2.1.9 Mapeo litológico y geológico detallado

Se realizó el mapeo geológico a escala 1:1000 de cada uno de los seis distritos donde se ubican los acantilados de la CV. Posteriormente se agruparon en 2 mapas, uno de Zona Norte (San Miguel, Magdalena del Mar y San Isidro) y otro de la Zona Sur (Miraflores, Barranco y Chorrillos) (figura 71, 72, 73, 74, 75 y 76).

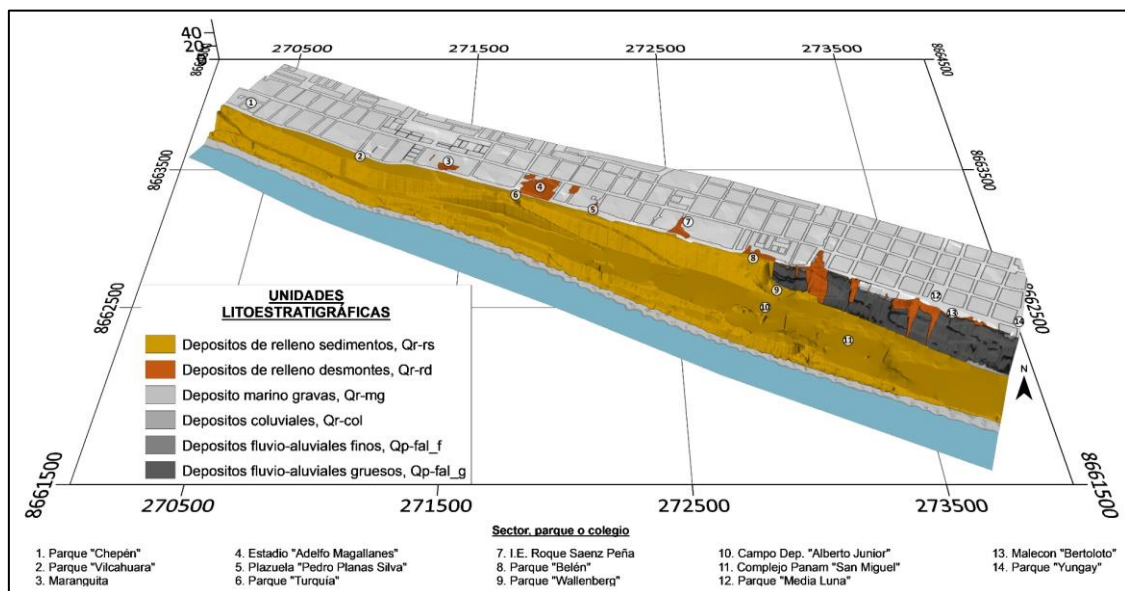


Figura 71. Geología del distrito de San Miguel (vista en perspectiva 3D).

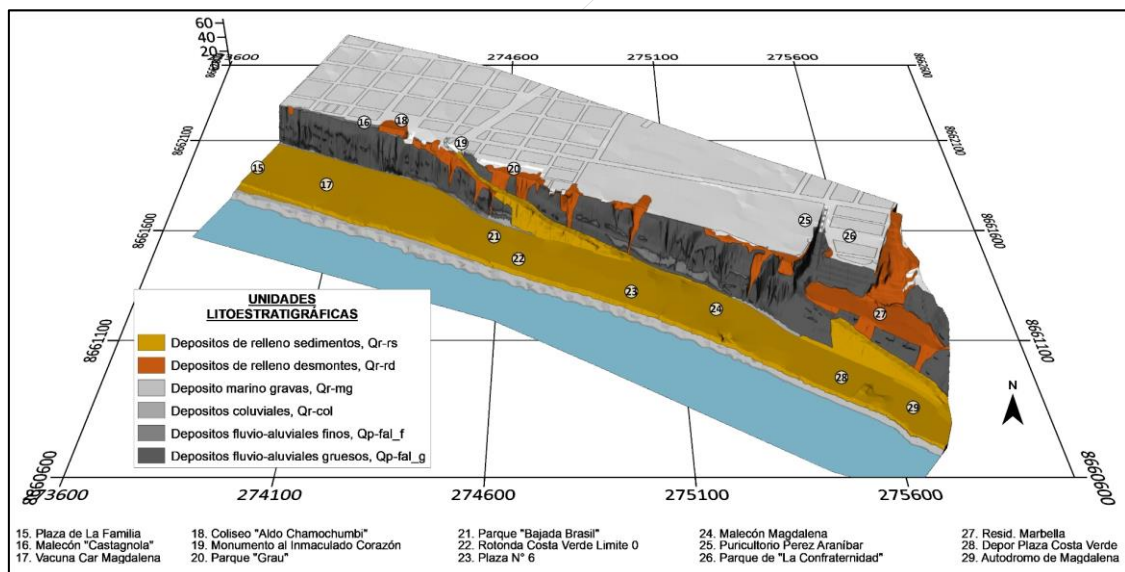


Figura 72. Geología del distrito de Magdalena del Mar (vista en perspectiva 3D).

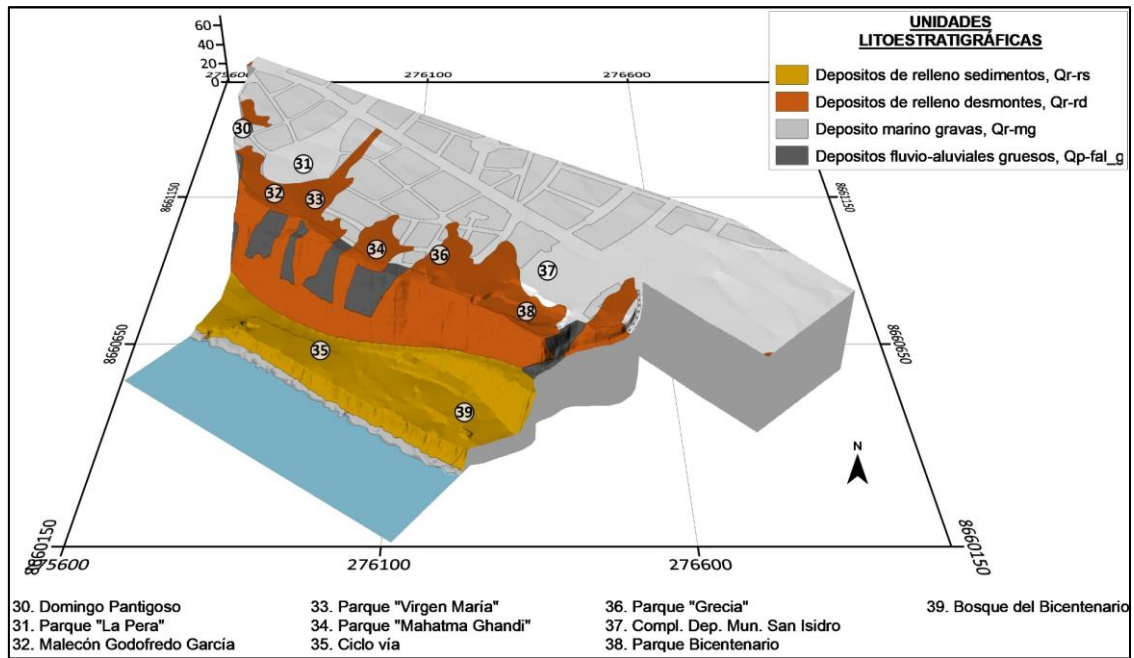


Figura 73. Geología del distrito de San Isidro (vista en perspectiva 3D).

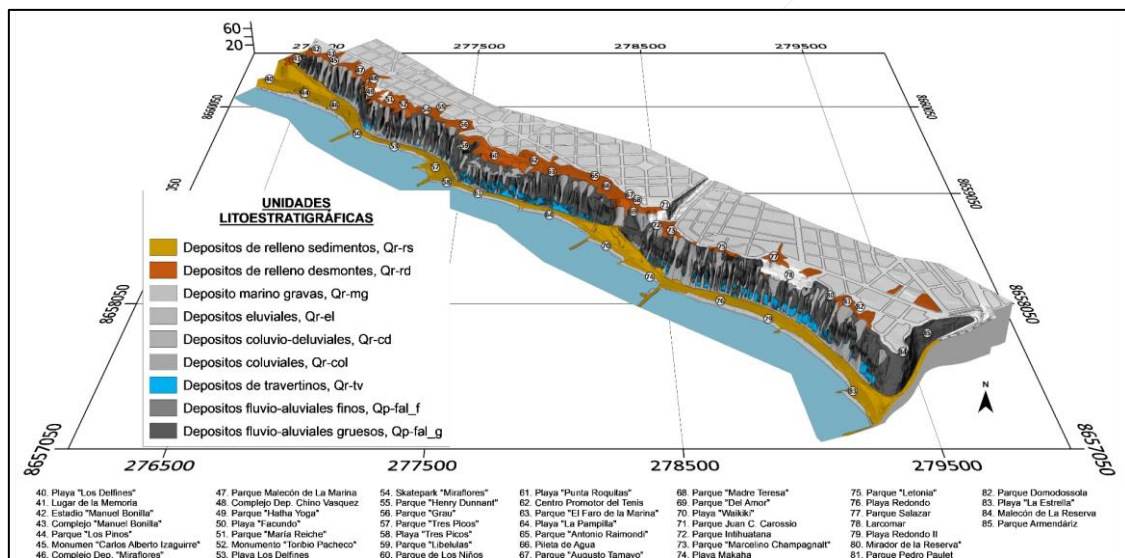


Figura 74. Geología del distrito de Miraflores (vista en perspectiva 3D).

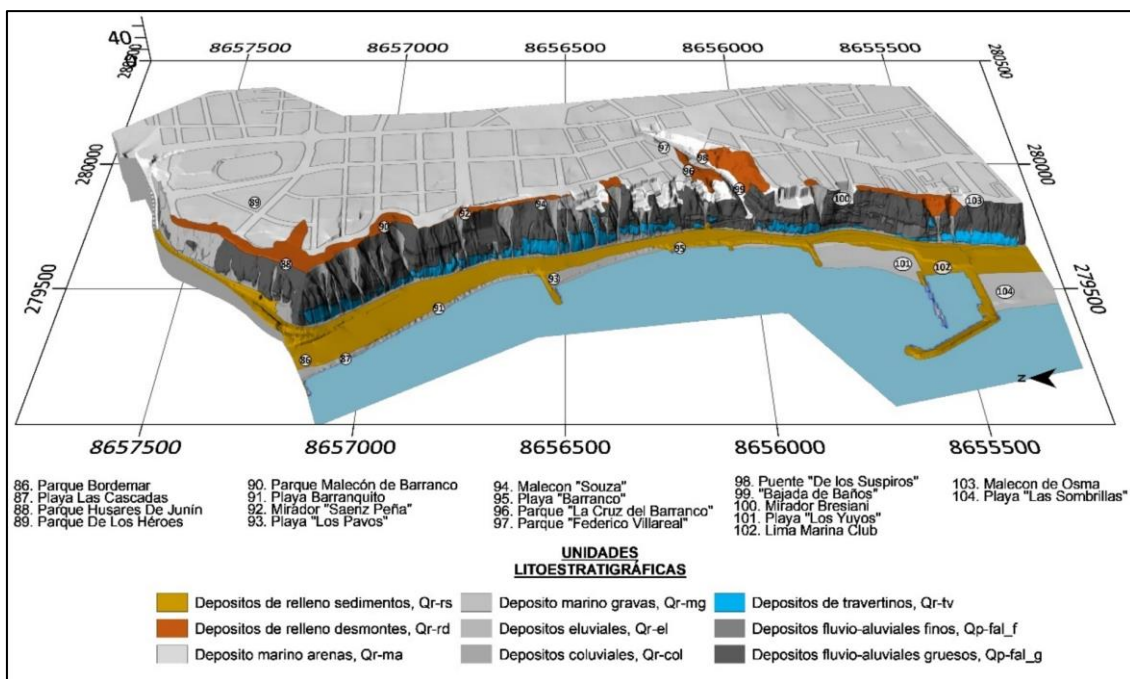


Figura 75. Geología del distrito de Barranco (vista en perspectiva 3D).

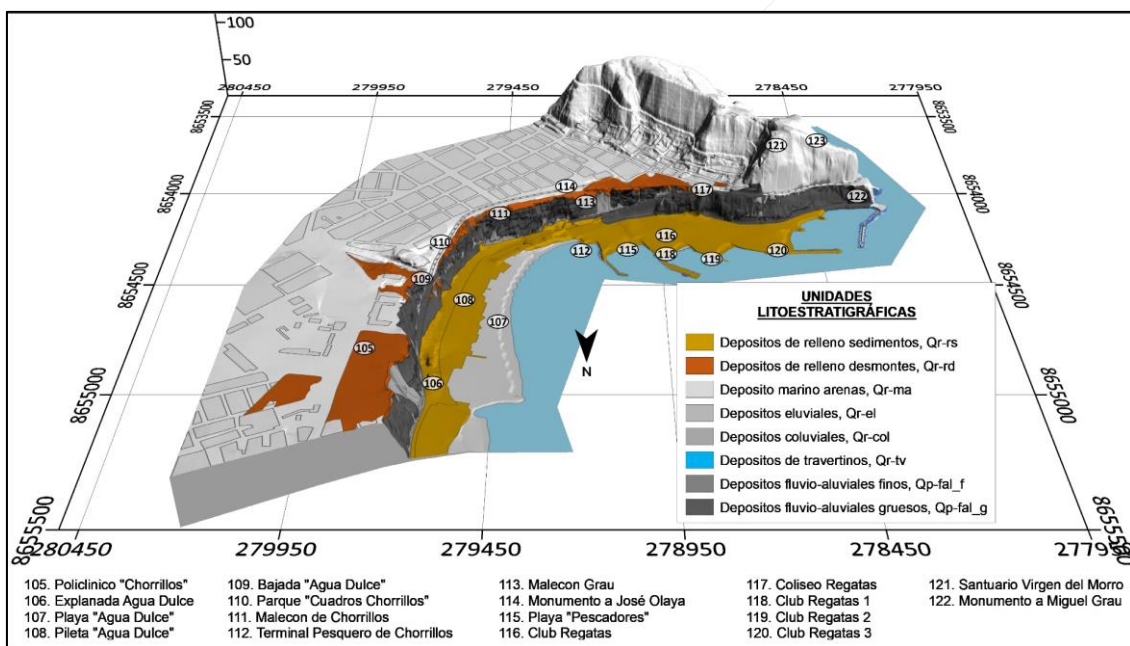


Figura 76. Geología del distrito de Chorrillos (vista en perspectiva 3D).

Para la preparación de los mapas geológicos (**Plano PG.LIT.GEO-02** Litológico y **PG.SEC.SED-03** Secuencias sedimentarias), se realizaron trabajos previos de gabinete con ortomosaicos compuestos de toda el área de la CV; identificándose hasta 9 unidades de depósitos. Los depósitos fluvio aluviales se dividieron inicialmente en 2 tipos, finos y gruesos. Posteriormente, se realizó el análisis sedimentológico de todos los acantilados, el cual permitió diferenciar dos secuencias de orden mayor (3er Orden), denominadas Secuencia 1 y Secuencia 2. La Secuencia 1 corresponde a la parte inferior, la misma que se caracteriza por presentar niveles arenosos, limosos y en menor medida conglomerados; mientras que la Secuencia 2, que corresponde a la parte superior, está compuesta mayormente por conglomerados, sin embargo, también

presenta niveles y lentes de arenas. Cada una de estas secuencias aflora parcialmente, ya que no se presentan completas en los acantilados de la CV. Se observa únicamente la parte superior de la Secuencia 1 y la parte inferior la Secuencia 2 respectivamente. Sin embargo, en base a los análisis de las columnas medidas y las observaciones de campo, se interpreta que cada una de estas secuencias son grano decreciente.

La Secuencia 1 ha sido subdividida a su vez, en tres secuencias de menor orden (2do orden), a las que se les denominó S-1A, S-1B y S-1C. De igual modo, cada una de estas secuencias son grano-decrecientes, las que también pueden contener una o más secuencia de primer orden. De manera similar, la Secuencia 2, conformada por secuencias de conglomerados y arenas, ha podido ser dividida en hasta tres secuencias de menor orden (2do orden), a las que se les denominó S-2A, S-2B y S-2C. Cada una de estas secuencias son grano-decrecientes y pueden contener una o más secuencias de primer orden.

Se usó el software ArcGIS con la ortofoto, donde se graficó a detalle las secuencias identificadas, las zonas de rellenos y los contactos y se exportó en formato JPG de alta resolución.

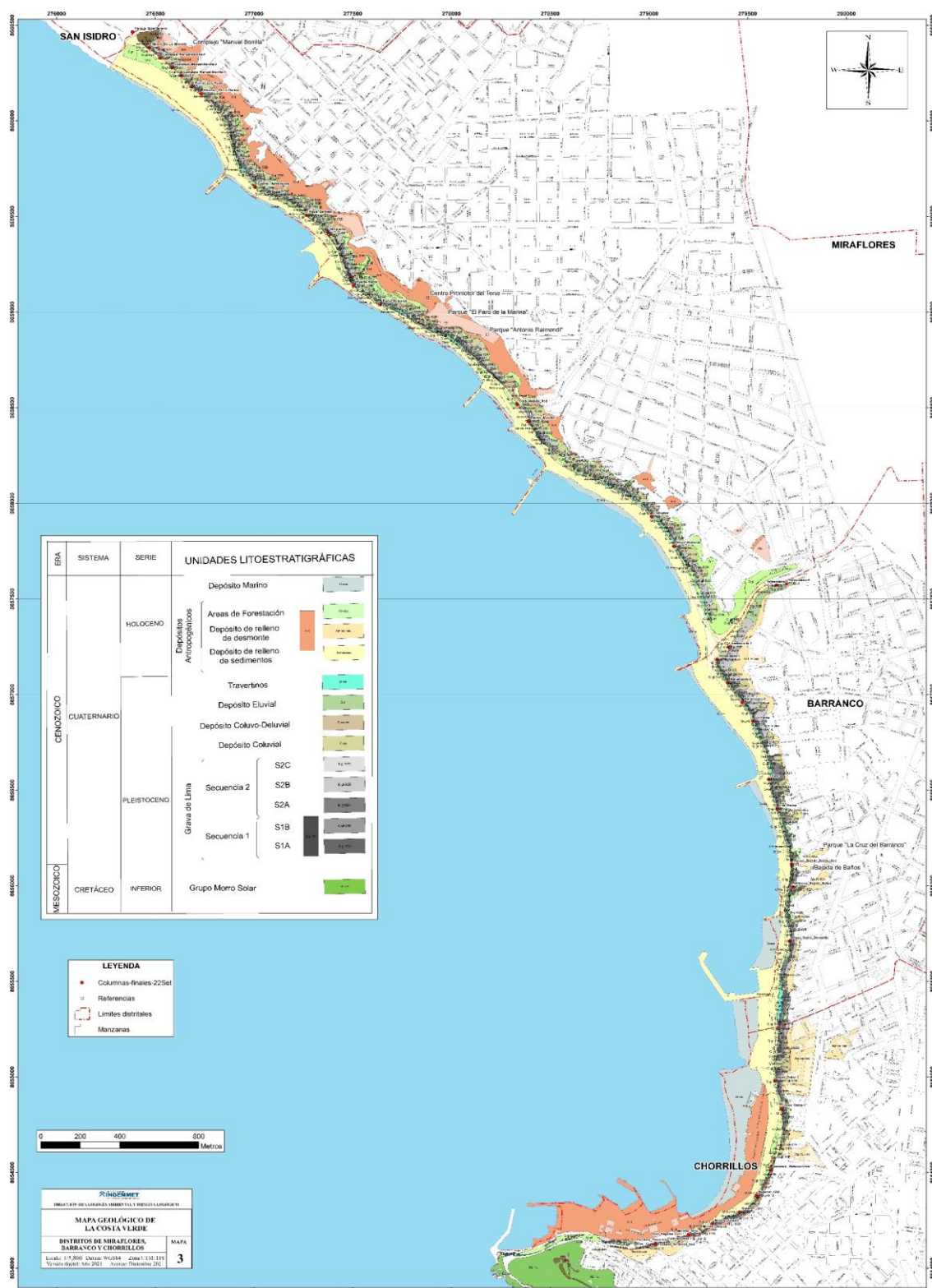


Figura 77. Mapa Geológico de los distritos ubicados en la Zona Sur: Miraflores, Barranco y Chorrillos.

2.1.10 Correlación geológica

Para la elaboración de la correlación geológica de la cara frontal del acantilado, previamente se realizó el análisis estratigráfico de secuencias en las columnas estratigráficas medidas, utilizando para ello la litología y el tamaño de clasto.

Posteriormente se realizó la correlación de las secuencias definidas en el mosaico de imágenes de la costa verde.

Posteriormente se procedió a realizar los cortes longitudinales sobre las áreas con información interpretada, generando así una sección geológica por cada distrito (Figuras 76 a 81). Cabe aclarar que para una mejor visualización se procedió a realizar una exagerar en la escala vertical por 10X.

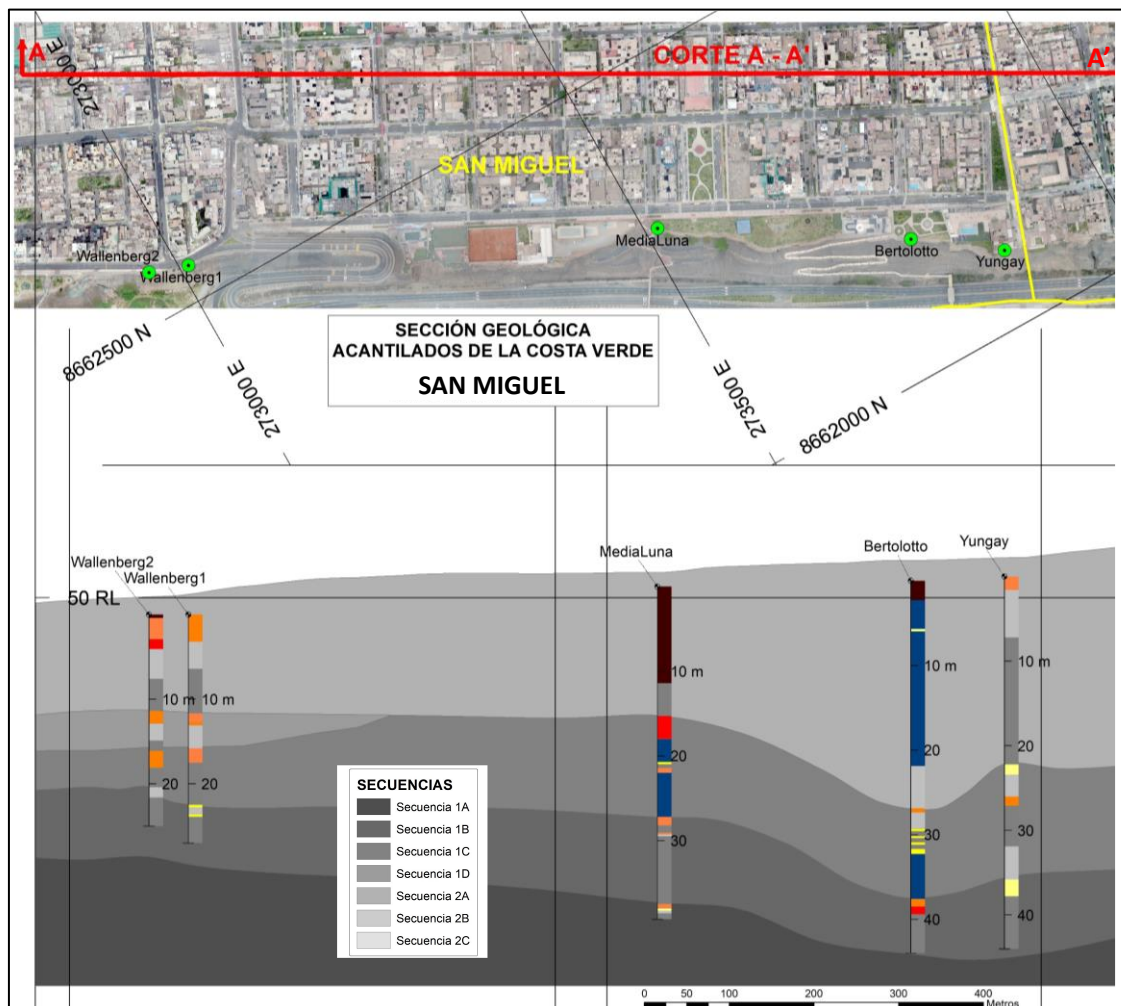


Figura 78. Sección geológica del distrito de San Miguel.

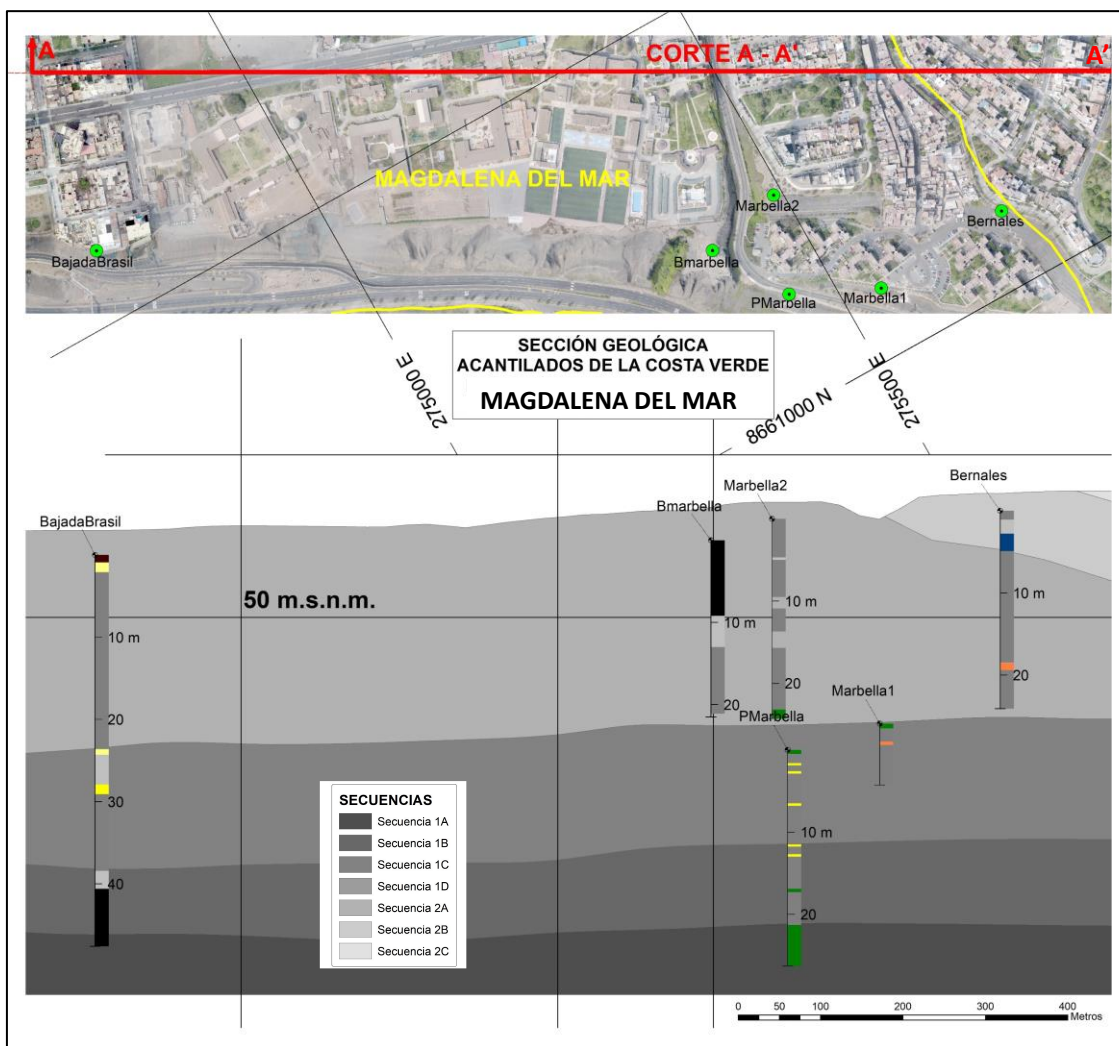


Figura 79. Sección geológica del distrito de Magdalena del Mar.

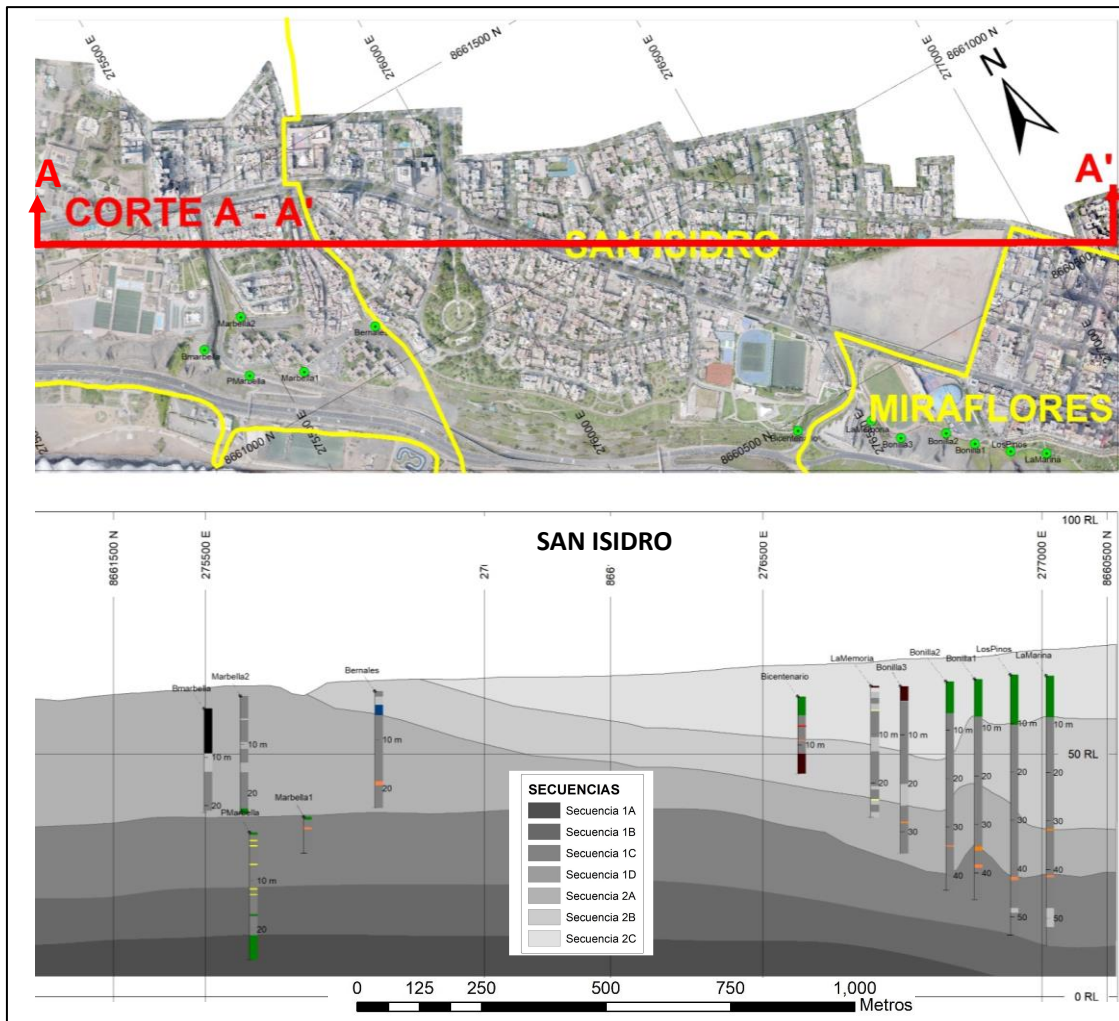


Figura 80. Sección geológica del distrito de San Isidro.

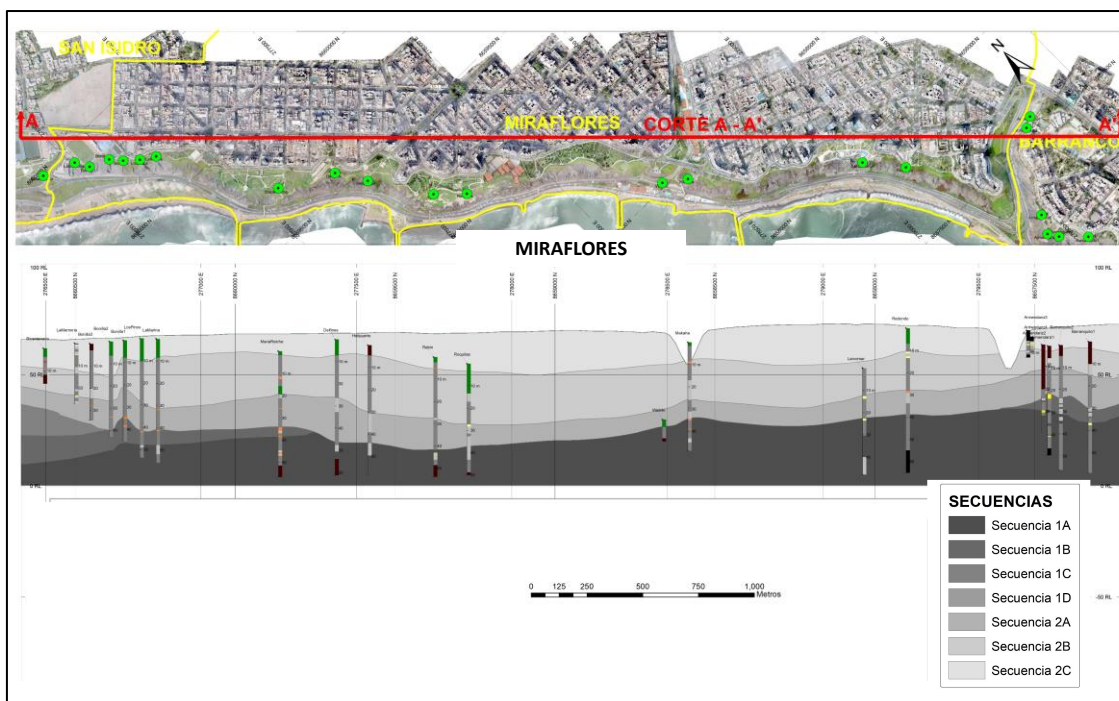


Figura 81. Sección geológica del distrito de Miraflores.

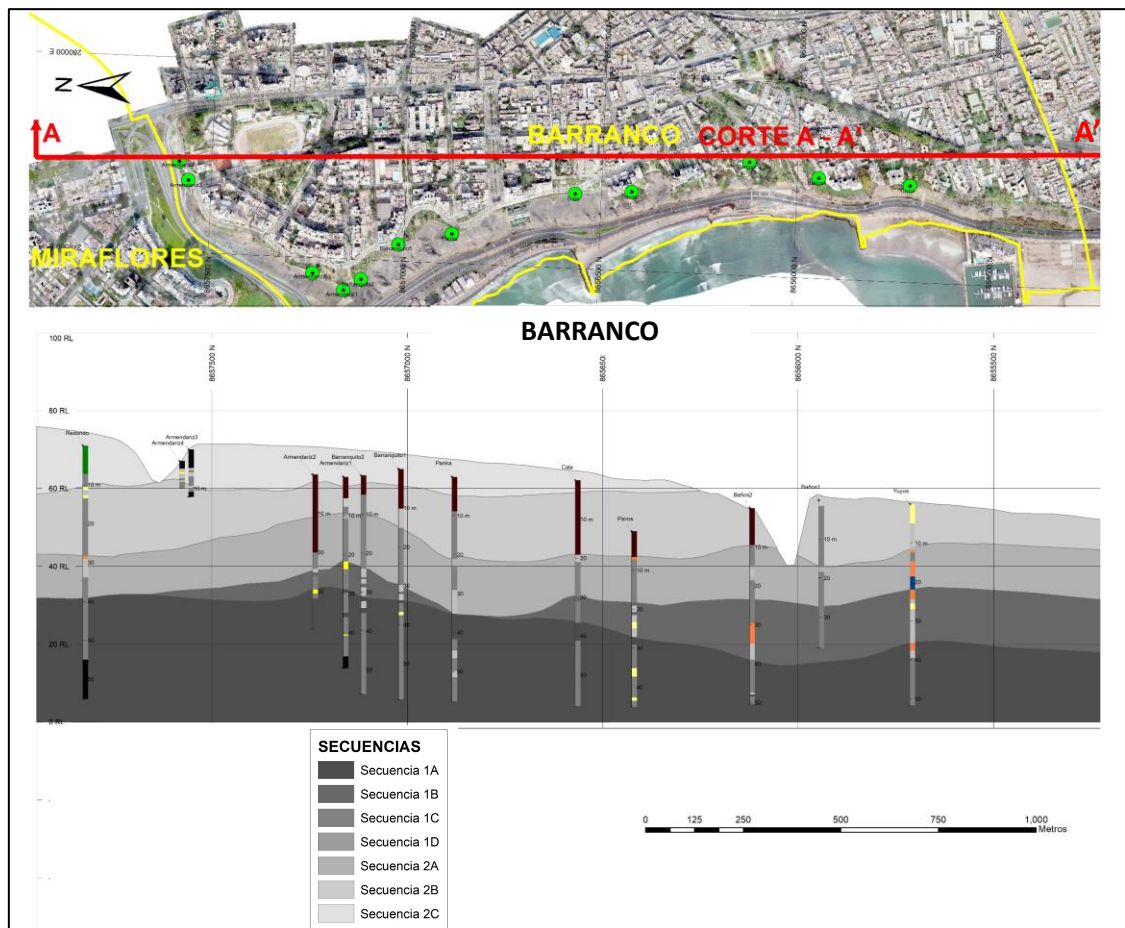


Figura 82. Sección geológica del distrito de Barranco.

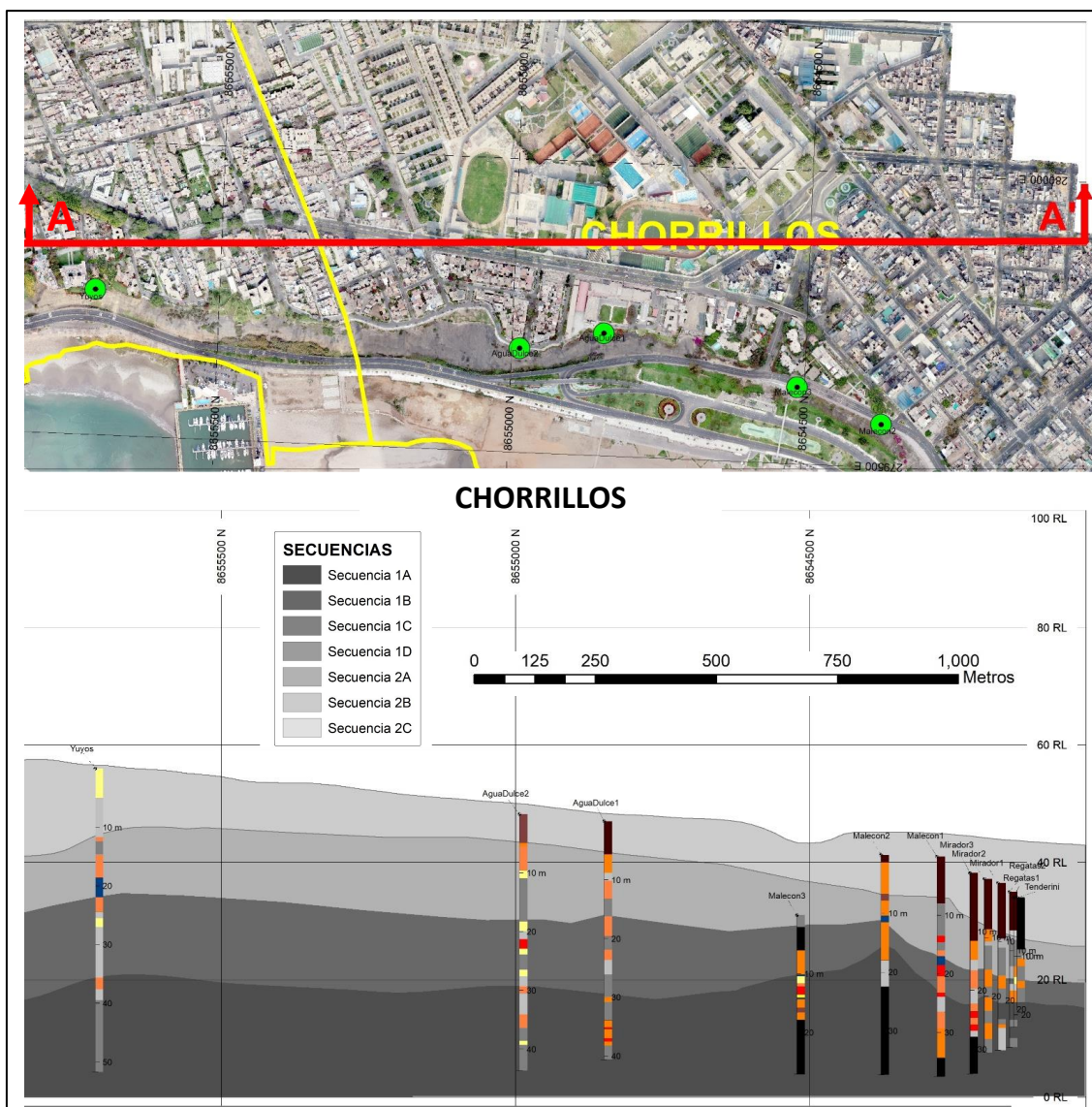
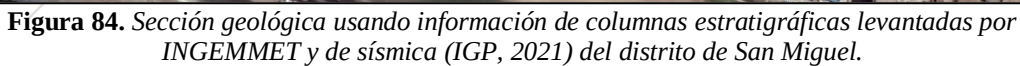


Figura 83. Sección geológica del distrito de Chorrillos.

2.1.11 Secciones geológicas

Con el objetivo de representar la continuidad o discontinuidad lateral de las unidades estratigráficas identificadas en los acantilados de la CV, se han preparado seis secciones geológicas transversales (figura 84 al 89) que ayudan a representar el marco estructural y correlación en el sentido longitudinal (E-O) de las secuencias que afloran en los acantilados.

Como no existen mayores datos de control, se han seleccionado seis líneas sísmicas de refracción adquiridas por el IGP el 2021 y se ha asumido que hay variación homogénea en las velocidades en función de la profundidad de acuerdo a la sucesión estratigráfica que aflora en los acantilados.



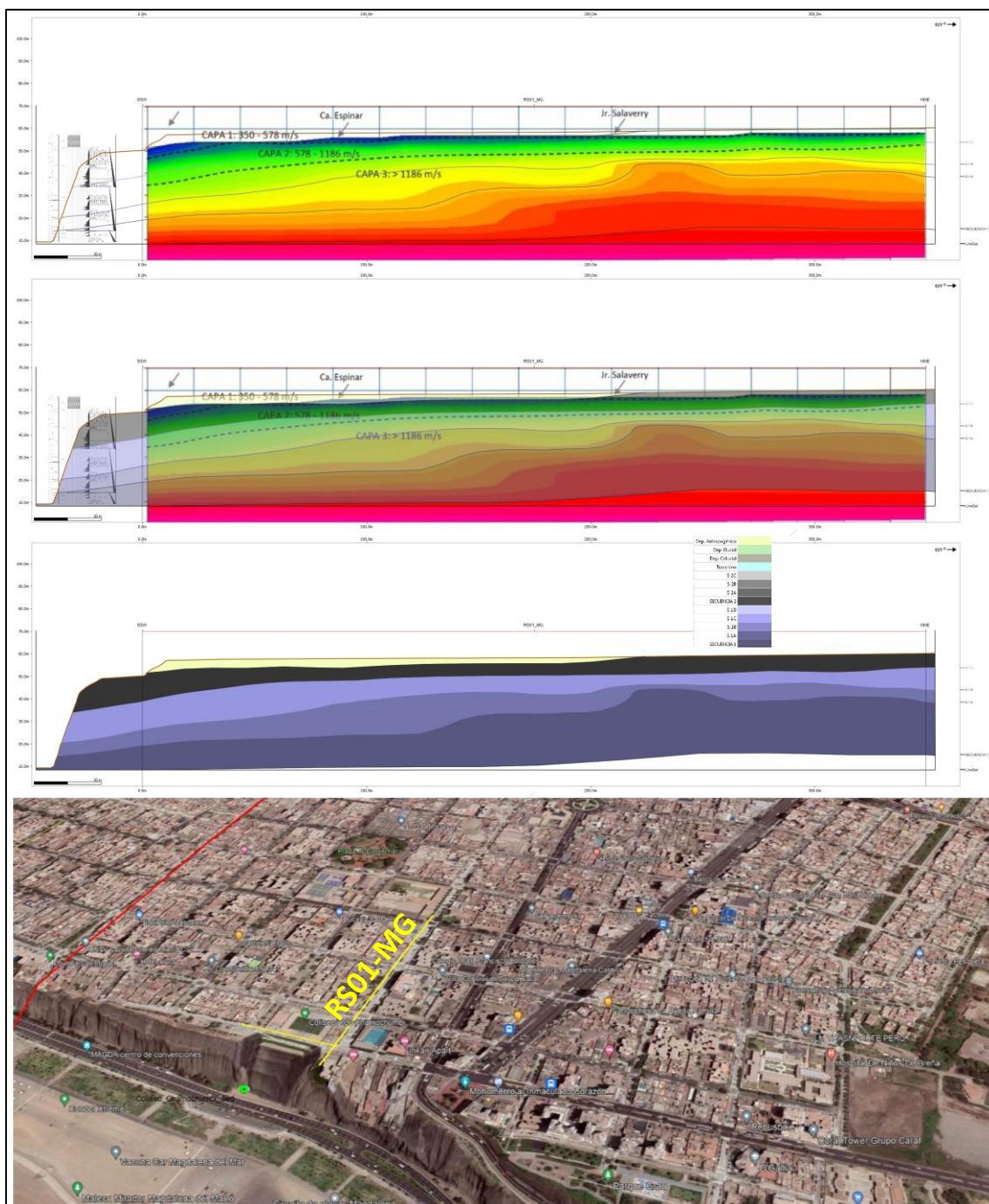


Figura 85. Sección geológica usando información de columnas estratigráficas levantadas por INGGEMMET y de sísmica (IGP, 2021) del distrito de Magdalena.

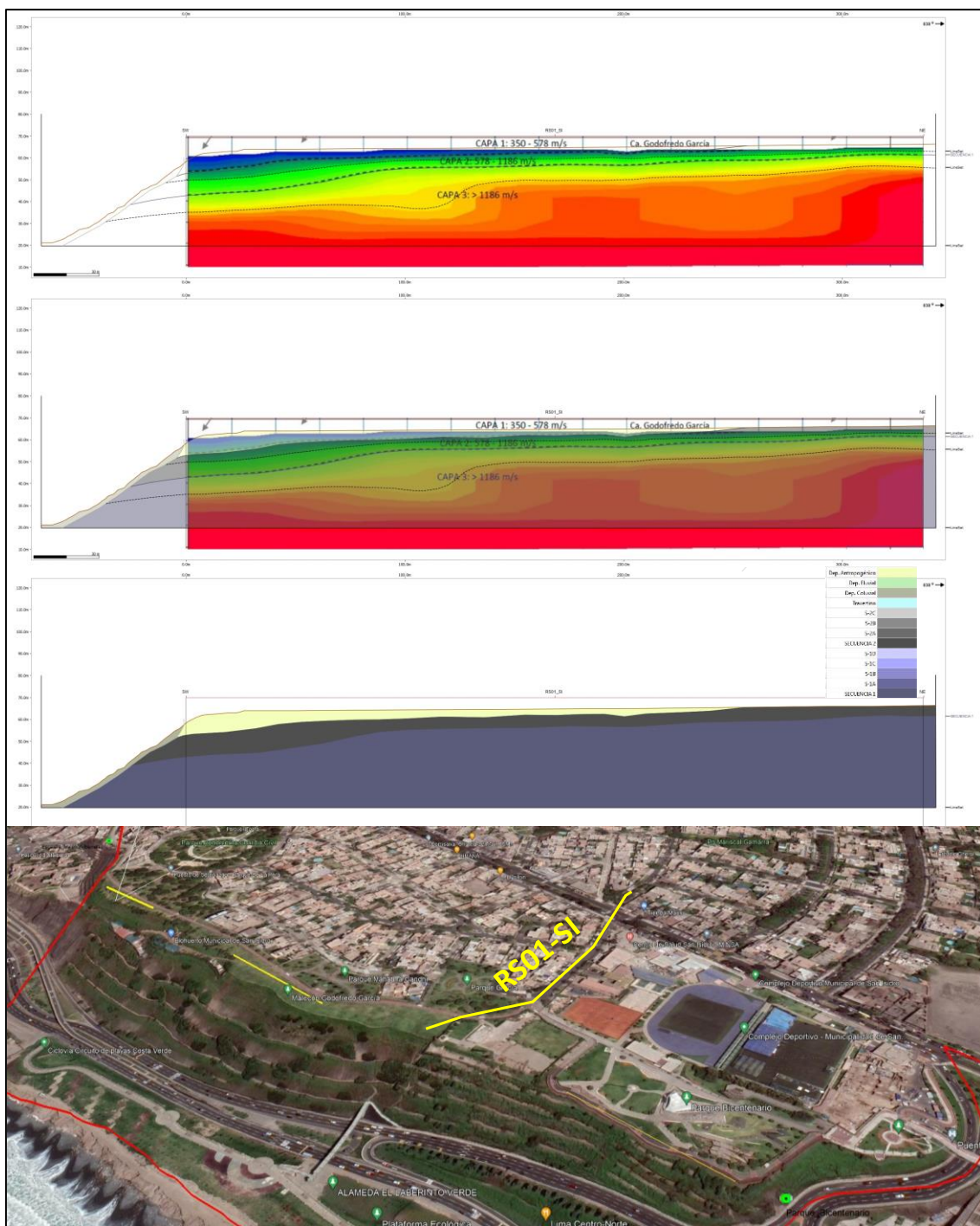


Figura 86. Sección geológica usando información de sísmica (IGP, 2021) del distrito de San Isidro.

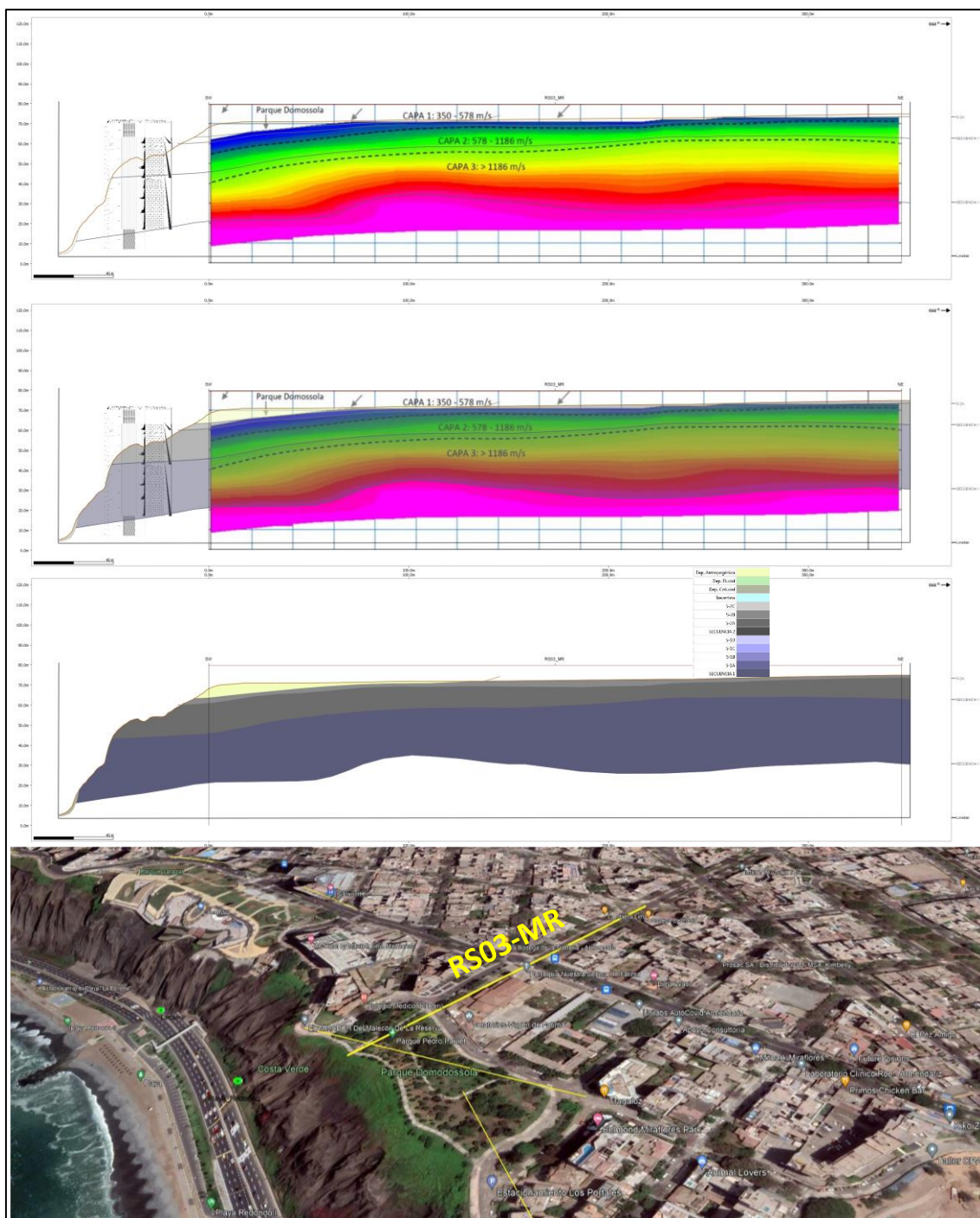


Figura 87. Sección geológica usando información de columnas estratigráficas levantadas por INGEMMET y sísmica (IGP, 2021) del distrito de Miraflores.

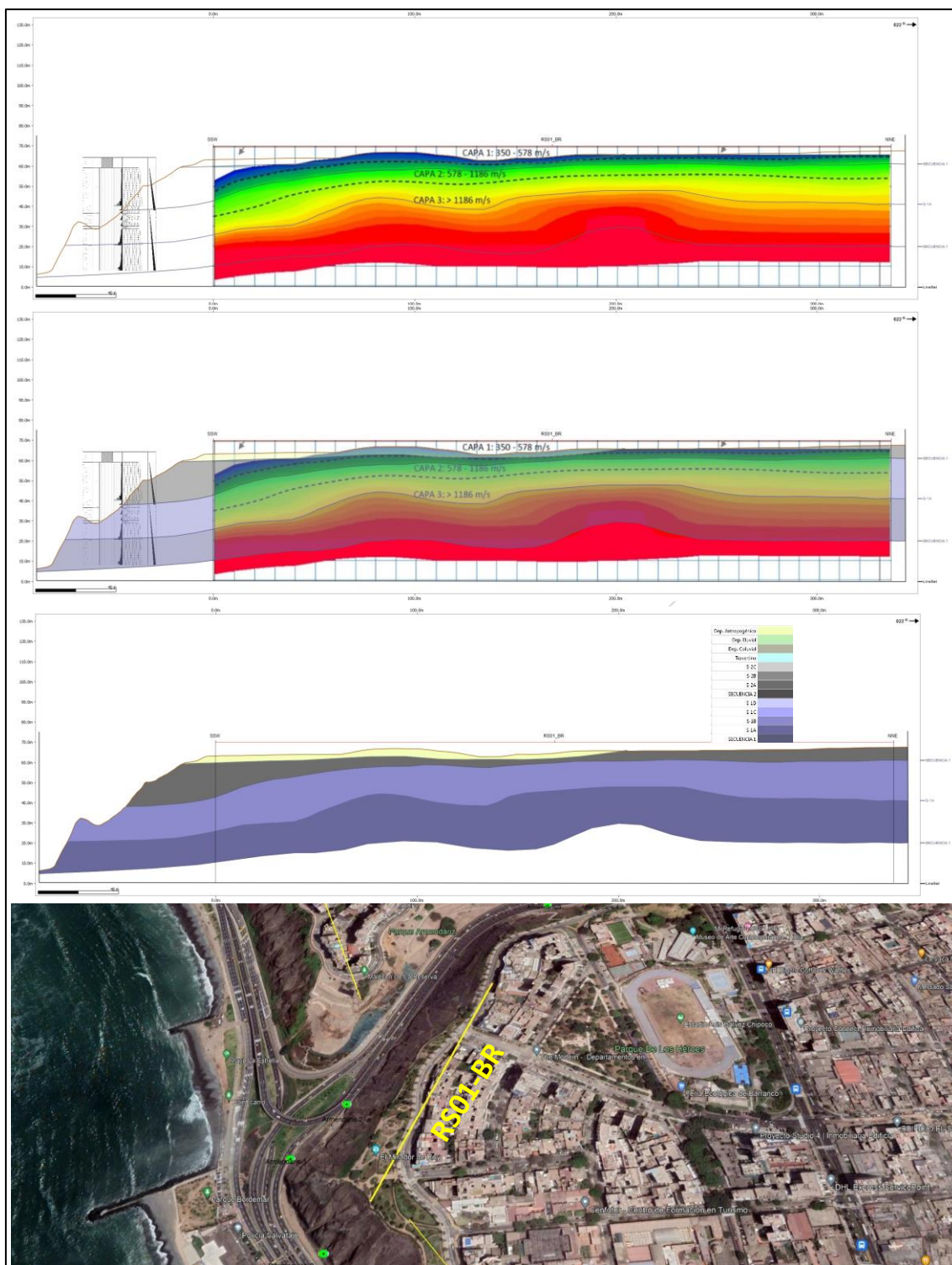


Figura 88. Sección geológica usando información de columnas estratigráficas levantadas por INGEMMET y sísmica (IGP, 2021) del distrito de Barranco.

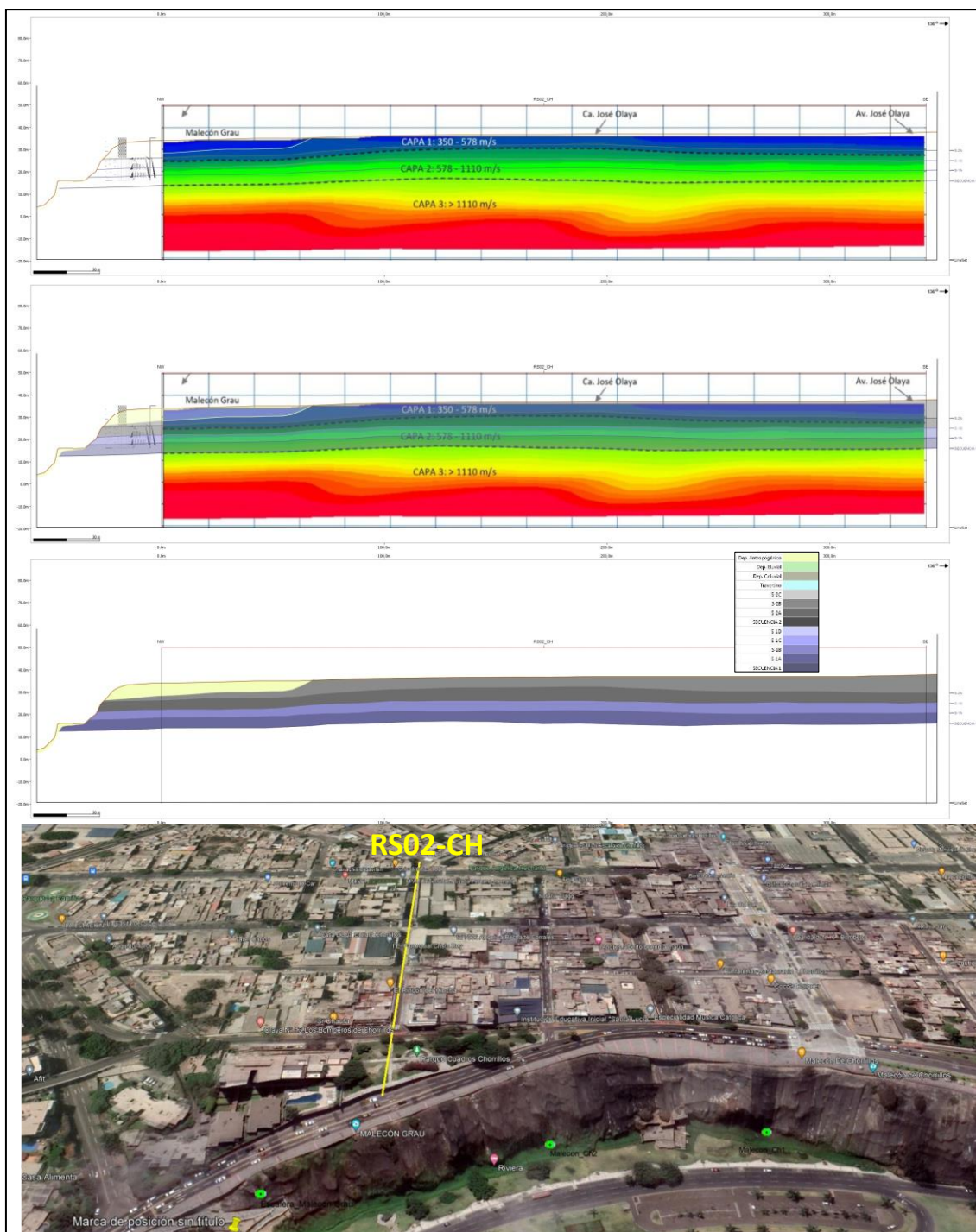


Figura 89. Sección geológica usando información de columnas estratigráficas levantadas por INGEMMET y sísmica (IGP, 2021) del distrito de Chorrillos.

2.1.12 Modelo geológico en 3D

Los resultados del trabajo de campo de medición detallada de columnas estratigráficas y su correlación con los mosaicos, así como su integración con los datos geofísicos permitieron tener un nivel de confianza razonable en ciertos sectores del acantilado respecto de la interpretación del subsuelo.

Se prepararon modelos geológicos en tres dimensiones (3D), de tal manera que se puede visualizar las áreas de trabajo no sólo con mayor rapidez sino también con mejor resolución espacial.

Es así como, la interpretación de datos obtenidos y/o medidos directamente en afloramientos integrados con la información de subsuelo obtenida indirectamente fue interpretada en un modelo 3D que permite conocer las variaciones laterales de las secuencias que afloran en los acantilados y en que rango de distancia se dan dichas variaciones, así como la geometría de los cuerpos que conforman los acantilados.

El modelo geológico 3D realizado, permitirá en el futuro, probar la validez de suposiciones o hipótesis y proporcionará un mecanismo para validar los datos existentes y, al mismo tiempo, resaltar las incertidumbres en el conocimiento de los datos dentro del área de los acantilados de la CV. Se podrá adicionar nuevos conjuntos de datos y los parámetros ya establecidos se actualizarán automáticamente, facilitando el análisis de manera rápida e intuitiva.

El modelado geológico 3D del área de los acantilados de la CV, se realizó con el software Leapfrog 2021.1 de la empresa Seequent (brindándonos licencias de prueba y designando el soporte técnico a cargo de la ingeniera María Machengo). Cabe precisar, que el software Leapfrog 2021.1 es ampliamente usado para modelados 3D en la industria minera, pero su versatilidad hace posible su adaptación y usabilidad a diferentes áreas relacionadas con las ciencias geológicas e ingeniería.

El flujo de trabajo aplicado para realizar el modelado geológico 3D de los acantilados de la CV, puede dividirse en 3 etapas principales: preparación, importación y modelado. Cabe mencionar que, a pesar de las mejoras en las capacidades del software de modelado 3D, sigue existiendo una limitación con respecto a la cantidad de datos computacionales que genera la adquisición de información a detalle, la misma que no puede ser procesada en la totalidad del área de los acantilados de la CV, y que necesariamente obliga a dividir/importar la información por áreas y/o distritos.

La etapa de preparación consistió en adquirir, generar e interpretar información geológica, topográfica, geofísica e ingenieril, de los acantilados de la CV. Esto incluye (pero no se limita), a procesamiento fotogramétrico con dron, levantamiento de columnas, correlación litológica e ingenieril de mosaicos, mapeo geológico, interpretación secuencial y modelado geológico estratigráfico 2D, interpretación sísmica y análisis de muestras; conversión de curvas de nivel a modelos de elevación digital (DEMs), interpolados cada 0.5m y adquiridos por el Instituto Geográfico Nacional (IGN); la extensión paralela desde la línea de costa hacia el continente de la topografía adquirida a detalle, puede alcanzar un promedio de 600 metros y un máximo de 1 kilómetro.

La etapa de importación consistió en ingresar la información procesada al software Leapfrog; primero se importó la topografía en formato DEM; luego el ortomosaico (vista en planta del área de los acantilados) georeferenciado en formato JPG; seguido de los modelos fotogramétricos importados como mallas desde el formato .OBJ; finalmente se importó como sondajes las columnas digitalizadas y como GIS los datos del Mapeo Geológico y los límites laterales del proyecto (por distritos).

La etapa del modelado se inició con la conversión de la información GIS a polilíneas, luego se generó el volumen total del modelo geológico 3D, a partir de la topografía como volumen y las polilíneas como límites laterales del bloque. Una vez generado el volumen total del modelo, se procedió a dividirlo en bloques, con la finalidad de llegar hacia la zona de la pared del acantilado, donde se pueda dibujar las líneas de los límites de los estratos. Con los nuevos bloques generados, se procedió a modelar por separado en cada bloque. Para el bloque correspondiente a la pared del acantilado se le aplicó transparencia y se procedió a dibujar límites de los estratos como polilíneas, sobre la

mallla fotogramétrica, guiándose con los mosaicos frontales interpretados y las columnas importadas como sondajes. Una vez generadas las polilíneas se continuó con la creación de las litologías y/o secuencias. Seguidamente se determinaron los tipos de superficies en base a las posiciones de las polilíneas creadas, luego se generó la cronología de los estratos y se procedió a generar sus volúmenes correspondientes. Posteriormente se ajustaron y/o afinaron los buzamientos de los estratos, los espesores internos de los desmontes y las costras de travertinos. Finalmente se volvieron a unir los demás bloques y se exportó el modelo geológico 3D para su visualización y/o anexión con los demás distritos.

De acuerdo con el tiempo disponible y limitados por la densidad de datos computacionales, se ha realizado dos tipos de modelados. En la zona Norte, correspondiente a los distritos de San Miguel, Magdalena y San Isidro, el modelado ha sido de carácter litológico ingenieril. En la zona Sur, correspondiente a los distritos de Miraflores, Barranco y Chorrillos, el modelado ha sido de carácter secuencial Ingenieril, esto debido que la densidad de datos en la zona Sur es muy alta y limitan la triangulación de las caras de las mallas fotogramétricas, lo cual dificulta la visualización detallada y continua de las litologías.

Para el presente informe se han seleccionado capturas de imágenes de los Modelos 3D de los 6 distritos (figuras 90 al 95).

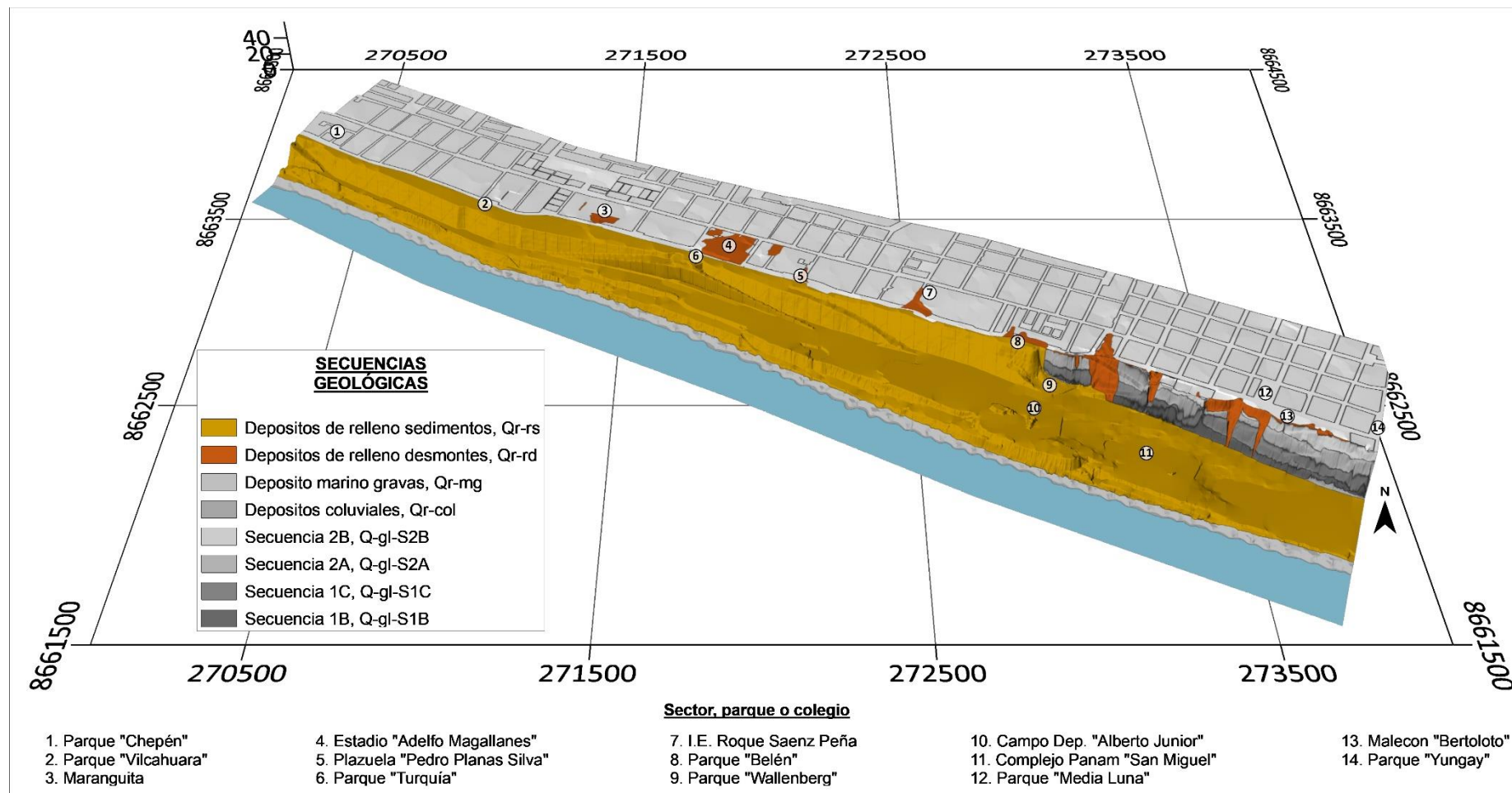


Figura 90. Modelo Geológico 3D del distrito de San Miguel.

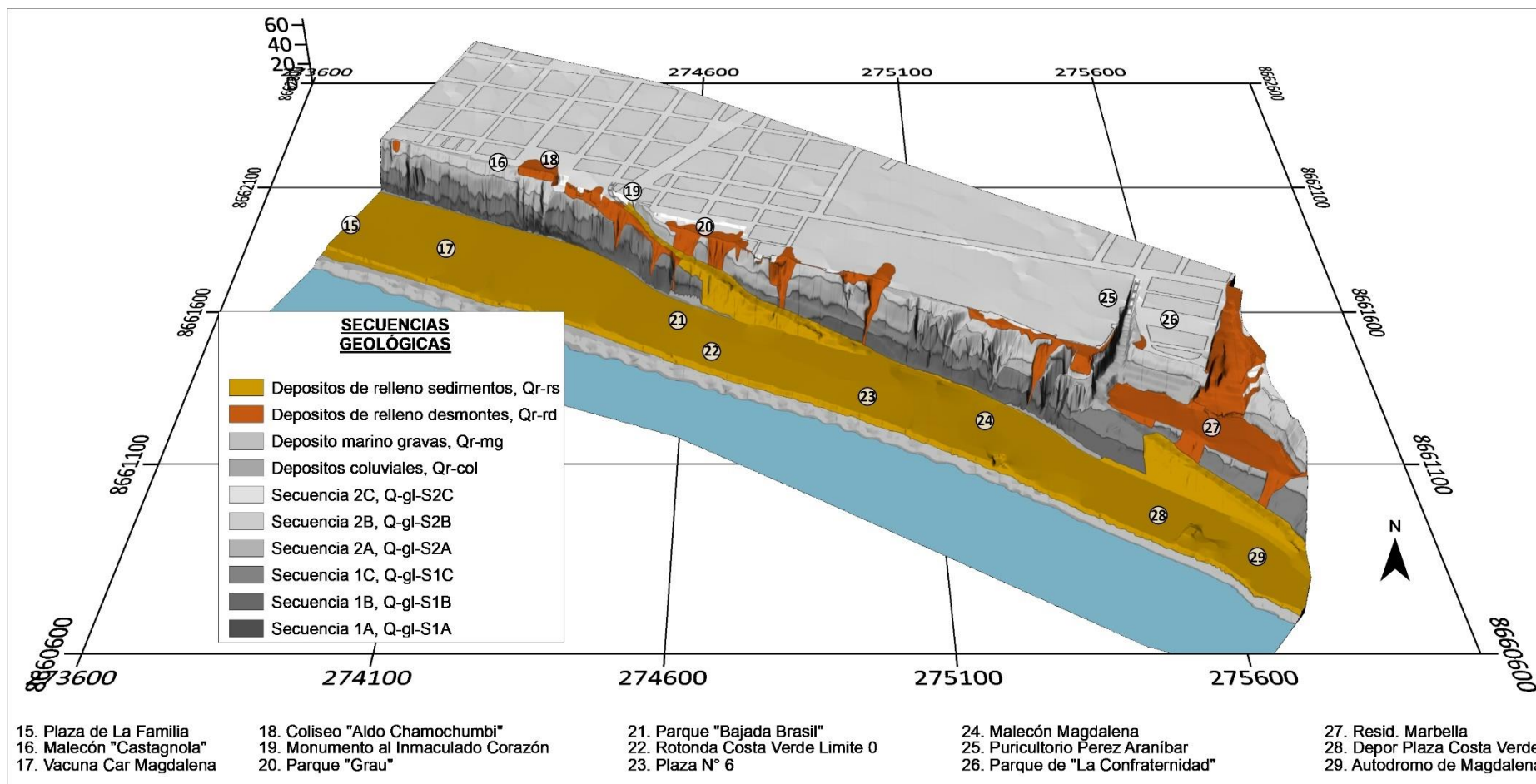


Figura 91. Modelo Geológico 3D del distrito de Magdalena del Mar.

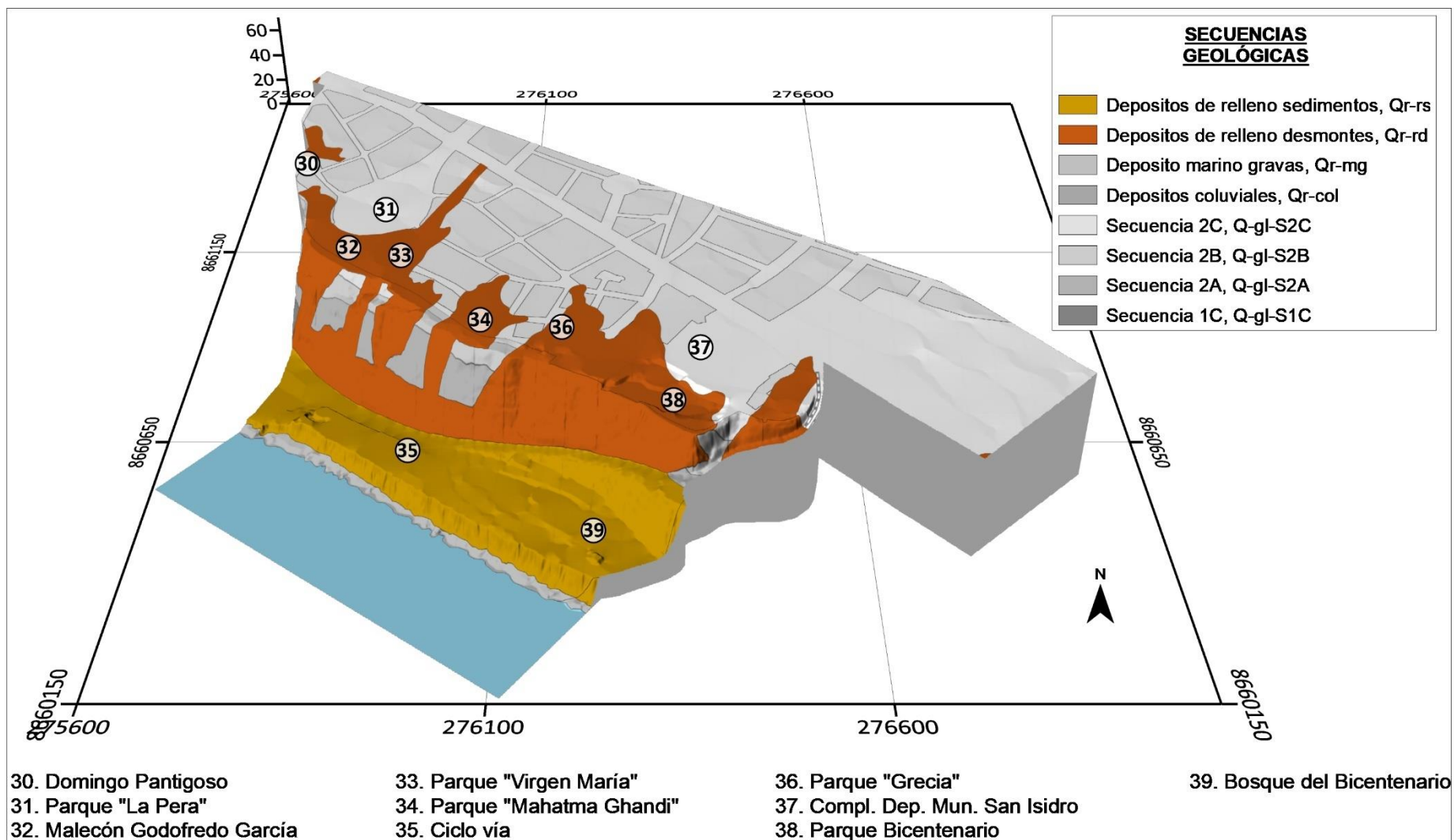


Figura 92. Modelo Geológico 3D del distrito de San Isidro.

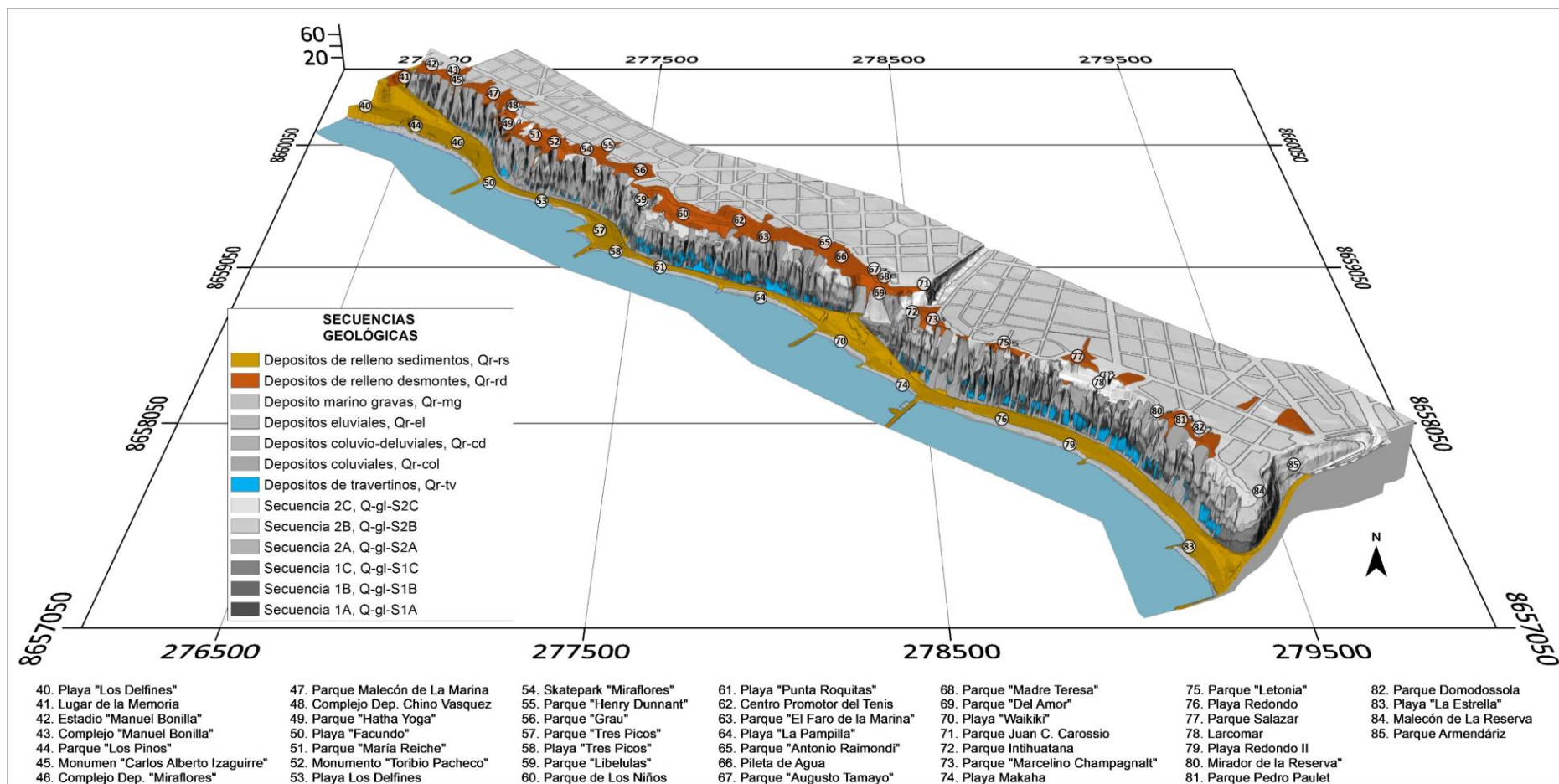


Figura 93. Modelo Geológico 3D del distrito de Miraflores.

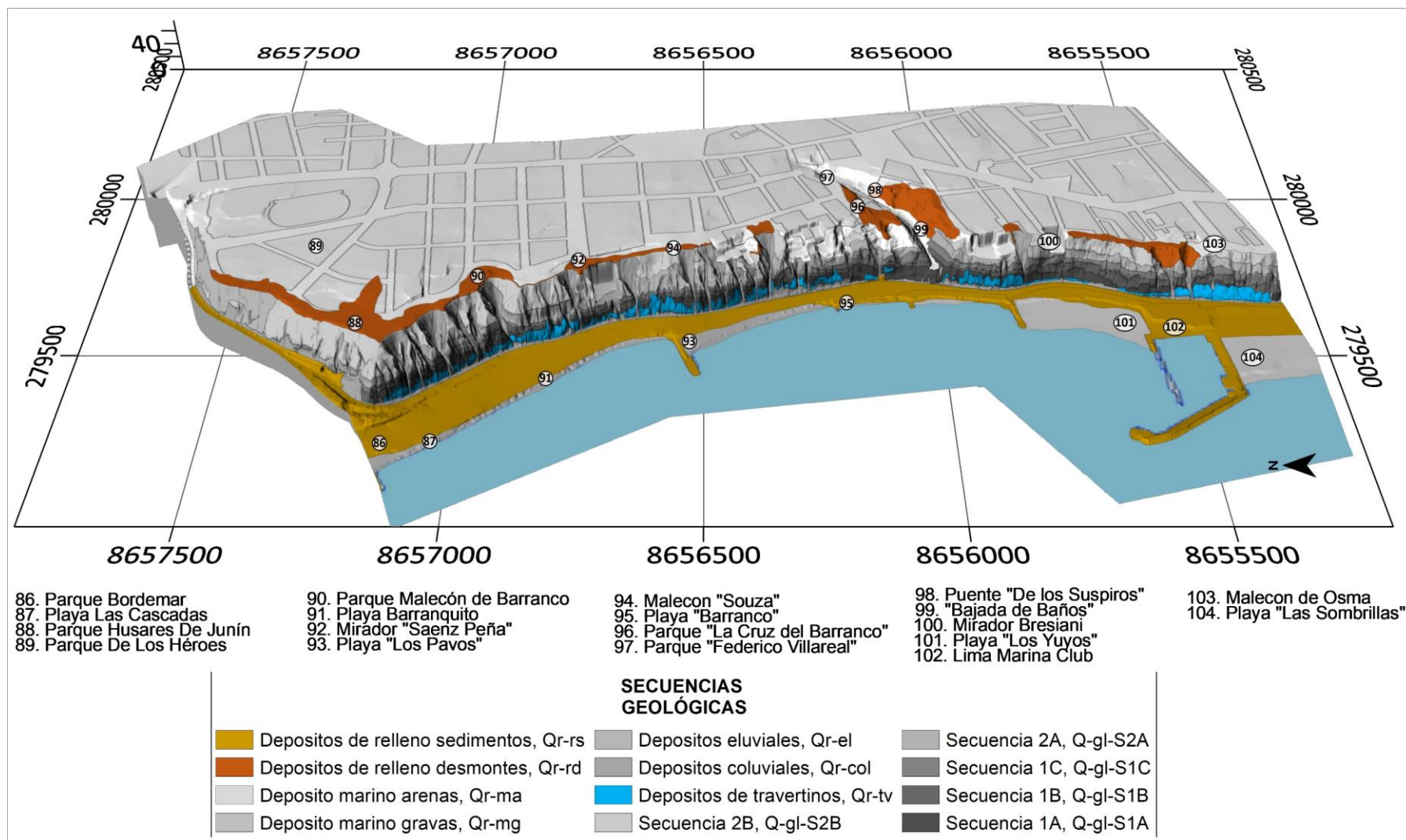


Figura 94. Modelo Geológico 3D del distrito de Barranco.

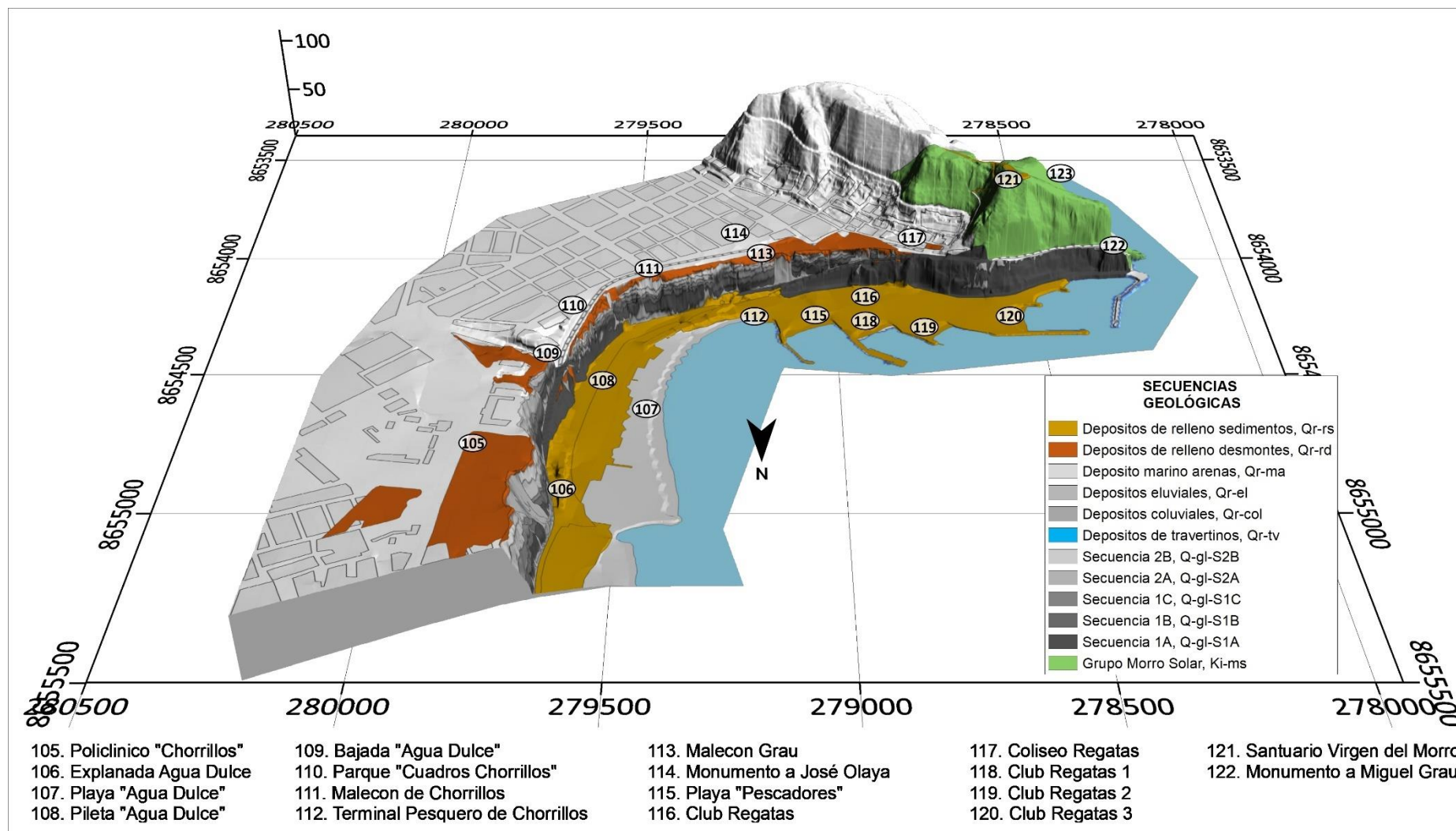


Figura 95. Modelo Geológico 3D del distrito de Chorrillos.

3 CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA

Ing. Geol. Cristhian Chiroque, CIP: 236400

Ing. Geol. Abraham Gamonal, CIP: 211188

Para la caracterización y delimitación de las unidades geomorfológicas se realizó el análisis de los modelos digitales de terreno (MDT) de los años 1960 y 2021, estos modelos tienen una resolución de 1 m y fueron obtenidos en base a vuelos realizados en el año 1960. El modelo digital de terreno actual fue obtenido mediante el levantamiento fotogramétrico con drones realizado a una altura promedio de 150 m y un GSD de 5 cm.

Ambos MDT, fueron remuestreados a 1 m por pixel de terreno, esta información permitió generar comparativos y multitemporales en 2D y 3D de las geoformas del relieve y de los depósitos antropogénicos que pueden generar procesos desestabilizadores en los suelos donde se asientan las áreas urbanas de los distritos de San Miguel, Magdalena, San Isidro, Miraflores, Barranco y Chorrillos.

3.1 Modelo digital de elevaciones

Las elevaciones de las zonas de estudio se distribuyen noroeste a sureste de 0 a 111.4 m s.n.m, los trabajos de cartografía se realizaron desde el límite superior del talud que alcanza los 25 m s.n.m. hasta los 75 m s.n.m., sobre estas superficies se distribuyen planicies conformadas por depósitos aluviales y zonas de relleno antrópico, las elevaciones de los relieves están relacionadas a cambio marcados por desniveles originados y modelados por intervención antrópica (**Plano PG.MDE-04**).

3.1.1 Modelo digital de elevaciones en el distrito de San Miguel

En el distrito de San Miguel se diferencian 3 zonas marcadas por desniveles del relieve de origen antrópico, la parte baja denominada como playa o franja costera se ubica entre 0 y 4.2 m s.n.m., la terraza baja de origen antrópico se extiende desde los 5 m s.n.m., hasta los 19 m de altitud. El acantilado actual alcanza alturas de 20 m en el extremo noroeste y hasta 50 m hacia el sureste. La zona de planicie se distribuye desde 50 m s.n.m. hasta 60.83 m de altitud, las elevaciones se describen en base a los límites distritales actuales (figura 96).

3.1.2 Modelo digital de elevaciones en el distrito de Magdalena del Mar

La zona de playa se ubica de 0 a 4 m s.n.m. mientras que la terraza baja de origen antrópico se distribuye hasta los 10 m s.n.m. el acantilado en el distrito de Magdalena alcanza hasta los 62 m s.n.m., en el extremo sureste. La parte superior del talud representado por una llanura o planicie alcanza hasta los 67.14 m s.n.m., donde se ubica el área urbana del distrito evaluado (figura 97).

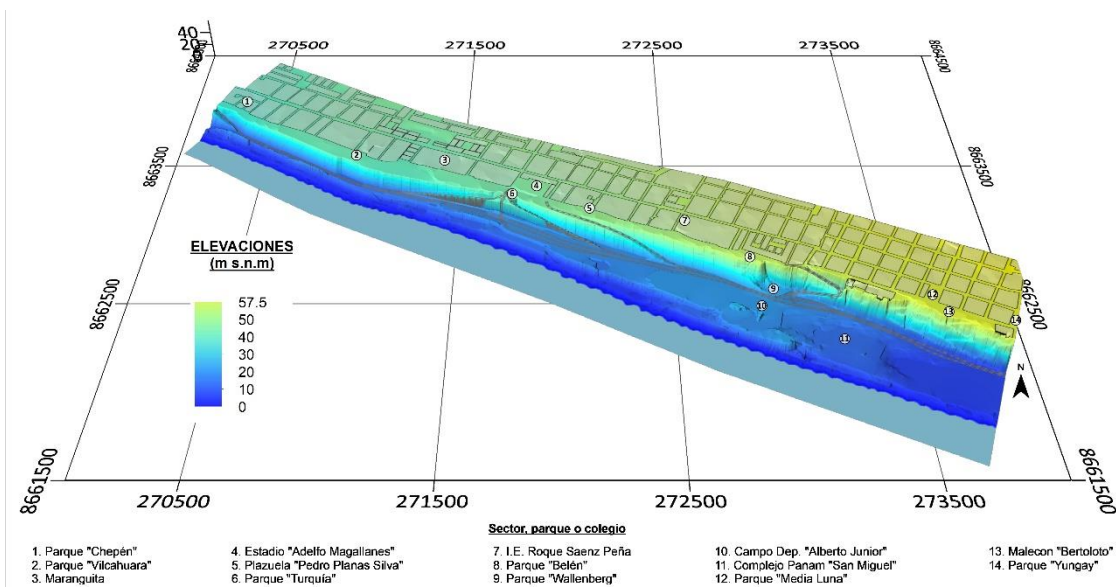


Figura 96. Elevaciones del terreno 3D del distrito de San Miguel.

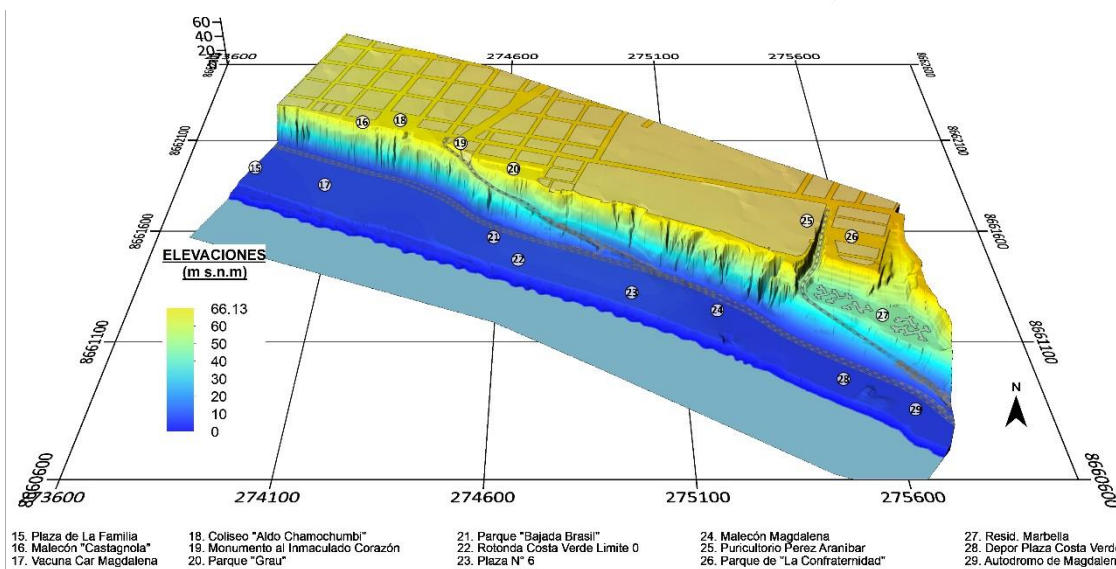


Figura 97. Elevaciones del terreno 3D del distrito de Magdalena del Mar.

3.1.3 Modelo digital de elevaciones en el distrito de San Isidro

La parte más baja está delimitada por la franja costera y playa que se extiende desde 0 a 4.5 m s.n.m., mientras que, la terraza baja limita con el pie del acantilado ubicado entre 8 y 14 m s.n.m. El acantilado en el distrito de San Isidro alcanza hasta 50 m de altura, la planicie aluvial donde se asienta el área urbana del distrito se distribuye de 60 a 70.9 m s.n.m. (figura 98)

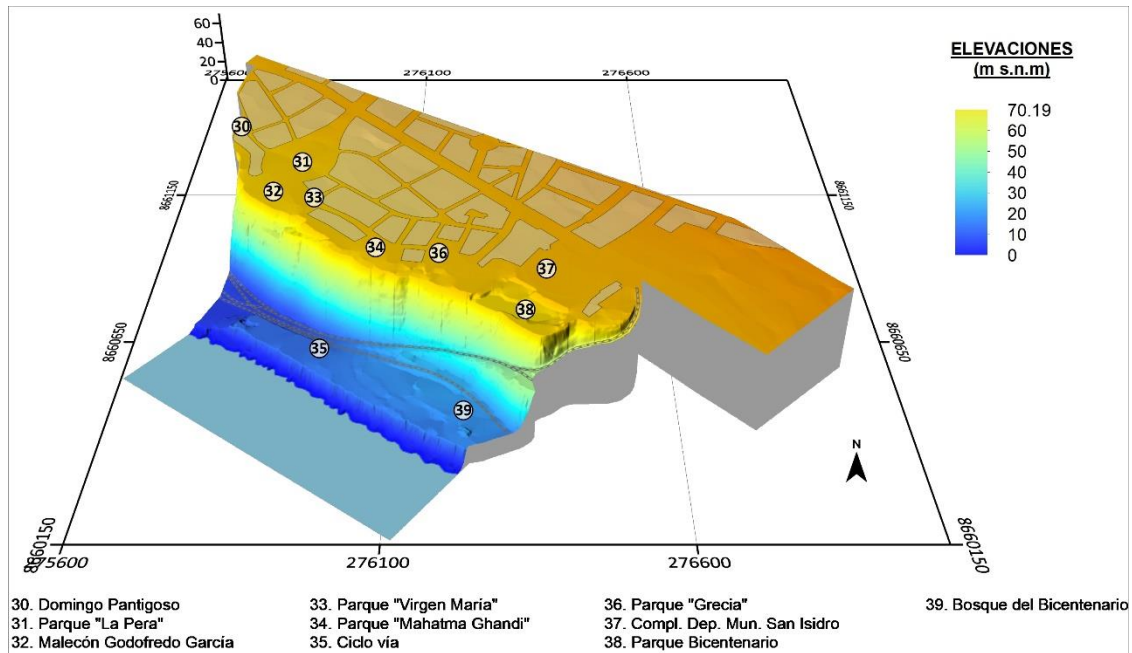


Figura 98. Elevaciones del terreno 3D del distrito de San Isidro.

3.1.4 Modelo digital de elevaciones en el distrito de Miraflores

Se extiende desde 0 a 8.5 m s.n.m., mientras que, la terraza baja limita con el pie del acantilado ubicado entre 10 y 15 m s.n.m. El acantilado en el distrito de Miraflores alcanza hasta 80 m de altura, la planicie aluvial donde se asienta el área urbana del distrito se distribuye de 80 a 86 m s.n.m. (figura 99)

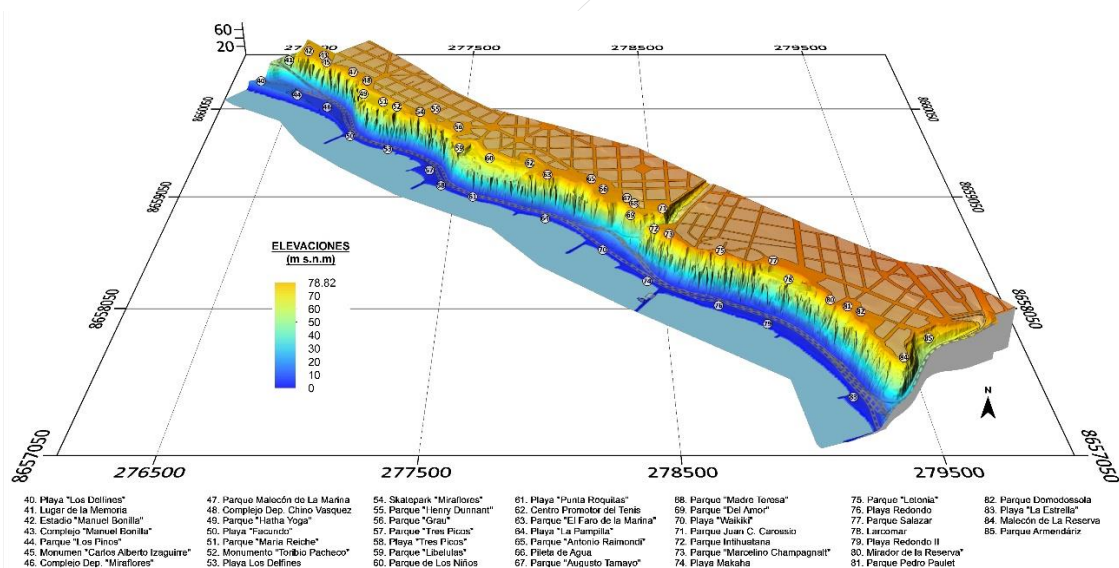


Figura 99. Elevaciones del terreno 3D del distrito de Miraflores.

3.1.5 Modelo digital de elevaciones en el distrito de Barranco

La parte más baja está delimitada por la franja costera y playa que se extiende desde 0 a 5 m s.n.m., mientras que, la terraza baja limita con el pie del acantilado ubicado entre 6 y 13 m s.n.m. El acantilado en el distrito de Barranco alcanza hasta 55 m de altura, la planicie aluvial donde se asienta el área urbana del distrito se distribuye de 55 a 60 m s.n.m. (figura 10).

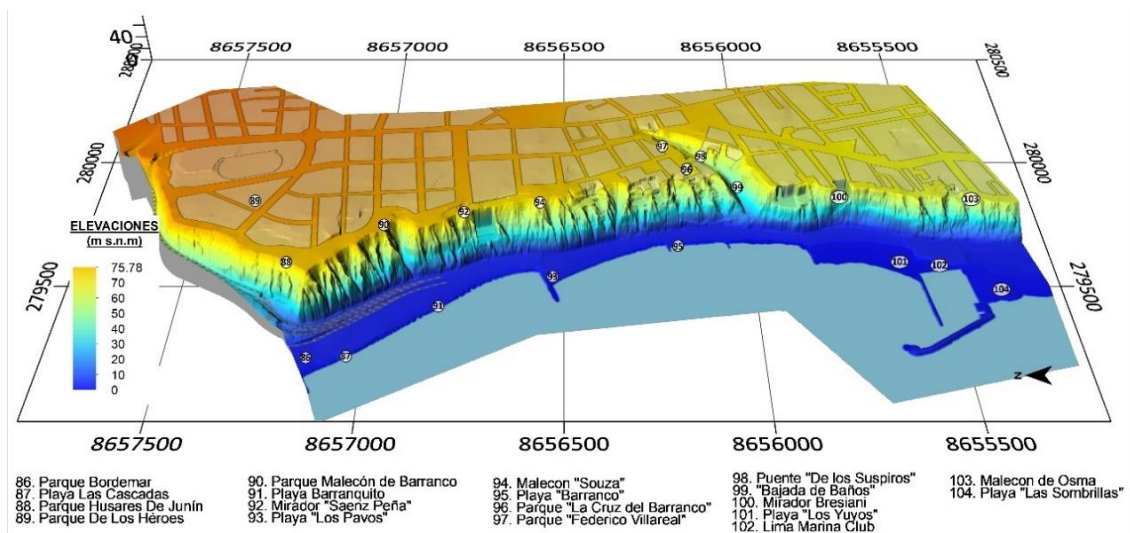


Figura 100. Elevaciones del terreno 3D del distrito de Barranco.

3.1.6 Modelo digital de elevaciones en el distrito de Chorrillos

La parte más baja está delimitada por la franja costera y playa que se extiende desde 0 a 5 m s.n.m., mientras que, la terraza baja limita con el pie del acantilado ubicado entre 5 y 15 m s.n.m. El acantilado en el distrito de Chorrillos alcanza hasta 40 m de altura, la planicie aluvial donde se asienta el área urbana del distrito se distribuye de 40 a 50 m s.n.m. (figura 101).

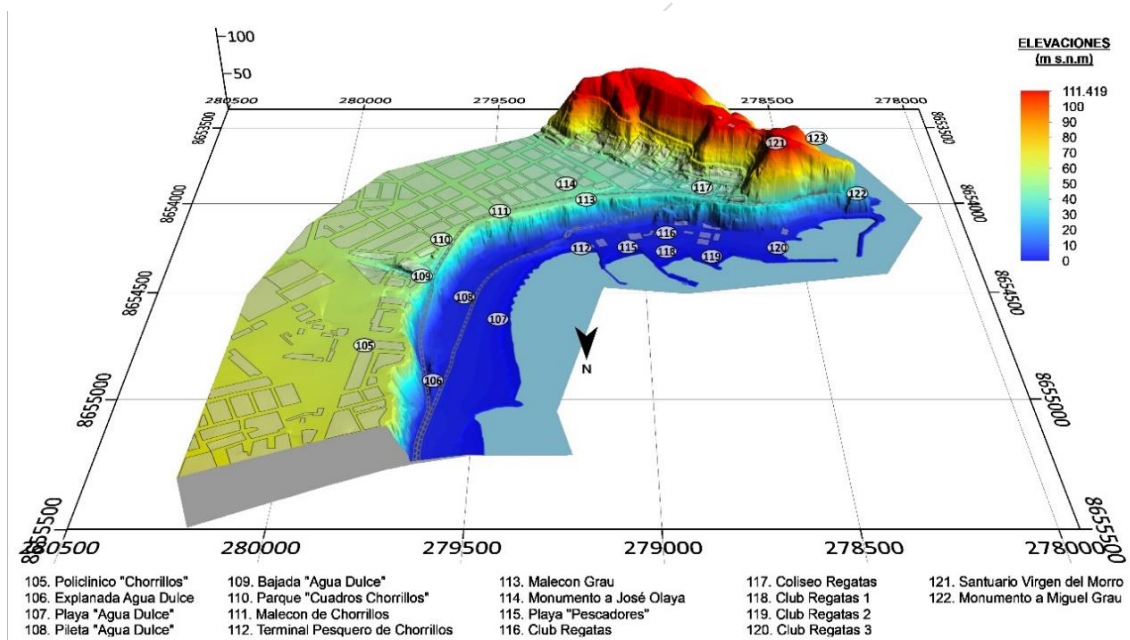


Figura 101. Elevaciones del terreno 3D del distrito de Chorrillos.

3.2 Pendientes del terreno

El mapa de pendientes se obtuvo a partir de los modelos digitales de terreno del año 1960 y 2021. Mediante el análisis de las pendientes se determinó que, la principal diferencia de pendientes se observa en la unidad denominada como acantilado. Para el año 1960, predominaban pendientes llanas a suavemente inclinadas (0° - 5°) que se ubicaban al norte formando una planicie aluvial con actividad antrópica moderada, el acantilado de la Costa Verde presentaba pendientes moderadas a muy escarpadas, que

representaban la forma natural de estas geoformas con escasa intervención antrópica.

En el mapa de pendientes del año 2021, las pendientes moderadas a muy escarpadas se ubican de forma irregular a lo largo de estructuras de tipo vial como terraplenes, terrazas antrópicas y depósitos de relleno. El acantilado se ha visto modificado entre los distritos de San Miguel, Magdalena y parte de San Isidro, mientras que entre Miraflores Barranco y Chorrillos se observan pendientes muy escarpadas con taludes muy críticos.

Entre ambos periodos, se destaca que el límite costero fue desplazado hasta 120 m hacia el oeste por la intervención de tipo antrópico que origino terrazas bajas con desniveles menores a 10 y pendientes llanas a moderadas (**Plano PG.PDT-05**). A continuación, se describen las pendientes a detalle por distritos:

3.2.1 Pendientes en el distrito de San Miguel

En el distrito de San Miguel se intervinieron un total de 287 ha, abarcando desde la franja costera, playa, terraza baja, acantilado, terraplén y planicie. Del total del área, el 89% representa relieves con pendientes llanas a suavemente inclinadas alcanzado un área de 255 ha, mientras que, los relieves con pendientes moderadas solo abarcan el 4% con un total de 11 ha. Las pendientes fuertes a muy escarpadas alcanzan un 8% distribuidos en 21 ha entre el acantilado y estructuras viales tipo terraplenes y terrazas con alta pendiente, las pendientes más escarpas se ubican al noreste del área de evaluación (figura 102).

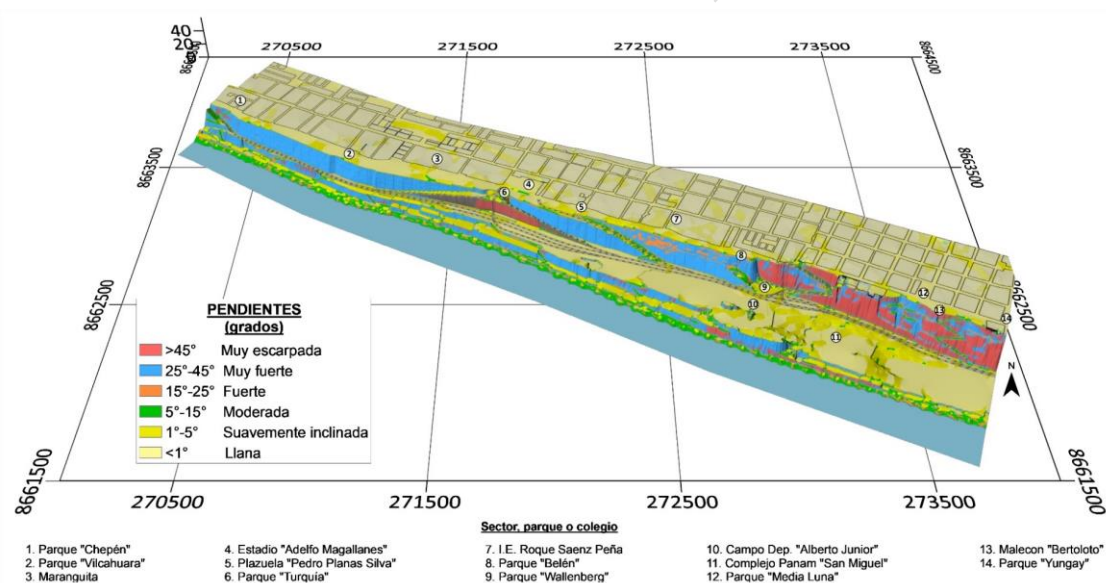


Figura 102. Pendientes del terreno 3D del distrito de San Miguel.

Mediante el modelo digital de terreno del año 1960, se elaboró el análisis de pendientes con el objetivo de realizar la comparación de con el mapa de pendientes actual (tabla 10).

En 1960 el área analizada alcanza 206.53 ha, mientras que, en el área de estudio actual se incrementó a 287.29 ha, esto debido a la extensión de terrazas por depósitos antropogénicos donde el área costera se amplió. En 1960, los relieves con pendientes llanas solo tenían 150.74 que representan el 73% del área de análisis; en la actualidad los relieves con pendientes llanas se incrementaron a 200.91 ha (70%).

Los relieves con pendientes muy escarpadas abarcaban 5.08 ha (2%), mientras que, en

la actualidad los relieves con pendientes muy escarpadas disminuyeron a 2.29 ha solo el 1% del área estudiada, esto obedece a que en el año 1960 los acantilados ocupaban gran parte del área de estudio en el distrito de San Miguel.

Tabla 10. Comparación de pendientes calculadas entre el año 1960 y 2021 en el distrito de San Miguel.

Rangos de pendientes antiguas (1960)				Rangos de pendientes actuales			
Rangos de pendientes	Descripción	Área (ha)	Área en %	Rangos de pendientes	Descripción	Área (ha)	Área en %
>45	Muy escarpada	5.08	2	>45	Muy escarpada	2.29	1
25 – 45	Muy fuerte	8.51	4	25 – 45	Muy fuerte	14.17	5
15 – 25	Fuerte	5.73	3	15 – 25	Fuerte	4.87	2
5 – 15	Moderada	9.20	4	5 – 15	Moderada	11.13	4
1 – 5	Suavemente inclinada	27.27	13	1 – 5	Suavemente inclinada	53.92	19
<1	Llana	150.74	73	<1	Llana	200.91	70
Área total (ha)		206.53	100	Área total (ha)		287.29	100

3.2.2 Pendientes en el distrito de Magdalena del Mar

En el distrito de Magdalena, se evaluaron un total de 152 ha, de las cuales el 87% está conformado por relieves con pendientes llanas a suavemente inclinadas que alcanzan las 87 ha, los relieves con pendientes moderadas abarcan el 4% con 7 ha del total. Las pendientes fuertes a muy escarpadas abarcan 13 ha que representan el 9% del área evaluada y que se observan al extremo norte y noroeste hasta el límite con la Urb. Residencial Marbella donde las pendientes llanas y suavemente inclinadas son ocupadas por condominios y viviendas (figura 103).

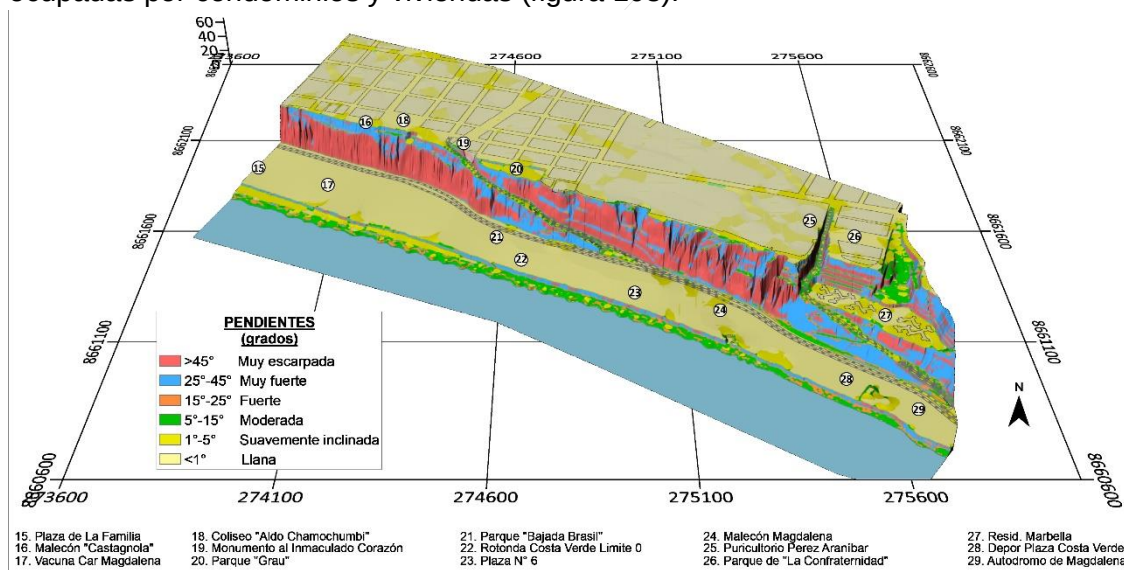


Figura 103. Pendientes del terreno 3D del distrito de Magdalena del Mar.

Se realizó la comparación de los rangos y porcentajes de pendientes del año 1960 y las pendientes calculadas en la actualidad (tabla 11).

Se concluye que, en el año 1960 el área estudiada solo abarcaba 110.05 ha, sin embargo, para la actualidad el área se incrementó a 151.99 ha debido a la expansión del borde costero formando terrazas y ganando espacio al Océano Pacífico.

Se destaca que, en 1960 las pendientes escarpadas a muy escarpadas abarcan 13.57 ha que representan el 12% del área evaluada, esto se debe a que los acantilados tenían

su forma original, mientras que en la actualidad las pendientes muy escarpadas a muy fuertes alcanzan las 7.18 ha que son el 5% del área actual. Con la actividad antropogénica, los relieves con pendientes llanas se incrementan de 61.72 ha en el año 1960 a 105.73 ha en la actualidad.

Tabla 11. Comparación de pendientes entre el año 1960 y 2021 en el distrito de Magdalena del Mar.

Rangos de pendientes antiguas (1960)				Rangos de pendientes actuales			
Rangos de pendientes	Descripción	Área (ha)	Área en %	Rangos de pendientes	Descripción	Área (ha)	Área en %
>45	Muy escarpada	6.85	6	>45	Muy escarpada	4.62	3
25 – 45	Muy fuerte	6.72	6	25 – 45	Muy fuerte	2.56	2
15 – 25	Fuerte	3.62	3	15 – 25	Fuerte	6.09	4
5 – 15	Moderada	4.76	4	5 – 15	Moderada	6.68	4
1 – 5	Suavemente inclinada	26.38	24	1 – 5	Suavemente inclinada	26.31	17
<1	Llana	61.72	56	<1	Llana	105.73	70
Área total (ha)		110.05	100	Área total (ha)		151.99	100

3.2.3 Pendientes en el distrito de San Isidro

El área evaluada en el distrito de San Isidro alcanza un total de 69 ha, los relieves con pendientes llanas a suavemente inclinadas abarcan la mayor parte del distrito, estas áreas alcanzan el 87% del total con 61 ha distribuidas entre la parte alta y baja denominadas como planicie aluvial y terraza baja de origen antrópico. El acantilado de la CV en el límite distrital de San Isidro tiene pendientes fuertes a muy escarpadas que alcanzan las 7 ha con un 9% del total. Solo el 4% de los relieves presentan pendientes moderadas ubicadas entre los límites de las terrazas y el acantilado (figura 104).

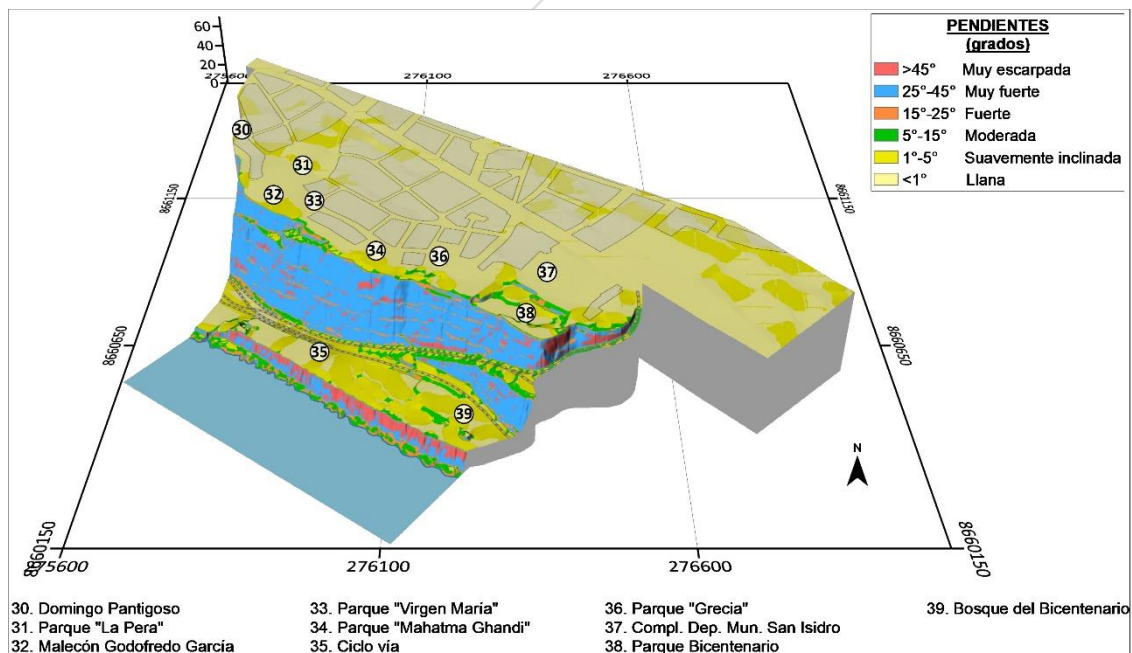


Figura 104. Pendientes del terreno 3D del distrito de San Isidro.

Del análisis de los mapas de pendientes, se encontró que el área de estudio en 1960 solo abarcaba 62.39 ha mientras que, en la actualidad el área se incrementó en 69.32 ha (tabla 12). En 1960, el acantilado de San Isidro tenía pendientes muy escarpadas

que abarcaron hasta 2.69 ha, mientras que, en la actualidad el acantilado solo ocupa 0.52 ha. Los relieves con pendientes llanas aumentaron de 35.72 ha en 1960 a 45.55 ha en la actualidad, esto se debe a la expansión de la terraza que fue originada por la intensa actividad antrópica.

Tabla 12. Comparación de pendientes entre el año 1960 y 2021 en el distrito de San Isidro.

Rangos de pendientes antiguas (1960)				Rangos de pendientes actuales			
Rangos de pendientes	Descripción	Área (ha)	Área en %	Rangos de pendientes	Descripción	Área (ha)	Área en %
>45	Muy escarpada	2.69	4	>45	Muy escarpada	0.52	1
25 – 45	Muy fuerte	2.40	4	25 – 45	Muy fuerte	5.08	7
15 – 25	Fuerte	1.99	3	15 – 25	Fuerte	1.04	2
5 – 15	Moderada	2.28	4	5 – 15	Moderada	2.46	4
1 – 5	Suavemente inclinada	17.31	28	1 – 5	Suavemente inclinada	14.67	21
<1	Llana	35.72	57	<1	Llana	45.55	66
Área total (ha)		62.39	100	Área total (ha)		69.32	100

3.2.4 Pendientes en el distrito de Miraflores

El área evaluada alcanza un total de 255 ha, las pendientes llanas a suavemente inclinadas abarcan la mayor parte del distrito, estas áreas alcanzan el 80% del total (82.58 ha). Las pendientes fuertes a muy escarpadas que alcanzan las 38.7 ha con un 16% del total que se distribuyen en toda la extensión del acantilado de la CV. Solo el 6% de los relieves presentan pendientes moderadas ubicadas entre los límites de las terrazas y el acantilado (figura 105).

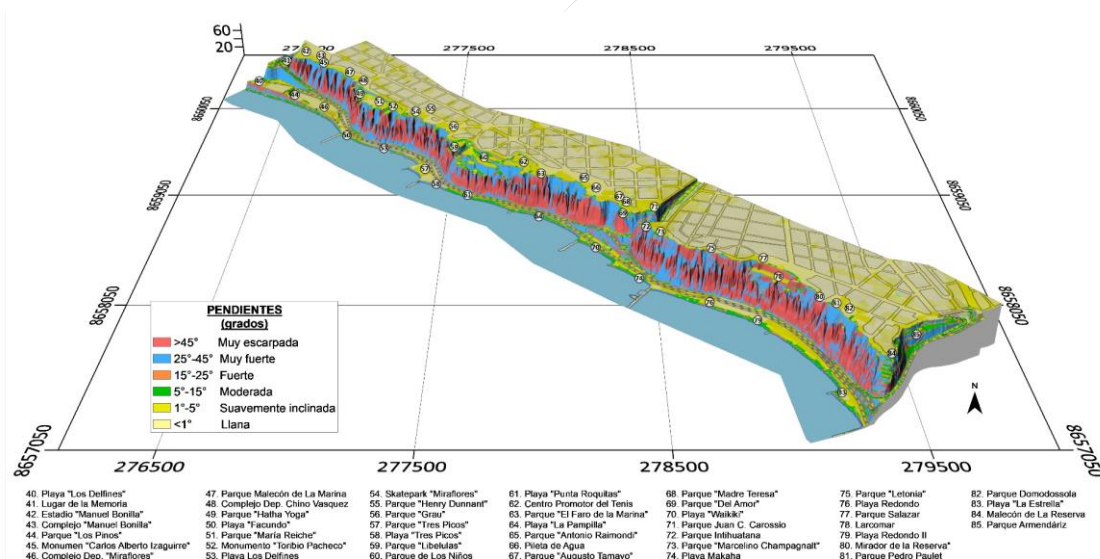


Figura 105. Pendientes del terreno 3D del distrito de Miraflores.

En el año 1960, el área de evaluación era de 238.27 ha, mientras que, en la actualidad el área se incrementó en 255.61 ha (tabla 13). El distrito de Miraflores es el único distrito en donde el acantilado no ha variado los porcentajes de pendientes entre 1960 y la actualidad, teniendo pendientes muy escarpadas a muy fuertes de 34.41 ha en 1960 a 32.23 ha en la actualidad. La actividad antrópica ha tenido mucha influencia en la ampliación de área de terrazas que se extendieron hacia el área costera, formando relieves con pendientes llanas que variaron de 121.98 ha en 1960 a 133.15 ha en la actualidad.

Tabla 13. Comparación de pendientes entre el año 1960 y 2021 en el distrito de Miraflores.

Rangos de pendientes antiguas (1960)				Rangos de pendientes actuales			
Rangos de pendientes	Descripción	Área (ha)	Área en %	Rangos de pendientes	Descripción	Área (ha)	Área en %
>45	Muy escarpada	8.70	4	>45	Muy escarpada	12.19	5
25 – 45	Muy fuerte	25.71	11	25 – 45	Muy fuerte	20.04	8
15 – 25	Fuerte	15.70	7	15 – 25	Fuerte	6.55	3
5 – 15	Moderada	17.40	7	5 – 15	Moderada	14.25	6
1 – 5	Suavemente inclinada	48.78	20	1 – 5	Suavemente inclinada	69.43	27
<1	Llana	121.98	51	<1	Llana	133.15	52
Área total (ha)		238.27	100	Área total (ha)		255.61	100

3.2.5 Pendientes en el distrito de Barranco

El área evaluada en el distrito de Barranco alcanza un total de 142 ha, los relieves con pendientes llanas a suavemente inclinadas abarcan un total de 119 ha distribuidas entre la parte alta y baja denominadas como planicie aluvial y terraza baja de origen antrópico. El acantilado de la CV en el distrito de Barranco tiene pendientes fuertes a muy escarpadas que alcanzan las 17.5 ha con un 12% del total. Solo el 4% de los relieves presentan pendientes moderadas ubicadas entre los límites de las terrazas y el acantilado con un total de 6 ha (figura 106).

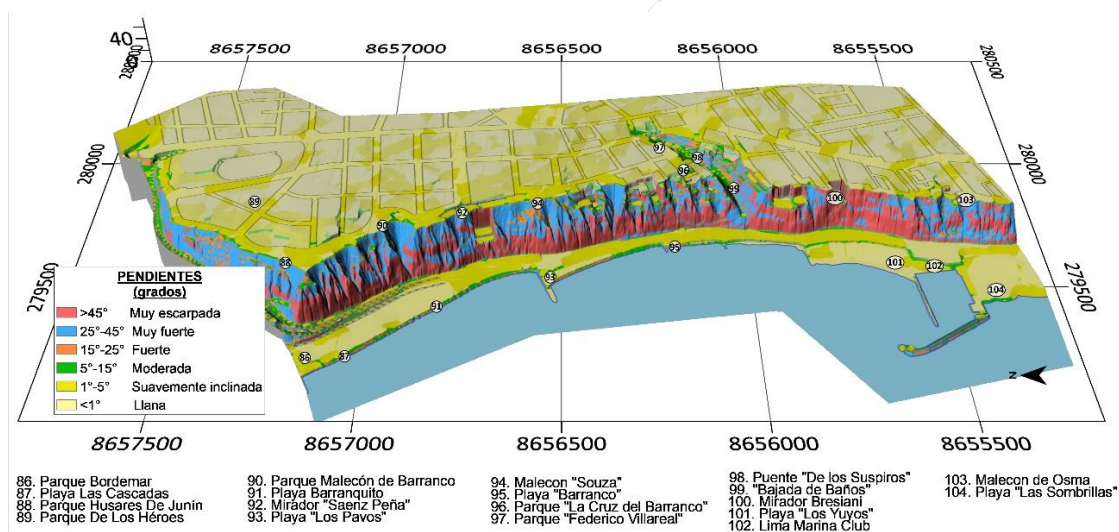


Figura 106. Pendientes del terreno 3D del distrito de Barranco.

Se realizó la comparación de los rangos de pendientes entre el año 1960 y la actualidad, con la finalidad de analizar la variación de los relieves, los resultados se muestran en la tabla 14.

El área de estudio en 1960, se incrementó de 126.95 ha a 142.66 ha en la actualidad, ese aumento se evidencia en la ocupación de terrazas que se extendieron en el borde costero con la ampliación de superficies debido a relleno antrópico. Además, los relieves con pendientes llanas pasaron de 52.38 ha en 1960 a 71.13 ha en el 2021, esto se distribuye en terrazas y planicies ubicadas en gran parte en la parte baja de la Costa Verde.

Tabla 14. Comparación de pendientes entre el año 1960 y 2021 en el distrito de Barranco.

Rangos de pendientes antiguas (1960)				Rangos de pendientes actuales			
Rangos de pendientes	Descripción	Área (ha)	Área en %	Rangos de pendientes	Descripción	Área (ha)	Área en %
>45	Muy escarpada	3.66	3	>45	Muy escarpada	4.73	3
25 – 45	Muy fuerte	10.15	8	25 – 45	Muy fuerte	9.34	7
15 – 25	Fuerte	6.78	5	15 – 25	Fuerte	3.49	2
5 – 15	Moderada	9.32	7	5 – 15	Moderada	6.00	4
1 – 5	Suavemente inclinada	44.66	35	1 – 5	Suavemente inclinada	47.97	34
<1	Llana	52.38	41	<1	Llana	71.13	50
Área total (ha)		126.95	100	Área total (ha)		142.66	100

3.2.6 Pendientes en el distrito de Chorrillos

El área evaluada alcanza un total de 165 ha, los relieves con pendientes llanas a suavemente inclinadas abarcan la mayor parte del distrito, estas áreas alcanzan el 74% del total con 122 ha distribuidas entre la parte alta y baja denominadas como planicie aluvial y terraza baja de origen antrópico. El acantilado de la CV en el límite distrital de Chorrillos tiene pendientes fuertes a muy escarpadas que alcanzan las 29.5 ha con un 18% del total. Solo el 8% de los relieves presentan pendientes moderadas ubicadas entre los límites de las terrazas y el acantilado con 13.6 ha (figura 107).

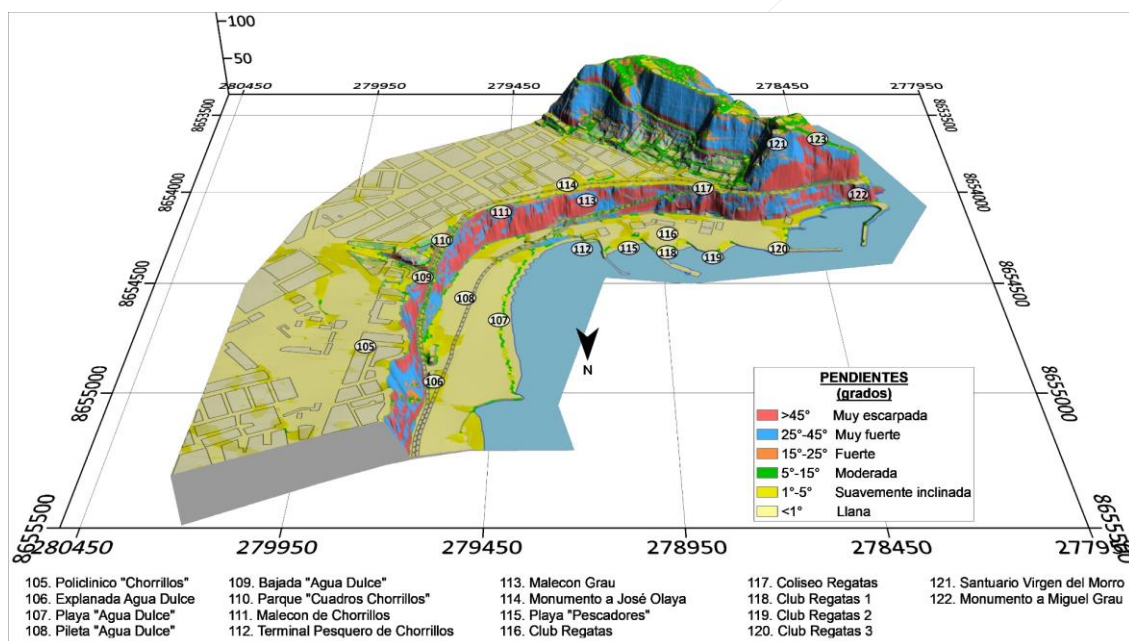


Figura 107. Pendientes del terreno 3D del distrito de Chorrillos.

Se realizó la comparación de los rangos de pendientes basados en el modelo digital de terreno del año 1960 y los rangos de pendientes actuales, con la finalidad de analizar la variación de pendientes (tabla 15).

En el distrito de Chorrillos se evidencia el incremento del área de estudio de 142.51 ha en el año 1960 a 165.54 ha en la actualidad, el aumento se originó por la intensa actividad antrópica, donde se extendieron terrazas y planicies hacia el borde costero, ganando terreno al mar. Por tanto, se ampliaron los relieves con pendientes llanas de 67.42 ha en 1960 a 94.17 ha en la actualidad, el mayor porcentaje de estas áreas se distribuyen en el borde costero y playas.

Tabla 15. Comparación de pendientes entre el año 1960 y 2021 en el distrito de Chorrillos.

Rangos de pendientes antiguas (1960)				Rangos de pendientes actuales			
Rangos de pendientes	Descripción	Área (ha)	Área en %	Rangos de pendientes	Descripción	Área (ha)	Área en %
>45	Muy escarpada	4.27	3	>45	Muy escarpada	5.32	3
25 – 45	Muy fuerte	13.88	10	25 – 45	Muy fuerte	16.11	10
15 – 25	Fuerte	11.48	8	15 – 25	Fuerte	8.07	5
5 – 15	Moderada	16.93	12	5 – 15	Moderada	13.64	8
1 – 5	Suavemente inclinada	28.53	20	1 – 5	Suavemente inclinada	28.23	17
<1	Llana	67.42	47	<1	Llana	94.17	57
Área total (ha)		142.51	100	Área total (ha)		165.54	100

3.3 Unidades geomorfológicas en el distrito de San Miguel

3.3.1 Unidades geomorfológicas antiguas en el distrito de San Miguel

En el distrito de San Miguel se identificaron y delimitaron tres unidades geomorfológicas modeladas en gran parte por procesos naturales, estas geoformas se observan antes del año 1960 (**Plano PD.GA-SM06**).

3.3.1.1 Unidades de carácter deposicional o agradacional

Están representadas por las formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan otras geoformas preexistentes:

A. Sub-unidad de planicie aluvial

Corresponde al material acumulado por el abanico aluvial del río Rímac, cuyas cabeceras se encuentra en las cumbres más altas de la sierra de la región Lima (Villacorta, et al., 2015). Para el estudio realizado, se delimitó el borde perimetral de la planicie aluvial, limitando con la unidad acantilado (figura 108).

En el año 1960, la planicie aluvial presentaba pendientes llanas (<1°) que abarcaron cerca de 150.7 ha, los relieves con pendientes suavemente inclinadas (1° – 5°) que alcanzaron las 27.2 ha, la planicie aluvial abarcó el 86% de las geoformas evaluadas.

La unidad geomorfológica acantilado tenían pendientes moderadas a muy fuertes que abarcaban un total de 23 ha que representan el 11% del área evaluada.



Figura 108. Vista de la planicie aluvial donde se ubicaba la antigua Hacienda San Miguel año 1960.

B. Sub-unidad de depósitos antrópicos

Son relieves ubicados entre la planicie aluvial y el acantilado que tienen desniveles o superficies levemente inclinadas e irregulares, han sido originadas por la extracción de materiales para cantera de agregados, en algunos puntos se identificaron ladrilleras. Estas zonas fueron rellenadas progresivamente desde los años 1943 y 1960 como cárcavas, antiguas quebradas o zonas de extracción de material (ladrilleras) (figura 109).



Figura 109. Vista de capas de rellenos observadas en las cortes actuales y las imágenes del año 1960.

En 1960 se identificaron un total de 6.06 ha de relieves que representan zonas de rellenos antropogénicos, en los trabajos de gabinete las ortofotos aéreas de 1943 y 1960 indican la presencia de zonas como probables cárcavas, canteras de agregados o ladrilleras en donde se fueron rellenando dichas zonas.

C. Sub-unidad de acantilado

En el distrito de San Miguel, el acantilado presenta taludes con pendientes muy escarpadas ($>45^\circ$), que se encuentran disectadas por cárcavas antiguas, modeladas por la acción erosiva del mar y la escorrentía superficial (figuras 110).

Entre 1943 y 1960, el acantilado de la costa verde en el distrito de San Miguel, tenía un total de 18.4 ha que se distribuyen en relieves con pendientes fuertes a muy escarpadas.



Figura 110. Vista del distrito de San Miguel y el acantilado de la Costa Verde en el año 1960.

D. Sub-unidad de cárcavas y surcos

La erosión de los suelos es producto de la remoción del material superficial por acción del agua o el viento. El proceso inicia con el agua como el principal agente modelador en forma de lluvia y agua en forma de escorrentía que fluye libre y constante a través de un canal no protegido sobre materiales poco compactos (figuras 111). En la cartografía de gabinete se identificaron cárcavas y surcos de diferentes dimensiones que alcanzan las 6.6 ha en relieves con pendientes llanas a moderadas.



Figura 111. Vista de los procesos de erosión que dan como resultados cárcavas y surcos.

E. Sub-unidad de borde litoral y playas

El borde litoral actual se debe al nivel que tiene el nivel del mar hoy en día, esta

configuración depende factores como son el levantamiento tectónico propiciado por el proceso de subducción y la cantidad de agua retenida en los continentes en forma de masas de hielo. Por esta razón, en una escala de miles o decenas de miles de años, el borde litoral puede haber experimentado considerables variaciones (Villacorta et al., 2015).

Esta geoforma es la que mayor intervención antrópica ha tenido, pues desde los años 1943 y 1960 a la fecha se ha expandido mar adentro, debido a la construcción de espigones de roca, los cuales han permitido la sedimentación de arenas formando playas. Asimismo, la acumulación de relleno antrópico reciente también ha permitido esta expansión, se calculó un área total de 4.08 ha que abarca el borde litoral y playa que alcanzaban anchos de 8 m a 25 m (figura 112).



Figura 112. Fotografía del año 1930 del distrito de San Miguel, donde se muestran las geoformas antiguas.

Tabla 16. Resumen de unidades geomorfológicas antiguas en el distrito de San Miguel.

Unidad geomorfológica antigua (1943-1960)	Código	Área (m2)	Área (ha)
Planicie aluvial	P-al	1725042.76	172.50
Depósito antrópico	D-a	60620.30	6.06
Acantilado	Ac	184460.32	18.45
Cárcavas	Ca	65897.28	6.59
Surcos	Su	118.05	0.01
Borde litoral y playa	B-l	40895.15	4.09

3.3.2 Unidades geomorfológicas actuales en el distrito de San Miguel

3.3.2.1 Unidades de carácter deposicional o agradacional

Están representadas por las formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan otras geoformas preexistentes (**Plano PD.GR-SM07**):

A. Sub-unidad de acantilado

Sub-unidad de origen marino que se encuentra siguiendo la línea costera, a lo largo de

la cual se ha desarrollado la zona de ribera actual, donde destacan entrantes y salientes conformando playas delgadas y acantilados (Guzmán et al., 1997).

El acantilado presenta relieves con pendientes moderadas a muy fuertes ($>45^\circ$), que se encuentran cubiertas por áreas verdes que en la mayoría son irrigadas saturando los materiales de origen antropogénico, el acantilado en el distrito de San Miguel abarca un total de 12.4 ha (figura 113).

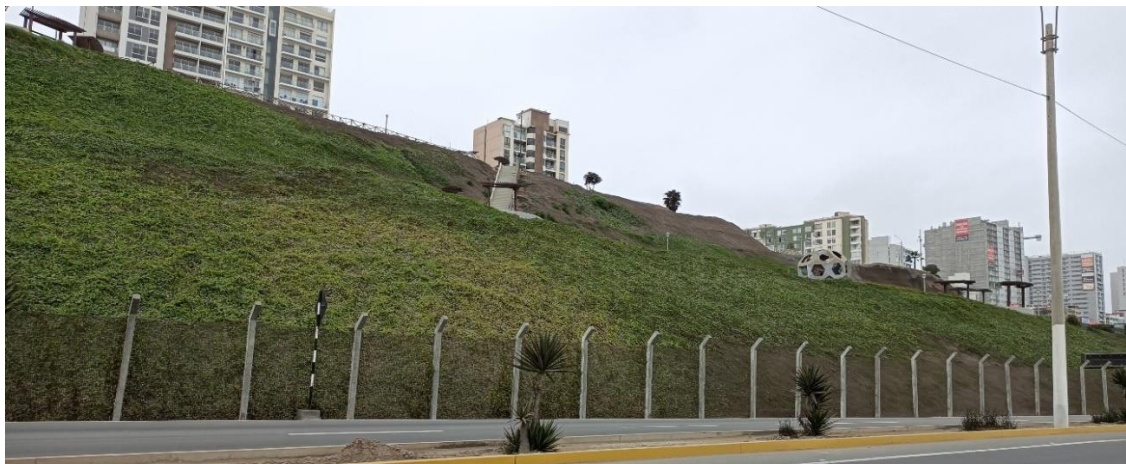


Figura 113. Vista hacia el acantilado de la Costa Verde en el distrito de San Miguel.

B. Sub-unidad de planicie aluvial

Corresponde al material acumulado por el abanico aluvial del río Rímac, cuyas cabeceras se encuentra en las cumbres más altas de la sierra de la región Lima (Villacorta, et al., 2015). La planicie abarca gran parte del área de estudio alcanzando 186.4 ha, donde se ubica el área urbana del distrito de San Miguel, el borde perimetral de la planicie aluvial limita con la unidad acantilado (figura 114).



Figura 114. Vista hacia la planicie donde se ubica el área urbana del distrito de San Miguel.

C. Sub-unidad de borde litoral y playa

El borde litoral actual se debe al nivel que tiene el nivel del mar hoy en día, esta configuración depende factores como son el levantamiento tectónico propiciado por el

proceso de subducción y la cantidad de agua retenida en los continentes en forma de masas de hielo. Por esta razón, en una escala de miles o decenas de miles de años, el borde litoral puede haber experimentado considerables variaciones (Villacorta et al., 2015).

Esta geoforma es la que mayor intervención antrópica ha tenido, pues desde los años 1943 y 1960 a la fecha se ha expandido mar adentro, debido a la construcción de espigones de roca, los cuales han permitido la sedimentación de arenas formando playas. Asimismo, la acumulación de relleno antrópico reciente también ha permitido esta expansión, el borde litoral de playa abarca 12.13 ha (figura 115).

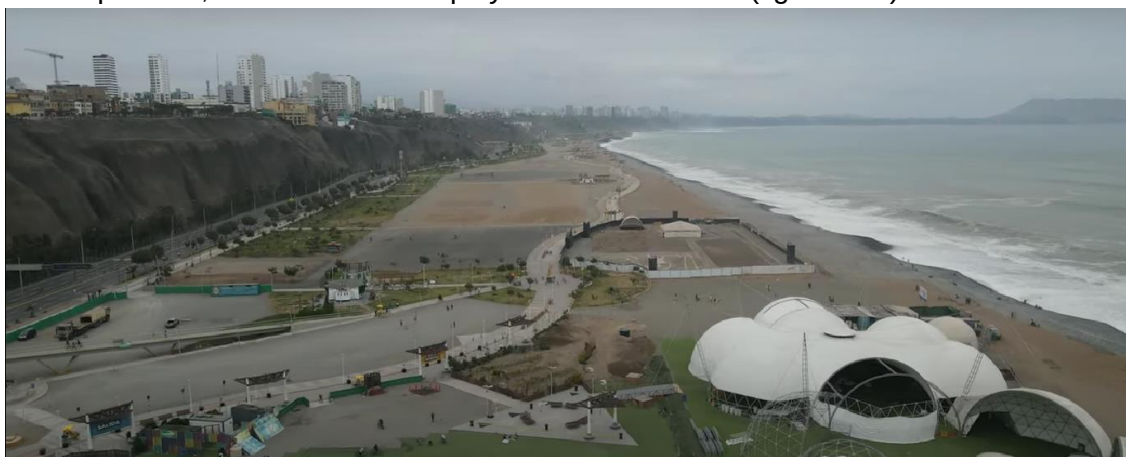


Figura 115. Vista del Complejo Panamericano San Miguel.

D. Sub-unidad de cárcavas

La erosión resulta de la remoción de sedimentos y materiales superficial por acción del agua de escorrentía o el viento. El proceso inicia con el agua como el principal agente modelador en forma de lluvia y la escorrentía que fluye libre y constante a través de un canal no protegido sobre materiales poco compactos, un factor importante es la falta de cobertura vegetal. En el distrito de San Miguel, se calcularon 0.42 ha de cárcavas como relictos de la intensa erosión que existía en el año 1960 (figura 116).



Figura 116. Vista del Complejo Panamericano San Miguel.

3.3.2.2 Unidades geomorfológicas de carácter antropogénico

A continuación, se describen todas las geoformas identificadas y delimitadas a través

de la superposición de las fotos aéreas de los años 1943 y 1960 e imágenes satelitales del año 2000 hacia adelante, todas las geoformas originadas por la intervención del hombre tienen un carácter antropogénico, muchas de estas geoformas han sido creadas a través del movimiento de grandes volúmenes de materiales de diverso origen y procedencia, y en algunos casos sin ningún control geotécnico.

E. Sub-unidad de terraplén

Son estructuras principalmente de tipo vial, construidas a través del movimiento de tierras, suelo o roca, que inicia en un nivel inferior y se eleva o desciende para alcanzar el nivel de un plano de apoyo donde descansa el peso de la estructura. En la mayoría de los casos estas construcciones se hacen mediante un proceso lento de relleno y compactación y que ocupa el ancho del tipo de vía.

En el distrito de San Miguel existen 03 terraplenes con un área total de 5.6 ha, por donde se emplazan las vías asphaltadas, circuito de playas de sentido norte a sur y viceversa hasta la avenida Mariscal Agustín Gamarra (figura 117).



Figura 117. Vista hacia el terraplén construido como vía de acceso.

F. Sub-unidad de terraza baja

Están conformadas por zonas elevadas con superficies irregulares, llanas y ligeramente a un nivel superior sobre las playas y que limitan con los taludes y terraplenes. Sobre estas unidades se ubican parques, ciclo vías y vías secundarias que se cimentaron sobre depósitos de origen antropogénico, siendo rellenas por materiales de diferente origen, esta unidad abarca un total de 70.8 ha (figura 118).

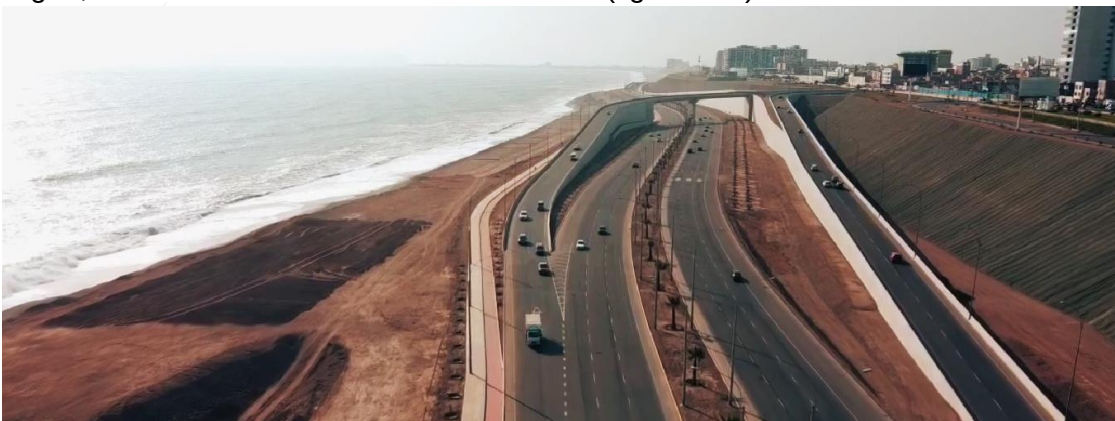


Figura 118. Vista hacia la terraza baja que limita con el pie del acantilado y ocupado por terraplenes.

Tabla 17. Resumen de unidades geomorfológicas recientes en el distrito de San Miguel.

Unidad geomorfológica reciente (2021)	Código	Área (m2)	Área (ha)
Planicie aluvial	P-al	1864662.28	186.47
Acantilado	Ac	124818.63	12.48
Cárcava	Ca	4211.73	0.42
Terraplén	Tpn	56215.54	5.62
Terraza baja	Tb	708137.36	70.81
Borde litoral y playa	B-l	121264.67	12.13

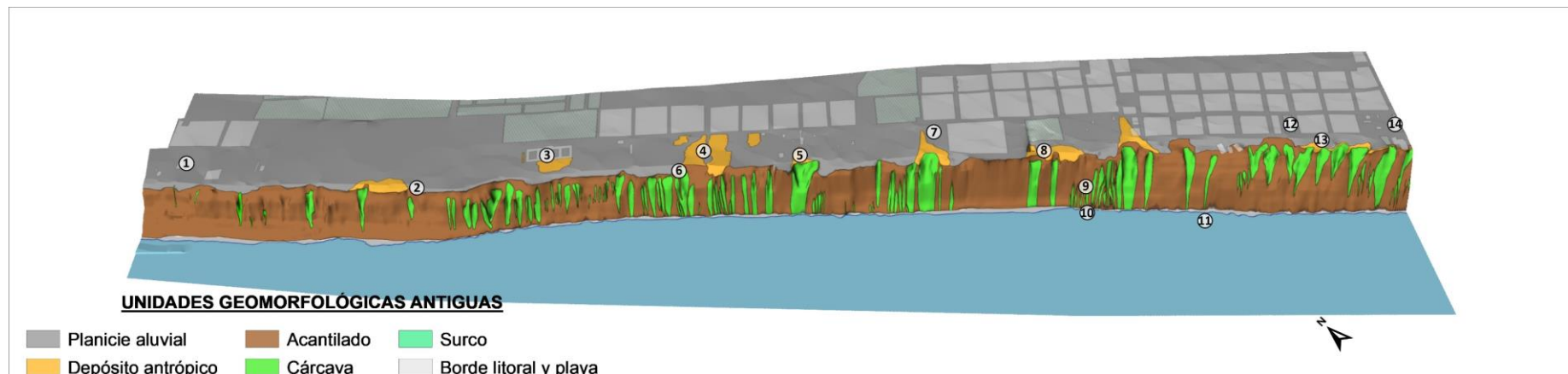


Figura 119. Geomorfología antigua del distrito de San Miguel.

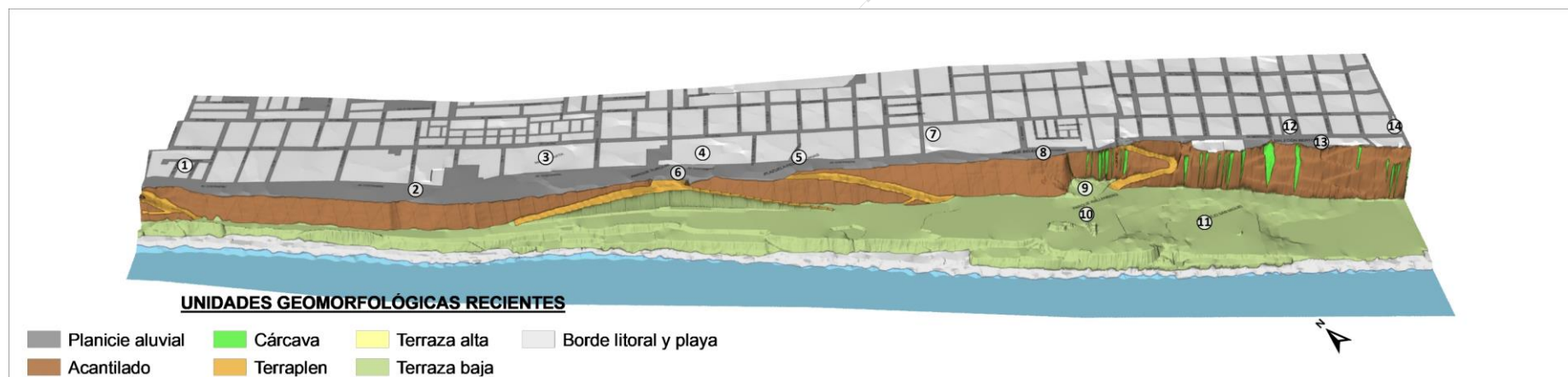


Figura 120. Geomorfología actual del distrito de San Miguel.

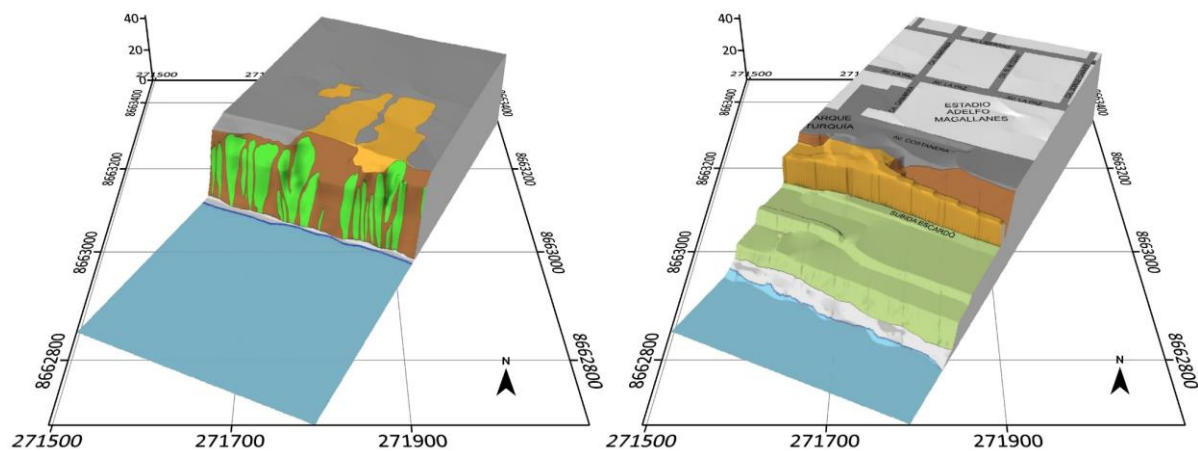


Figura 121. Sección SM-01, donde se observa el cambio del relieve debido a la intervención antrópica, destacan la terraza baja y los terraplenes como vías de acceso, del antiguo acantilado del año 1960 quedan muy pocos sectores.

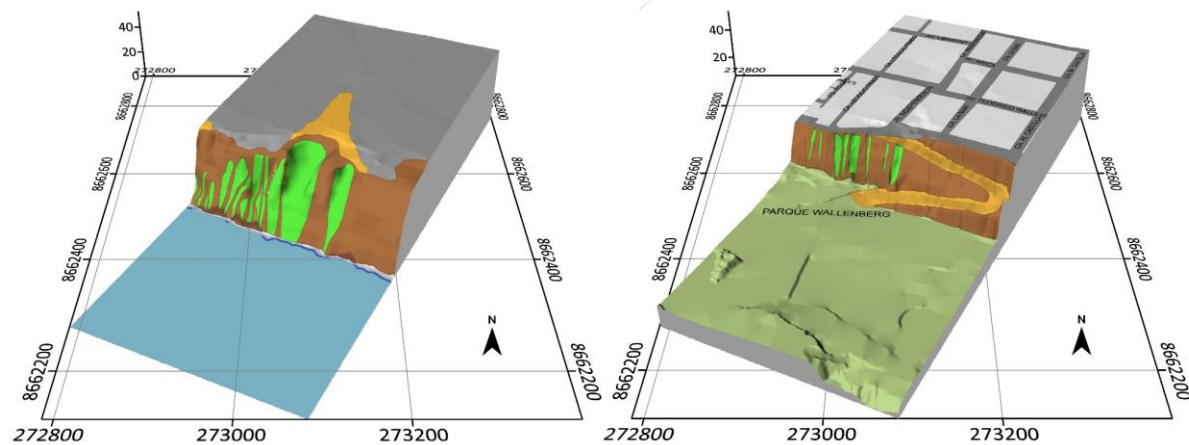


Figura 122. Sección SM-04, en el año 1960 el borde costero solo tenía 15 m de ancho, en la geomorfología actual se extendió una terraza baja ganando terreno al mar hasta 175 m de ancho, además de terraplenes para vías de acceso.

3.4 Unidades geomorfológicas en el distrito de Magdalena del Mar

3.4.1 Unidades geomorfológicas antiguas en el distrito de Magdalena del Mar

En el distrito de Magdalena del Mar se identificaron y delimitaron tres unidades geomorfológicas modeladas por procesos naturales, estas geoformas se identificaron a partir del análisis de fotografías aéreas de los años 1943 y 1960 (**Plano PD.GA-MM08**).

3.4.1.1 Unidades de carácter deposicional o agradacional

Están representadas por las formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan otras geoformas preexistentes:

A. Sub-unidad de planicie aluvial

En la zona de estudios, la planicie se extiende de noreste a suroeste con relieves con pendientes llanas a ligeramente inclinadas (1° - 5°). En el año 1960, gran parte de esta geoforma estaba ocupadas por cultivos y haciendas donde se pueden distinguir declives topográficos y una intensa erosión en forma de cárcavas (figura 123).

Se identificaron un total de 82.5 ha de relieves que representan zonas de planicie que se extienden hasta 1.9 km de largo y 510 m de ancho en la delimitación del área estudiada en el distrito de Barranco.



Figura 123. Vista de la planicie aluvial del distrito de Magdalena en el año 1960.

B. Sub-unidad de depósitos antrópicos

Mediante la cartografía basada en fotos aéreas de los años 1943 y 1960, se identificaron zonas ubicadas entre la planicie aluvial y el acantilado, que presenta desniveles levemente inclinadas e irregulares, han sido originadas por la extracción de materiales para cantera de agregados, en algunos puntos se identificaron ladrilleras.

Se han calculado un total de 4.1 ha distribuidas en gran parte entre el Coliseo Aldo Chamocho, Parque Grau y el Malecón Bernalles (figura 124).



Figura 124. Vista hacia la Av. Brasil, en el extremo izquierdo se observa el lugar donde hoy se ubica el Coliseo Aldo Chamochumbi, donde se identificó un depósito antrópico en el año 1960.

C. Sub-unidad de acantilado

El acantilado del distrito de Magdalena se extiende 2.21 km de largo, tiene taludes de pendientes fuertes a muy escarpadas ($15 - >45^\circ$), que se encuentran disectadas por antiguas cárcavas, modeladas por la quebradas y riachuelos además de la acción erosiva marina (figura 125).

En el área evaluada del distrito de Magdalena, el acantilado de la Costa Verde abarca un área de 10.7 ha, donde se distribuyen gran cantidad de cárcavas con mayor porcentaje hacia el sur este.



Figura 125. Vista del acantilado del distrito de Magdalena del Mar en el año 1960.

D. Sub-unidad de cárcavas y surcos

La erosión es el resultado de la remoción del material superficial por acción del agua o el viento. El proceso inicia con el agua, principal agente modelador que fluye en forma de lluvia y agua de escorrentía a través de un canal no protegido sobre materiales poco compactos y deleznales. Mediante ortofotos antiguas, se calcularon un total de 12 ha de zonas afectadas por cárcavas, mientras que, los surcos llegan a 0.3 ha (figura 126).



Figura 126. Vista hacia la antigua Av. Brasil donde se observan cárcavas en el distrito de Magdalena.

E. Sub-unidad de borde litoral y playa

Hasta el año 1960, el borde litoral y playas del distrito de Magdalena abarcaba una franja muy reducida que no superaba los 15 m de ancho al extremo noroeste y 40 m al extremo sureste, la playa presentaba una pendiente muy pronunciada con una erosión marina medianamente intensa (figura 127).



Figura 127. Vista hacia el final de la Av. Brasil, actual subida hacia la Av. Sucre monumento al Inmaculado Corazón. Fuente: Diario El Comercio.

Tabla 18. Resumen de unidades geomorfológicas antiguas en el distrito de Magdalena del Mar.

Unidad geomorfológica antigua (1943-1960)	Código	Área (m2)	Área (ha)
Planicie aluvial	P-al	825044.06	82.50
Depósito antrópico	D-a	41377.01	4.14
Acantilado	Ac	107801.59	10.78
Cárcavas	Ca	120786.32	12.08
Surcos	Su	3222.87	0.32
Borde litoral y playa	B-l	11288.46	1.13

3.4.2 Unidades geomorfológicas actuales en el distrito de Magdalena del Mar

Las geoformas descritas a continuación, corresponden a todas las formas del relieve cartografiadas a la actualidad y que han sido originadas principalmente por la intervención antrópica. Las geoformas antiguas o parte de ellas fueron modificadas para emplazar estructuras de tipo vial dando como resultado terrazas y terraplenes. La geomorfología fue diferenciada por el origen y el carácter del proceso que modeló el relieve del distrito de Magdalena del Mar (**Plano PD.GR-MM09**).

3.4.2.1 Unidades de carácter deposicional o agradacional

Están representadas por las formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan otras geoformas preexistentes:

A. Sub-unidad de acantilado

El acantilado presenta pendientes fuertes a muy escarpadas, en algunos sectores se pueden observar procesos de erosión como cárcavas antiguas y recientes que pueden ocasionar caídas y derrumbes debido a la inestabilidad de las laderas (figura 128).

El acantilado de la CV correspondiente al distrito de Magdalena del Mar, tiene una extensión de 2.2 km de largo y un ancho que varía de 510 m a 653 m de noroeste a sureste, abarcando un área total de 9.5 ha.



Figura 128. Vista hacia el acantilado de la Costa Verde, Malecón Miguel Grau en el distrito de Magdalena.

B. Sub-unidad de planicie aluvial

Corresponde al material acumulado por el abanico aluvial del río Rímac, cuyas

cabeceras se encuentra en las cumbres más altas de la sierra del departamento de Lima (Villacorta, et al., 2015). Para el estudio realizado, nos encontramos en el borde perimetral de la planicie aluvial, limitando con la unidad acantilado (figura 129).

En la cartografía de campo y gabinete se calculó un total de 85 ha de relieves considerados como planicies con pendientes llanas a suavemente inclinadas, sobre esta zona ha ocurrido una gran expansión urbana.



Figura 129. Bajada hacia la Av. Brasil que conecta la planicie donde se ubica el área urbana del distrito de Magdalena con la parte baja del acantilado.

C. Sub-unidad de borde litoral y playa

Esta geoforma tiene un ancho aproximado de 30m a 60m disminuyendo de noroeste a sureste. Entre el año 1960 y 2021, esta unidad geomorfológica ha tenido un retroceso con dirección este-oeste de más de 130 m, siendo una de las geoformas con mayor intervención debido a su ubicación, que luego recibe la dinámica marina del oleaje y el viento (figura 130).

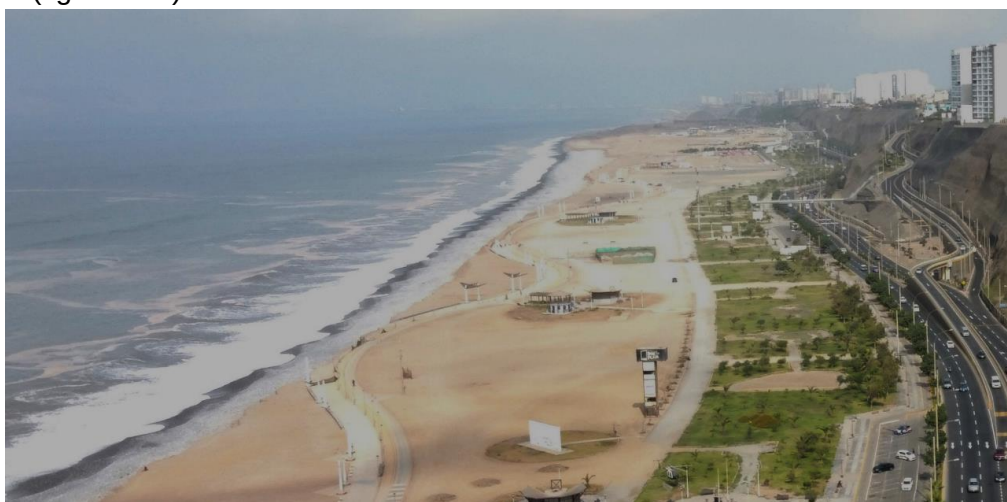


Figura 130. Vista hacia la Bajada Brasil del borde litoral y playa en el distrito de Magdalena.

Se calculó un total de 6.1 ha distribuidas en relieves con pendientes llanas a suavemente inclinadas donde se ubican áreas de esparcimiento y vías de comunicación.

D. Sub-unidad de cárcavas

Las cárcavas se originan sobre suelos poco compactos y consolidados con escasa

cobertura vegetal. La erosión resulta de la remoción de sedimentos y materiales superficiales por acción del agua de escorrentía y/o el viento. El proceso inicia con el agua como principal agente modelador, la escorrentía fluye libre y constante a través de un canal no protegido, la cantidad de agua y la pendiente de la superficie determina la intensidad de la erosión.

En el distrito de Magdalena del Mar, se calculó un total de 1.94 ha de zonas afectadas por cárcavas como relictos de la intensa erosión que existía en el año 1960 (figura 131).



Figura 131. Vista hacia la Bajada Brasil donde se identificaron cárcavas cubiertas por geomalla.

3.4.2.2 Unidades geomorfológicas de carácter antropogénico

A continuación, se describen las geoformas delimitadas a través de la superposición de las fotos aéreas de los años 1943 y 1960 e imágenes satelitales del año 2000 hacia adelante, todas las geoformas originadas por la intervención del hombre tienen un carácter antropogénico, muchas de estas geoformas han sido creadas a través del movimiento de grandes volúmenes de materiales de diverso origen y procedencia.

E. Sub-unidad de terraplén

En el distrito de Magdalena del Mar, existen 03 terraplenes por donde se emplazan las vías asfaltadas que conectan la parte baja de la terraza y la Vía Costanera y la planicie en la parte alta. Los terraplenes identificados son: Vía Bajada Brasil, Bajada Marbella y Pasaje Alberto Yabar, este último comunica la parte alta del distrito con la Residencial Marbella (figura 132).



Figura 132. Vista hacia el terraplén construido como vía de acceso.

Los terraplenes identificados son resultado de procesos de corte y relleno de materiales ubicados en gran parte entre la parte superior y el pie del acantilado, el área que abarca los terraplenes se ha estimado en 4.2 ha.

F. Sub-unidad de terraza alta

Son relieves que se ubican en zonas elevadas con respecto a terrazas adyacentes, tienen pendientes llanas y ligeramente inclinadas, esta unidad limitan con los taludes y terraplenes y fueron parte del acantilado como geoforma original que fue modificada para el emplazamiento de viviendas (figura 133).

La terraza alta, es una geoforma a que ha formado parte del antiguo acantilado, hasta antes de 1943 y 1960 el acantilado tenía pendientes muy escarpadas; en la actualidad esta superficie fue antropizada con la extracción y explanación de zonas extensas que fueron ocupadas por áreas urbanas. Las terrazas altas ocupan un total de 3.1 ha en la actualidad.



Figura 133. Vista hacia la terraza alta donde se ubica la Residencial Marbella.

G. Sub-unidad de terraza baja

Están conformadas por relieves que limitan entre la franja costera y playa con el pie del acantilado, tienen pendientes llanas y ligeramente inclinadas y se ubican en un nivel superior las playas. Sobre estas unidades se ubican parques, ciclovías y vías secundarias que se cimentaron sobre depósitos de origen antropogénico, siendo rellenadas por materiales de diferente origen (figura 134).



Figura 134. Vista hacia el terraplén construido como vía de acceso.

La terraza baja ocupa gran parte del área de evaluación, se calculó un total de 42.7 ha, que se distribuyen entre en el pie del acantilado y el borde costero con un desnivel superior al nivel del mar de 5 a 10 m de alto.

Tabla 19. Resumen de unidades geomorfológicas actuales en el distrito de Magdalena del Mar.

Unidad geomorfológica reciente (2021)	Código	Área (m2)	Área (ha)
Planicie aluvial	P-al	851725.12	85.17
Terraza alta	Ta	31249.11	3.12
Terraza baja	Tb	427671.52	42.77
Acantilado	Ac	95466.82	9.55
Cárcava	Ca	19472.58	1.95
Terraplén	Tpn	42429.53	4.24
Borde litoral y playa	B-l	61780.22	6.18



Figura 135. Modelo 3D de la geomorfología antigua del distrito de Magdalena del Mar.

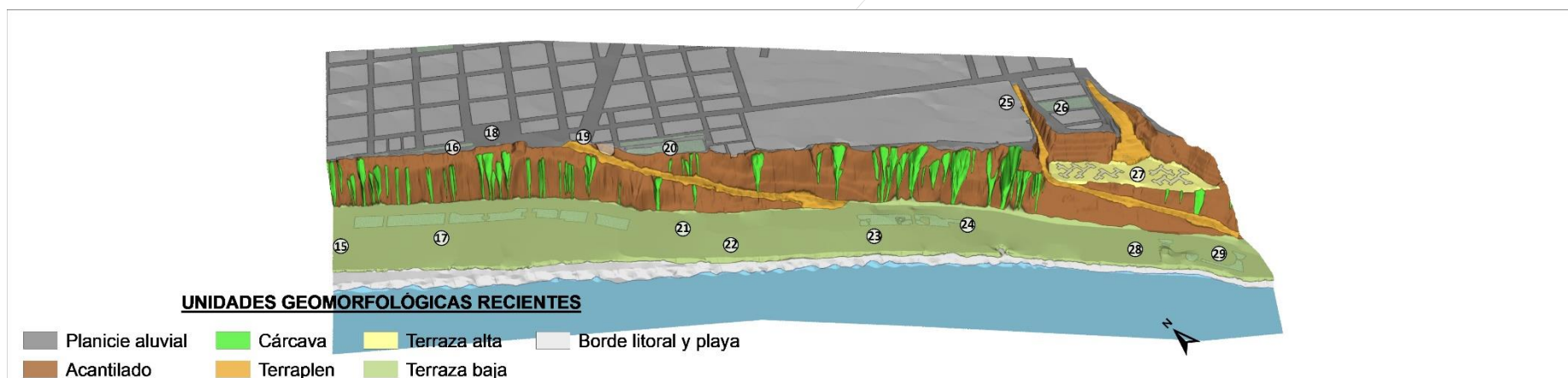


Figura 136. Modelo 3D de la geomorfología actual del distrito de Magdalena del Mar.

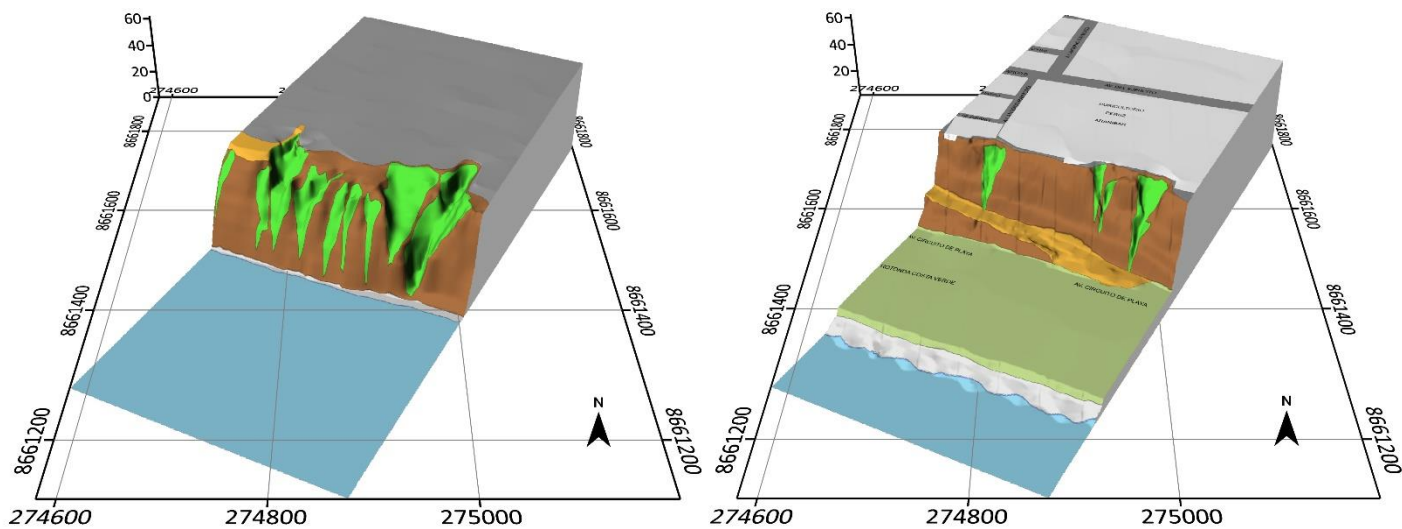


Figura 137. Sección M-01 ubicada en el Puericultorio Pérez Aranibar, antes y después de las geoformas entre 1960 y 2021.

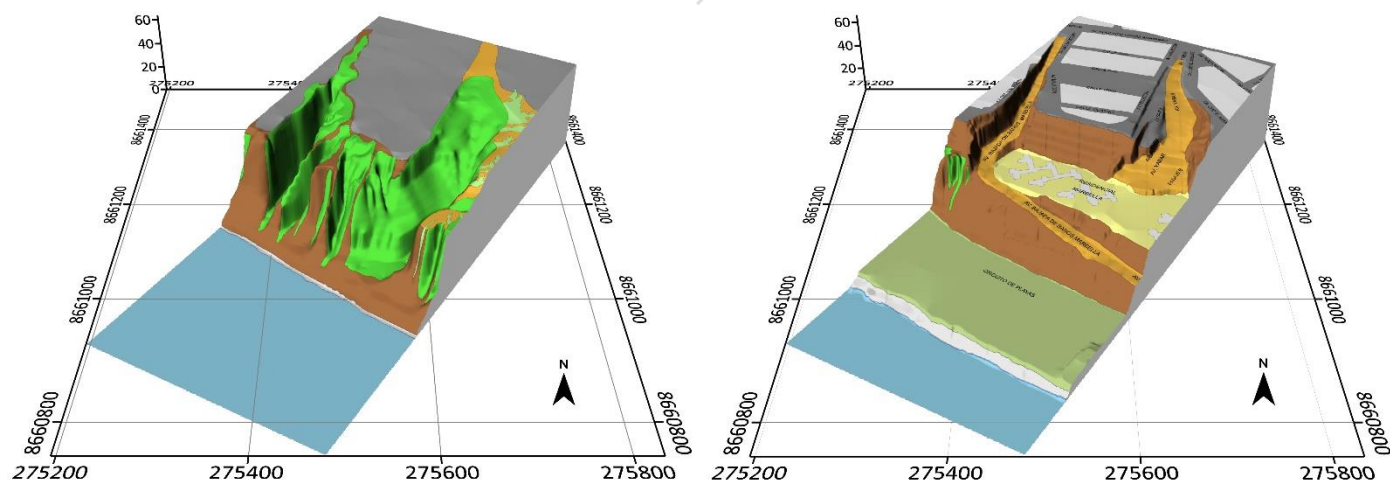


Figura 138. Sección 3D M-04, de la Residencial Marbella, antes y después de las geoformas en el 1960 y 2021.

3.5 Unidades geomorfológicas en el distrito de San Isidro

3.5.1 Unidades geomorfológicas antiguas en el distrito de San Isidro

En el distrito de San Isidro se identificaron y delimitaron tres unidades geomorfológicas modeladas por procesos naturales, estas geoformas se identificaron a partir del análisis de fotografías aéreas de los años 1943 y 1960 (**Plano PD.GA-S110**)

3.5.1.1 Unidades de carácter deposicional o agradacional

Están representadas por las formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan otras geoformas preexistentes:

A. Sub-unidad de planicie aluvial

En la zona de estudio, la planicie se extiende de noreste a suroeste en relieves con pendientes llanas a ligeramente inclinadas (1° - 5°). Entre los años 1943 y 1960, gran parte de esta geoforma estaba ocupadas por cultivos y el área urbana se ubicaba al sureste en el límite con Miraflores (figura 139).

En el análisis de fotos aéreas antiguas 1943 y 1960, se delimitó la planicie en una extensión de 43.5 ha con relieves que se amplían hacia el este del área urbana actual.



Figura 139. Vista de la planicie aluvial del distrito de San Isidro en el año 1960 (SAN).

B. Sub-unidad de depósitos antrópicos

Este tipo de geoformas se encuentran localizados entre la planicie aluvial y el acantilado, tienen desniveles o superficies ligeramente inclinadas e irregulares, fueron originadas por la extracción de materiales para cantera de agregados, en algunos puntos se identificaron posibles ladrilleras.

Estas zonas fueron rellenadas progresivamente desde los años 1943 y 1960 como cárcavas, antiguas quebradas o zonas de extracción de material (ladrilleras), en los trabajos de gabinete a través del análisis de fotos aéreas antiguas, se estimaron un total de 6.4 ha de depósitos antrópicos (figura 140).

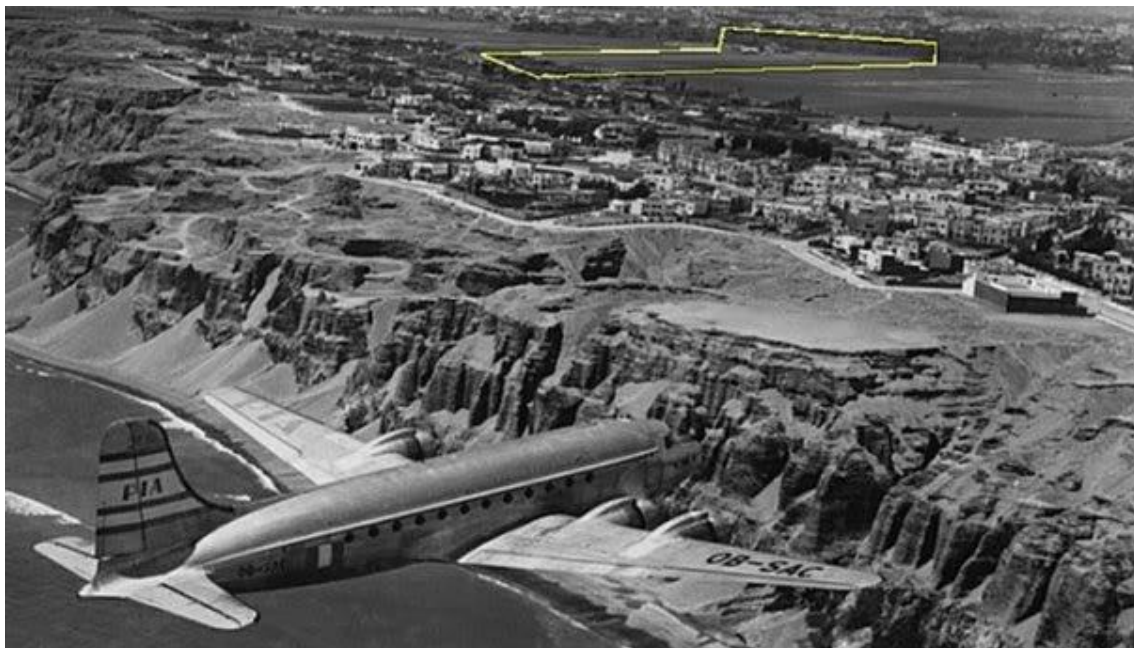


Figura 140. Zonas de rellenos antrópicos delimitados en el análisis de fotos aéreas antiguas en el distrito de San Isidro (SAN).

C. Sub-unidad de acantilado

El acantilado del distrito de San Isidro se extiende hasta 783 m de largo, tenía taludes con pendientes muy escarpadas ($>45^\circ$), esta sección de la CV tenía gran presencia de cárcavas y surcos que originaron zonas de caídas y derrumbes (figura 141).

Mediante la cartografía de gabinete basada en las fotos aéreas de 1943 y 1960 se estimó un total de 4.8 ha de relieves que representan acantilados en el distrito de San Isidro.



Figura 141. Vista del acantilado del distrito de San Isidro en el año 1960 (SAN).

D. Sub-unidad de cárcavas y surcos

En el año 1960, las cárcavas y surcos tenían una gran geodinámica concretada en suelos y sedimentos medianamente compactos o poco consolidados. Los procesos de erosión llegaban a alcanzar los 230 m de largo, 105 m de ancho y 60 m de profundidad (figura 142).

Las geoformas de cárcavas y surcos fueron cartografiadas mediante etapas de gabinete analizando fotos aéreas de los años 1943 y 1960, se estimó un área total de 6.46 ha de zonas con presencia de cárcavas y 0.73 ha de surcos.



Figura 142. Vista del borde costero y playa en el distrito de Magdalena (SAN).

E. Sub-unidad de borde litoral y playa

Hasta el año 1960, el borde litoral y playas del distrito de San Isidro abarcaba una franja muy reducida que no superaba los 10 m de ancho al extremo noroeste y 30 m al extremo sureste.

Debido al reducido ancho del borde litoral y las playas, el área calculada solo llega a 0.48 ha ampliándose de norte a sur del distrito (figura 143).



Figura 143. Vista del borde costero y playa en el distrito de Magdalena (SAN).

Tabla 20. Resumen de unidades geomorfológicas antiguas en el distrito de San Isidro.

Unidad geomorfológica antigua (1943-1960)	Código	Área (m2)	Área (ha)
Planicie aluvial	P-al	435482.70	43.55
Depósito antrópico	D-a	64595.56	6.46
Acantilado	Ac	48834.83	4.88
Cárcavas	Ca	64598.55	6.46
Surcos	Su	7303.01	0.73
Borde litoral y playa	B-l	4836.86	0.48

3.5.2 Unidades geomorfológicas actuales en el distrito de San Isidro

Las geoformas descritas a continuación, corresponden a todas las formas del relieve cartografiadas a la actualidad y que han sido originadas principalmente por la intervención antrópica. Las geoformas antiguas o parte de ellas fueron modificadas para emplazar estructuras de tipo vial como terrazas y terraplenes. La geomorfología fue diferenciada por el origen y el carácter del proceso que modeló el relieve del distrito de San Isidro (**Plano PD.GR-SI11**).

3.5.2.1 Unidades de carácter deposicional o agradacional

Están representadas por las formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan otras geoformas preexistentes:

A. Sub-unidad de acantilado

El actual acantilado del distrito de San Isidro presenta pendientes fuertes a muy fuertes (15° - 45°), los procesos de erosión como cárcavas y surcos son controlados por la cobertura vegetal. Los principales accesos desde la terraza y la parte superior de la planicie son antiguas quebradas o cárcavas, se calculó un total de 5.5 ha que se distribuyen en los relieves correspondientes al acantilado de San Isidro (figura 144).



Figura 144. Vista hacia el parque Mahatma Ghandi en el distrito de San Isidro.

B. Sub-unidad de planicie aluvial

Corresponde al material acumulado por el abanico aluvial del río Rímac, cuyas

cabeceras se encuentra en las cumbres más altas de la sierra de la región Lima (Villacorta, et al., 2015). Para el estudio realizado, nos encontramos en el borde perimetral de la planicie aluvial, limitando con la unidad acantilado (figura 145). En la cartografía de geoformas actualizadas al 2021, la planicie aluvial ocupa un área total de 54.1 ha.



Figura 145. Vista hacia el Malecón Godofredo García ubicado en la planicie aluvial.

C. Sub-unidad de borde litoral y playa

Esta geoforma tiene un ancho aproximado de 30 m a 45 m que aumenta de noroeste a sureste. Entre el año 1960 y 2021, esta unidad geomorfológica ha tenido un retroceso con dirección este-oeste de más de 120 m, siendo una de las geoformas con mayor intervención debido a su ubicación, que luego recibe la dinámica marina del oleaje y el viento (figura 146). La unidad geomorfológica de borde litoral o playa alcanza un área de 0.84 ha.



Figura 146. Ciclo vía Vista hacia la Bajada Brasil del borde litoral y playa en el distrito de San Isidro.

D. Sub-unidad de cárcavas

Las cárcavas se originan sobre suelos poco compactos y consolidados con escasa

cobertura vegetal. La erosión resulta de la remoción de sedimentos y materiales superficiales por acción del agua de escorrentía y/o el viento. El proceso inicia con el agua como principal agente modelador, la escorrentía fluye libre y constante a través de un canal no protegido, la cantidad de agua y la pendiente de la superficie determina la intensidad de la erosión.

En el distrito de San Isidro, se calculó un total de 0.03 ha de zonas afectadas por cárcavas como relictos de la intensa erosión que existía en el año 1960 (figura 147).



Figura 147. Vista hacia el acantilado donde se observa una cárcava relict.

3.5.2.2 Unidades geomorfológicas de carácter antropogénico

A continuación, se describen las geoformas delimitadas a través de la superposición de las fotografías aéreas de los años 1943 y 1960 e imágenes satelitales del año 2000 hacia adelante, todas las geoformas originadas por la intervención del hombre tienen un carácter antropogénico, muchas de estas geoformas han sido creadas a través del movimiento de grandes volúmenes de materiales de diverso origen y procedencia.

E. Sub-unidad de terraplén

Los terraplenes son estructuras de tierra que se elevan sobre la superficie, son originadas por corte y relleno y que se utilizan para el emplazamiento de diques, vías de comunicación u otros.

En el distrito de San Isidro, existen 02 terraplenes con dirección en ambos sentidos hacia San Isidro y Miraflores por donde se conectan la parte baja de la terraza y el circuito de playas hacia la playa Los Delfines, los terraplenes cartografiados alcanzan un área total de 1.32 ha (figura 148).



Figura 148. Bajada hacia la playa Los Delfines y el Lugar de La Memoria con accesos por terraplén en el distrito de San Isidro.

F. Sub-unidad terraza alta

Son relieves que se ubican en zonas elevadas con respecto a terrazas relieves adyacentes, tienen pendientes llanas y ligeramente inclinadas, esta unidad limitan con los taludes y terraplenes y fueron parte del acantilado como geoforma original que fue modificada para el emplazamiento de viviendas o áreas verdes (figura 149).

La terraza alta, es una geoforma a que ha formado parte del antiguo acantilado, hasta antes de 1943 y 1960 el acantilado tenía pendientes muy escarpadas; en la actualidad esta superficie fue antropizada con la extracción y explanación de zonas extensas que fueron ocupadas por áreas urbanas y parques. Las terrazas altas ocupan un total de 1.51 ha en la actualidad.



Figura 149. Vista hacia la terraza alta donde se ubican parques en el distrito de San Isidro.

G. Sub-unidad de terraza baja

Están conformadas por relieves con pendientes llanas y ligeramente inclinadas y se ubican en un nivel superior las playas. Esta unidad alcanza los 114 m de ancho donde se ubican parques, ciclo vías y vías secundarias que se cimentaron sobre depósitos de origen antropogénico, siendo rellenadas por materiales de diferente origen (figura 150).

La unidad geomorfológica que más se ha extendido y mayor área ha incrementado con respecto a las demás geoformas es la terraza baja con un área total de 8.17 ha.

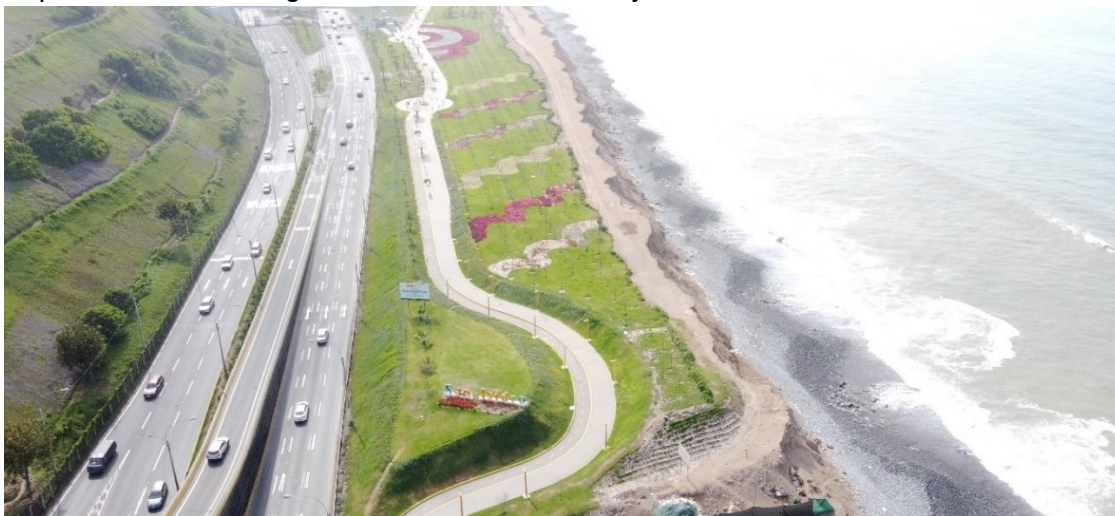


Figura 150. Vista hacia la terraza baja donde se han construido ciclo vías en el distrito de San Isidro.

Tabla 21. Resumen de unidades geomorfológicas recientes en el distrito de San Isidro.

Unidad geomorfológica reciente (2021)	Código	Área (m2)	Área (ha)
Planicie aluvial	P-al	527054.88	52.71
Terraza alta	Ta	15058.93	1.51
Terraza baja	Tb	81741.02	8.17
Acantilado	Ac	55923.27	5.59
Cárcava	Ca	342.42	0.03
Terraplén	Tpn	13187.29	1.32
Borde litoral y playa	B-l	8404.27	0.84

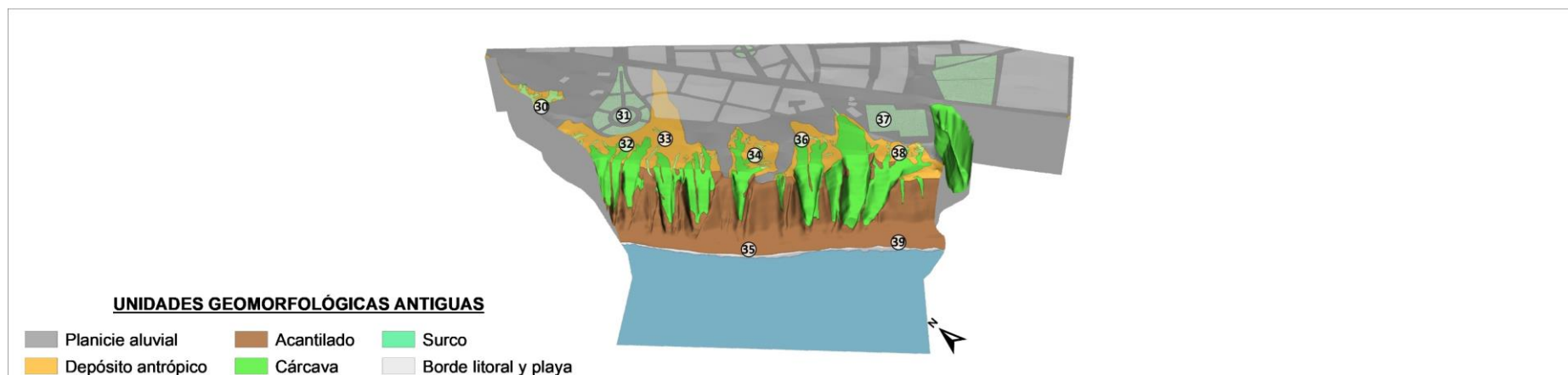


Figura 151. Modelo 3D de la geomorfología antigua del distrito de San Isidro.

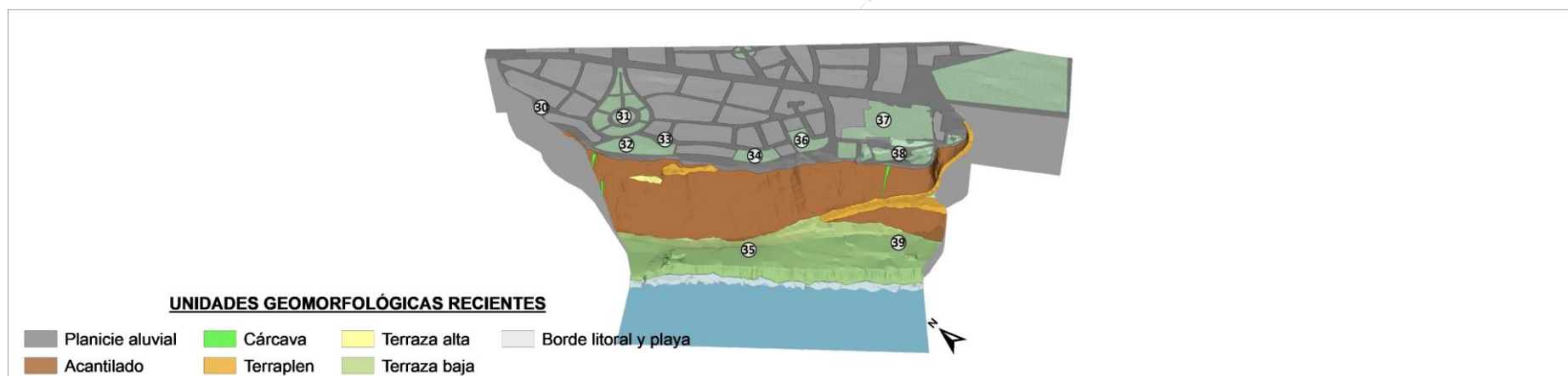


Figura 152. Modelo 3D de la geomorfología actual del distrito de San Isidro.

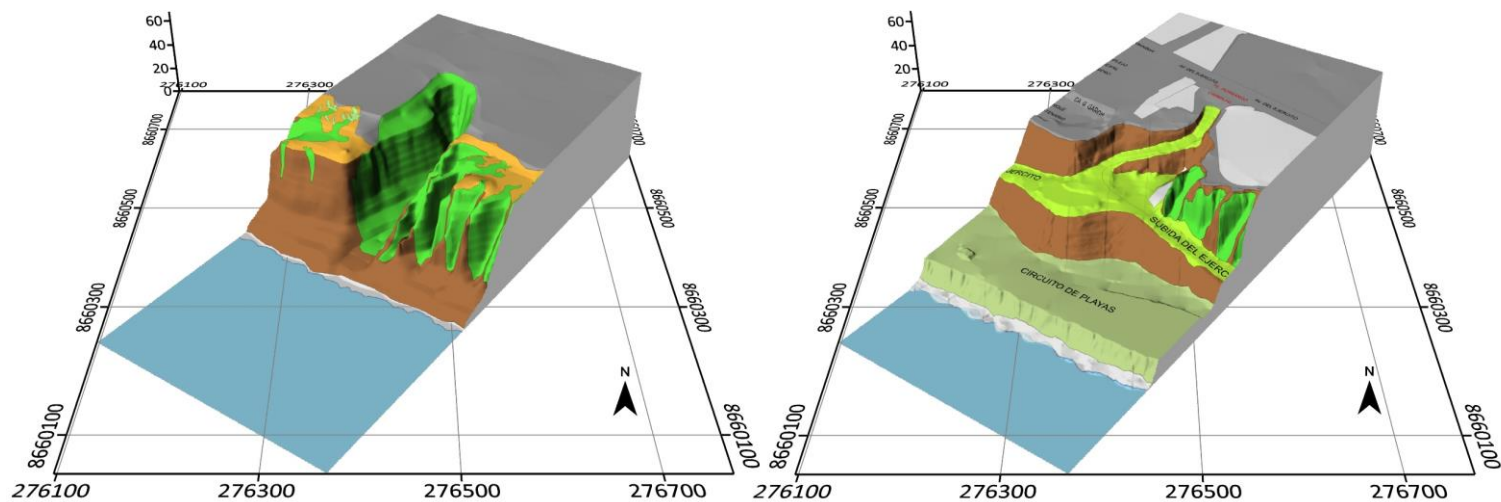


Figura 153. Secciones 3D SI-01 bajada a Playa Los Delfines, se muestran las geoformas antiguas y recientes.

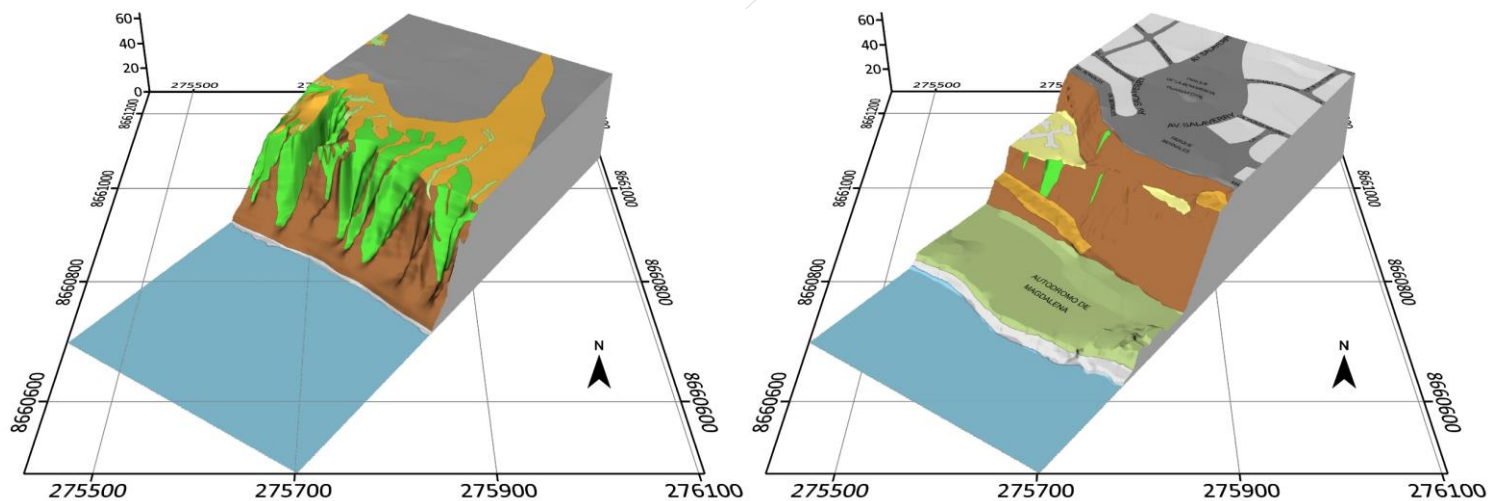


Figura 154. Secciones 3D SI-04 bajada a Playa Los Delfines, se muestran las geoformas antiguas y recientes.

3.6 Unidades geomorfológicas en el distrito de Miraflores

3.6.1 Unidades geomorfológicas antiguas en el distrito de Miraflores

En el distrito de Miraflores se identificaron y delimitaron tres unidades geomorfológicas modeladas en gran parte por procesos naturales, estas geoformas se observan antes del año 1960 (**Plano PD.GA-MI12**).

3.6.1.1 Unidades de carácter depositacional o agradacional

Están representadas por las formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan otras geoformas preexistentes:

A. Sub-unidad de planicie aluvial

Corresponde al material acumulado por el abanico aluvial del río Rímac, cuyas cabeceras se encuentra en las cumbres más altas de la sierra de la región Lima (Villacorta, et al., 2015). Para el estudio realizado, nos encontramos en el borde perimetral de la planicie aluvial, limitando con la unidad acantilado (figura 155).

En el año 1960, la planicie aluvial presentaba pendientes llanas ($<1^\circ$) a pendientes suavemente inclinadas ($1^\circ - 5^\circ$) que alcanzaron las 148.1 ha, la planicie aluvial abarcó el 56% de las geoformas evaluadas.



Figura 155. Vista hacia la planicie aluvial en el distrito de Miraflores, donde hoy se ubica el Faro de La Marina y Parque Antonio Raimondi (SAN).

B. Sub-unidad de depósitos antrópicos

Los depósitos antrópicos se distribuyen entre la planicie aluvial y el acantilado, son relieves irregulares y levemente inclinadas, han sido originadas por la erosión por escorrentía de lluvia formando depresiones o declives. Fueron identificados en las fotos aéreas de los años 1943 y 1960, se observan antiguas quebradas o zonas de extracción de material (ladrilleras) y rellenos (figura 156).

Las zonas de rellenos o depósitos fueron cartografiadas y estimadas en 18.3 ha encontrándose anchos de hasta 130 m hacia la planicie.



Figura 156. Depósitos antrópicos como declives o depresiones topográficas, vista hacia el Faro de La Marina y Parque Antonio Raimondi (SAN).

C. Sub-unidad de acantilado

En el distrito de Miraflores, el acantilado presenta taludes con pendientes muy escarpadas ($>45^\circ$), que se encuentran disectadas por cárcavas antiguas, modeladas por el viento, la acción erosiva del mar y la escorrentía superficial (figura 157). El acantilado de la CV abarcó un total de 35.7 ha con una extensión de 4.34 km de largo y anchos promedio de 180 m.



Figura 157. Acantilados observados en Bajada de Baños en Miraflores.

D. Sub-unidad de cárcavas y surcos

La erosión de los suelos es producto de la remoción del material superficial por acción del agua o el viento. El proceso inicia con el agua como el principal agente modelador en forma de lluvia y agua en forma de escorrentía que fluye libre y constante a través de un canal no protegido sobre materiales poco compactos (figura 158).

En la cartografía de gabinete se realizó el análisis de fotos aéreas antiguas de los años 1943 y 1960, calculándose un total de 32.7 ha de superficies afectadas por surcos; mientras que, los surcos abarcan 0.45 ha de surcos.

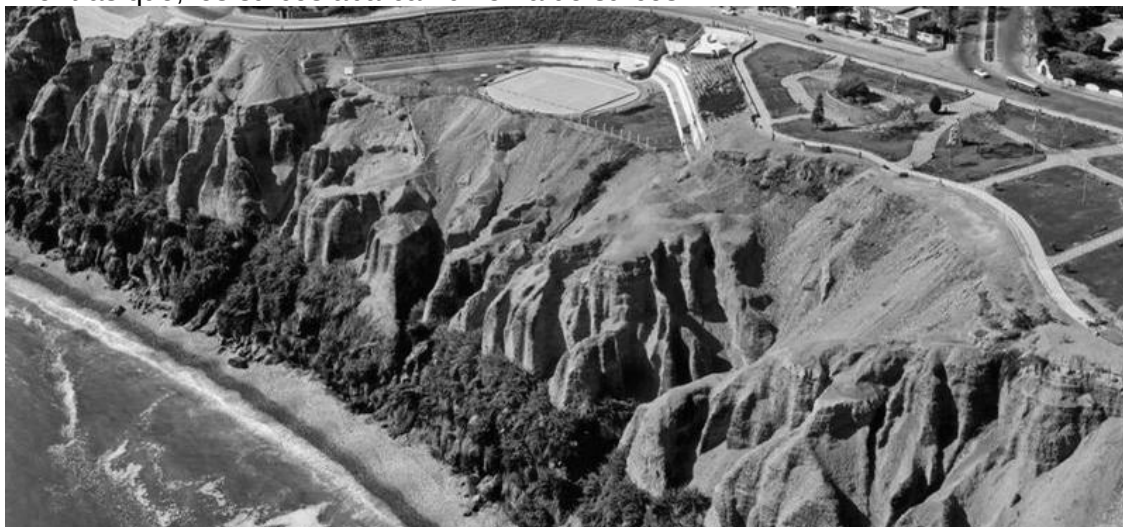


Figura 158. Cárcavas y surcos entre el Parque Salazar y Larcomar (SAN).

E. Sub-unidad de borde litoral y playa

El borde litoral actual se debe al nivel que tiene el nivel del mar hoy en día, esta configuración depende factores como son el levantamiento tectónico propiciado por el proceso de subducción y la cantidad de agua retenida en los continentes en forma de masas de hielo. Por esta razón, en una escala de miles o decenas de miles de años, el borde litoral puede haber experimentado considerables variaciones (Villacorta et al., 2015).

Desde los años 1943 y 1960 el borde litoral y playa se ha extendido mar adentro, debido a la construcción de espigones de roca, los cuales han permitido la sedimentación de arenas formando playas. Se calculó un área total de 2.8 ha que abarca el borde litoral y playa (figura 159).



Figura 159. Playas y bordes costeros en el distrito de Miraflores en el año 1970 (SAN).

Esta geoforma es la que mayor intervención antrópica ha tenido, pues desde los años 1943 y 1960 a la fecha se ha expandido mar adentro, debido a la construcción de espigones de roca, los cuales han permitido la sedimentación de arenas formando playas. Asimismo, la acumulación de relleno antrópico reciente también ha permitido esta expansión.

Tabla 22. Resumen de unidades geomorfológicas antiguas en el distrito de Miraflores.

Unidad geomorfológica antigua (1943-1960)	Código	Área (m2)	Área (ha)
Planicie aluvial	P-al	1481437.05	148.14
Depósito antrópico	D-a	183441.01	18.34
Acantilado	Ac	357602.12	35.76
Cárcavas	Ca	327676.85	32.77
Surcos	Su	4493.61	0.45
Borde litoral y playa	B-l	28809.69	2.88

3.6.2 Unidades geomorfológicas actuales en el distrito de Miraflores

3.6.2.1 Unidades de carácter deposicional o agradacional

Están representadas por las formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan otras geoformas preexistentes (**Plano PD.GA-MI13**):

A. Sub-unidad de acantilado

Los acantilados tienen origen continental y están modelados por el factor marino como el oleaje y la brisa proveniente del mar, se desarrolló a lo largo de miles y millones de años donde los ríos depositaron gran cantidad de materiales y sedimentos de origen fluvial y aluvial y que fueron levantados por movimientos tectónicos.

Entre los distritos evaluados, el acantilado, presenta paredes de fuertes pendientes ($>45^\circ$), que se encuentran disectadas por cárcavas antiguas y recientes, modelados por la acción erosiva del mar (figura 160). El acantilado en el distrito de Miraflores es uno de los más extensos en longitud y alcanza un área total de 21.7 ha.



Figura 160. Playas y bordes costeros en el distrito de Miraflores en el año 1970.

B. Sub-unidad de planicie aluvial

Corresponde al material acumulado por el abanico aluvial del río Rímac, cuyas cabeceras se encuentra en las cumbres más altas de la sierra de la región Lima (Villacorta, et al., 2015). Para el estudio realizado, nos encontramos en el borde perimetral de la planicie aluvial, limitando con la unidad acantilado (figura 161). La

planicie aluvial es una de las geoformas que mayor área ocupa entre las geoformas identificadas, se extiende un total de 167.3 ha.



Figura 161. Planicie aluvial intervenida por la expansión urbana actual. Vista hacia el Complejo Manuel Bonilla.

C. Sub-unidad de borde litoral y playa

El borde litoral actual se debe al nivel que tiene el nivel del mar hoy en día, esta configuración depende factores como son el levantamiento tectónico propiciado por el proceso de subducción y la cantidad de agua retenida en los continentes en forma de masas de hielo. Por esta razón, en una escala de miles o decenas de miles de años, el borde litoral puede haber experimentado considerables variaciones (Villacorta et al., 2015 (figura 162).



Figura 162. Borde litoral o playa, vista hacia la Pampilla o playa Waikiki en el distrito de Miraflores.

Esta geoforma es la que mayor intervención antrópica ha tenido, los espigones han permitido la sedimentación de materiales detríticos y arenas desde 1943 y 1960. Actualmente, esta geoforma se ha expandido mar adentro con un área total de 6.8 ha (figura 162).

D. Sub-unidad de cárcavas

La erosión resulta de la remoción de sedimentos y materiales superficial por acción del agua de escorrentía o el viento. El proceso inicia con el agua como el principal agente modelador en forma de lluvia y la escorrentía que fluye libre y constante a través de un canal no protegido sobre materiales poco compactos, un factor importante es la falta de cobertura vegetal. En el distrito de Miraflores, se calcularon 14.9 ha de cárcavas como relictos de la intensa erosión que existía entre los años 1943 y 1960 (figura 163).



Figura 163. Espigón visto hacia la playa Tres Picos en el distrito de Miraflores.

3.6.2.2 Unidades geomorfológicas de carácter antropogénico

A continuación, se describen todas las geoformas identificadas y delimitadas a través de la superposición de las fotografías aéreas de los años 1943 y 1960 e imágenes satelitales del año 2000 hacia adelante, todas las geoformas originadas por la intervención del hombre tienen un carácter antropogénico, muchas de estas geoformas han sido creadas a través del movimiento de grandes volúmenes de materiales de diverso origen y procedencia, y en algunos casos sin ningún control geotécnico.

E. Sub-unidad de terraplén

Son estructuras principalmente de tipo vial, construidas a través del movimiento de tierras, suelo o roca, que inicia en un nivel inferior y se eleva o desciende para alcanzar el nivel de un plano de apoyo donde descansa el peso de la estructura. En la mayoría de los casos estas construcciones se hacen mediante un proceso lento de relleno y compactación y que ocupa el ancho del tipo de vía.

En el distrito de Miraflores existen 03 terraplenes (bajada a playa Los Delfines, Subida Malecón Balta y Subida de Armendáriz), por donde se emplazan las vías asfaltadas desde la planicie aluvial donde se ubican el área urbana de Miraflores y la parte baja del circuito de playas, con un área total calculada de 7.2 ha (figura 164).



Figura 164. Bajada hacia playa Los Delfines, terraplén realizado por corte y relleno del acantilado de la Costa Verde en el distrito de Miraflores.

F. Sub-unidad terraza alta

Son relieves que se ubican en zonas elevadas con respecto a terrazas relieves adyacentes, tienen pendientes llanas y ligeramente inclinadas, esta unidad limitan con los taludes y terraplenes y fueron parte del acantilado como geoforma original que fue modificada para el emplazamiento de viviendas o áreas verdes (figura 165).

La terraza alta, es una geoforma a que ha formado parte del antiguo acantilado, hasta antes de 1943 y 1960 el acantilado tenía pendientes muy escarpadas; en la actualidad esta superficie fue antropizada con la extracción y explanación de zonas extensas que fueron ocupadas por áreas urbanas y parques. Las terrazas altas ocupan un total de 8.6 ha en la actualidad.



Figura 165. Vista hacia el Parque de Los Niños en el distrito de Miraflores.

G. Sub-unidad de terraza baja

Están conformadas por zonas elevadas con superficies irregulares, llanas y ligeramente ubicada por un nivel superior sobre las playas y que limitan con los taludes y terraplenes.

Sobre esta unidad se ubican parques, ciclovías y vías secundarias que se cimentaron sobre depósitos de origen principalmente antropogénico, siendo rellenadas por materiales de diferente origen y procedencia. Mediante este proceso el borde costero se extendió en ancho hacia el Océano Pacífico más de 75 m de este a oeste, alcanzando un área total de 29.6 ha (figura 166).



Figura 166. Terraza baja de origen antropogénico en el distrito de Miraflores.

H. Sub-unidad de espigón

Son estructuras lineales y rectas que sobresalen en longitud y elevación con respecto al nivel base de la superficie adyacente; también llamado rompeolas o escollera, se construye con bloques de roca o con estructuras prefabricados de hormigón (cubos, paralelepípedos, dolos y tetrápodos o cuadrípodos) (figura 67).



Figura 167. Espigón en la playa Facundo en el distrito de Miraflores.

Se ubican por debajo del nivel del agua, sobre ríos, arroyos o bordes costeros y playas con el objetivo de aumentar el flujo de las corrientes o mareas en varias direcciones determinadas, reducir el oleaje o evitar la sedimentación de arenas o gravas. En el

distrito de Miraflores se identificaron 12 espigones de 100, 135, 157 y 328 m de largo, abarcando un total de 1.6 ha.

Tabla 23. *Resumen de unidades geomorfológicas actuales en el distrito de Miraflores.*

Unidad geomorfológica reciente (2021)	Código	Área (m2)	Área (ha)
Planicie aluvial	P-al	1673167.45	167.32
Terraza alta	Ta	86803.06	8.68
Terraza baja	Tb	296684.93	29.67
Acantilado	Ac	217007.08	21.70
Cárcava	Ca	149881.68	14.99
Terraplén	Tpn	72824.75	7.28
Espigón	Esp	16585.70	1.66
Borde litoral y playa	B-l	67976.91	6.80

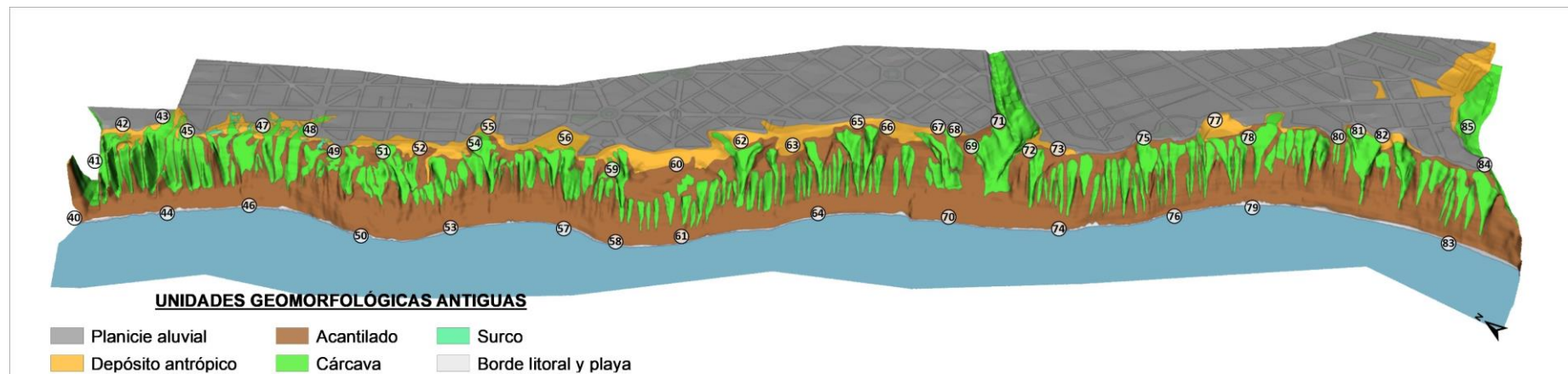


Figura 168. Geomorfología antigua del distrito de Miraflores.

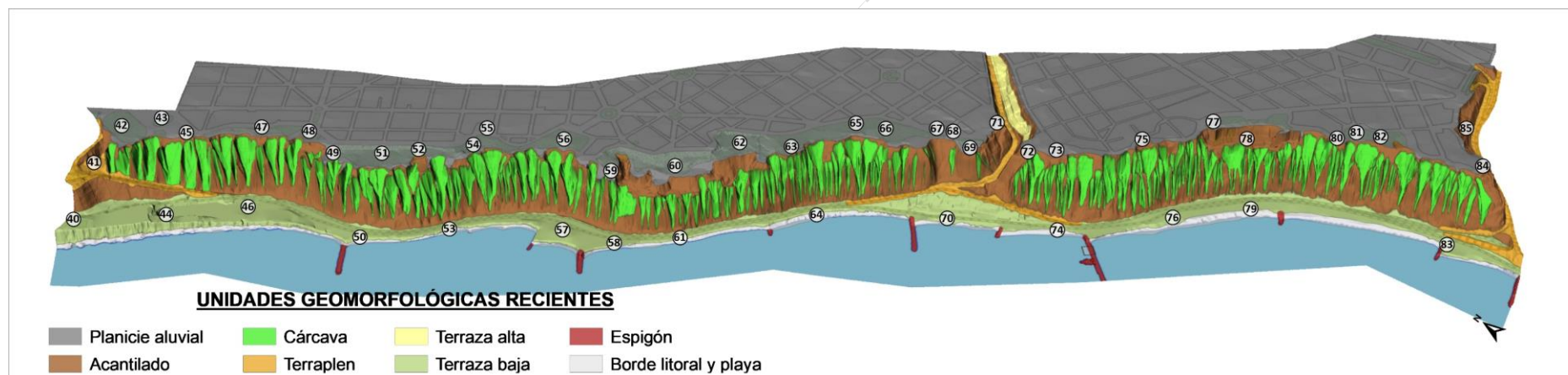


Figura 169. Geomorfología actual del distrito de Miraflores.

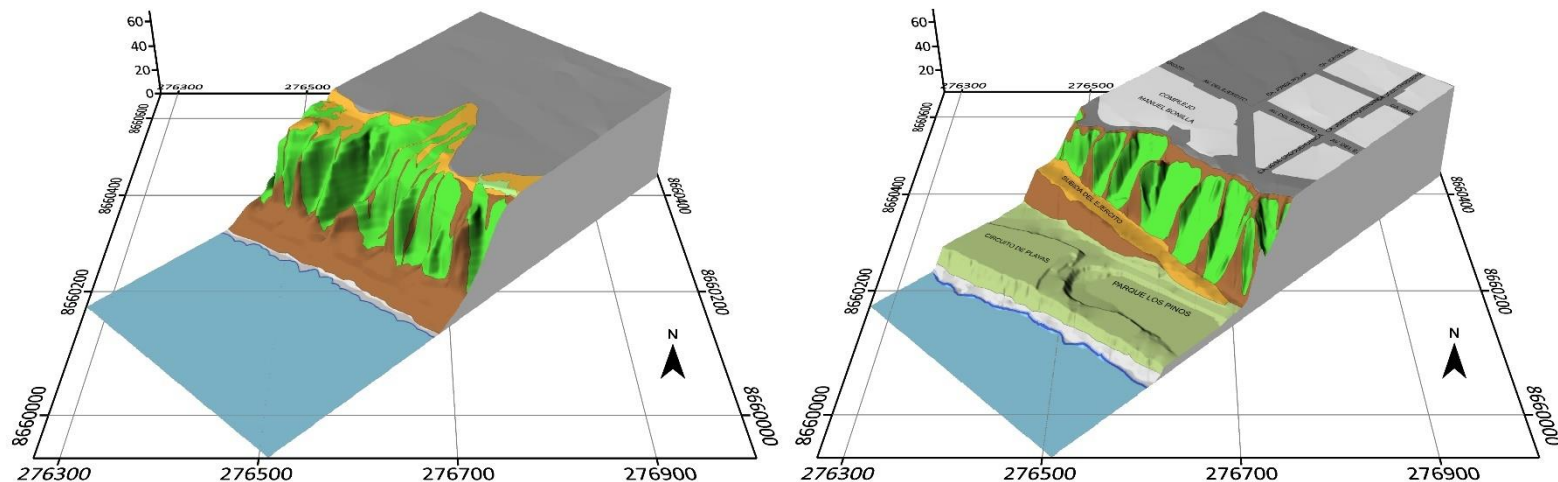


Figura 170. Sección MI-01 ubicada en el Complejo Manuel Bonilla donde se observan las unidades geomorfológicas antiguas y actuales en el distrito de Miraflores.

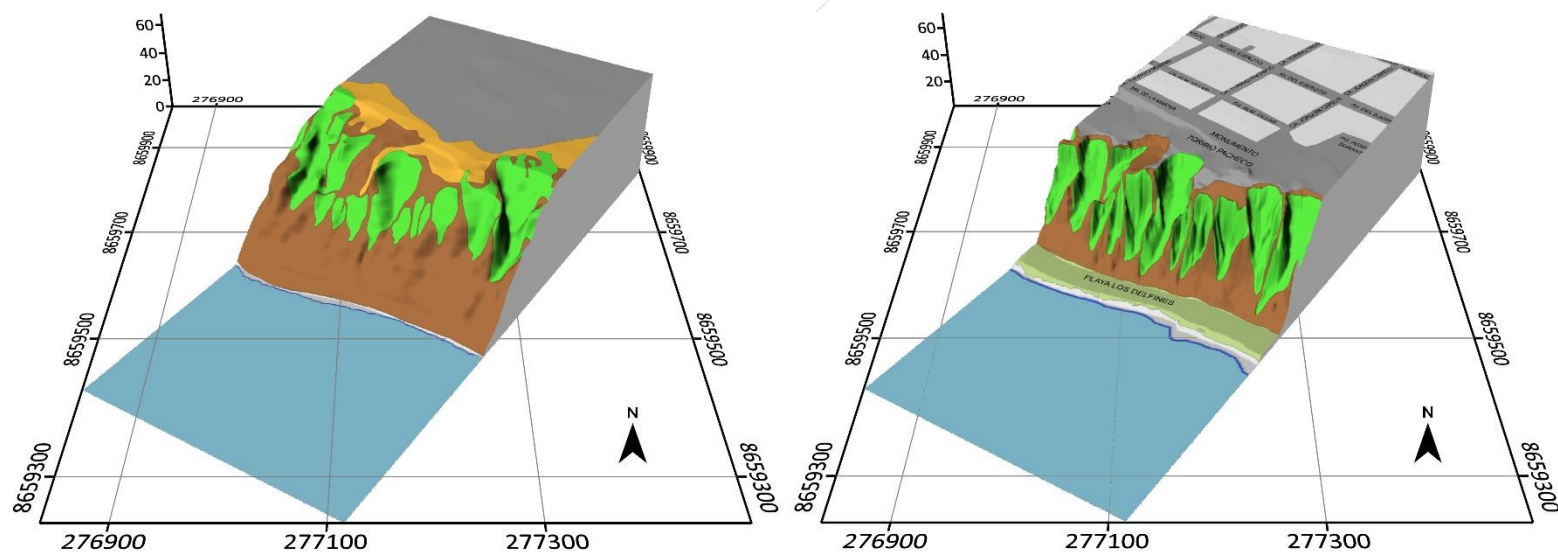


Figura 171. Sección MI-03 ubicada en el Monumento Toribio Pacheco y Playa Los Delfines, unidades geomorfológicas antiguas y actuales en el distrito de Miraflores.

3.7 Unidades geomorfológicas en el distrito de Barranco

3.7.1 Unidades geomorfológicas antiguas en el distrito de Barranco

En el distrito de Barranco se identificaron y delimitaron tres unidades geomorfológicas modeladas por procesos naturales, estas geoformas se identificaron a partir del análisis de fotos aéreas de los años 1943 y 1960 (**Plano PD.GA-B14**).

3.7.1.1 Unidades de carácter deposicional o agradacional

Están representadas por las formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan otras geoformas preexistentes:

A. Sub-unidad de planicie aluvial

En la zona de estudios, la planicie se extiende de noreste a suroeste con relieves con pendientes llanas a ligeramente inclinadas (1° - 5°). En el año 1960, gran parte de esta geoforma estaba ocupadas por cultivos y haciendas donde se pueden distinguir declives topográficos y una intensa erosión en forma de cárcavas (figura 172).

Entre los años 1943 y 1960, la planicie aluvial presentaba pendientes llanas ($<1^{\circ}$) a pendientes suavemente inclinadas (1° – 5°) que alcanzaron un total de 88.3 ha afectadas por cárcavas y rellenos.



Figura 172. Planicie aluvial del distrito de Barranco en el año 1960 (SAN).

B. Sub-unidad de depósitos antrópicos

Los depósitos antrópicos se distribuyen entre la planicie aluvial y el acantilado, son relieves irregulares y levemente inclinadas, han sido originadas por la erosión por escorrentía de lluvia formando depresiones o declives. Fueron identificados en las fotos aéreas de los años 1943 y 1960, se observan antiguas quebradas o zonas de extracción de material (ladrilleras) y rellenos (figura 173).

Las zonas de rellenos o depósitos identificados en el distrito de Barranco fueron cartografiadas, estimando un área de 11.65 ha, con anchos de hasta 140 m hacia la planicie.



Figura 173. Antigua hacienda de Barranco donde se observa remoción de tierra (Biblioteca Barranco).

C. Sub-unidad de acantilado

El acantilado del distrito de Barranco se extiende 2.21 km de largo, tiene taludes de pendientes fuertes a muy escarpadas ($15^\circ - >45^\circ$), que se encuentran disectadas por antiguas cárcavas, modeladas por la quebradas y riachuelos además de la acción erosiva marina (figura 174). El acantilado de la Costa Verde abarcó un total de 11.23 ha con una extensión de 1.92 km de largo y anchos promedio de 100 m.



Figura 174. Acantilado en el distrito de Barranco en el año 1960. Fuente: Limantigua.

D. Sub-unidad de cárcavas y surcos

La erosión de los suelos es producto de la remoción del material superficial por acción del agua o el viento. El proceso inicia con el agua como el principal agente modelador en forma de lluvia y agua en forma de escorrentía que fluye libre y constante a través de un canal no protegido sobre materiales poco compactos (figura 175).

En la cartografía de gabinete se realizó el análisis de fotos aéreas antiguas de los años 1943 y 1960, calculándose un total de 17.4 ha de superficies afectadas por cárcavas.



Figura 175. Cárcavas en el acantilado del distrito de Barranco en el año 1964. Fuente: SAN.

E. Sub-unidad de borde litoral y playa

Hasta el año 1960, el borde litoral y playas del distrito de Barranco abarcaba una franja muy reducida que no superaba los 10 m de ancho al extremo noroeste y 40 m al extremo sureste, la playa presentaba una pendiente muy pronunciada con una erosión marina medianamente intensa.

Desde los años 1943 y 1960 el borde litoral y playa se ha extendido mar adentro, debido a la construcción de espigones de roca, los cuales han permitido la sedimentación de arenas formando playas. Se calculó un área total de 3.49 ha que abarca el borde litoral y playa (figura 176).



Figura 176. Borde litoral o playa en el distrito de Barranco (1960), el ancho mínimo solo tenía 10 m y máximo de 40 m (SAN).

Tabla 24. Resumen de unidades geomorfológicas antiguas en el distrito de Barranco.

Unidad geomorfológica antigua (1943-1960)	Código	Área (m2)	Área (ha)
Planicie aluvial	P-al	883117.45	88.31
Depósito antrópico	D-a	116531.93	11.65

Acantilado	Ac	112280.32	11.23
Cárcavas	Ca	174366.58	17.44
Borde litoral y playa	B-l	34897.87	3.49

3.7.2 Unidades geomorfológicas actuales en el distrito de Barranco

Corresponden a todas las formas del relieve cartografiadas a la actualidad y que han sido originadas principalmente por la intervención antrópica. Las geoformas antiguas o parte de ellas fueron modificadas para emplazar estructuras viales como terrazas y terraplenes. La geomorfología fue diferenciada por el origen y el carácter del proceso que modeló el relieve del distrito de Barranco (**Plano PD.GR-B15**).

3.7.2.1 Unidades de carácter deposicional o agradacional

Están representadas por las formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan otras geoformas preexistentes:

A. Sub-unidad de acantilado

El acantilado presenta pendientes fuertes a muy escarpadas, en algunos sectores se pueden observar procesos de erosión como cárcavas antiguas y recientes que pueden ocasionar caídas y derrumbes debido a la inestabilidad de las laderas.

El acantilado en el distrito de Barranco es uno de los más extensos en longitud y alcanza un área total de 13.3 ha (figura 177).



Figura 177. Acantilado de la CV en el distrito de Barranco a la altura de Playa Barranco.

B. Sub-unidad de planicie aluvial

Corresponde al material acumulado por el abanico aluvial del río Rímac, cuyas cabeceras se encuentra en las cumbres más altas de la sierra del departamento de Lima (Villacorta, et al., 2015). La planicie aluvial limita con el borde superior del acantilado, es una geoforma que mayor área ocupa entre las geoformas identificadas, se extiende un total de 99.5 ha, donde se ubica gran parte del área urbana (figura 178).



Figura 178. Planicie aluvial donde se ubica el área urbana del distrito de Barranco.

C. Sub-unidad de borde litoral y playa

Esta geoforma tiene un ancho aproximado de 15 m a 100 m aumentando desde la playa Los Pavos hasta la playa Los Yuyos. Entre el año 1960 y 2021, esta unidad geomorfológica ha tenido una expansión de este-oeste, de más de 100 m, siendo una de las geoformas con mayor intervención debido a su ubicación, que luego recibe la dinámica marina del oleaje y el viento (figura 179).

La planicie aluvial es una de las geoformas que mayor área ocupa entre las geoformas identificadas, se extiende un total de 5.3 ha.

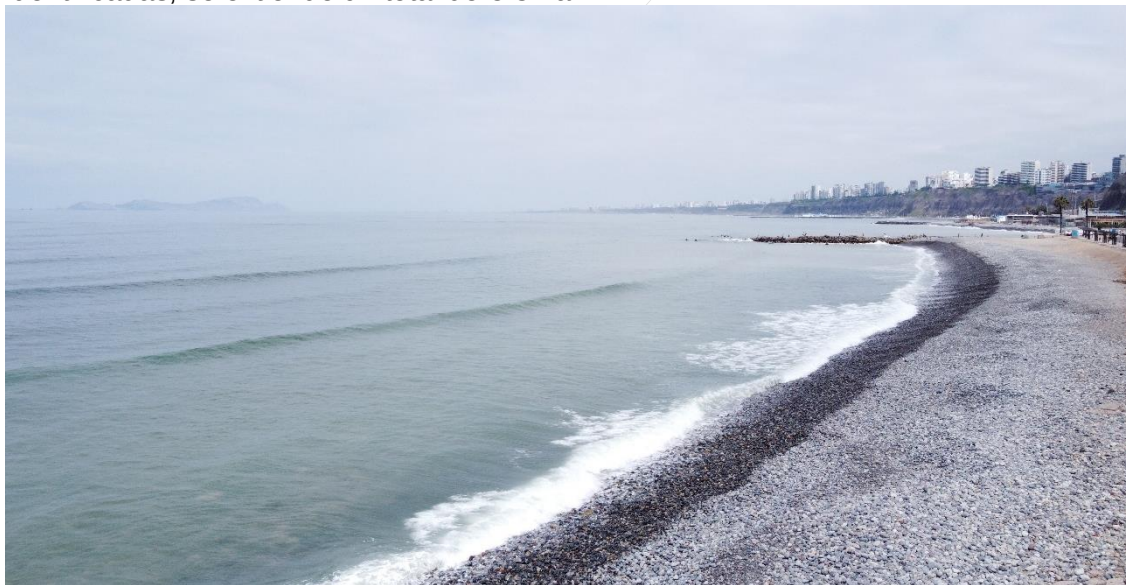


Figura 179. Playa Barranco con 15 a 20 m de ancho en el distrito de Barranco.

D. Sub-unidad de cárcavas

La erosión resulta de la remoción de sedimentos y materiales superficial por acción del agua de escorrentía o el viento. El proceso inicia con el agua como el principal agente modelador en forma de lluvia y la escorrentía que fluye libre y constante a través de un canal no protegido sobre materiales poco compactos, un factor importante es la falta de cobertura vegetal. En el distrito de Barranco, se calcularon 4.77 ha de áreas afectadas por cárcavas como relictos de la intensa erosión que existía entre los años 1943 y 1960 (figura 180).



Figura 180. Cárcavas en las inmediaciones del Parque Húsares de Junín.

3.7.2.2 Unidades geomorfológicas de carácter antropogénico

A continuación, se describen las geoformas delimitadas a través de la superposición de las fotos aéreas de los años 1943 y 1960 e imágenes satelitales del año 2000 hacia adelante, todas las geoformas originadas por la intervención del hombre tienen un carácter antropogénico, muchas de estas geoformas han sido creadas a través del movimiento de grandes volúmenes de materiales de diverso origen y procedencia.

E. Sub-unidad de terraplén

En el distrito de Barranco, existen 02 terraplenes por donde se emplazan las vías asfaltadas que conectan la parte baja de la terraza, la Vía Costanera y la planicie en la parte alta. Los terraplenes identificados son: Bajada de Armendáriz y Bajada de Baños con un área total de 2.6 ha (figura 181).

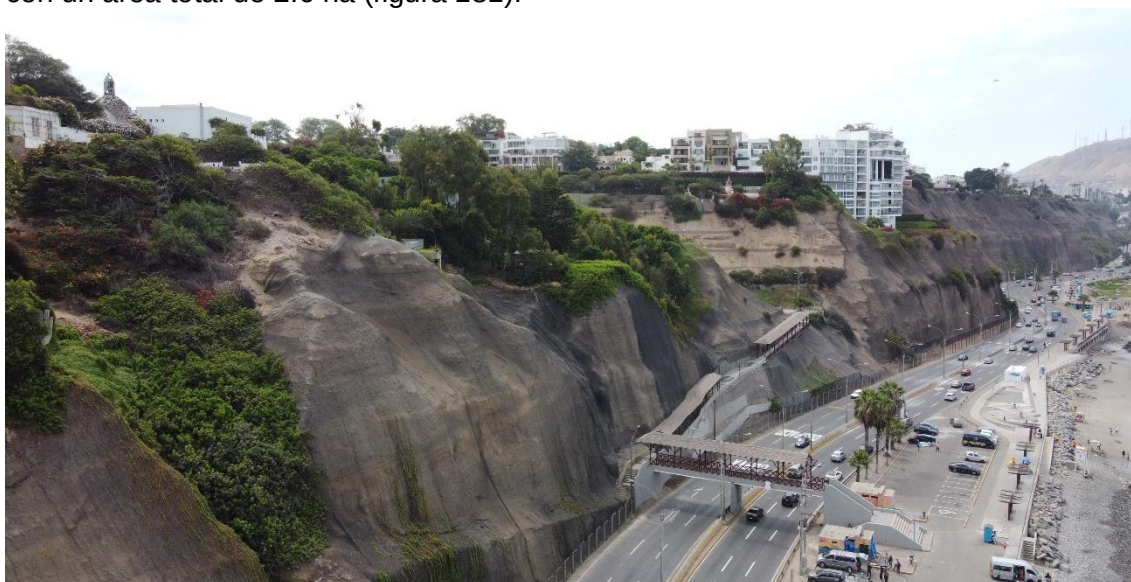


Figura 181. Bajada de Baños, donde se construyó un terraplén inclinado con corte y relleno sobre una probable quebrada antigua.

F. Sub-unidad de terraza alta

Son relieves que se ubican en zonas elevadas con respecto a terrazas adyacentes, tienen pendientes llanas y ligeramente inclinadas, esta unidad limitan con los taludes y terraplenes y fueron parte del acantilado como geoforma original que fue modificada para el emplazamiento de viviendas y edificios habitacionales. Las terrazas altas ocupan un total de 1.13 ha en la actualidad. (figura 182).



Figura 182. Terraza alta donde se diferencia el desnivel con la planicie aluvial en los alrededores.

G. Sub-unidad de terraza baja

Están conformadas por relieves que limitan entre la franja costera y playa con el pie del acantilado, tienen pendientes llanas y ligeramente inclinadas y se ubican en un nivel superior las playas. Sobre estas unidades se ubican parques, ciclovías y vías secundarias que se cimentaron sobre depósitos de origen antropogénico, siendo rellenadas por materiales de diferente origen. La terraza baja en el límite del distrito de Barranco tiene un área total de 16.02 ha (figura 183).

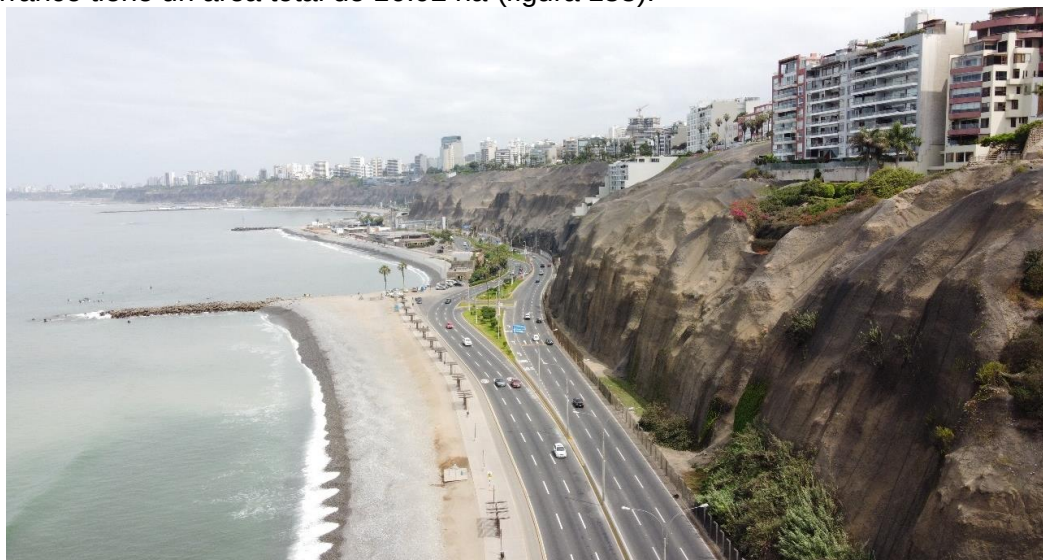


Figura 183. Terraza baja ubicada en la parte baja donde se emplaza la vía costanera a la altura de playa Barranco.

H. Sub-unidad de espigón

Son estructuras lineales y rectas que sobresalen en longitud y elevación con respecto al nivel base de la superficie adyacente; también llamado rompeolas o escollera, se construye con bloques de roca o con estructuras prefabricados de hormigón (cubos, paralelepípedos, dolos y tetrápodos o cuadrípodos).

Se ubican por debajo del nivel del agua, sobre ríos, arroyos o bordes costeros y playas con el objetivo de aumentar el flujo de las corrientes o mareas en varias direcciones determinadas, reducir el oleaje o evitar la sedimentación de arenas o gravas. En el distrito de Barranco se identificaron 6 espigones de 124, 39, 33, 86, 155 y 435 m de largo, abarcando un total de 1.71 ha (figura 184).



Figura 184. Terraza baja ubicada en la parte baja donde se emplaza la vía costanera a la altura de playa Barranco.

Tabla 25. Resumen de unidades geomorfológicas actuales en el distrito de Barranco.

Unidad geomorfológica reciente (2021)	Código	Área (m2)	Área (ha)
Planicie aluvial	P-al	995338.50	99.53
Terraza alta	Ta	11277.00	1.13
Terraza baja	Tb	160249.39	16.02
Acantilado	Ac	133718.80	13.37
Cárcava	Ca	46981.49	4.70
Terraplén	Tpn	26340.96	2.63
Espigón	Esp	17125.08	1.71
Borde litoral y playa	B-l	53275.67	5.33



Figura 185. Unidades geomorfológicas antiguas, identificadas mediante ortofotos de los años 1943 y 1960 en el distrito de Barranco.



Figura 186. Unidades geomorfológicas recientes en el distrito de Barranco.

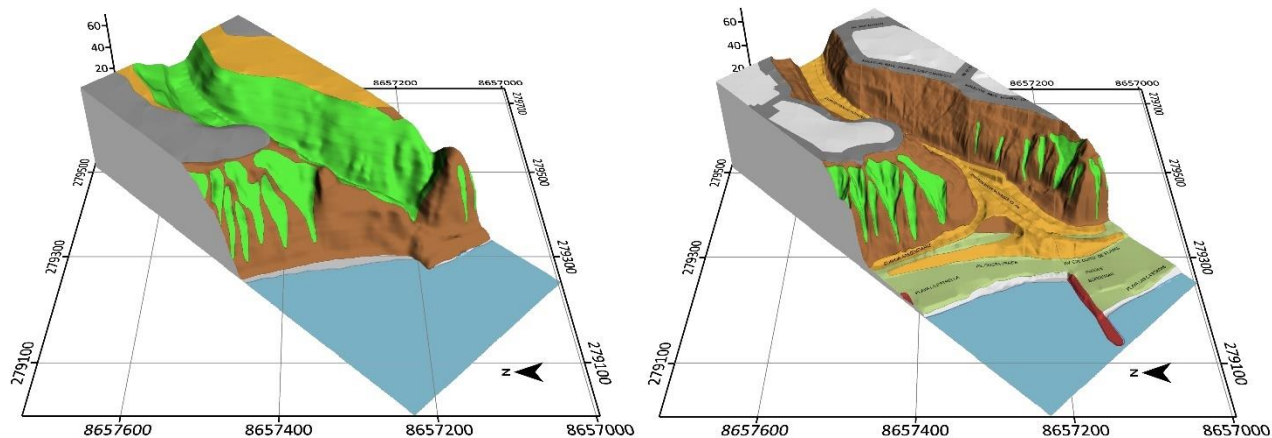


Figura 187. Sección 3D B-01, comparativa de la geomorfología antigua y reciente en la subida de Armendáriz en el distrito de Barranco.

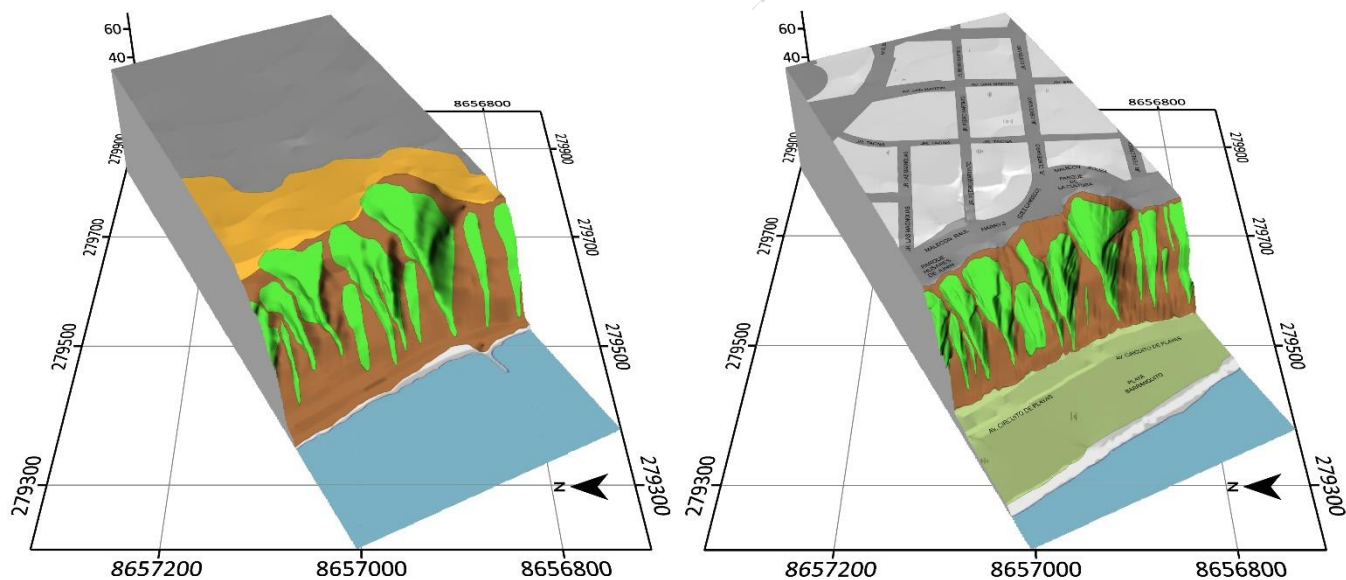


Figura 188. Sección 3D B-02, comparativa de la geomorfología antigua y reciente en la playa Barranquito en el distrito de Barranco.

3.8 Unidades geomorfológicas en el distrito de Chorrillos

3.8.1 Unidades geomorfológicas antiguas en el distrito de Chorrillos

En el distrito de Chorrillos se identificaron y delimitaron tres unidades geomorfológicas modeladas en gran parte por procesos naturales, estas geoformas se observan antes del año 1960 (**Plano PD.GA-CH16**).

3.8.1.1 Unidades de carácter deposicional o agradacional

Están representadas por las formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan otras geoformas preexistentes:

A. Sub-unidad de planicie aluvial

Corresponde al material acumulado por el abanico aluvial del río Rímac, cuyas cabeceras se encuentra en las cumbres más altas de la sierra de la región Lima (Villacorta, et al., 2015). Para el estudio realizado, nos encontramos en el borde perimetral de la planicie aluvial, limitando con la unidad acantilado (figura 189).

En el año 1960, la planicie aluvial presentaba pendientes llanas ($<1^\circ$) a pendientes suavemente inclinadas ($1^\circ - 5^\circ$) que alcanzaron las 73.5 ha.



Figura 189. Vista aérea de la planicie aluvial en el año 1960. Fuente: SAN.

B. Sub-unidad de depósito antropogénico

Son relieves ubicados entre la planicie aluvial y el límite superior del acantilado que tienen desniveles o superficies levemente inclinadas e irregulares, han sido originadas por la actividad antrópica, donde se extraían materiales sedimentarios como canteras de agregados o ladrilleras entre los años 1943 y 1960 (figura 190).

En el distrito de Chorrillos, el área urbana se ubicaba al borde del acantilado antes del año 1940 cuando ocurrió el terremoto; generando un área de depósitos de desmonte, se estableció el límite del área urbana a su ubicación actual. Los depósitos antrópicos tienen un área total de 9.64 ha.



Figura 190. Depósitos antrópicos producto del sismo de 1940. Fuente: <https://www.facebook.com/limantigua>.

C. Sub-unidad de acantilado

En el distrito de Chorrillos, el acantilado presenta taludes con pendientes muy escarpadas ($>45^\circ$), que se encuentran disectadas por cárcavas antiguas, modeladas por la acción erosiva del mar y la escorrentía superficial (figura 191). El acantilado de la Costa Verde abarcó en el distrito de Chorrillos tiene un total de 15.08 ha con una extensión de 2.2 km de largo y anchos promedio de 85 m.

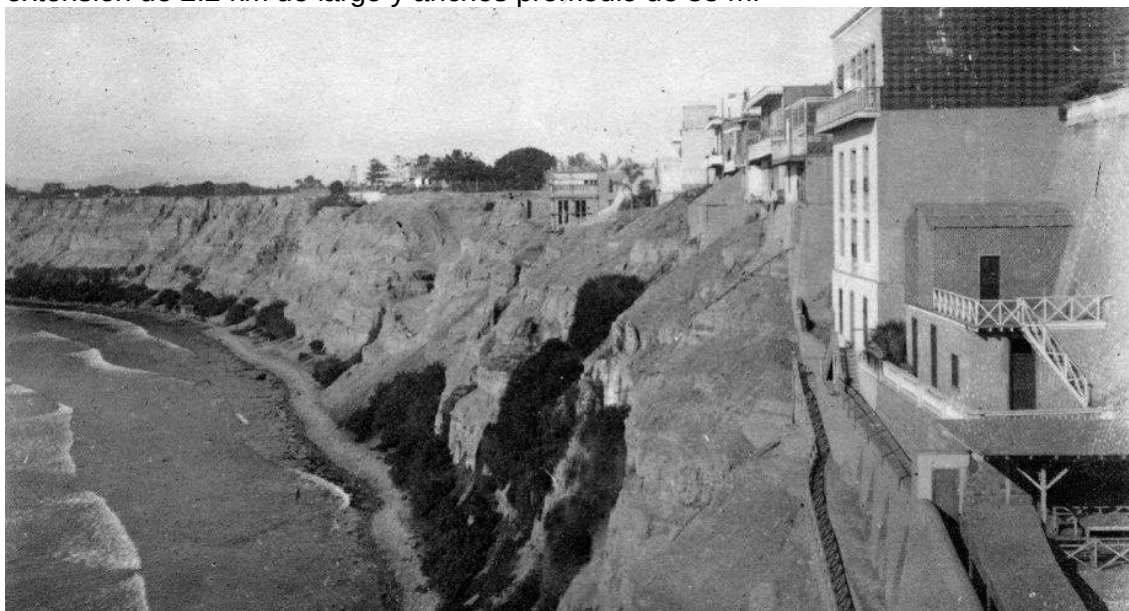


Figura 191. Vista lateral del acantilado de Chorrillos en el año 1960. Fuente: ElComercio.com.

D. Sub-unidad de cárcavas y surcos

La erosión de los suelos es producto de la remoción del material superficial por acción del agua o el viento. El proceso inicia con el agua como el principal agente modelador en forma de lluvia y agua en forma de escorrentía que fluye libre y constante a través de un canal no protegido sobre materiales poco compactos (figura 192).

En la cartografía de gabinete se realizó el análisis de fotos aéreas antiguas de los años 1943 y 1960, calculándose un total de 3.43 ha de superficies afectadas por cárcavas.



Figura 192. Vista frontal de las cárcavas y surcos en el acantilado de Chorrillos en el año 1960. Fuente: Limantigua.

E. Sub-unidad de borde litoral y playas

El borde litoral actual se debe al nivel que tiene el nivel del mar hoy en día, esta configuración depende factores como son el levantamiento tectónico propiciado por el proceso de subducción y la cantidad de agua retenida en los continentes en forma de masas de hielo. Por esta razón, en una escala de miles o decenas de miles de años, el borde litoral puede haber experimentado considerables variaciones (Villacorta et al., 2015).

Esta geoforma es la que mayor intervención antrópica ha tenido, pues desde los años 1943 y 1960 a la fecha se ha expandido mar adentro, debido a la construcción de espigones de roca, los cuales han permitido la sedimentación de arenas formando playas. El borde litoral tiene un área total de 10.17 ha estimadas en base a la cartografía de fotos aéreas antiguas (figura 193).



Figura 193. Circuito de playa y borde litoral en el distrito de Chorrillos en el año 1970. Fuente: SAN.

Tabla 26. Resumen de unidades geomorfológicas antiguas en el distrito de Chorrillos.

Unidad geomorfológica antigua (1943-1960)	Código	Área (m2)	Área (ha)
Planicie aluvial	P-al	735941.27	73.59
Depósito antrópico	D-a	96374.47	9.64
Acantilado	Ac	150798.43	15.08
Cárcavas	Ca	34334.27	3.43
Borde litoral y playa	B-l	101686.30	10.17

3.8.2 Unidades geomorfológicas actuales en el distrito de Chorrillos

3.8.2.1 Unidades de carácter deposicional o agradacional

Están representadas por las formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan otras geoformas preexistentes (**Plano PD.GR-CH17**):

A. Sub-unidad de acantilado

Sub-unidad de origen marino que se encuentra siguiendo la línea costera, a lo largo de la cual se ha desarrollado la zona de ribera actual, donde destacan entrantes y salientes conformando playas delgadas y acantilados (Guzmán et al., 1997).

Entre los distritos evaluados, el acantilado, presenta paredes de fuertes pendientes ($>45^\circ$), que se encuentran disectadas por cárcavas antiguas y recientes, modelados por la acción erosiva del mar, esta unidad tiene 7.31 ha de 2.4 km de largo (figura 194).



Figura 194. Acantilado en el distrito de Chorrillos con pendiente muy escarpada.

B. Sub-unidad de planicie aluvial

Corresponde al material acumulado por el abanico aluvial del río Rímac, cuyas cabeceras se encuentra en las cumbres más altas de la sierra del departamento de Lima (Villacorta, et al., 2015). Para el estudio realizado, nos encontramos en el borde perimetral de la planicie aluvial, limitando con la unidad acantilado (figura 195).

En la cartografía de campo y gabinete se calculó un total de 8.15 ha de relieves considerados como planicies con pendientes llanas a suavemente inclinadas, sobre esta zona ha ocurrido una gran expansión urbana.



Figura 195. Área urbana del distrito de Chorrillos ubicada sobre la planicie aluvial.

C. Sub-unidad de borde litoral y playa

El borde litoral actual se debe al nivel que tiene el nivel del mar hoy en día, esta configuración depende factores como son el levantamiento tectónico propiciado por el proceso de subducción y la cantidad de agua retenida en los continentes en forma de masas de hielo. Por esta razón, en una escala de miles o decenas de miles de años, el borde litoral puede haber experimentado considerables variaciones (Villacorta et al., 2015).

Esta geoforma se ha expandido mar adentro, debido a la construcción de espigones de roca, los cuales han permitido la sedimentación de arenas formando playas, alcanzando un área total de 4.32 ha (figura 196).



Figura 196. Vista aérea del borde litoral y playa en el distrito de Chorrillos.

D. Sub-unidad de cárcavas

Las cárcavas se originan sobre suelos poco compactos y consolidados con escasa cobertura vegetal. La erosión resulta de la remoción de sedimentos y materiales superficiales por acción del agua de escorrentía y/o el viento. El proceso inicia con el agua como principal agente modelador, la escorrentía fluye libre y constante a través de un canal no protegido, la cantidad de agua y la pendiente de la superficie determina la intensidad de la erosión.

En el distrito de Chorrillos, se calculó un total de 1.08 ha de zonas afectadas por cárcavas como relictos de la intensa erosión que existía en el año 1960 (figura 197).

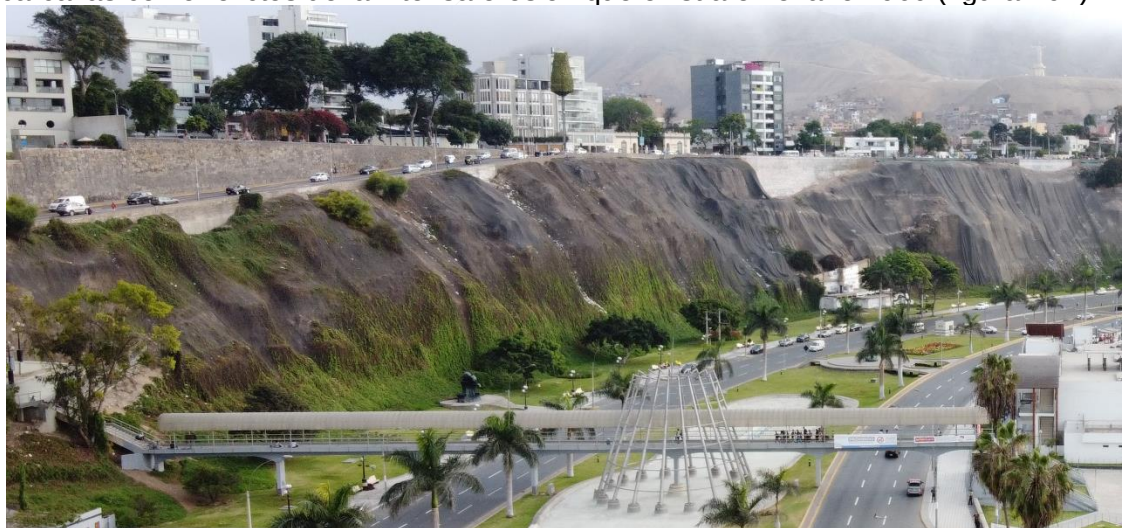


Figura 197. Vista aérea del borde litoral y playa en el distrito de Chorrillos.

3.8.2.2 Unidades geomorfológicas de carácter antropogénico

A continuación, se describen todas las geoformas identificadas y delimitadas a través de la superposición de las fotografías aéreas de los años 1943 y 1960 e imágenes satelitales del año 2000 hacia adelante, todas las geoformas originadas por la intervención del hombre tienen un carácter antropogénico, muchas de estas geoformas

han sido creadas a través del movimiento de grandes volúmenes de materiales de diverso origen y procedencia, y en algunos casos sin ningún control geotécnico.

E. Sub-unidad de terraplén

Son estructuras principalmente de tipo vial, construidas a través del movimiento de tierras, suelo o roca, que inicia en un nivel inferior y se eleva o desciende para alcanzar el nivel de un plano de apoyo donde descansa el peso de la estructura. En la mayoría de los casos estas construcciones se hacen mediante un proceso lento de relleno y compactación y que ocupa el ancho del tipo de vía (figura 198).



Figura 198. Vista aérea de la subida al Malecón Grau o Chorrillos.

En el distrito de Chorrillos existen 02 terraplenes por donde se emplazan las vías asfaltadas Vía Circuito de playas de sentido norte a sur y viceversa, Bajada de Agua Dulce y Subida a Malecón Grau.

F. Sub-unidad de terraza alta

Son relieves que se ubican en zonas elevadas con respecto a terrazas adyacentes, tienen pendientes llanas y ligeramente inclinadas, esta unidad limitan con los taludes y terraplenes que fueron parte del acantilado como geoforma original que fue modificada para el emplazamiento de viviendas (figura 199).

La terraza alta ocupa un total de 2.51 ha y 283 m de largo en las inmediaciones de la Playa de Agua Dulce.



Figura 199. Terraza alta ubicada en las inmediaciones de la Bajada de playa Agua Dulce.

G. Sub-unidad de terraza baja

Están conformadas por zonas elevadas con superficies irregulares, llanas y ligeramente a un nivel superior sobre las playas y que limitan con los taludes y terraplenes. Sobre estas unidades se ubican parques, ciclovías y vías secundarias que se cimentaron sobre depósitos de origen antropogénico, siendo rellenadas por materiales de diferente origen (figura 200).



Figura 200. Terraza baja ubicada entre el pie del acantilado y la playa o borde costero.

La terraza baja ocupa gran parte del área de evaluación, se calculó un total de 28.42 ha, que se distribuyen entre en el pie del acantilado y el borde costero con un desnivel superior al nivel del mar de 5 a 10 m de alto.

H. Sub-unidad de espigón

Son estructuras lineales y rectas que sobresalen en longitud y elevación con respecto al nivel base de la superficie adyacente; también llamado rompeolas o escollera, se construye con bloques de roca o con estructuras prefabricados de hormigón (cubos, paralelepípedos, dolos y tetrápodos o cuadrípodos).

Se ubican por debajo del nivel del agua, sobre ríos, arroyos o bordes costeros y playas con el objetivo de aumentar el flujo de las corrientes o mareas en varias direcciones determinadas, reducir el oleaje o evitar la sedimentación de arenas o gravas. En el distrito de Chorrillos se identificaron 09 espigones de 148, 15, 171, 170, 90, 248, 30, 30 y 290 m de largo, abarcando un total de 2.23 ha (figura 201).



Figura 201. *Terraza baja ubicada entre el pie del acantilado y la playa o borde costero.*

Tabla 27. *Resumen de unidades geomorfológicas recientes en el distrito de Chorrillos.*

Unidad geomorfológica reciente (2021)	Código	Área (m2)	Área (ha)
Planicie aluvial	P-al	831523.30	83.15
Terraza alta	Ta	25099.66	2.51
Terraza baja	Tb	284154.00	28.42
Acantilado	Ac	73124.56	7.31
Cárcava	Ca	10785.22	1.08
Terraplén	Tpn	28901.32	2.89
Espigón	Esp	22299.60	2.23
Borde litoral y playa	B-l	43203.25	4.32

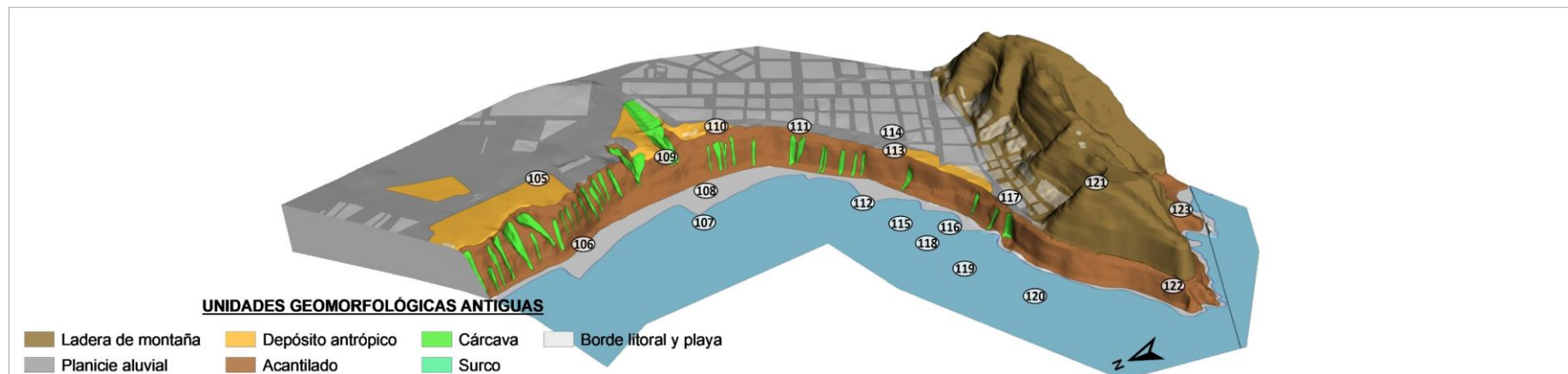


Figura 202. Unidades geomorfológicas identificadas entre los años 1943 y 1960 en el distrito de Chorrillos.

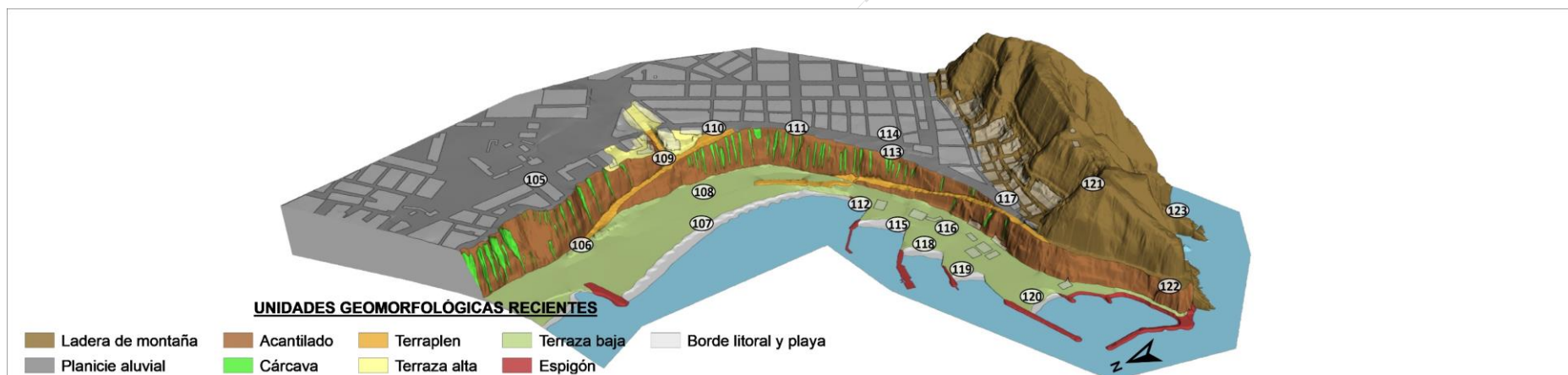


Figura 203. Unidades geomorfológicas recientes o actuales en el distrito de Chorrillos.

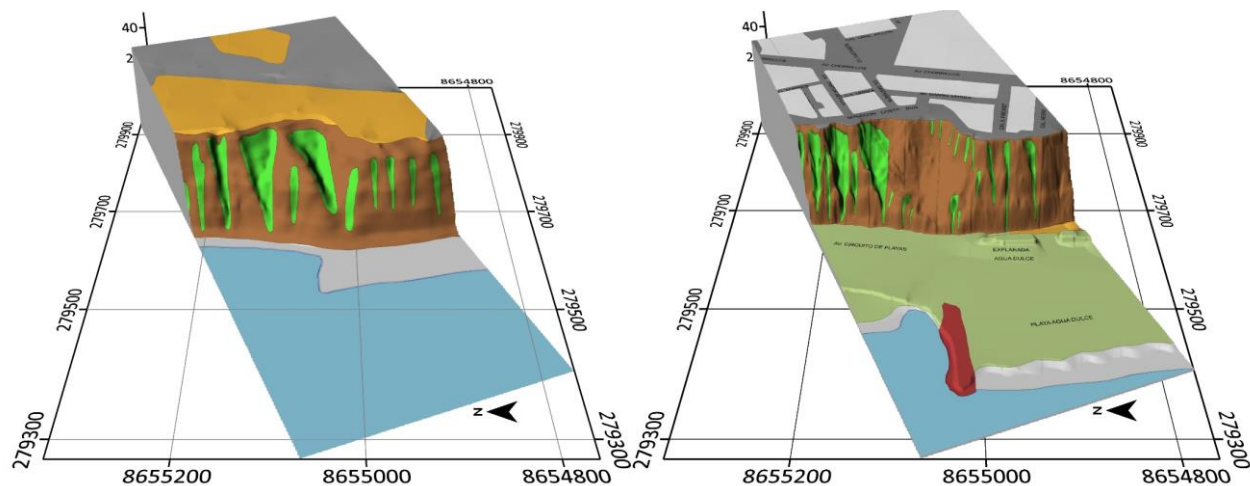


Figura 204. Sección CH-01 ubicada en la playa Agua Dulce, se diferencia la franja costera que no supera los 20 m de ancho (1960), sin embargo, para la geomorfología actual el ancho del borde costero se extendió hasta 160 m de ancho ganando terreno al mar.

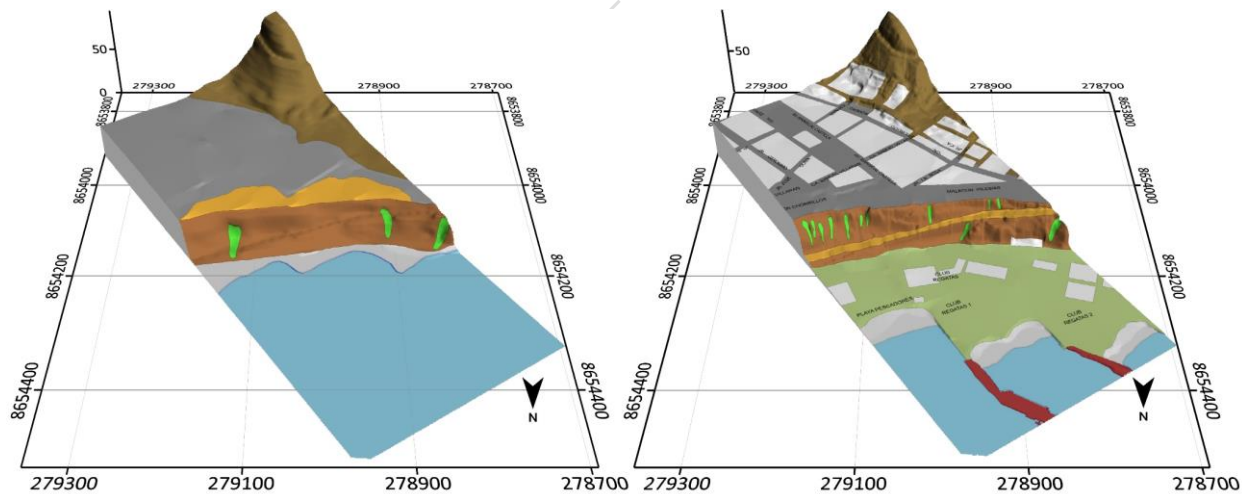


Figura 205. Sección CH-04 ubicada en el Club Regatas, el borde costero y playa no supera los 20 m de ancho para el año 1960, mientras que, actualmente el ancho del borde costero se extendió hasta 180 m de ancho ganando terreno al mar.

4 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

Ing. Agro. Daniel Portocarrero, CIP: 083994

Ing. Geol. Ronald Zavaleta CIP: 173400

Ing. Geol. Vladimir Aquino CIP: 218065

Ing. Geol. Francisco Díaz CIP: 227409

Para caracterización hidrogeológica de la CV se toma como base la geología cartografiada en campo, donde se determina y clasifica las diferentes unidades litológicas que alberga la parte baja de la cuenca Rímac y los acantilados de la CV, acorde a sus valores de porosidad, permeabilidad y conductividad hidráulica.

El cartografiado hidrogeológico y el desarrollo de pruebas hidráulicas para determinar parámetros hidrogeológicos en suelo y rocas, son indispensables como información necesaria para la elaboración del mapa hidrogeológico.

El mapa tiene por finalidad mostrar la distribución espacial de las unidades hidrogeológicas como acuíferos potenciales, zonas impermeables, las cuales se consideran variables importantes para el diagnóstico hidrogeológico de la CV.

En el mapa hidrogeológico, se diferencian las diferentes unidades hidrogeológicas entre sí, por un color característico y su respectiva simbología de acuerdo con la calificación (codificación hidrogeológica).

La representación de colores y símbolos se basó en las recomendaciones establecidas en el manual internacional para la elaboración de mapas hidrogeológicos, de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH), escrita por Struckmeier y Margat (1995).

4.1 Inventario de fuentes

En el área de estudio se ha levantado información correspondiente al inventario de fuentes de aguas subterráneas y superficiales, dando como resultado un mapa de inventario de fuentes.

Por otro lado, se ha tomado en consideración el inventario de fuentes de otras instituciones (Sedapal, ANA, Sunass entre otros.) que ha servido de referencia para análisis de los acuíferos y realizar diferentes mapas temáticos.

A lo largo del acantilado de la Costa Verde se ha evidenciado 13 fuentes de inventario (ver tabla N° 28), 11 de ellos son categorizado como **manantiales** y 02 **Puntos de control**, ya que son aguas provenientes de canales de agua.

Tabla 28. Resumen de inventario de fuentes de agua.

N	CÓDIGO	NOMBRE	NORTE	ESTE	CO TA	ZO NA	LOCALIDA D	TIPO_DE_ FU	PARAMETROS
1	1375541-013	Agua Dulce	8654331	279353	2	18s	Chorrillos	Manantial	Q, Ph, CE, TDS, SAL, RES y OD
2	1375541-014	Costa Linda	8655037	279450	1	18s	Chorrillos	Manantial	Q, Ph, CE, TDS, SAL, RES y OD
3	1375541-015	Costa Linda 2	8655067	279496	2	18s	Chorrillos	Manantial	Q, Ph, CE, TDS, SAL, RES y OD
4	1375541-016	Playa las Sombrillas	8655335	279606	3	18s	Barranco	Manantial	Q, Ph, CE, TDS, SAL, RES y OD
5	1375541-017	Playa los Yuyos	8655571	279636	3	18s	Barranco	Manantial	Q, Ph, CE, TDS, SAL, RES y OD
6	1375541-018	Playa los Yuyos 2	8655596	279648	2	18s	Barranco	Manantial	Q, Ph, CE, TDS, SAL, RES y OD
7	1375541-019	Boca de Sapo	8655870	279657	1	18s	Barranco	Manantial	Q, Ph, CE, TDS, SAL, RES y OD

8	1375541-020	Rustica Barranco	8656222	279644	1	18s	Barranco	Manantial	Q, Ph, CE, TDS, SAL, RES y OD
9	1375541-021	Playa Barranquillo	8656564	279551	2	18s	Barranco	Manantial	Q, Ph, CE, TDS, SAL, RES y OD
10	1375541-022	Armendáriz	8657427	279211	2	18s	Miraflores	Manantial	Q, Ph, CE, TDS, SAL, RES y OD
11	1375541-023	Malecón de la Reserva	8657181	279251	1	18s	Miraflores	Manantial	Q, Ph, CE, TDS, SAL, RES y OD
12	1375541-024	Parque los Pinos	8660070	276687	5	18s	Miraflores	Canal	Q, Ph, CE, TDS, SAL, RES y OD
13	1375541-025	Río Magdalena	8661179	275285	2	18s	Magdalena	Canal	Q, Ph, CE, TDS, SAL, RES y OD

4.1.1 Manantiales

Hay clara evidencia de la existencia de manantiales a lo largo de la CV., estos manantiales se encuentran a centímetros en contacto con las olas del mar lo cual dificulta hacerle el inventario certero, sin embargo, se logra tomar 11 puntos, se consideró a estos por el caudal permanente, por ello son lo más representativos de la zona.

En evidencia se muestra el manantial 1375541-013 con caudal que supera los 10 l/s, luego el manantial 1375541-015, con caudal de 5.0 l/s, seguido del manantial 1375541-016 también con caudal de 5.0 l/s, el manantial 1375541-019 que se presenta como manantial polisurgente en suma de los caudales medidos dio 5 l/s., a continuación, se muestran las fotografías de cada uno de los manantiales (fotografías del 1 a 11).



Fotografía 1. Manantial 1375541-013, Playa Agua Dulce.



Fotografía 2. Manantial 1375541-014, Playa Costa Linda.



Fotografía 3. Manantial 1375541-015, Playa Costa linda 2.



Fotografía 4. Manantial 1375541-016, Playa las Sombrillas.



Fotografía 5. Manantial 1375541-017, Playa Los Yuyos.



Fotografía 6. Manantial 1375541-018, Playa los Yuyos 2.



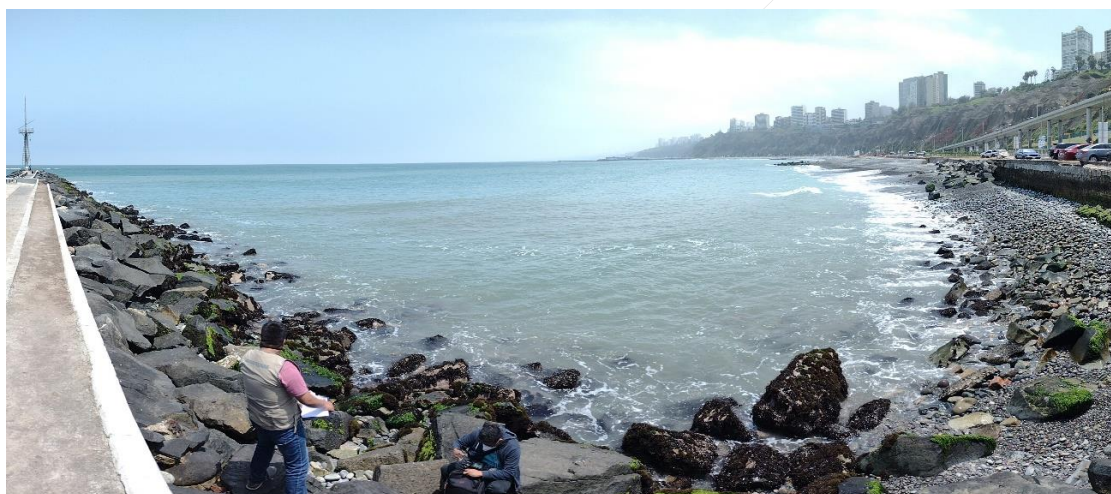
Fotografía 7. Manantial 1375541-019, Boca de Sapo.



Fotografía 8. Manantial 1375541-020.



Fotografía 9. Manantial 1375541-021, Playa Barranquillo.



Fotografía 10. Manantial 1375541-022, La bajada de Almendariz.



Fotografía 11. Manantial 1375541-023, Malecón de la Reserva.

4.1.2 Puntos de control

Se tomaron datos a estos puntos de control con la finalidad de hacerle seguimiento a

los elementos químicos superficiales. Se tomaron dos puntos de inventario y formaron parte también del monitoreo según contenido de agua (fotografías 12 y 13).



Fotografía 12. Punto de control 1375541-024, Parque los Pinos.



Fotografía 13. Punto de control 1375541-025, Río Magdalena.

Estos puntos de inventario de fuentes se reflejan en el siguiente mapa de inventario de fuentes el cual ubica a cada uno de estos espacialmente en el sistema cartesiano WGS 84 Zona 18 sur (figura 206).

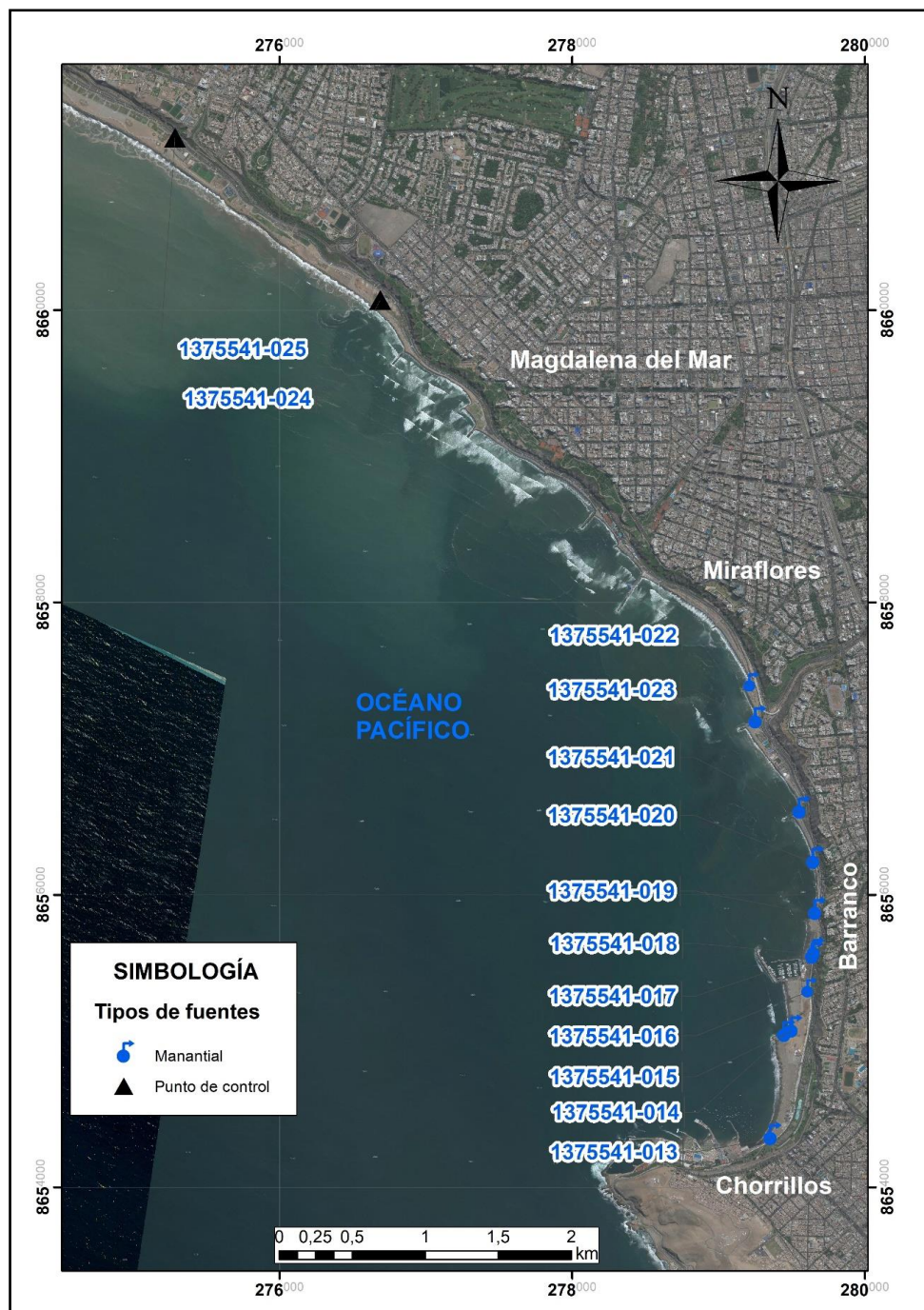


Figura 206. *Inventario de fuentes.*

4.1.3 Pozos de bombeo

De los datos proporcionados por la Autoridad Nacional del Agua, respecto a los pozos existentes en la zona de estudio, se ha podido establecer que existen 2623, de los cuales 452 pozos son administrados por SEDAPAL, 1481 usuarios particulares y se estima que 690 son usuarios informales o clandestinos.

La tabla 29 muestra el caudal total anual de extracción de agua subterránea de los acuíferos del Rímac y Chillón, obtenidos de los pozos de SEDAPAL, para los años del 2000 al 2019. Se estima que la explotación de pozos por parte de usuarios formales e informales ascienda a 135 hm³/año (ANA, 2015).

Tabla 29. Volumen de explotación anual de aguas subterráneas en el área de estudio – año 2000 al 2019.

Año	Extracción Total (hm ³ /año)
2000	179.19
2001	166.98
2002	154.18
2003	121.17
2004	168.42
2005	144.56
2006	133.06
2007	98.78
2008	125.73
2009	99.49
2010	108.94
2011	105.97
2012	107.79
2013	111.54
2014	114.57
2015	111.90
2016	138.94
2017	119.05
2018	131.96
2019	130.08

Fuente: SEDAPAL, 2019.

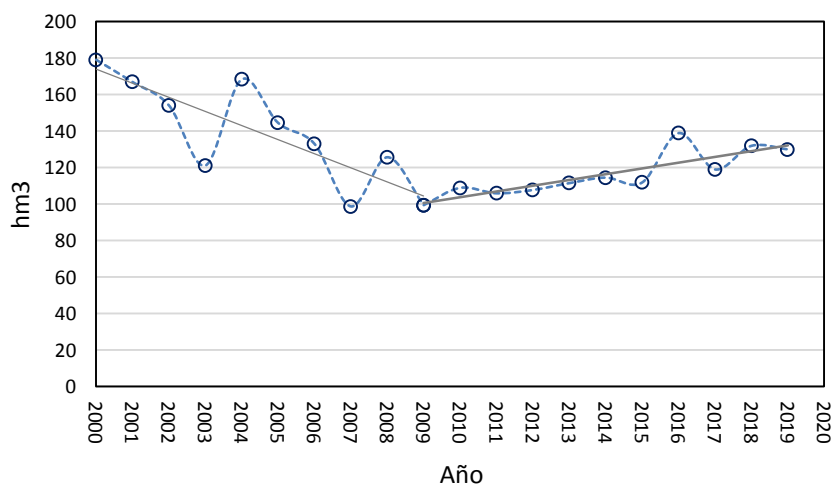


Figura 207. Variación anual del volumen de extracción de agua subterránea (hm³) FUENTE: SEDAPAL, 2019.

En la figura 208, permite apreciar la disminución del volumen de extracción de agua subterránea por parte de los pozos de agua de SEDAPAL, del año 2000 al 2009, a una tasa anual de 7,7 hm³/año. Del mismo modo, del año 2009 al 2019 se registra un incremento en el volumen de extracción de agua subterránea a una tasa de 3,15 hm³/año.

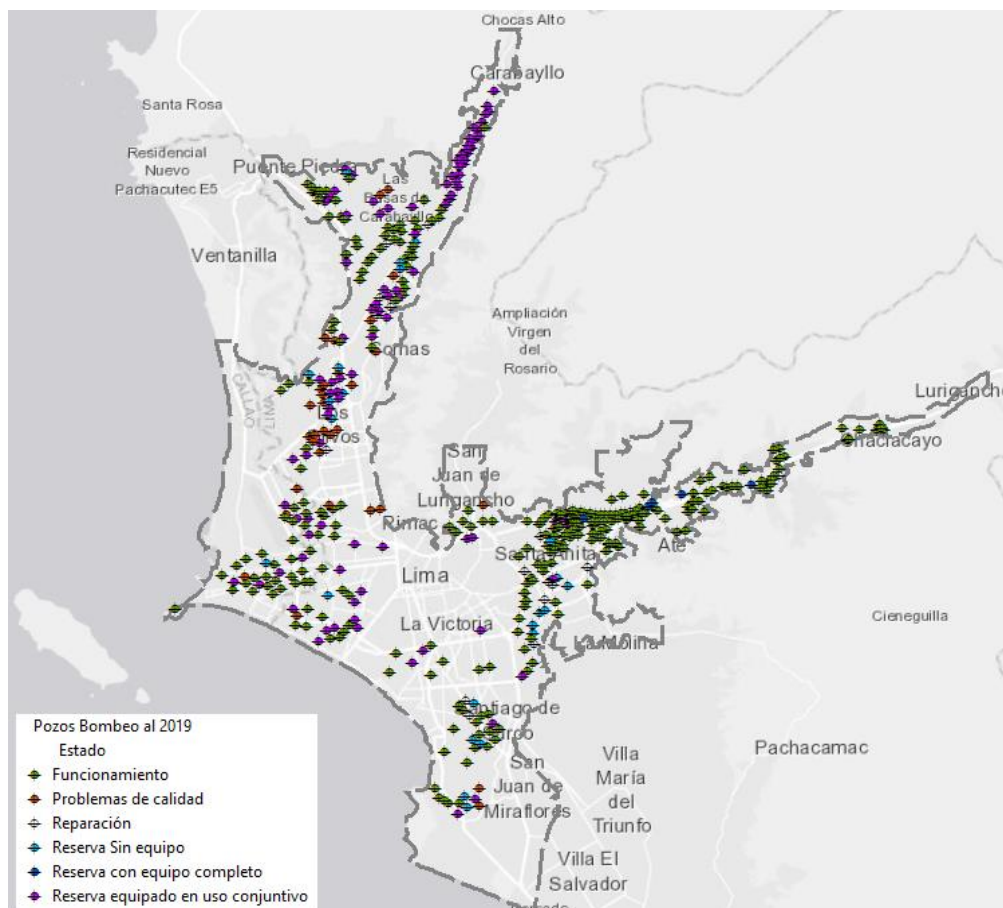


Figura 208. Distribución Espacial de los Pozos de Bombeo de SEDAPAL en el Área de Estudio. Fuente: SEDAPAL, 2019. Elaboración propia.

Tabla 30. Volumen de explotación mensual de aguas subterráneas en el área de estudio – año 2000 al 2019. Fuente: SEDAPAL, 2019.

Año	Enc	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2000	16.204	15.899	16.840	15.820	14.257	13.966	13.970	13.942	14.020	14.302	14.381	14.381
2001	14.888	13.790	15.179	14.150	14.081	13.757	13.789	13.664	13.203	13.075	13.093	13.093
2002	14.344	13.204	14.464	13.911	13.912	12.345	12.647	12.017	11.750	12.470	12.770	10.999
2003	9.651	8.881	9.572	9.019	9.256	10.349	10.609	10.517	9.560	10.677	11.877	11.201
2004	15.332	11.288	10.945	10.636	16.706	15.292	14.237	15.026	15.659	16.875	13.968	12.457
2005	10.856	9.497	8.702	8.473	13.903	12.628	12.375	11.426	11.098	13.655	15.536	16.413
2006	14.385	8.499	8.450	7.490	9.604	11.727	11.554	10.479	9.955	13.413	14.239	13.265
2007	7.002	6.162	6.624	6.104	6.560	9.222	9.194	9.162	9.118	9.835	9.753	10.044
2008	7.562	6.336	6.285	5.823	8.102	10.050	11.874	11.474	14.285	15.727	14.396	13.822
2009	8.454	6.380	7.237	6.479	6.390	6.833	10.210	10.414	10.294	10.850	9.837	6.110
2010	6.071	5.685	6.429	6.080	8.626	10.356	10.282	10.506	10.297	10.860	12.721	11.028
2011	6.599	6.106	6.891	6.567	7.211	10.352	10.545	10.306	10.526	11.273	11.019	8.580
2012	8.132	6.524	7.003	6.621	7.167	10.395	10.838	10.522	10.085	10.526	10.524	9.449
2013	6.541	6.372	7.452	6.592	9.942	10.725	10.656	11.117	11.393	11.135	10.884	8.729
2014	8.451	6.321	7.571	7.682	7.978	11.233	11.087	11.406	10.921	11.394	10.905	9.623
2015	7.340	6.951	7.709	6.944	7.016	10.446	10.761	10.641	10.350	10.968	11.246	11.529
2016	8.451	6.321	7.571	7.682	7.978	11.233	11.087	11.406	10.921	11.394	10.905	9.623
2017	8.643	8.382	10.913	8.351	7.480	11.012	10.328	10.022	11.512	11.455	13.457	10.805
2018	10.456	7.832	7.487	7.487	7.836	11.039	12.660	13.127	13.282	13.282	13.469	13.867
2019	11.051	7.441	8.417	8.192	8.570	12.424	11.958	11.733	12.903	14.061	14.127	9.655

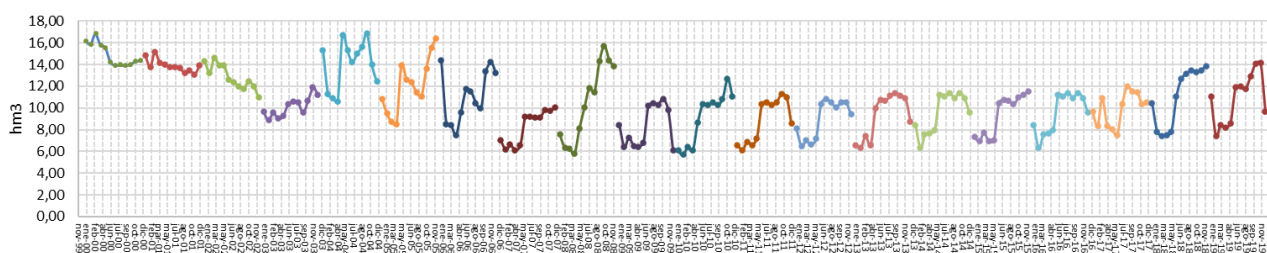


Figura 209. Variación Mensual del Volumen de Extracción de Agua Subterránea (hm3) – Año 2000 al 2019.

4.1.4 Parámetros hidrogeológicos

Los parámetros hidráulicos son de gran importancia para un acuífero, estos parámetros de porosidad y permeabilidad que presenta el suelo o unidad litológica ayudan a identificar, clasificar, determinar y darles valor a las unidades hidrogeológicas.

4.1.4.1 Porosidad

En la CV se ha visto que el 90% de los ensayos de infiltración que se ha desarrollado, son de alta porosidad, sin embargo algunos estratos litológicos o lentes se presentan con materiales litológico de grano fino, en las cuales la porosidad es menor, estos representan ser medios confinantes dando lugar la presencia de la humedad en las unidades que representan ser porosos en estratos que los sobreyacen.

La ocurrencia y movimiento de agua subterránea, depende de características hidrogeológicas de las unidades subsuperficiales. Estas unidades varían en gran medida en su litología, textura y estructura, los cuales influyen en sus características hidrogeológicas (figura 210).

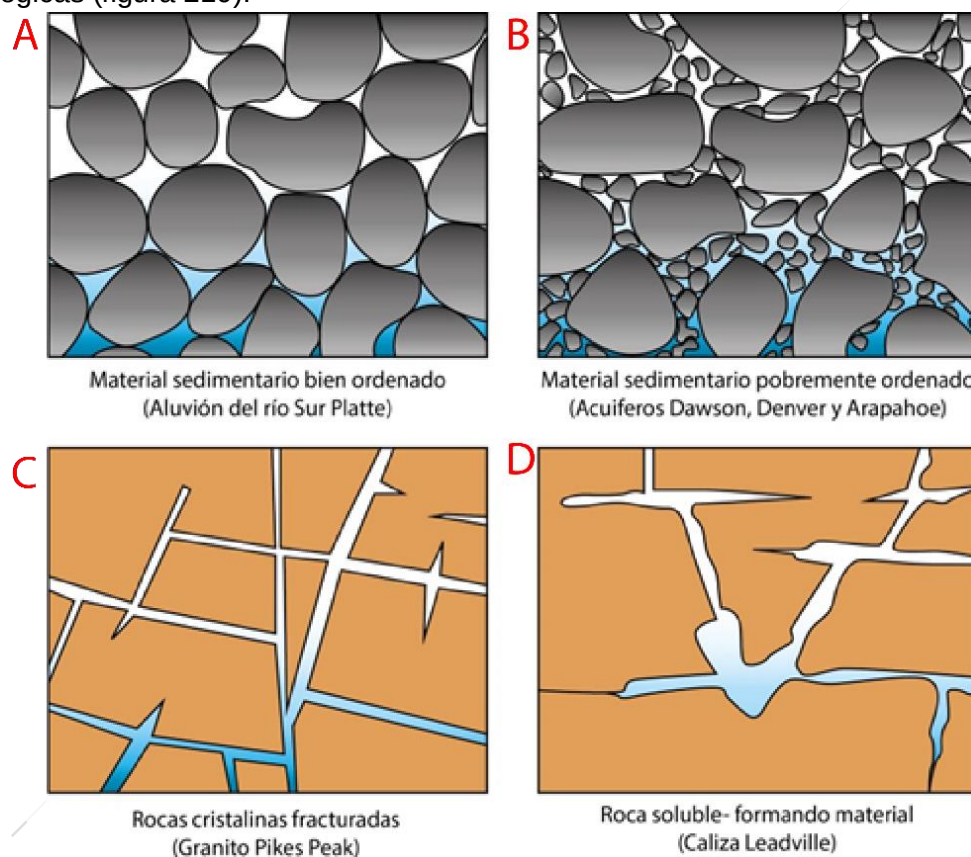


Figura 210. Porosidad y permeabilidad de unidades geológicas que forman acuíferos. Los espacios vacíos están llenos de agua y están representados en color azul. A. Depósito sedimentario bien clasificado, tienen una alta porosidad. (Depósitos aluviales) B. Depósitos sedimentarios deficientemente ordenados tienen baja porosidad C. Roca cristalina que se hizo porosa por fracturamiento. D. Roca soluble, su porosidad es por disolución (Según Colorado Geological Survey ROCKTALK (2002), modificado).

4.1.4.2 Permeabilidad

La permeabilidad de una roca en particular está definida por su conductividad hidráulica (K), que es un parámetro específico, cuya importancia incide en relación del flujo de agua subterránea a través de un sistema acuífero, definiéndose como la capacidad de un medio poroso para transmitir agua (Driscoll, 1986).

En la CV. la mayoría corresponde a unidades del cuaternario de la costa los cuales en sí son porosos y permeables, el agua circula con facilidad por los poros existentes.

Es importante mencionar que en la zona de estudio no existe precipitación pluvial prolongada ni de gran intensidad, solo presentándose en la zona pequeñas garuas y neblinas.

Las formaciones geológicas están clasificadas en 4 tipos que dependen de sus permeabilidades relativas:

Acuífero: es una formación natural o una estructura geológica, saturada con agua que tiene buena conductividad hidráulica, para suministrar una cantidad razonable de agua para un pozo o manantial. La conductividad hidráulica de un acuífero debe ser generalmente más que 10^{-6} m/s.

A. Acuitardo

Es una formación geológica con permeabilidad insuficiente para hacerla una fuente de suministro de agua, sin embargo, permite el intercambio de agua subterránea en el acuífero adyacente debido a un flujo vertical. Los acuitardos sirven como capas semiconfinantes.

B. Acuifugo

Es una formación confinante la cual es impermeable, como rocas cristalinas sin fracturas, arcillas y lutitas. En la naturaleza, las formaciones totalmente impermeables son raras ya que cada unidad geológica tiene cierta conductividad hidráulica.

C. Acuicludo

Formación geológica que no almacena ni deja transmitir agua en cantidades ni en minoría, en estas unidades es que se forman lagunas o bofedales por su capacidad porosidad que es nula y permeabilidad que también es nula.

Las clasificaciones de porosidad y permeabilidad en el mundo, están desarrolladas para acuíferos porosos no consolidados. Sin embargo, en la configuración geológica espacial del área de estudio de los acantilados de la CV, predominan rocas del cuaternario, las cuales están distribuidas a lo largo y ancho de los acantilados de la CV.

Para clasificar a las formaciones geológicas presentes en el área de estudio CV, se utilizó también el cuadro 04 para la caracterización hidrogeológica.

Tabla 31. Valores de permeabilidad y porosidad para clasificaciones hidrogeológicas. Fuente: Peña, et. Al., (2010).

CLASIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA	POROSIDAD (m)	PERMEABILIDAD (k)
ACUÍFERO	Alta o moderada	Alta
ACUITARDO	Alta o moderada	Baja
ACUICLUDO	Alta	Nula
ACUÍFUGO	Nula o muy baja	Nula

4.1.4.3 Conductividad hidráulica

Para calcular los valores de conductividad hidráulica en roca y sedimentos, se realizaron los ensayos de permeabilidad en campo, para tal actividad se ha iniciado llenando una ficha de campo el cual se presenta en el (Anexo 1), y resumen de este también se tiene una base de datos (Anexo 2), a estos se les analizó usando el software Aqtesolv pro

versión 4.5, calculado en unidades de m/día. Para cálculo de porosidad y (cm) para conductividad hidráulica. Resultado de este son 113 fichas (Anexo 3), los que se agrupan según conveniencia y se describen a continuación:

El comportamiento de la conductividad hidráulica es variado a lo largo de la CV, para análisis y reconocimiento de estas se presenta continuación los resultados de los ensayos de infiltración/ permeabilidad, en las figuras se muestra el descenso (y) y tiempo (x) de cada ensayo de infiltración. El descenso se mide en centímetros (cm) y el tiempo en minutos (min), el tiempo para su representación se debe multiplicar por 3, es por ello que, cada ensayo de infiltración duró aproximado de 1 hora.

Distrito de Chorrillos

Se realizaron 06 ensayos de infiltración en el distrito de Chorrillos, del cual se puede decir que 05 se realizaron en los acuíferos y 1 en acuitardo, identificado según la respuesta de infiltración (figura 211).

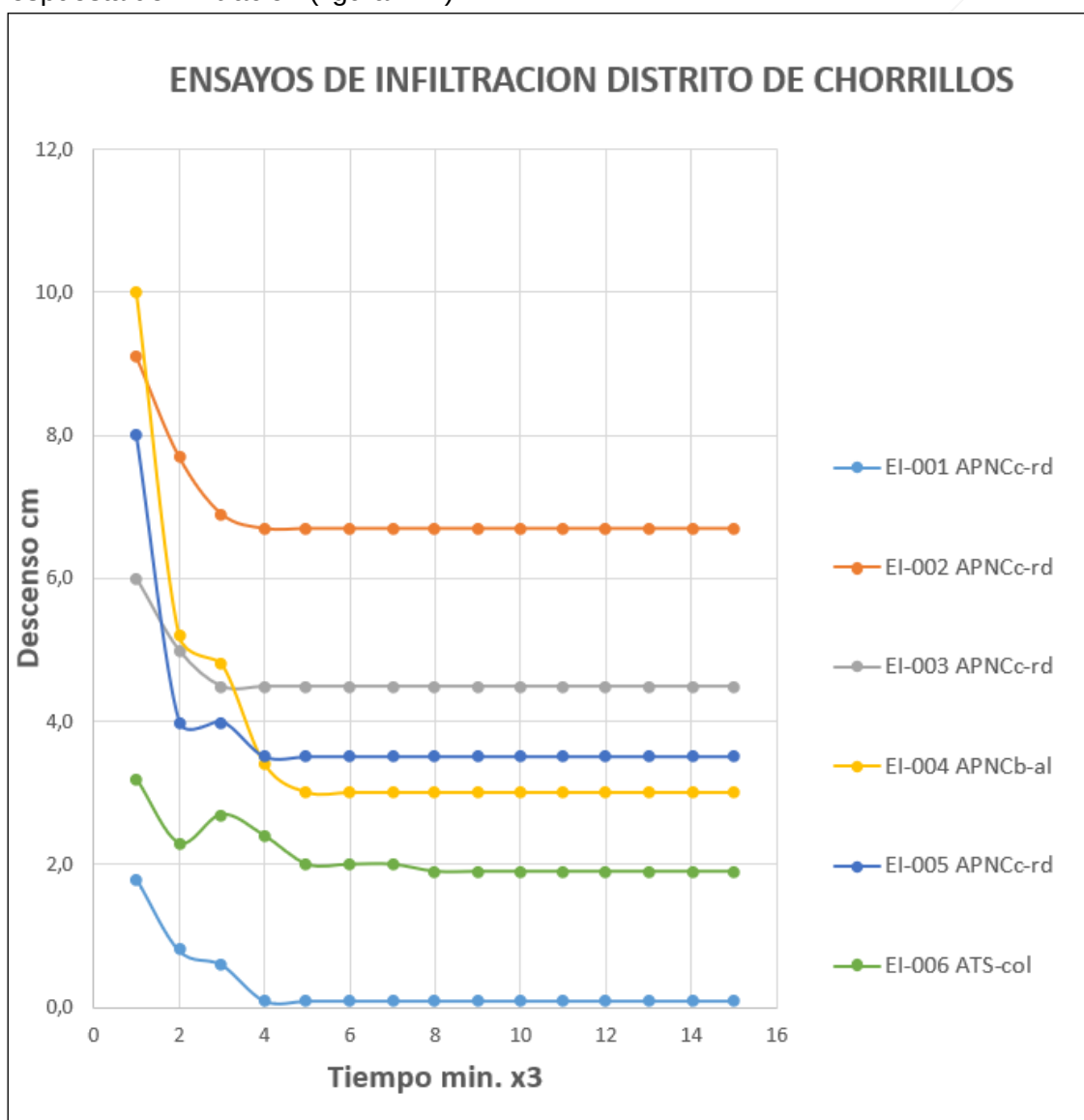


Figura 211. Ensayos de infiltración en el distrito de Chorrillos.

Distrito de Barranco

Se realizaron 26 ensayos de infiltración en el distrito de Barranco, de ellos 23 se realizaron en acuíferos y 3 en acuitardos, resultado de estos ensayos se muestran en la figura 2012.

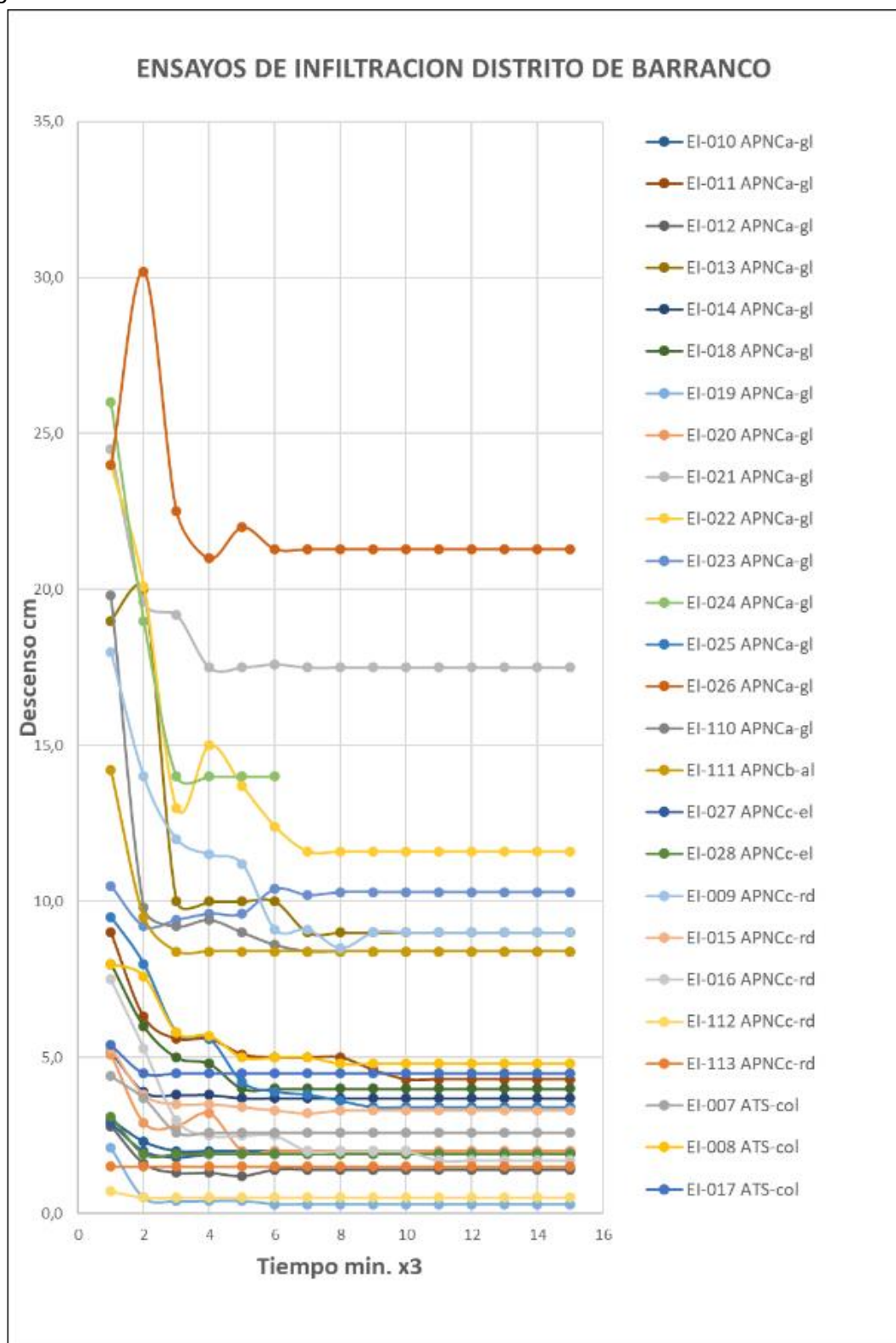


Figura 212. Ensayos de infiltración en el distrito de Barranco.

Distrito de Miraflores

Se realizaron 59 ensayos de infiltración en el distrito de Miraflores, de ellos 55 son realizados en acuíferos y 4 se realizaron en acuitardos, se muestra resultados de los descensos en la figura 213.

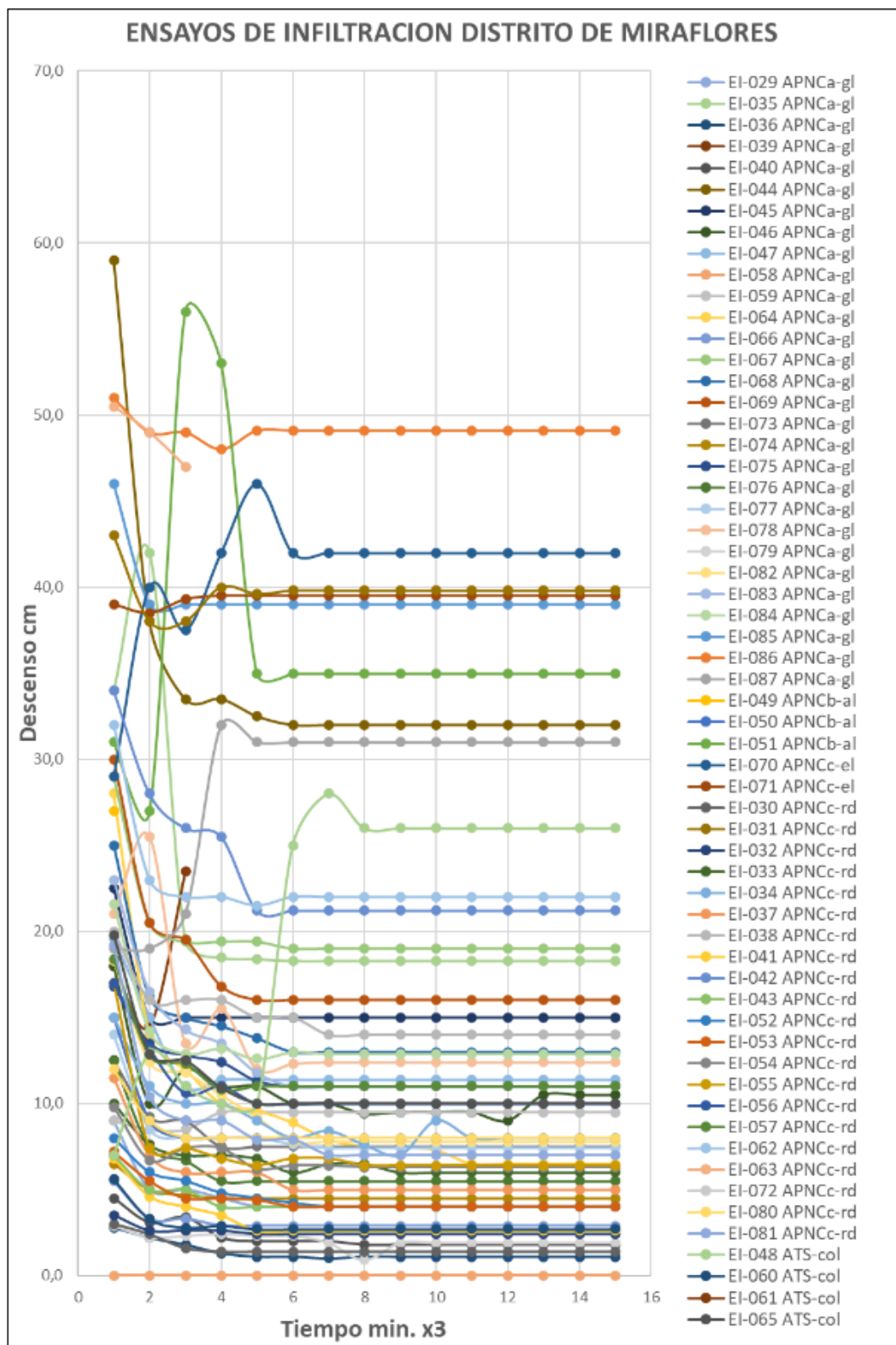


Figura 213. Ensayos de infiltración en el distrito de Miraflores.

Magdalena del Mar

Se realizaron 18 ensayos de infiltración en Magdalena del Mar, de ellos todos son realizados en acuíferos, se muestra resultados de los descensos en la figura 214.

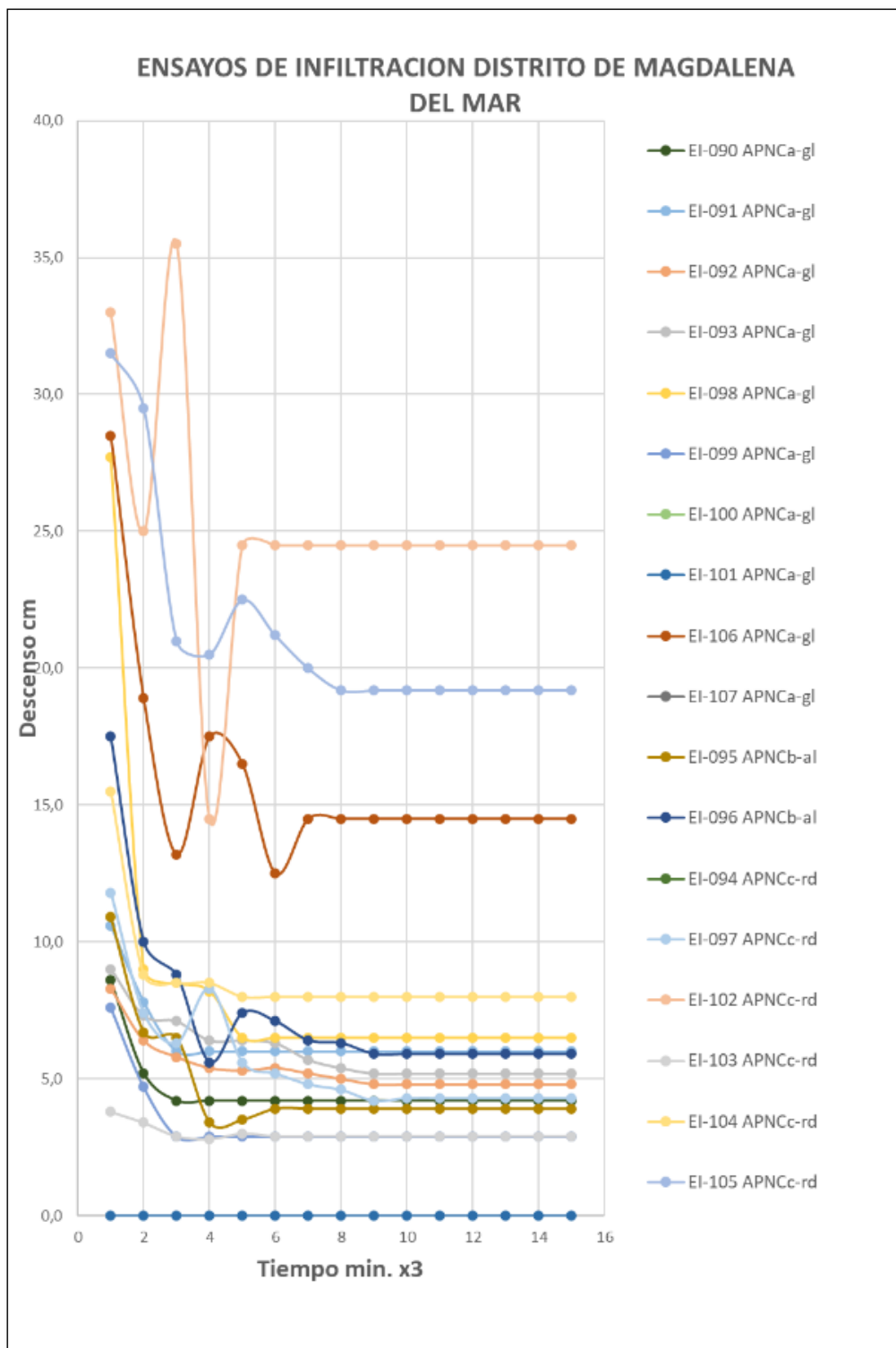


Figura 214. Ensayos de infiltración en el distrito de Magdalena del Mar.

San Isidro y San Miguel

Se realizaron 04 ensayos de infiltración en el distrito de San Miguel y San Isidro, de ellos todos son realizados en acuíferos, se muestra resultados de los descensos en la figura 215.

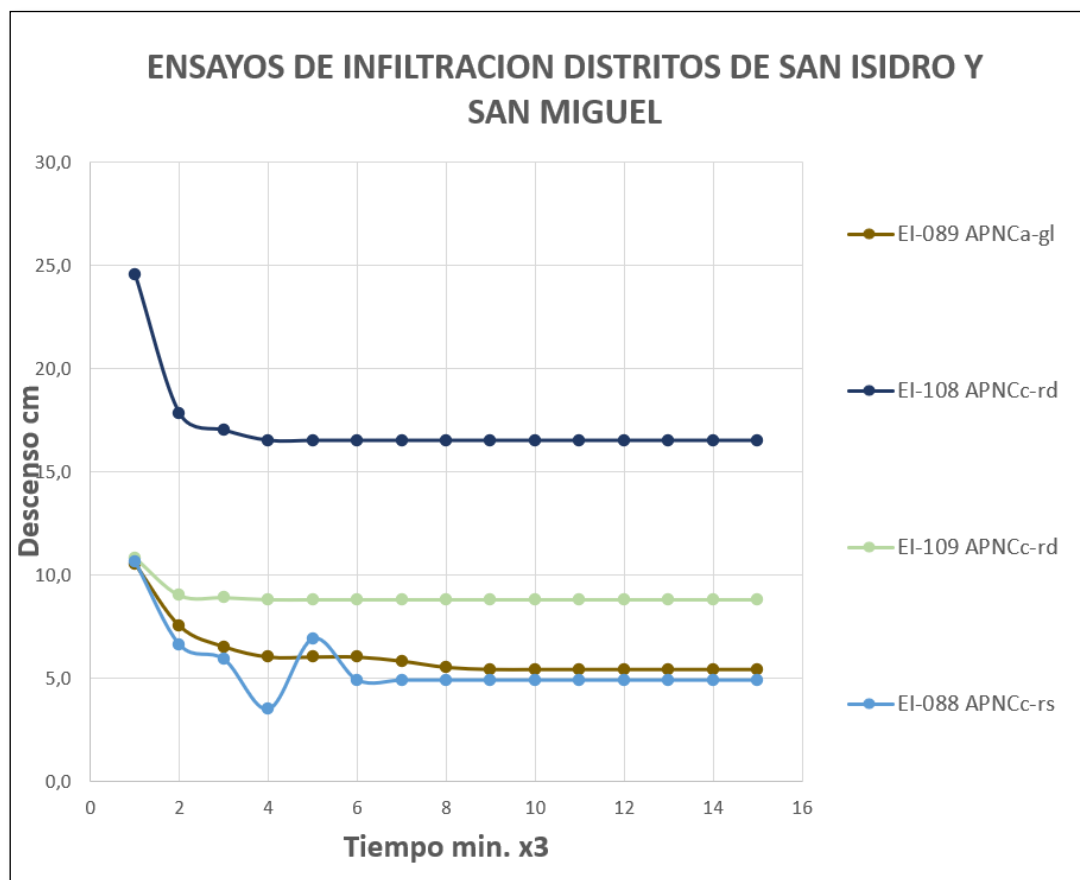


Figura 215. Ensayos de infiltración en el distrito de San isidro y San Miguel.

De los resultados de descenso es que se clasifica a los sistemas y se puede describir el comportamiento de cada uno para su caracterización hidrogeológica, por ellos se describe el comportamiento y distribución de la conductividad hidráulica y permeabilidad de cada unidad hidrogeológica.

A. Distribución de la Conductividad Hidráulica y Permeabilidad (Apnca-GI)

se denomina así porque esta unidad hidrogeológica presenta alta porosidad y alta permeabilidad, por tal se le considera como acuífero poroso no consolidado de alta productividad en gravas de Lima, en el figura 216 y fotografía 14, muestra 55 ensayos de infiltración que correlacionan con la unidad de las gravas de lima, el valor máximo en este grupo se aprecia en el EI-068 con $y_0 = 51.29$ cm, el cual indica que es altamente permeable (y_0), el EI-024 muestra valor de $k = 12.641$ m/día que muestra también un valor alto en conductividad hidráulica (K).

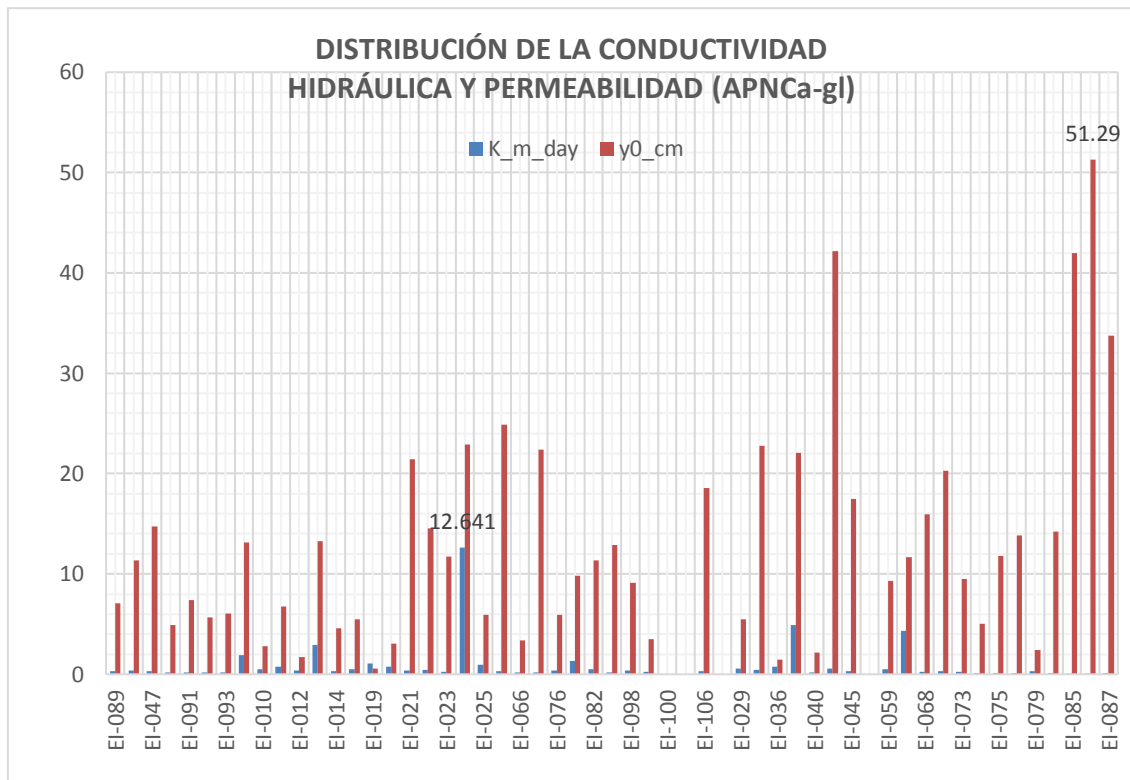


Figura 216. Distribución de la conductividad hidráulica y permeabilidad (APNCa-gl).



Fotografía 14. Se observa el EI-068.

B. Distribución de la Conductividad Hidráulica y Permeabilidad (Apncb-AI)

Se denomina así porque esta unidad hidrogeológica presenta moderada porosidad y alta permeabilidad, por tal se le considera como acuífero poroso no consolidado de moderada productividad en aluvial., en la figura 217 y la fotografía 15, muestra grupo de 07 ensayos de infiltración que correlacionan con la unidad de las aluviales en la Costa Verde, el valor máximo en este grupo se aprecia en el EI-054 con $y_0=39.51$ cm, el cual indica que es altamente permeable (y_0), el EI-050 muestra valor de $k=1.83$ m/día que muestra también un valor moderado en conductividad hidráulica (K).

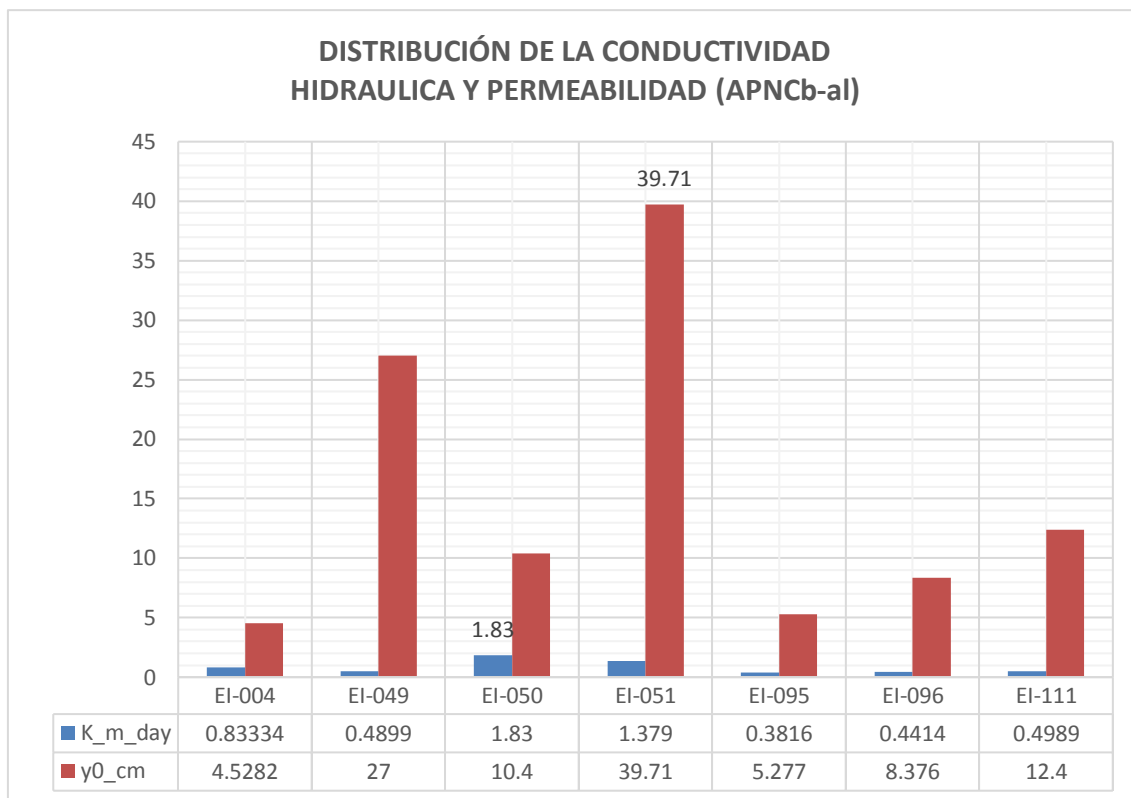


Figura 217. Distribución de la continuada hidráulica y permeabilidad.



Fotografía 15. Se observa el ensayo de infiltración EI-050.

C. Distribución de la Conductividad Hidráulica y Permeabilidad (Apncb-AI)

Se denomina así porque estas unidades hidrogeológicas, varían su comportamiento hidráulico de porosidad y permeabilidad, por tal se le considera como acuífero poroso no consolidado de baja productividad en eluviales, relleno de desmonte y relleno de sedimento, en la figura 218 y fotografía 16, muestra grupo de 43 ensayos de infiltración que correlacionan a la unidad de eluviales, relleno de desmonte y relleno de sedimentos en la CV, el valor máximo en este grupo se aprecia en el EI-063 con $y_0=47.54$ cm, el cual indica que es altamente permeable (y_0), el EI-016 muestra valor de $k=4.701$ m/día que muestra también un valor alto en conductividad hidráulica (K), en trabajo de campo algunos ensayos de infiltración de este grupo han llegado a colapsar en los primeros

minutos mientras se realizaba el ensayo, en algunos casos no ha llegado a infiltrar razón por la cual se le ha considerado como ACUIFERO POROSO NO CONSOLIDADO DE BAJA PRODUCTIVIDAD.



Figura 218. Distribución de la conductividad hidráulica y permeabilidad.



Fotografía 16. Se observa el ensayo de infiltración EI-102.

D. Distribución de la Conductividad Hidráulica y Permeabilidad (Ats-Col)

Se denomina así porque estas unidades hidrogeológicas, varían su comportamiento

hidráulico de porosidad y permeabilidad, por tal se le considera como acuitardo sedimentario coluvial, en la figura 219 y fotografía 17, muestra grupo de 8 ensayos de infiltración que correlacionan a la unidad de coluvial en la CV, el valor máximo en este grupo se aprecia en el EI-048 con $y_0=20.04$ cm, el cual indica que es de baja permeabilidad (y_0), el EI-008 muestra valor de $k=0.93$ m/día que muestra también un valor bajo en conductividad hidráulica (K), en campo algunos ensayos de infiltración de este grupo han llegado a colapsar, o en muchos casos solamente saturaron al inicio de haber realizado en ensayo de infiltración, en algunos casos no ha llegado a infiltrar razón por la cual se le ha considerado como ACUITARDO SEDIMENTARIO.

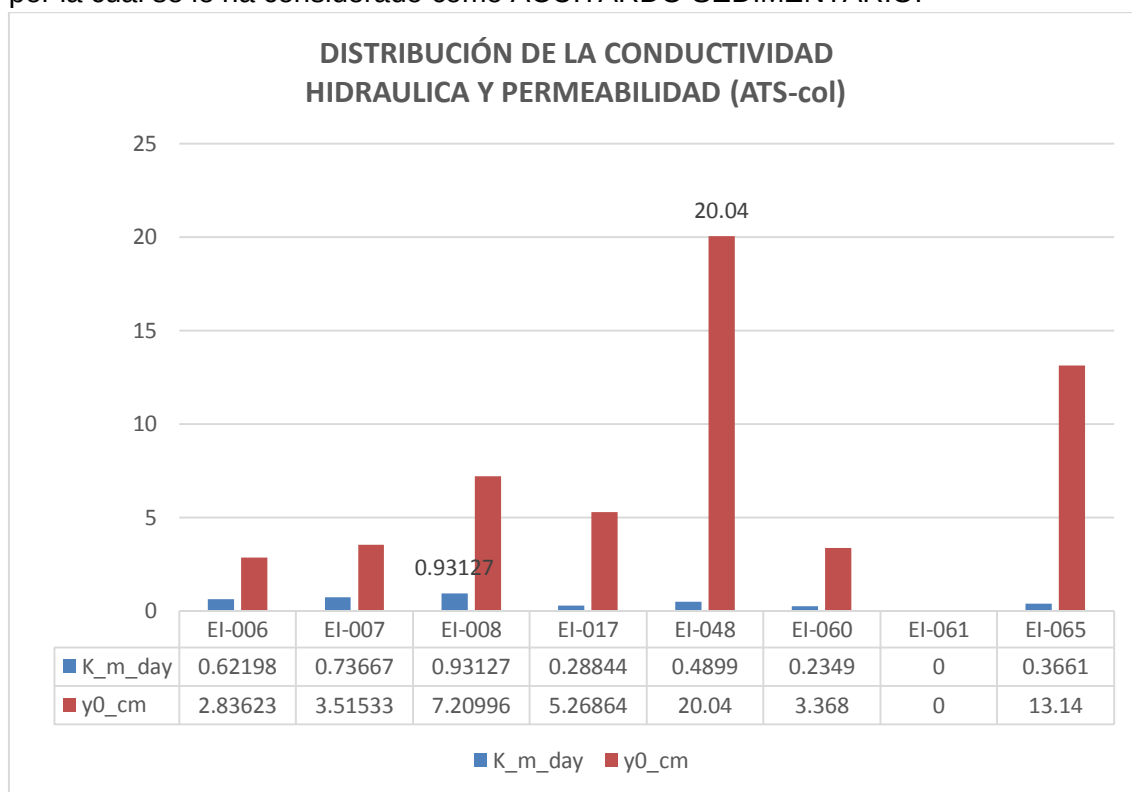


Figura 219. Distribución de la conductividad hidráulica y permeabilidad.



Fotografía 17. Se observa el ensayo de infiltración EI-008.

Los valores de permeabilidad proporcionan ideas iniciales del movimiento de las aguas subterráneas en el subsuelo. Los datos de permeabilidad no son determinantes, pero contribuyen con el análisis y clasificación final del mapa hidrogeológico.

Para la caracterización hidrogeológica final se consideró a la litología como el componente principal además los resultados de ensayos de infiltración.

De este análisis de datos es que se presenta la siguiente tabla de resultados, los cuales muestran datos de campo como post procesamiento en gabinete.

Tabla 32. Resumen de ensayos de infiltración.

N	CÓDIGO	UNIDAD GEOLOGICA	UNIDAD LITOLÓGICA	K=m/día	y0=cm	COTA	CLASIFICACIÓN	CLAS. HIDROGEOLOGICA
1	EI-001	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	2,69	0,58	32,74	APNC	APNCc-rd
2	EI-002	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,28	8,92	32,04	APNC	APNCc-rd
3	EI-003	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,55	6,28	38,01	APNC	APNCc-rd
4	EI-004	Depósito aluvial	Material aluvial de arena, arcilla y grava	0,83	4,53	41,95	APNC	APNCb-al
5	EI-005	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,96	4,13	50,01	APNC	APNCc-rd
6	EI-006	Depósitos coluviales	Acumulación de sedimentos finos y gruesos	0,62	2,84	36,16	ATS	ATS-col
7	EI-007	Depósitos coluviales	Acumulación de sedimentos finos y gruesos	0,74	3,52	59,13	ATS	ATS-col
8	EI-008	Depósitos coluviales	Acumulación de sedimentos finos y gruesos	0,93	7,21	59,13	ATS	ATS-col
9	EI-009	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,23	11,71	61,99	APNC	APNCc-rd
10	EI-010	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,53	2,80	61,92	APNC	APNCa-gl
11	EI-011	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,76	6,76	60,03	APNC	APNCa-gl
12	EI-012	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,35	1,73	49,56	APNC	APNCa-gl
13	EI-013	Grava de Lima	Acumulación de gravas	2,95	13,29	49,77	APNC	APNCa-gl

			disgregadas en el borde litoral.					
14	EI-014	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,32	4,56	61,63	APNC	APNCa-gl
15	EI-015	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,23	3,88	63,11	APNC	APNCc-rd
16	EI-016	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	4,70	4,10	62,92	APNC	APNCc-rd
17	EI-017	Depósitos coluviales	Acumulación de sedimentos finos y gruesos	0,29	5,27	63,13	ATS	ATS-col
18	EI-018	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,47	5,50	53,05	APNC	APNCa-gl
19	EI-019	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	1,07	0,60	51,72	APNC	APNCa-gl
20	EI-020	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,73	3,08	51,79	APNC	APNCa-gl
21	EI-021	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,38	21,40	44,63	APNC	APNCa-gl
22	EI-022	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,43	14,52	44,56	APNC	APNCa-gl
23	EI-023	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,23	11,71	55,01	APNC	APNCa-gl
24	EI-024	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	12,64	22,93	55,55	APNC	APNCa-gl
25	EI-025	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,97	5,94	57,04	APNC	APNCa-gl
26	EI-026	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,34	24,87	55,01	APNC	APNCa-gl
27	EI-027	Depósitos Cuaternarios eluviales	Deposito Aluvial: limos (predominio) con arcillas, plasticidad baja.	0,17	2,25	61,63	APNC	APNCc-el
28	EI-028	Depósitos Cuaternarios eluviales	Deposito Aluvial: limos (predominio) con arcillas, presentan plasticidad baja.	0,12	2,14	62,73	APNC	APNCc-el
29	EI-029	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,57	5,49	67,03	APNC	APNCa-gl
30	EI-030	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por	0,49	1,88	66,61	APNC	APNCc-rd

			bloques de ladrillo y concreto.					
31	EI-031	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,17	42,63	70,02	APNC	APNCC-rd
32	EI-032	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,53	2,97	70,03	APNC	APNCC-rd
33	EI-033	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,51	7,97	70,11	APNC	APNCC-rd
34	EI-034	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,23	11,71	70,33	APNC	APNCC-rd
35	EI-035	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,45	22,75	69,49	APNC	APNCC-gl
36	EI-036	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,76	1,46	70,78	APNC	APNCC-gl
37	EI-037	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,62	7,27	72,00	APNC	APNCC-rd
38	EI-038	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,15	16,15	72,00	APNC	APNCC-rd
39	EI-039	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	4,90	22,04	71,03	APNC	APNCC-gl
40	EI-040	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,18	2,15	71,04	APNC	APNCC-gl
41	EI-041	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,14	2,98	71,00	APNC	APNCC-rd
42	EI-042	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,33	28,70	71,00	APNC	APNCC-rd
43	EI-043	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,26	5,03	69,13	APNC	APNCC-rd
44	EI-044	Grava de Lima	Acumulación de gravas	0,54	42,17	64,99	APNC	APNCC-gl

			disgregadas en el borde litoral.					
45	EI-045	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,30	17,46	65,00	APNC	APNCa-gl
46	EI-046	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	1,89	13,12	33,11	APNC	APNCa-gl
47	EI-047	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,31	14,74	29,14	APNC	APNCa-gl
48	EI-048	Depósitos coluviales	Acumulación de sedimentos finos y gruesos	0,49	20,04	53,84	ATS	ATS-col
49	EI-049	Depósito aluvial	Deposito aluvial: gravas subredondeados con arenas y limos.	0,49	27,00	50,96	APNC	APNCb-al
50	EI-050	Depósito aluvial	Deposito aluvial, gravas con clastos redondeados a subredondeados matriz areno-limosa	1,83	10,40	54,35	APNC	APNCb-al
51	EI-051	Depósito aluvial	Deposito aluvial, gravas con clastos redondeados a subredondeados matriz areno-limosa.	1,38	39,71	54,35	APNC	APNCb-al
52	EI-052	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,29	5,06	62,76	APNC	APNCc-rd
53	EI-053	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,13	4,61	62,04	APNC	APNCc-rd
54	EI-054	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,21	7,44	67,02	APNC	APNCc-rd
55	EI-055	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,51	10,07	67,01	APNC	APNCc-rd
56	EI-056	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,31	13,06	67,08	APNC	APNCc-rd
57	EI-057	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,19	13,10	67,12	APNC	APNCc-rd
58	EI-058	Grava de Lima	Acumulación de gravas	0,00	0,00	64,89	APNC	APNCa-gl

			disgregadas en el borde litoral.					
59	EI-059	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,49	9,30	66,25	APNC	APNCa-gl
60	EI-060	Depósitos coluviales	Acumulación de sedimentos finos y gruesos	0,23	3,37	56,87	ATS	ATS-col
61	EI-061	Depósitos coluviales	Acumulación de sedimentos finos y gruesos	0,00	0,00	57,20	ATS	ATS-col
62	EI-062	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,16	25,48	66,00	APNC	APNCc-rd
63	EI-063	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,49	47,54	65,96	APNC	APNCc-rd
64	EI-064	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	4,36	11,69	64,94	APNC	APNCa-gl
65	EI-065	Depósitos coluviales	Acumulación de sedimentos finos y gruesos	0,37	13,14	65,20	ATS	ATS-col
66	EI-066	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,16	3,35	62,92	APNC	APNCa-gl
67	EI-067	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,16	22,39	62,15	APNC	APNCa-gl
68	EI-068	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,23	15,95	55,17	APNC	APNCa-gl
69	EI-069	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,32	20,28	56,01	APNC	APNCa-gl
70	EI-070	Depósitos Cuaternarios eluviales	Deposito aluvial, gravas subredondeadas a redondeadas.	0,13	45,86	58,00	APNC	APNCc-el
71	EI-071	Depósitos Cuaternarios eluviales	Deposito aluvial, gravas subredondeadas a redondeadas.	0,49	39,37	57,93	APNC	APNCc-el
72	EI-072	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,00	0,00	66,03	APNC	APNCc-rd
73	EI-073	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,25	9,48	66,01	APNC	APNCa-gl
74	EI-074	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,13	5,03	53,23	APNC	APNCa-gl
75	EI-075	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,09	11,79	54,78	APNC	APNCa-gl
76	EI-076	Grava de Lima	Acumulación de gravas	0,38	5,92	59,26	APNC	APNCa-gl

			disgregadas en el borde litoral.					
77	EI-077	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	1,34	9,81	59,00	APNC	APNCa-gl
78	EI-078	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,12	13,87	61,63	APNC	APNCa-gl
79	EI-079	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,31	2,39	61,60	APNC	APNCa-gl
80	EI-080	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,31	9,99	61,56	APNC	APNCc-rd
81	EI-081	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,50	9,87	62,00	APNC	APNCc-rd
82	EI-082	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,52	11,33	58,96	APNC	APNCa-gl
83	EI-083	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,16	12,87	58,75	APNC	APNCa-gl
84	EI-084	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,09	14,22	63,62	APNC	APNCa-gl
85	EI-085	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,06	42,00	62,68	APNC	APNCa-gl
86	EI-086	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,06	51,29	63,01	APNC	APNCa-gl
87	EI-087	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,10	33,72	63,19	APNC	APNCa-gl
88	EI-088	Depósitos de relleno sedimentos	Material compuesto en su mayoría por sedimentos finos y gruesos.	0,58	7,50	12,00	APNC	APNCc-rs
89	EI-089	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,34	7,06	21,60	APNC	APNCa-gl
90	EI-090	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,18	4,93	24,30	APNC	APNCa-gl
91	EI-091	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,20	7,41	26,64	APNC	APNCa-gl
92	EI-092	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,19	5,65	33,00	APNC	APNCa-gl
93	EI-093	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,15	6,04	32,84	APNC	APNCa-gl

94	EI-094	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,00	0,00	51,08	APNC	APNCC-rd
95	EI-095	Depósito aluvial	Deposito aluvial: Grava, arcilla y limo.	0,38	5,28	51,25	APNC	APNCb-al
96	EI-096	Depósito aluvial	Depósito de relleno: material arcilloso.	0,44	8,38	52,06	APNC	APNCb-al
97	EI-097	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,33	5,62	52,05	APNC	APNCC-rd
98	EI-098	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,37	9,13	54,45	APNC	APNCa-gl
99	EI-099	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,22	3,48	55,00	APNC	APNCa-gl
100	EI-100	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,00	0,00	56,00	APNC	APNCa-gl
101	EI-101	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,00	0,00	56,00	APNC	APNCa-gl
102	EI-102	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,16	27,53	56,94	APNC	APNCC-rd
103	EI-103	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,18	3,33	57,39	APNC	APNCC-rd
104	EI-104	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,40	10,50	56,00	APNC	APNCC-rd
105	EI-105	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,21	22,66	56,16	APNC	APNCC-rd
106	EI-106	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,30	18,59	50,63	APNC	APNCa-gl
107	EI-107	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,00	0,00	56,83	APNC	APNCa-gl
108	EI-108	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,22	19,23	62,11	APNC	APNCC-rd
109	EI-109	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por	0,15	9,42	62,09	APNC	APNCC-rd

			bloques de ladrillo y concreto.					
110	EI-110	Grava de Lima	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	0,35	11,37	20,64	APNC	APNCa-gl
111	EI-111	Depósito aluvial	Deposito aluvial: grava con matriz areno con arenas pardo amarillentas, dura, poco plástica.	0,50	12,40	18,41	APNC	APNCb-al
112	EI-112	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,09	0,55	54,67	APNC	APNCc-rd
113	EI-113	Depósitos de relleno desmontes	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	0,05	1,50	54,27	APNC	APNCc-rd

A este cuadro acompaña un mapa de ensayos de infiltración (figura 220).

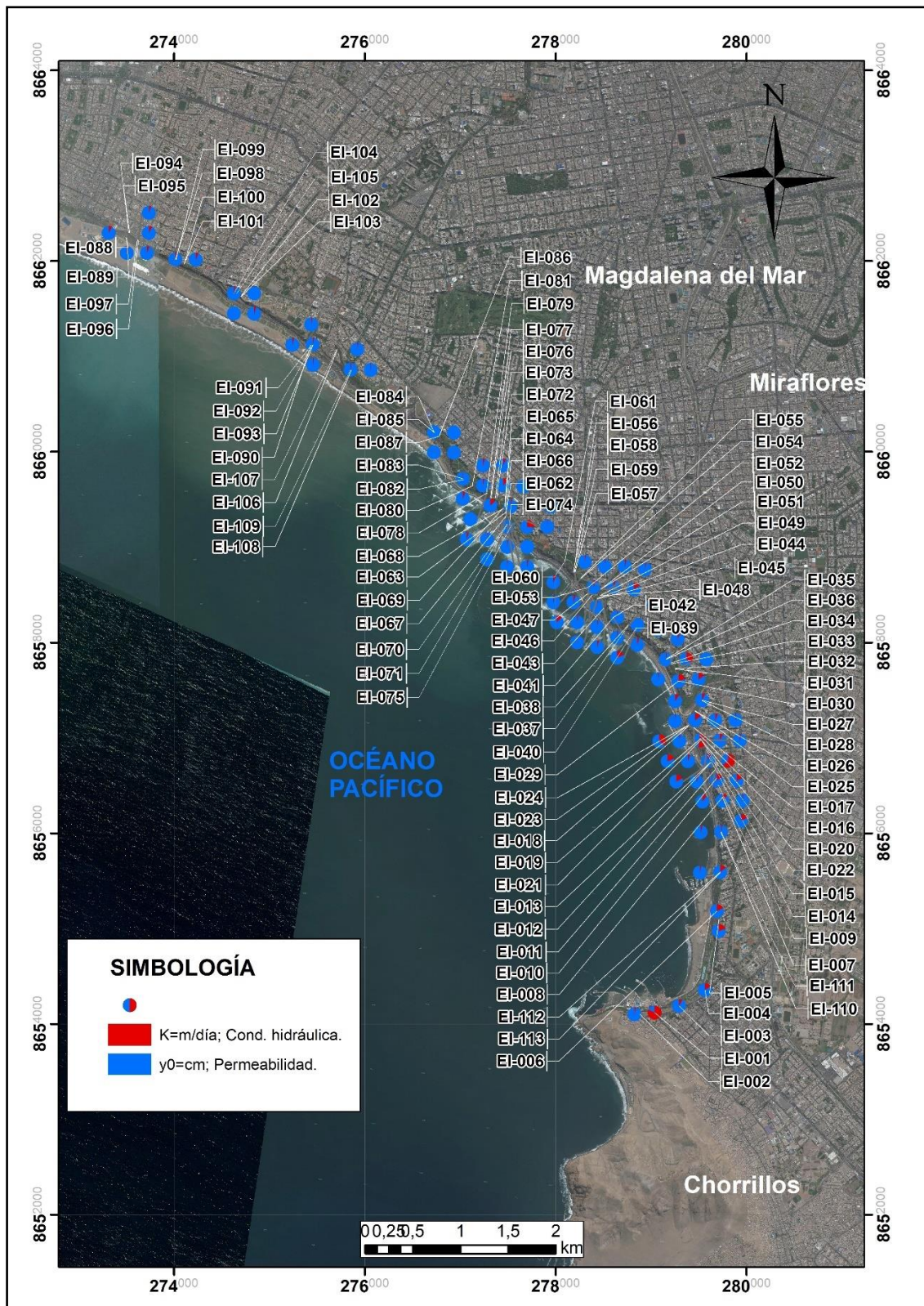


Figura 220. Mapa de inventario de ensayos de infiltración

4.2 Gradiente hidráulico

El flujo natural de las aguas subterráneas se desplaza en descenso, de niveles de potenciales altos a más bajos. La pérdida de carga que experimenta el agua subterránea

a través del acuífero se expresa por el concepto de gradiente hidráulico, que es proporcional a la longitud recorrida y a la carga existente entre los puntos considerables.

Estos valores de gradiente hidráulico funcionan casi con exactitud en un acuífero poroso no consolidado (acuífero Libre), a diferencia de los acuíferos fisurados donde el gradiente hidráulico está condicionada a tener variaciones debido a las estructuras que albergan y permiten el flujo subterráneo.

En los siguientes gráficos se muestran los gradientes hidráulicos sin considerar a las unidades hidrogeológicas, en condiciones homogéneas.

En el distrito de Chorrillos:

Los niveles freáticos o piezométricos a este sector indica que la profundidad máxima es de 56 m s.n.m., a partir de la Cota que es de 56 m s.n.m., en el Pozo del Ejército Peruano (IRHS-15-01-08-S1231) y el nivel mínimo se evidencia a 7.8 m s.n.m., a partir de la Cota de 40 m s.n.m., en el poso de Sedapal (IRHS-15-01-08-S815). Para más detalles de profundidades de pozos evaluados del distrito de Chorrillos (tabla 33).

Tabla 33. Pozos del distrito de Chorrillos.

CÓDIGO	PROPIETARI	LON	LAT	COTA	DISTRITO	NE/ m	NP m s.n.m.
IRHS-15-01-08-S815	Sedapal	-77,007511	-12,170652	40	Chorrillos	32, 2	7,8
IRHS-15-01-08-S475	HERMES TRANSPORTES BLINDADOS S.A.	-77,019941	-12,176064	41	Chorrillos	32, 76	8,24
IRHS-15-01-08-S797	INVERSIONES LA CARRETA S.A.	-77,018122	-12,175987	41	Chorrillos	32, 71	8,29
IRHS-15-01-08-S814	Sedapal	-77,018102	-12,173021	44	Chorrillos	34, 3	9,7
IRHS-15-01-08-S757	Sedapal	-77,021427	-12,171689	40	Chorrillos	30	10
IRHS-15-01-08-S465	Sedapal	-77,02321	-12,166174	48	Chorrillos	35, 79	12,21
IRHS-15-01-08-S370	TERCEROS	-77,01997	-12,176236	42	Chorrillos	28, 8	13,2
IRHS-15-01-08-S654	Sedapal	-77,010272	-12,174442	44	Chorrillos	26, 47	17,53
IRHS-15-01-08-S387	Sedapal	-77,005659	-12,176588	42	Chorrillos	18, 25	23,75
IRHS-15-01-08-S269	Sedapal	-77,015767	-12,174004	37	Chorrillos	11, 8	25,2
IRHS-15-01-08-S125	INTRADEVCO INDUSTRIAL S A	-77,019686	-12,176373	40	Chorrillos	0	40
IRHS-15-01-08-S1231	EJERCITO PERUANO	-77,009885	-12,160673	56	Chorrillos	0	56



Figura 221. Distrito de Barranco se observa en colores azulados el nivel freático que va de 0 m a 2.5 m s.n.m.

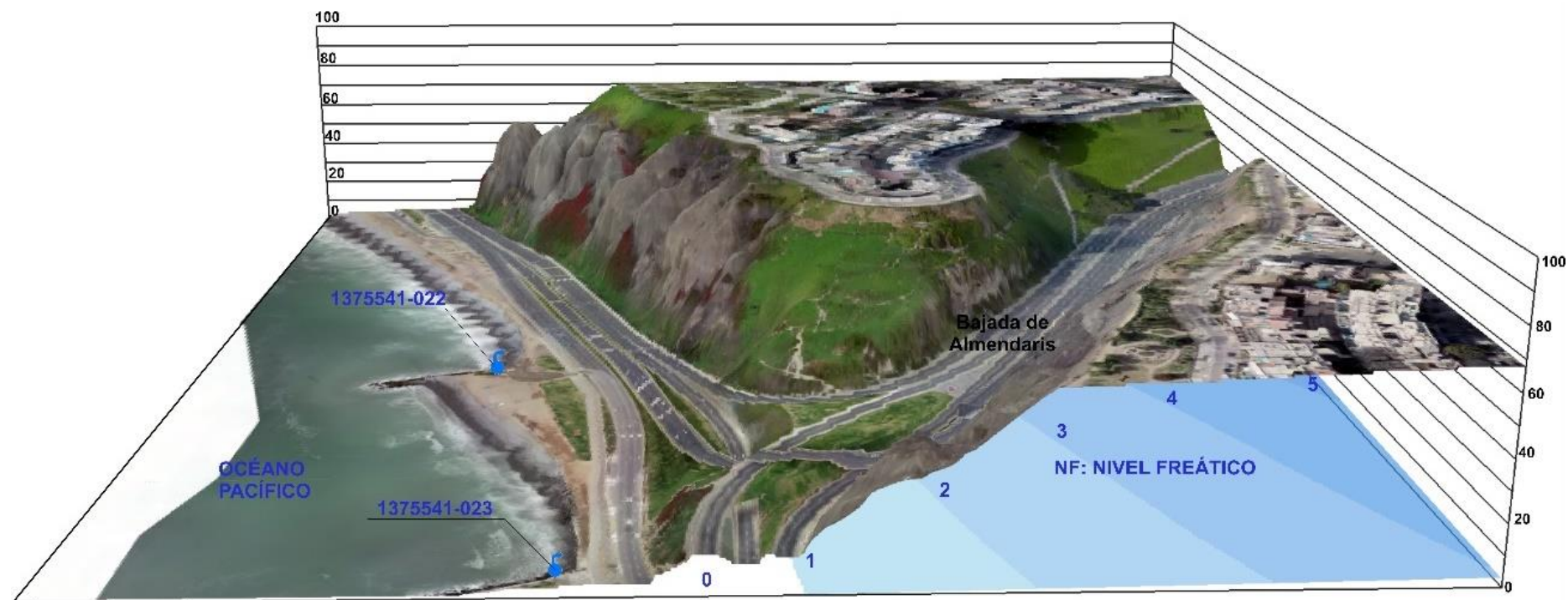


Figura 222. Bajada de Armendáris, observa en colores azulados es el gradiente hidráulico o Nivel freático.

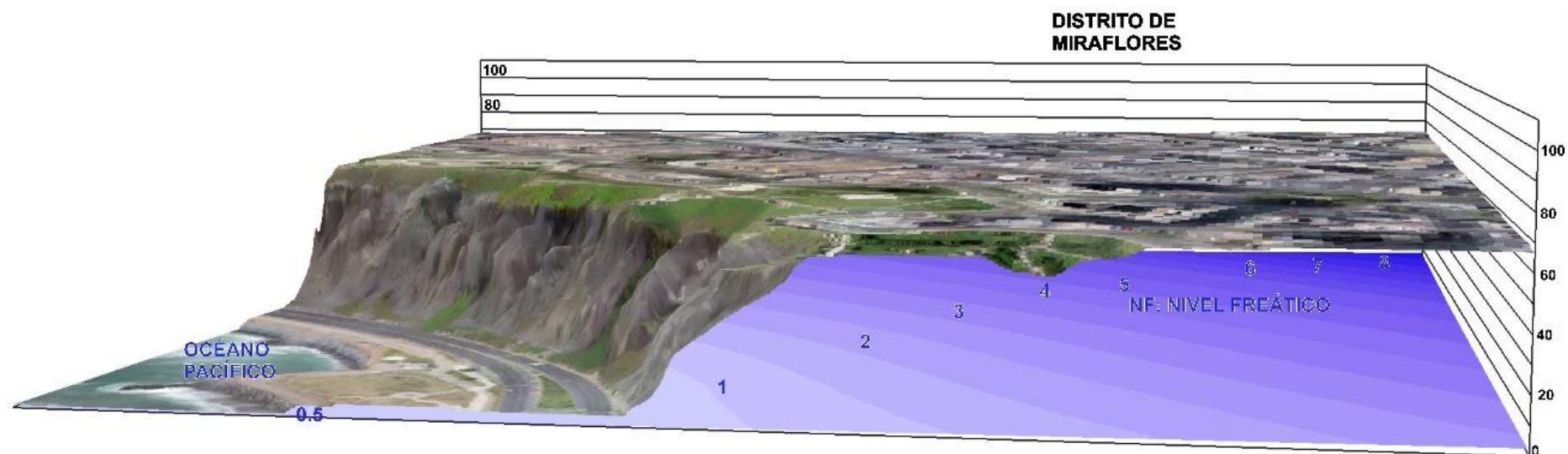


Figura 223. Distrito de Miraflores, observa en colores azulados es el gradiente hidráulico o Nivel freático.

4.3 Caracterización hidrogeológica

Para la correcta interpretación caracterización hidrogeológica se ha considerado iniciar de con la interpretación regional de a la litología, se ha tomado como base a la microcuenca bajo Rímac limitado por el río Rímac.

Para conocer las propiedades hidrogeológicas de rocas y suelos dentro de la zona de estudio CV, se ha realizado una caracterización hidrogeológica, tomando como base la geología detallada, la precipitación pluvial. Estos parámetros, nos han permitido establecer un mapa hidrogeológico a escala 1/25000, zonificando las rocas y suelos con características de almacenamiento y circulación de aguas subterráneas, las rocas y suelos con características impermeables.

En geología se menciona a las unidades de litológicas del acantilado de la CV. descritas en la figura 11 (Depósitos identificados en los acantilados de la CV.) para hidrogeología se viene adaptando estos límites como unidades hidrogeológicas.

De ello se tiene que las rocas que se encuentran dentro de los limites mencionados anteriormente, la subcuenca Bajo Rímac, limitado por el río Rímac, es que se presenta la siguiente columna litológica, del cual derivamos y mencionamos cada una de las formaciones geológicas.

En la tabla 16 se observa, todos los parámetros hidrogeológicos, que sirvieron de variables para la clasificación hidrogeológica final, en base a los mismos se elaboró el mapa hidrogeológico del área de estudio y alrededores La secuencia estratigráfica de Lima Este comprende rocas sedimentarias, volcánicas e ígneas.

Tabla 34. Caracterización hidrogeológica de la Costa Verde y alrededores. Fuente: Waltz 1969, Hudak 1999, Sanders 1998 y Benitez 1972.

N°	Formación Geológica			Descripción Litológica	Control Estructural	Resultados de gabinete		Resultados de campo		Clasificación	Clasificación hidrogeológica
						Conductividad Hidráulica (m/d)	Porosidad (%)	K= m/d ía	Y0 = c m		
1	Batolito de la costa	Súper Unidad Patap	Ki-pt	Gabro-diorita	Fracturas superficiales.	Intrusivos = 2.59×10^{-9} - 1.73×10^{-5}	Gabro-diorita = 0 a 5			Acuitardo intrusivo	ATI-pt
2		Súper Unidad Santa Rosa	Ks-sr	Granodiorita, diorita, tonalita-diorita, monzogranito y adamelita	Presentan fracturas, además de estar meteorizadas.	Intrusivos = 2.59×10^{-9} - 1.73×10^{-5}	Intrusivos = 0 a 5			Acuitardo intrusivo	ATI-sr
3		Roca Intrusiva	K-mgr	Monzonita, granodiorita.	Fracturas superficiales.	Intrusivos = 2.59×10^{-9} - 1.73×10^{-5}	Monzonita = 0 a 5 Granodiorita = 0 a 5			Acuitardo intrusivo	ATI-mgr
4	Sub Volcánico		Ks-pand	Andesita	Fracturas superficiales.	Andesita = Variable según grado de fracturamiento	Andesita = 0.1 a 0.6			Acuitardo volcánico	ATV-pand
5	Grupo Morro Solar	Formación Salto del Fraile	Ki-sf3	Areniscas cuarzosas gris verdosas bioturbadas con intercalaciones de limolitas arenosas	Fracturas y pliegues	Areniscas = 2.59×10^{-5} a 5.18×10^{-1} Limolitas = 0.86×10^{-6} a 1.21×10^{-3}	Areniscas = 4 a 25 Limolitas = 5 a 10			Acuitardo sedimentario	ATS-sf

6		Formación Herradura	Ki-h3	Limoarcillitas gris oscuras con capas de areniscas y calizas grises hacia el tope.	Fallas normales e inversas	Calizas = 0.86×10^{-4} a 5.18×10^{-1} Areniscas grano fino = 2.59×10^{-5} a 5.18×10^{-1} Limoarcillitas = ND	Calizas = 0.5 a 17 Areniscas = 4 a 25 Limoarcillitas = 33 a 42			Acuitardo sedimentario	ATS-her
7	Grupo Lima	Formación Pamplona	Ki-pa	Areniscas intercaladas con lutitas y calizas, con algunos niveles de margas calcáreas.	Pliegues de arrastre, microplegamientos.	Areniscas = 2.59×10^{-5} a 5.18×10^{-1} Lutitas = 3.45×10^{-2} Calizas = 6×10^{-4} a 1 Margas = 6×10^3 a 10	Areniscas = 4 a 25 Lutitas = 43 Calizas = 0.5 a 17 Margas = 10 a 15			Acuitardo sedimentario	ATS-pa
8		Formación Atocongo	Ki-at	Calizas grises clara a beige, altamente silicificado por metamorfismo o termal.	Fallas intraformacionales y plegamientos dando lugar a un aspecto astilloso	Calizas = 6×10^{-4} a 1	Calizas = 0.5 a 17			Acuitardo sedimentario	ATS-at
9	Grupo Casma	Formación Chilca	Ki-chil	Tobas líticas y vítricas con intercalaciones de brechas volcánicas, calizas bioclásticas y areniscas	Fracturas superficiales.	Tobas riolíticas = 0.17215 Areniscas volcánicas = 0.8 a 0.8×10^{-2} Calizas = 6×10^{-4} a 1	Tobas riolíticas = 15 a 20 Areniscas = 4 a 25 Calizas = 0.5 a 17			Acuitardo volcánico-sedimentario	ATVS-chil
10		Formación Quilmaná	Ki-qui	Piroclastos y derrames andesíticos masivos, con niveles de lavas de estructuras almohadilladas y amigdaloides.	Se les encuentra como techos colgantes afectados por el batolito.	Derrames andesíticos = 8×10^{-3} a 0.8×10^{-5}	Derrames andesíticos = 0.3 a 5			Acuitardo volcánico	ATV-qui
11	Formación Huarochirí		Nm-h	Tobas riolíticas a riolacitas, ignimbritas riolítica color rosado.	Pliegues	Tobas riolíticas = 0.17215	Tobas riolíticas = 15 a 20			Acuitardo volcánico-sedimentario	ATVS-h
12	Depósitos eólicos		Q-eo	Arenas cuarzosas formando dunas pampas amplias.	Material acumulado	Arena cuarzosa = 1 a 25	Arena cuarzosa = 20 a 50			Acuífero poroso no consolidado de moderada productividad	APNCb-eo
13	Depósitos fluviales		Q-fl	Gravas, arenas en matriz limoarenosa.	Material acumulado	Gravas = 25 a 2500 Arenas = 0.1	Gravas = 25 a 40 Arenas = 20 a 35			Acuífero poroso no consolidado de alta productividad	APNCa-fl
14	Depósitos coluviales		Q-col	Acumulación de sedimentos finos y gruesos	Material acumulado	Arenas = 0.1	Arenas = 20 a 35	0.4 58	6.9 222	Acuitardo sedimentario	ATS-col
15	Grava de Lima		Q-mg	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	Material acumulado	Gravas = 25 a 2500 Arenas = 1.7×10^{-2} a 16.7	Gravas = 25 a 40 Arenas = 20 a 35			Acuífero poroso no consolidado de alta productividad	APNCa-gl
16	Deposito aluvial fluvial.		Q-alfi	Acumulaciones de fragmentos	Material acumulado	Arenas = 1.7×10^{-2} a 16.7	Arenas = 20 a 35			Acuífero poroso no consolidado	APNCa-alfi

			rocosos heterogéneos arenas, cantos,		Gravas = 25 a 40	Gravas = 25 a 40			de alta productividad	
17	Depósitos coluvio - deluviales	Qr-cd	Material compuesto en su mayoría por sedimentos finos y gruesos.	Material acumulado	Limos = 8.4×10^{-5} a 1.6 Arenas = 1.7×10^{-2} a 16.7 Gravas = 25 a 2500	Limos = 34 a 50 Arenas = 20 a 40 Gravas = 25 a 40			Acuífero poroso no consolidado de baja productividad	APNCc-cd
18	Depósitos aluviales holocenos	Qh-al	Acumulaciones de fragmentos rocosos heterométricos y heterogéneos (arenas, cantos, bolos, etc.)	Material acumulado	Gravas = 25 a 2500 Arenas = 1.7×10^{-2} a 16.7	Gravas = 25 a 40 Arenas = 20 a 35	0.7 31	13. 461	Acuífero poroso no consolidado mediana productividad	APNCb-al
19	Depósitos de travertinos	Q-tv	Depósitos de origen químico de carbonatos	Precipitación química	Carbonatos 10^{-6} - 10^0	Carbonatos 0.05 - 0.50			Acuitardo sedimentario	ATS-tv
20	Depósitos de relleno sedimentos	Q-rs	Material compuesto en su mayoría por sedimentos finos y gruesos.	Material acumulado de poca extensión	Gravas = 25 a 2500 Arenas = 1.7×10^{-2} a 16.7 Limos = 8.4×10^{-5} a 1.6	Gravas = 25 a 40 Arenas = 20 a 40 Limos = 34 a 50	0,5 83	7,4 96	Acuífero Poroso no consolidado de baja productividad	APNCc-rs
21	Depósitos de relleno desmontes	Q-rd	Material compuesto en su mayoría por bloques de ladrillo y concreto.	Material acumulado por el hombre	Gravas = 25 a 2500 Arenas = 1.7×10^{-2} a 16.7 Limos = 8.4×10^{-5} a 1.6	Gravas = 25 a 40 Arenas = 20 a 40 Limos = 34 a 50	0.4 7	10. 88	Acuífero Poroso no consolidado de baja productividad	APNCc-rd

4.3.1 Acuíferos

Según su litología, extensión y productividad, se ha identificado a los acuíferos con condiciones de almacenamiento y circulación de agua subterránea en la zona de estudio.

4.3.1.1 Acuíferos porosos no consolidados

Esta unidad hidrogeológica ha sido dividida en tres categorías, estas obedecen primero a su capacidad de transmitir agua a través de sus poros y segundo su capacidad de almacenar

El área de estudio está dominada por esta unidad debido a que esta es parte del cono fluvial aluvial de la deyección del río Rímac. ello en los acuíferos del área de estudio, esta compuestos de depósitos de sedimentos no consolidados que pertenecen al cuaternario reciente, emplazados en los antiguos lechos del río Rímac, siendo sus depósitos considerados, como acuíferos porosos no consolidados, estos depósitos, presentan alta porosidad y permeabilidad, los cuales suelen estar constituidos por gravas redondeadas y arenas, que permiten el almacenamiento y transmisibilidad del agua subterránea, considerándolos así como potenciales acuíferos. La precipitación en esta parte de la cuenca es casi imperceptible, dándose la recarga del acuífero a través de las filtraciones del río Rímac.

Según J. Quintana & J. Tovar (2002), la profundidad del nivel freático en el valle del Rímac, para el año 1997, varió desde 5 m en la zona de Villa a 100 m en la Victoria. Las zonas más deprimidas se encuentran en el distrito de la Victoria (100 m). El descenso

del nivel freático en el valle del Rímac varía de 10 a 50 m, es decir a razón de 1 a 5 m/año.

A. Acuífero poroso no consolidado de alta productividad graba de Lima (APNCa-gl)

Esta unidad hidrogeológica se extiende de NO a SE, está compuesta de depósitos cuaternarios de acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral, con matriz de arenas. en esta unidad hidrogeológica se calcula una infiltración de 25 a 2500 m/día en su componente de gravas y 1.7×10^{-2} a 16.7 m/día en su componente de arenas, se calcula la porosidad también en gravas de 25% a 40% y en arenas de 20% a 35% los cuales son valores altos, razón por la cual se les clasifica como poroso no consolidado de alta productividad.

Esta unidad está emplazada en el borde del acantilado de la CV ocupando los distritos de Chorrillos, Barranco, Miraflores, San Isidro, Magdalena del Mar y San Miguel (figura 224 y 225).



Figura 224. Modelo conceptual en el área de la bajada de Armendáriz.

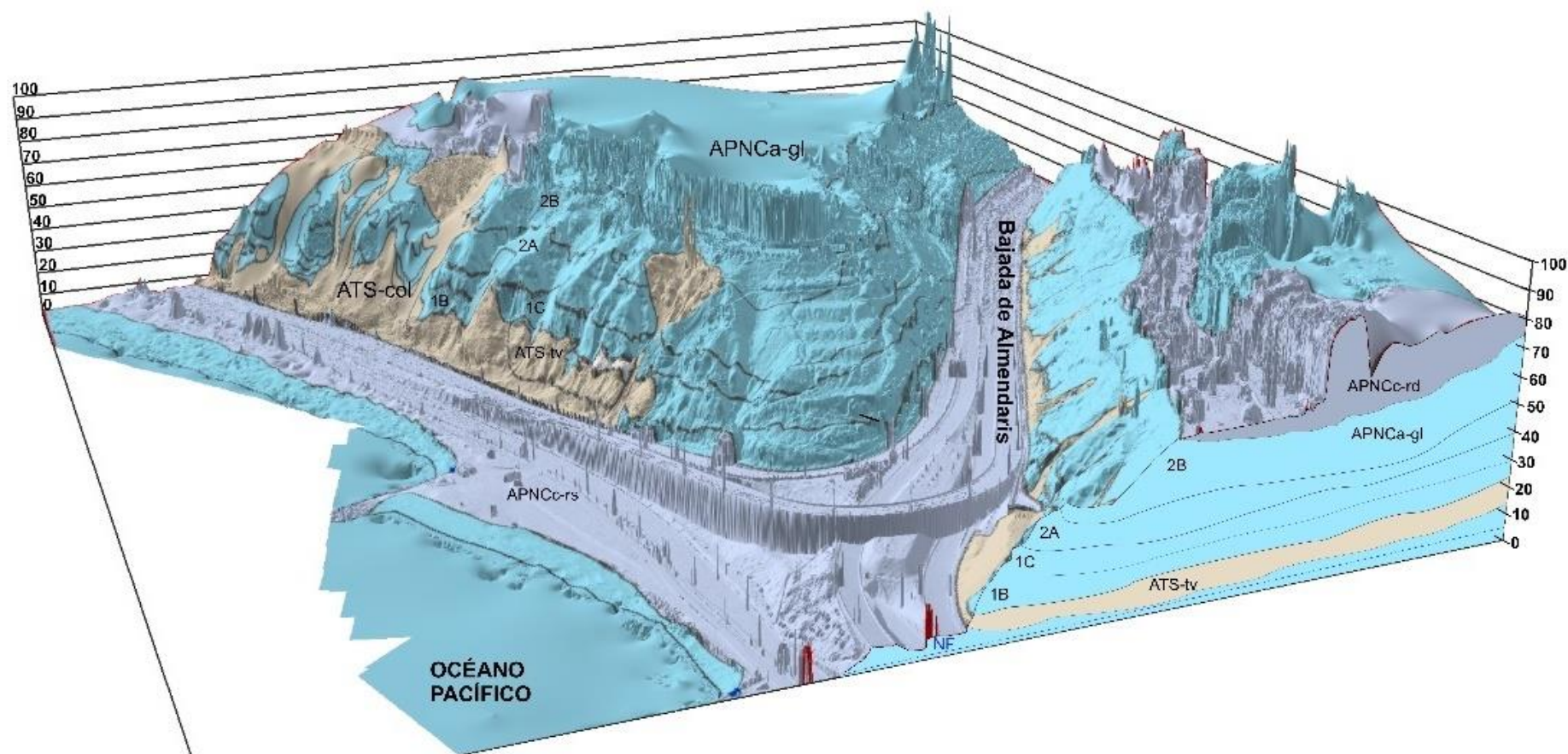


Figura 225. Modelo conceptual en el área de la bajada de Almendariz.

B. Acuífero poroso no consolidado de alta productividad fluvial (APNCa-fl)

Depósito cuaternario compuesto de gravas y arenas en matriz limoarenosa se ubica en el lecho del río Rímac, en el cauce de las quebradas.

Si bien es cierto esta unidad se extiende en el borde del río Rímac, es importante mencionarlo porque es este río es la principal área de recarga del acuífero de Lima, donde se han realizado diferentes obras de infraestructura.

Las unidades litológicas de este acuífero tienen valores de permeabilidad similares al Acuífero poroso no consolidado de alta productividad grava de Lima (APNCa-gl). Despreciando valores de las limoarenas que son cantidades mínimas.

C. Acuífero poroso no consolidado de alta productividad aluvial fluvial (APNCa-alf)

Son depósitos de acumulaciones de fragmentos rocosos heterométricos y heterogéneos (arenas, cantos, bolos, etc.), esta unidad está representada también de gravas y arenas, los cantos y bolos solo se ubican en algunos sectores no afectando a las gravas y arenas en su funcionamiento como acuífero. Similar a la anterior unidad hidrogeológicas los valores de porosidad y permeabilidad en gravas y arenas no cambia.

D. Acuífero poroso no consolidado de mediana productividad aluvial (APNCb-al)

Es importante mencionar esta unidad, como extracto de la hidrogeología al 100 000 del INGENMET, dentro de esta unidad está situada la vivienda, vías, etc. de la ciudad de Lima Metropolitana, en esta ocurren diversas actividades económicas sociales.

Esta unidad comprende litologías similares a las unidades hidrogeológicas anteriores, sin embargo, esta sobrepasa a todas estas recubriéndolas, tiene potencia de centímetros hasta metro de profundidad, en esta unidad al igual que la ciudad están emplazadas la mayoría de pozos pertenecientes a Sedapal, Ana, Sunass y terceros o privados.

E. Acuífero poroso no consolidado de mediana productividad eólico (APNCb-eo)

En esta unidad hidrogeológica es que es originado por la acción del viento generando depósito de dunas compuestos de arenas, también cubre grandes extensiones con depósitos de arenas movidas y depositadas por el viento. Son porosas y permeables, en el área evaluada existe muy poco en cantidad y extensión de esta unidad siendo observado por el cerro Morro Solar en pequeñas cantidades.

F. Acuífero poroso no consolidado de baja productividad coluvio deluviales (APNCb-cd).

Esta unidad hidrogeológica está compuesta de arenas y limos los cuales son porosos y permeables se extiende en pequeñas áreas dentro de la costa verde, estas arenas son producto de movimientos generando pequeños depósitos de arena y limo en forma de patina, se observa en el borde del acantilado de la costa verde.

G. Acuífero poroso no consolidado de baja productividad de relleno de desmonte (APNCc-rd)

Son unidades compuestas en su mayoría por relleno de desmonte, de origen antrópico.

El acantilado como las playas de la Costa Verde, están creadas por parte de estos depósitos por ello su importancia porque parte de la estructura del acantilado son relleno de desmonte.

Como paquete son porosos y permeables por que estas no se encuentran consolidadas.

H. Acuífero poroso no consolidado de baja productividad relleno sedimentario (APNCb-rs).

Son unidades compuesto en su mayoría por relleno de sedimentos finos y gruesos. Estas son extraídas de diferentes canteras alrededor y dentro de Lima Metropolitana, las playas en la CV en su mayoría han sido creadas y rellenadas con estos materiales, por ello son playas artificiales.

Al pasar los años esta unidad de relleno de sedimentos ha formado parte del Acantilado de la CV, en ella es que afloran varios de los manantiales inventariados como ejemplo (157541-016, 017 y 018) (ver figuras 226 y 227), en consideración como unidad es que se le clasifica como acuífero poroso no consolidado de baja productividad por que su extensión se limita al área de las playas.

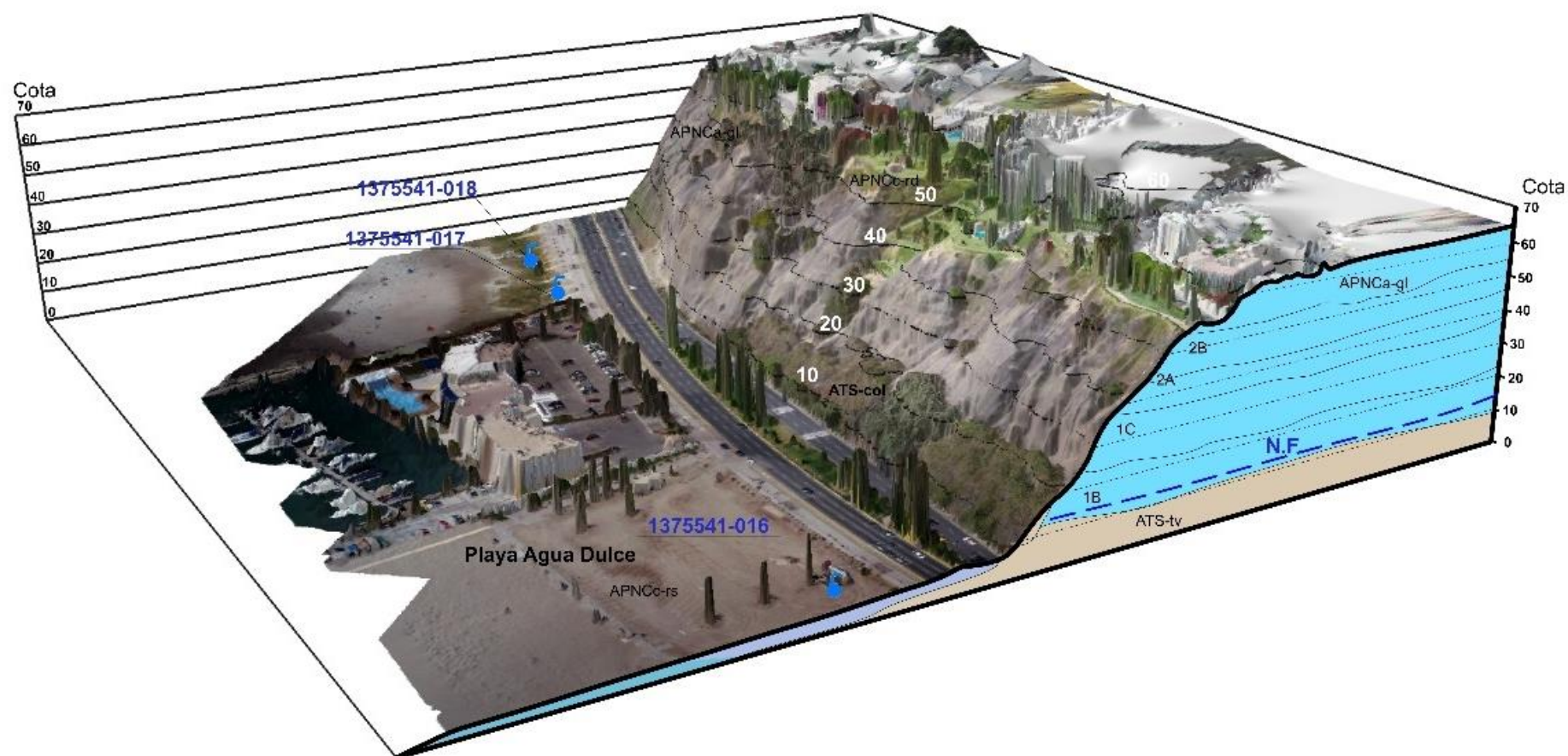
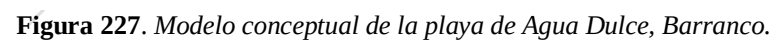


Figura 226. Modelo conceptual con ortofoto de la playa de Agua Dulce, Barranco.



4.3.2 Acuitardos

Las unidades pertenecientes a este grupo de acuitardos se ubican al límite superior del área evaluada su importancia para este estudio es mínimo.

Sin embargo, es necesario mencionarlos por forman parte de la subcuenca Bajo Rímac.

Estas unidades transmiten agua en cantidades mínimas no notorias, en Lima Metropolitana ocurre poca precipitación pluvial, en forma de garúa o chubasco, la recarga natural para estas unidades son mínimas, no llegan a generar manantiales o riachuelos.

Sin embargo, estas unidades influyen subterráneamente para la movilidad y almacenamiento del agua subterránea, sin estas unidades no existirían sistemas de acuíferos.

4.3.2.1 Acuitardo sedimentario de travertinos (ATS-tv)

Esta unidad se encuentra a lo largo del acantilado limitando el flujo subterráneo y dando lugar a que algunos manantiales afloren en el acantilado de la CV, como es el caso del distrito de Chorrillos. Si bien es cierto en este sector anteriormente se tenía presencia de agua en forma de chorros provenientes del talud. Casos similares en directos lugares del acantilado de la CV.

4.3.2.2 Acuitardo sedimentario coluvial (ATS-col)

Esta unidad hidrogeología también está presente en el acantilado de la costa verde compuesto de limos y arenas finas, esta unidad forma depósitos de material coluvial, estos materiales son porosos, pero no permeables, el agua al contacto con su composición litológica se repele, por ello su clasificación como acuitardo sedimentario.

Las demás unidades hidrogeológicas son mencionadas por que forman parte de la Sub Cuenca Bajo Rímac.

4.3.2.3 Acuitardos sedimentarios

- Acuitardo sedimentario Atocongo (ATS-at)
- Acuitardo sedimentario Pamplona (ATS-pa)
- Acuitardo sedimentario Salto del Fraile (ATS-sf)

4.3.2.4 Acuitardos Volcano – sedimentarios

- Acuitardo Volcánico sedimentario Huarochirí (ATVS-h)
- Acuitardo Volcánico sedimentario Chilca (ATVS-chil)
- Acuitardo Volcánico Quilmaná (ATVS-Qui)

4.3.2.5 Acuitardos Volcánicos

- Acuitardo Volcánico Andesita (ATV-and)

4.3.2.6 Acuitardos Intrusivos

- Acuitardo Intrusivo Monzonita y granodiorita (ATI-mgr)
- Acuitardo Intrusivo Santa Rosa (ATI-sr)

- Acuitardo Intrusivo Patap (ATI-pt)

De esta manera es que se a toda esta descripción se elabora una leyenda hidrogeológica (figura 228), con el cual se genera el mapa hidrogeológico ya habiendo considerado los parámetros para su clasificación y caracterización (figura 229).

UNIDAD	CLASIFICACIÓN	LITOLOGÍA	DESCRIPCION HIDROGEOLÓGICA
ACUÍFERO	APNC	APNCa-gl APNCa-fl APNCa-alfi APNCb-al APNCb-eo APNCc-cd APNCc-rd APNCc-rs	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral. Grava, arena en matriz limoarenosa Acumulaciones de fragmentos rocosos heterométricos y heterogéneos (arenas, cantos, bolos, etc.) Arenas cuarzosas formando dunas y pampas amplias. Material compuesto en su mayoría por sedimentos finos y gruesos.
		ATS-tv ATS-col ATS-at ATS-pa ATS-her ATS-sf	Depósitos de origen químico de carbonatos Acumulación de sedimentos finos y gruesos Calizas grises clara a beige, altamente silicificado por metamorfismo termal. Limoarcillitas gris oscuras con capas de areniscas y calizas grises hacia el tope. Areniscas cuarzosas gris verdosas bioturbadas con intercalaciones de limolitas arenosas
		ATVS-h ATVS-chil	Tobas riolíticas a riolacitas, ignimbritas riolítica. Tobas líticas y vítricas con intercalaciones de brechas volcánicas, calizas bioclásticas y areniscas
		ATV-qui ATV-and	Piroclastos y derrames andesíticos masivos. Andesita
		ATI-mgr ATI-sr ATI-pt	Monzonita, granodiorita. Granodiorita, diorita, tonalita, monzogranito y adamelita Gabbro-diorita

Figura 228. Leyenda hidrogeológica del acuitardo de la Costa Verde y Sub cuenca bajo Rímac.

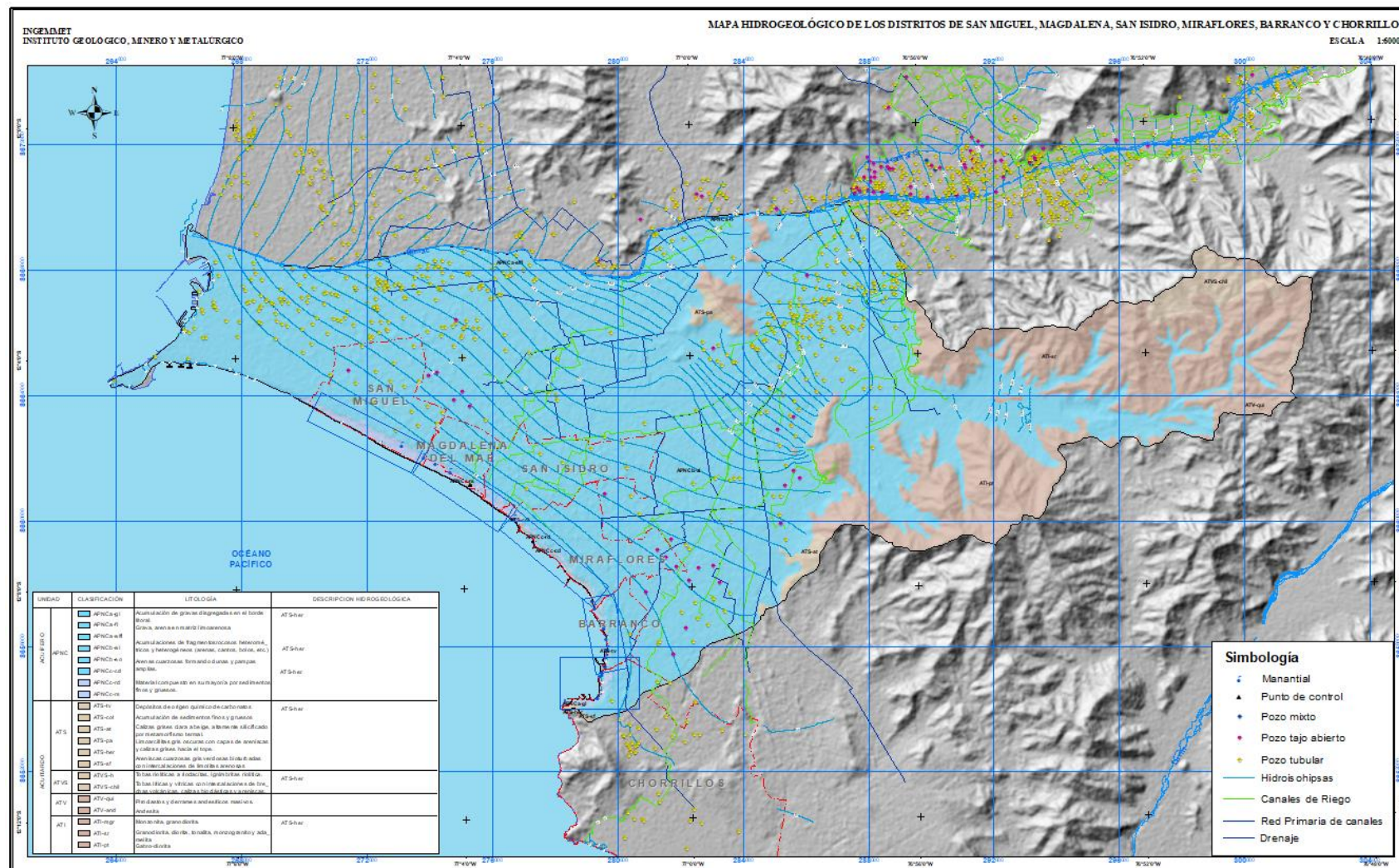


Figura 229. Mapa hidrogeológico de los distritos de San Miguel, Magdalena, San Miguel, Miraflores, Barranco y Chorrillos.

4.4 Hidroquímica

4.4.1 Generalidades

Con la finalidad de analizar, graficar e interpretar la data fisicoquímica generada durante el inventario-monitoreo y muestreo de las aguas superficiales y subterráneas (figura 212) en la microcuenca Bajo Rímac (parte baja de la cuenca del río Rímac), se procedió a tomar muestras en una temporada correspondiente a la época de avenida (diciembre del 2020) y monitoreo desde diciembre del 2020 hasta noviembre del 2021, donde se consideró la siguiente serie analítica:

- Medición de los parámetros fisicoquímicos in situ: pH, Conductividad Eléctrica (CE), Potencial de Oxidación-Reducción (ORP) (medida solo en avenida), Salinidad, Solidos Totales Disueltos (TDS), Temperatura (T), Oxígeno Disuelto (OD) y Resistividad, utilizando equipos multi-parámetros de marca Thermo Orión Star.
- En laboratorio se midieron los parámetros inorgánicos: sulfato, cloruros, nitratos y nitritos, por el método de Cromatografía Iónica.
- Carbonatos y bicarbonatos por el método Titrimétrico.
- Metales totales y disueltos:
- Análisis por: Espectrometría de Emisión Atómica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES) - Na, Mg, K, Ca, Sr, Li, SiO₂, B, Fe, S. y Espectrometría de Masa por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) - Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Sr, Li, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, La, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Zn.

Los análisis químicos de las muestras de aguas superficiales y subterráneas, para ambas temporadas se realizaron en el laboratorio de INGEMMET.

Cabe resaltar que para el año 2021, los parámetros de ORP y OD fueron medidas en dos fechas dentro de los meses de octubre y noviembre (una medida por mes).

4.4.2 Estaciones de muestreo y aforo

Se desarrolló una red de muestreo a lo largo de los acantilados, los trabajos de campo y reconocimiento de la zona, se determinaron 12 estaciones para el monitoreo semanal y de manera continua, 02 de las cuales no pudieron muestrearse para la temporada de avenida (21-12-2020), por esta razón no se realizó la medición de los parámetros físico-químicos in situ, ni su respectivo muestreo; las estaciones de muestreadas en la época de avenida presentan resultados de análisis químicos obtenidos en el laboratorio del INGEMMET. Por último, no se muestreó la estación 137554-54, en época de estiaje por la ausencia de la escorrentía (Setiembre, 2021).

Tabla 35. Resumen del número de estaciones de muestreo de la microcuenca Bajo Rímac para la temporada de avenida.

Zona	Muestras de agua superficiales		Muestras de agua subterránea		Estaciones no muestreadas		Estaciones de aforo	Muestras con análisis químicos			
	Temporada de avenidas	Temporada de estiaje	Temporada de avenidas	Temporada de estiaje	Temporada de avenidas	Temporada de estiaje		Temporada de avenidas	Temporada de avenidas (análisis sin tomar)	Temporada de estiaje	Temporada de estiaje (análisis sin tomar)
Costa verde (21-12-2020)	2	-	10	-	2	-	10	10	2	-	-
Costa verde (20-09-2021)	-	1	-	10	1	-	11	-	-	11	1
Costa verde (18-11-2021)	-	1	-	10	1	-	11	-	-	11	1



Figura 230. Mapa de ubicación de las estaciones de muestreo-monitoreo en la microcuenca Bajo Rímac para los años 2020-2021 en la zona de los acantilados de la CV.

Nota: Los puntos 137554- 024, 137554-025, 137554- 026 y 137554-027 son los controles de campo y fueron recodificados según los resultados entregados por laboratorio del INGEMMET, además el punto 137554-014 no fue considerado dentro de los análisis estadísticos y de campo al ser la misma estación 137554-015.

Las estaciones de muestreo fueron codificadas conforme al manual de procedimiento del INGEMMET (Programa de hidrogeología), (Código de la Microcuenca – Año de muestreo - Código de la fuentes superficial o subterránea- número correlativo según corresponda). Cada estación de muestreo registra los datos de campo de cada estación de muestreo donde se tiene como información de coordenadas, altitud, clasificación por análisis químico, aspectos geológicos, información de parámetros fisicoquímicos y resultados químicos de laboratorio (Ver anexos)

Según el mapa de ubicación (figura 212) de estaciones de muestreo y monitoreo, detalla la red de muestreo en la Microcuenca Bajo Rímac, se realizaron 12 aforos aproximadamente, el periodo de muestreo-monitoreo de estaciones y aforos se realizó en los meses de diciembre del 2020 y setiembre-noviembre del 2021 respectivamente.

4.4.3 Recursos hídricos (temporadas de entre el año 2022 y 2022 – Avenida y estiaje)

En la microcuenca Bajo Rímac en la parte de los acantilados, se evaluaron 12 estaciones de muestreo para la temporada de avenidas, obteniéndose 10 muestras de agua, de las cuales 02 corresponden a aguas superficiales y 8 estaciones de muestreo de aguas subterráneas (las estaciones de muestreo 137554-020 y 137554-019 no fueron muestreadas por encontrarse en una zona inundada debido a la subida de la marea).

Para el otro muestreo realizado en el mes de setiembre (estiaje) se evaluaron 12 estaciones de muestreo para la temporada de avenidas, obteniéndose 11 muestras de agua, de las cuales 01 corresponde a una estación de agua superficial y 10 estaciones de muestreo de aguas subterráneas (la estación de muestreo 137554-029 debido a la ausencia de escorrentía).

4.4.4 Parámetros fisicoquímicos de las aguas

La microcuenca de Bajo Rímac hidrográficamente está conformada por tres ríos principales, el río Rímac (recorre el centro de la Microcuenca de NE-SW). Este río en la parte alta de cuenca confluye y forma el río Rímac a la altura de San Mateo, presenta diferentes características geológicas, hidrogeológicas, ocurrencias de mineralización, presencia de pasivos mineros, etc. En base a estos argumentos los resultados se evaluaron por línea costera considerando el acantilado de la CV.

De acuerdo con sus propiedades físicas-químicas, el agua se comporta como un disolvente tanto de los compuestos orgánicos e inorgánicos, de manera que podemos encontrar en su composición una gran cantidad de sustancias sólidas, líquidas y gaseosas que modifican sus propiedades.

A continuación, se presentará los resultados y análisis de once campañas de monitoreo de agua: las primeras correspondientes al mes de diciembre del 2020 (cuatro monitoreos incluido un muestreo) y la segunda etapa durante los meses de setiembre a noviembre del 2021. Estas mediciones se realizaron con el objetivo de evaluar la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos y de los diferentes elementos disueltos y totales en las aguas superficiales y subterráneas a lo largo de la Costa Verde. Los

resultados de los análisis tomados por temporada se muestran a continuación en la descripción por parámetros con su figura correspondiente.

4.4.5 Ph Potencial de hidrógeno

En la microcuenca Bajo Rímac presenta una leve variabilidad en este parámetro, los valores máximos son 8.60 y 8.67, viéndose un muy leve decrecimiento del pH para el mes de diciembre del 2020, posiblemente debido a la descarga regular en los caudales por las precipitaciones de la cuenca media y alta. A continuación, se describe por microcuencas el parámetro de pH.

Microcuenca Bajo Rímac, se ubica dentro de la ciudad de Lima, evaluándose la zona de la CV, abarca los distritos de Chorrillos, Barranco, Miraflores y Magdalena del Mar, está conformado por dos ríos tributarios principales Rímac y Surco. La mayoría de los datos de pH se encuentran dentro del rango de 6.5 a 8.5, el incremento del valor de pH se debe posiblemente por el mayor aporte en los caudales para la temporada de avenidas. En la figura 231, muestra una ligera variación de las medidas de pH en los meses evaluados, observándose que las tendencias se mantienen estables. Sin embargo, se muestra ligeros incrementos en el valor de pH, presentándose un carácter básico, principalmente en las aguas que drenan del río Rímac hacia la zona de Magdalena. Las fuentes de agua superficial y subterránea en la CV presentan valores de pH neutros para el año 2020 de avenida y ligeramente básicos para el año 2021, el aumento de valores de pH a lo largo de los acantilados se debe al incremento de la disolución en rocas circundantes (aglomerado dentro de la matriz arenosa) y al aumento del caudal del río Rímac, cabe mencionar que los valores hallados entre temporada corresponden según la figura N° 231.

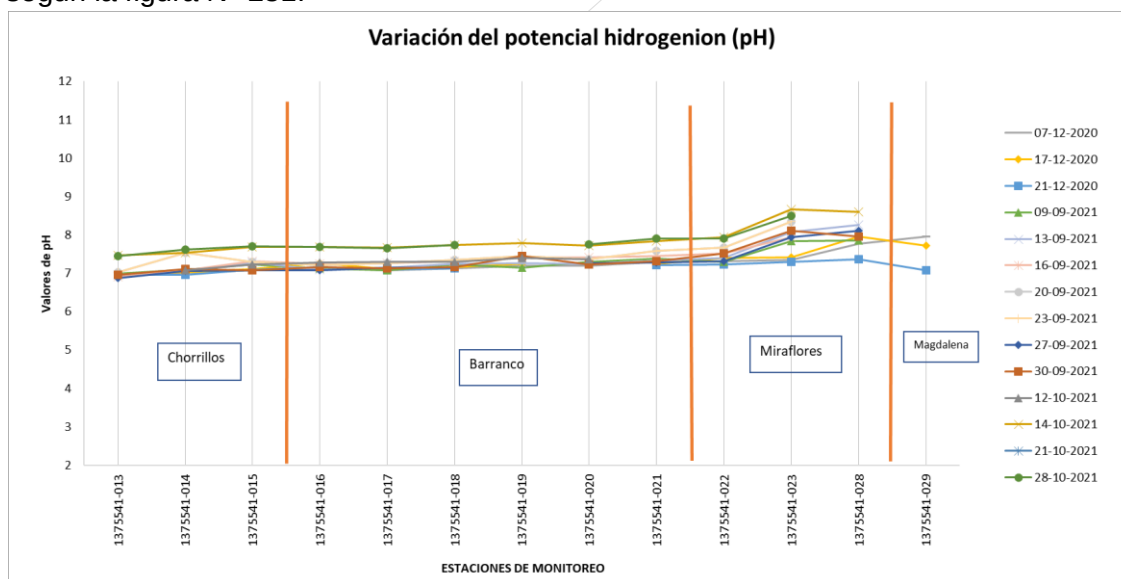


Figura 231. Variación del pH en la microcuenca Bajo Rímac para los años 2020-2021.

4.4.6 Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica (CE) del agua está relacionada con la concentración de las sales en disolución, cuya separación genera iones capaces de transportar la energía eléctrica. A su vez, la solubilidad de las sales en las aguas depende de la temperatura del agua. Para el análisis de la variación de la CE en la microcuenca Bajo Rímac se elaboró una comparación del monitoreo con base a los datos tomados en las salidas de

campo en el año 2020 y 2021.

En la microcuenca Bajo Rímac se registraron 12 datos de CE correspondiente entre los años 2020 y 2021, los valores máximos es 2770 uS/cm (137554-013-Chorrillos) el valor mínimo es 230.6 uS/cm (137554-028-Canal-Pozo de Magdalena), para la época de avenida. A continuación, se define el comportamiento de la CE en la CV.

Microcuenca Bajo Rímac, Para conocer la variación de la CE en esta microcuenca se realizó el monitoreo de 12 estaciones de aguas superficial y subterránea para la época de avenida, el análisis estadístico presenta una media de 1032.60 uS/cm para la época avenida (cuarto monitoreo). La figura 214 muestra la variación de los datos de la CE, notándose claramente que las tendencias no se conservan en los distintos monitoreos, presentando mayor CE en el año 2020 (avenida) y menor CE al inicio de la época de avenidas, debido al incremento del caudal de los ríos y quebradas por las precipitaciones (mayor carga disolutiva). Cabe mencionar que las aguas superficiales tienen tendencias menores a los 700 uS/cm.

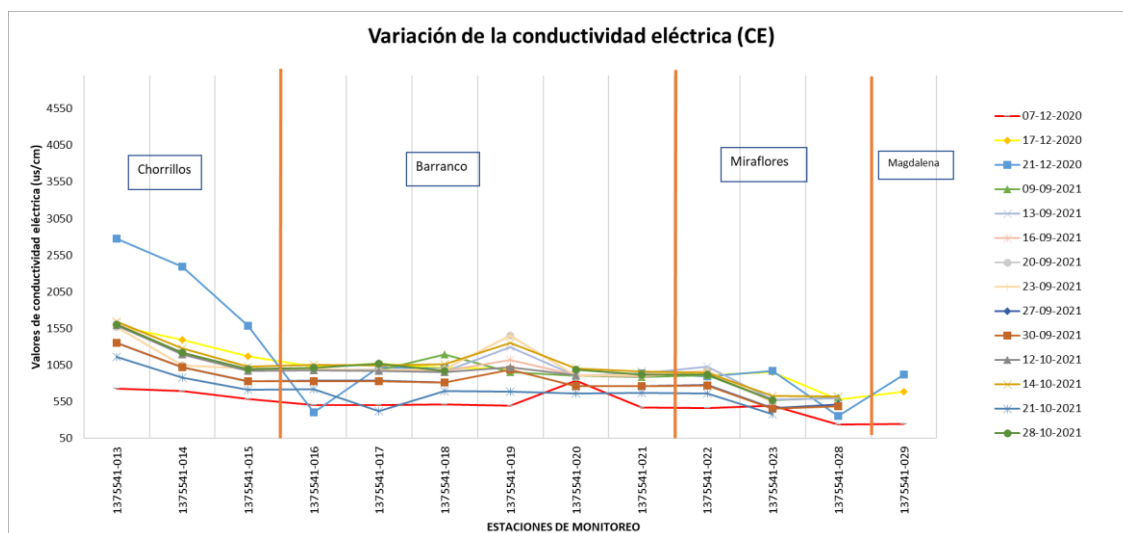


Figura 232. Variación de la CE en la microcuenca Bajo Rímac para los años 2020-2021.

4.4.7 Temperatura

En la microcuenca Bajo Rímac, la temperatura varía ligeramente en ambas temporadas, dicha microcuenca presenta una variación ligera de 2 °C en las estaciones de agua subterránea, siendo diferente en las estaciones de agua superficial con valores de variación entre 18 °C hasta cerca de los 25°C.

En general en la microcuenca Bajo Rímac existen dos tipos de aguas de acuerdo a la temperatura, el primer grupo corresponde a las fuentes o estaciones frías de temperatura 4-20°C, la mayoría de estas aguas de circulación no profunda, y el segundo grupo corresponde a fuentes termales débiles (manantiales) de temperatura entre 20-35°C. La figura 233 muestra que existe variación en la temperatura en el primer grupo (fuentes frías) con menor temperatura en el año 2021; mientras que en el segundo grupo (fuentes termales débiles) corresponde al año 2020, las temperaturas se mantienen muy similares en ambos años.

La estación que más variabilidad presenta son las fuentes de agua superficial, 137554-028 y 137554-029.

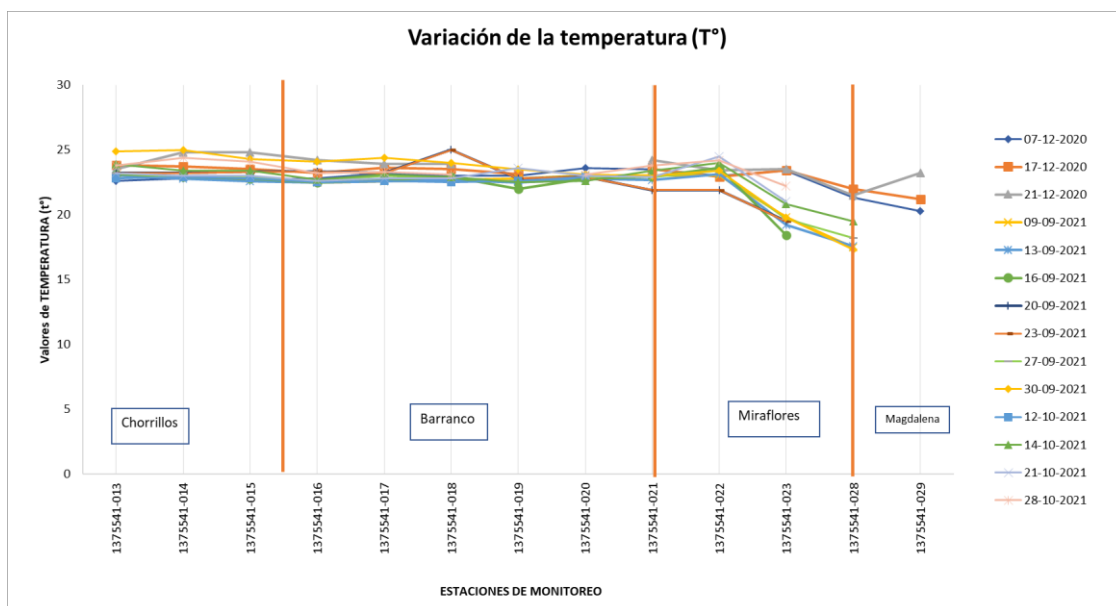


Figura 233. Variación de la temperatura de la Microcuenca Bajo Rímac en ambos años (2020-2021).

4.4.8 Resistividad

Para hablar de resistividad tenemos que conocer la base de la medida de la conductividad eléctrica que se presenta en una solución, siendo el multiparámetro un conductor a un circuito eléctrico que obedece a la Ley de Ohm (Bermejo, 2014), cuando entre estos dos puntos se aplica una diferencia de potencial se establece entre ellos una corriente eléctrica cuya intensidad será directamente proporcional a la diferencia de potencial e inversamente proporcional a la resistencia del conductor, para esta medición se mide la conductancia, es decir, la capacidad disolutiva de conducir corriente eléctrica (conductividad eléctrica expresado en $\mu\text{S}/\text{cm}$) y dicha magnitud es medida de manera inversa como un valor de resistencia (unidad de ohmio o mili-ohmio) o resistividad.

Los valores hallados para la CV corresponden a valores oscilantes entre 250 ohm/cm a 4336.00 ohm/cm respectivamente, el primer monitoreo de las fuentes de agua superficial y subterránea a lo largo de la Costa Verde presenta mayor variabilidad respecto a las otras fechas de monitoreo (figura 234).

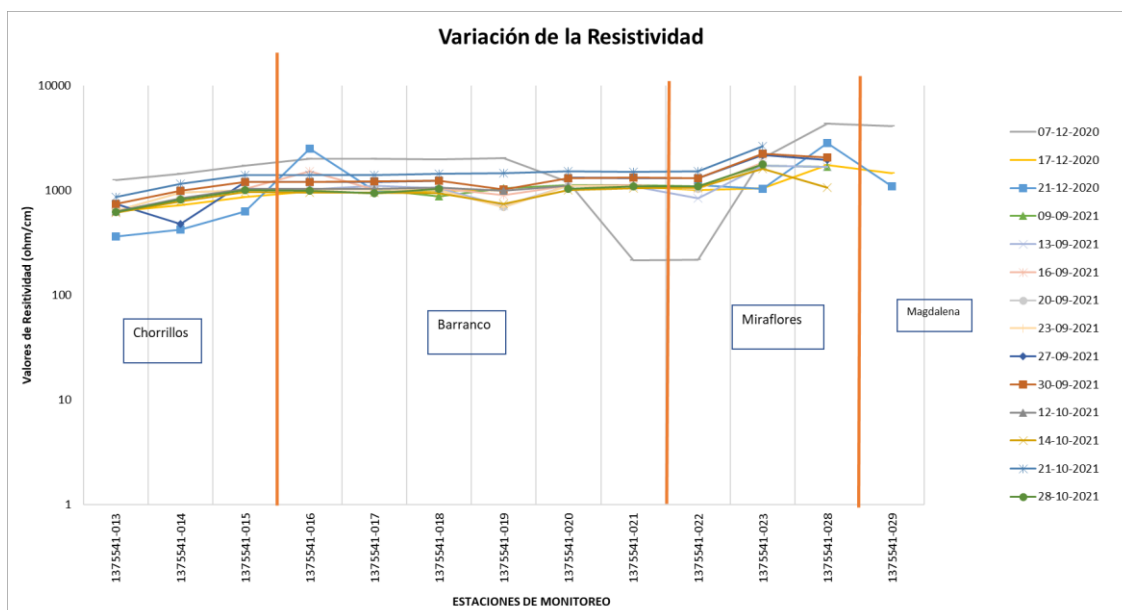


Figura 234. Variación de la resistividad de la Microcuenca Bajo Rímac en ambos años (2020-2021).

4.4.9 Salinidad

La cantidad de sales que presenta un cuerpo de agua en solución afecta varios procesos físico-químicos. La salinidad de las aguas superficiales varía de acuerdo a la intensidad de la evaporación y el aporte de agua dulce de las aguas subterráneas. Generalmente el contenido de sales en los ríos y quebradas es bajo, y se les denomina agua dulce, para considerarse agua dulce el contenido de sales debe ser menor a 0.5 g/L, pasado este rango se considera como agua salobre con valores que varían entre 0.5-30 g/L, si el agua registra valores entre 30 - 50 g/L se denomina agua salada, las aguas con valores mayores a 50 g/L son consideradas como salmueras. La conductividad eléctrica (CE) guarda una estrecha relación con la salinidad, debido a que la conductividad mide la capacidad de una solución acuosa de transmitir la electricidad, la cual depende de los iones disueltos.

En el caso de la CV, en general las aguas superficiales y subterráneas son aguas dulces y en algunos casos salobres, como se representa en la figura 235. La salinidad es directamente proporcional con la conductividad eléctrica (CE). Cabe mencionar que las estaciones de muestreo del 137554-015 y 137554-016 aplicadas para la temporada de 2021 son aguas dulces y las demás estaciones de muestreo tienen características ligeramente salobres como es el caso del 137554-013 (Ver figura 235).

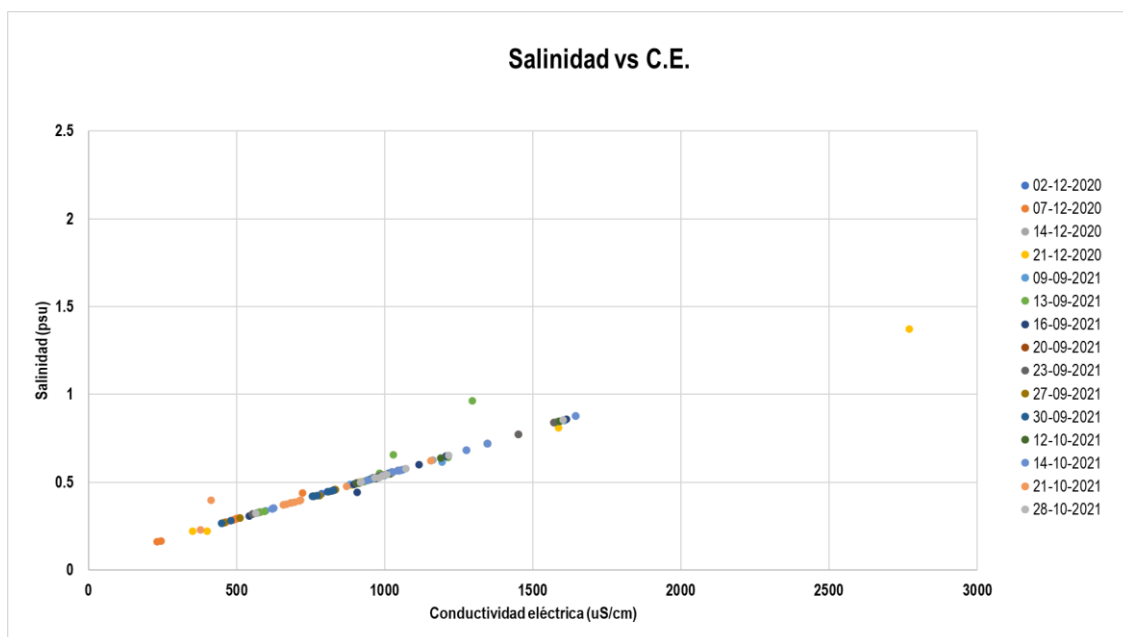


Figura 235. Variación de la salinidad de la Microcuenca Bajo Rímac en ambos años (2020-2021).

4.4.10 Oxígeno reductor oxidante

El potencial redox (ORP), es una forma de medir la energía química de oxidación-reducción mediante un electrodo, convirtiéndola en energía atómica. El potencial redox es positivo cuando se produce una oxidación y negativo cuando se produce una reducción. Para la representación del ORP en la Costa Verde, se elaboró un diagrama de ORP versus el pH (figura 236) agrupados por fechas entre los años 2020 y 2021, solo se tomaron 04 monitoreos debido a la ausencia del equipo para la medición de dicho parámetro.

Los valores observados en la figura 236 tienen condiciones oxidadas debido al largo recorrido de dichas aguas pues tienen valores por debajo de 350 mV, llegando incluso con valores cercanos a 80 mV.

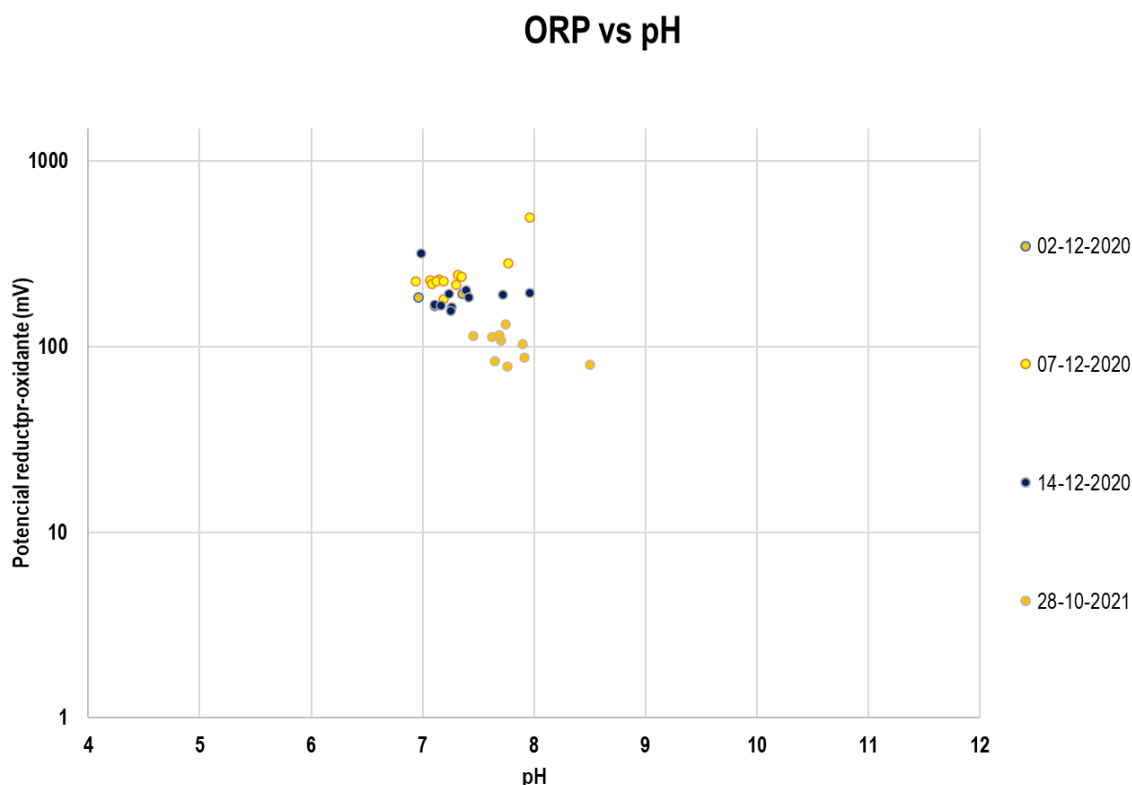


Figura 236. Variación del ORP vs pH de la Microcuenca Bajo Rímac en ambos años (2020-2021).

4.4.11 Oxígeno disuelto

El parámetro de OD expresado en mg/L o porcentaje de saturación (%Sat.) establece las condiciones propicias para la vida aeróbica de microorganismos en un medio acuoso, es ligeramente soluble en agua y además está condicionada por efectos de la temperatura, está determinada por la solubilidad del gas, presión parcial del gas en la atmósfera, la pureza del agua relacionada a la salinidad, sólidos suspendidos y total de sólidos disueltos. Es clave para el control de contaminación de aguas naturales y en los procesos de tratamiento de aguas residuales industriales o domésticas (IDEAM, 2004).

Para la costa verde las medidas de oxígeno disuelto solo se dieron entre diciembre del 2020 y setiembre del 2021, haciendo la correlación de los datos con respecto a su temperatura se tiene que los datos oscilan entre 20 a 25°C respectivamente (figura 237), teniendo valores por encima de 8.00 mg/L para las estaciones de muestreo superficial (137554-028 y 137554-029).

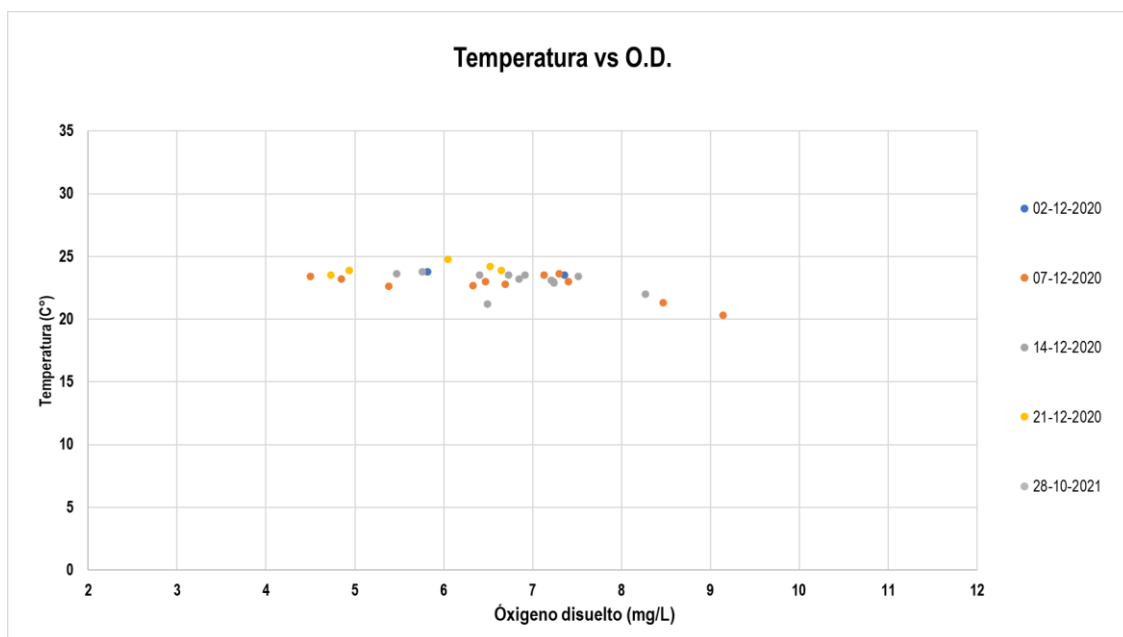


Figura 237. Correlación de la temperatura vs oxígeno disuelto en mg/L.

4.5 Caracterización y evolución hidroquímica

El presente estudio analiza las características químicas de las fuentes de aguas subterráneas y superficiales en la microcuenca Bajo Rímac y sus relaciones con las unidades geológicas Mesocenoicas, características litológicas, ocurrencias minerales y efectos antrópicos, así mismo nos permitirá conocer la evolución y la distribución espacial de las aguas.

4.5.1 Clasificación de aguas

Las aguas superficiales son muy susceptibles a los procesos fisicoquímicos dado que se encuentran expuestas al medio ambiente, por ende, sus cambios de composición química se deberán a la interacción con los diversos tipos de litologías que poseen las unidades geológicas aflorantes a lo largo de su recorrido, así como a las zonas de alteración y ocurrencias polimetálicas. La actividad antrópica (Agricultura, construcción, etc.) realizada por los pobladores circundantes a la zona, es un factor importante puesto que condiciona y tendrá un impacto en las aguas, así como la influencia que tienen las aguas servidas y desechos no tratados generalmente desarrollada en los principales centros poblacionales, los cuales afectarán aguas abajo y en su radio de influencia (entorno).

Las aguas subterráneas interactúan con el entorno geológico (mineralogía, superficie específica de las partículas, etc.) y estructural, estas fuentes (manantiales y fuentes termales) serán condicionadas por el sistema (temperatura, presión, pH, potencial redox, etc.). Resultante de estos procesos se generarán cambios composicionales los cuales determinarán el tipo de agua. Según sus cambios composicionales podemos clasificarlas por su origen, evolución química, tiempo de recorrido y permanencia en la roca reservorio (acuífero) como:

Bicarbonatadas: se clasifican como aguas jóvenes de recorrido local y de poca profundidad de infiltración, de transitorio tiempo de contacto con los suelos y rocas de la zona (Tóth, 1980, Klein, 1991 & Tóth, 2009).

Sulfatadas: se clasifican como aguas de flujos intermedios a regionales y de moderada profundidad de infiltración. Tienen mayor tiempo de residencia en los suelos y rocas de la zona (Tóth, 1980, Klein, 1991 & Tóth, 2009).

Cloruradas: se clasifican como aguas de flujos regionales y de alta profundidad de infiltración. Tienen mayor tiempo de residencia en las rocas y suelos circundantes a la zona (Tóth, 1980, Klein, 1991 & Tóth, 2009).

En la microcuenca Bajo Rímac se realizó el mapa hidroquímico con el propósito de diversificar las diferentes facies hidroquímicas del agua por cada fuente muestreada. Se consideró un total de 12 estaciones de muestreo para la temporada de avenida (02 estaciones no fueron muestreadas por aumento de la marea del mar), las cuales fueron catalogadas geoquímicamente por el ion predominante (Custodio & Llamas, 2001). En total se diferenciaron 02 tipos de aguas en donde se han generalizado 02 tipos principales dentro de la microcuenca Bajo Rímac para la franja de la CV (ver tabla 18).

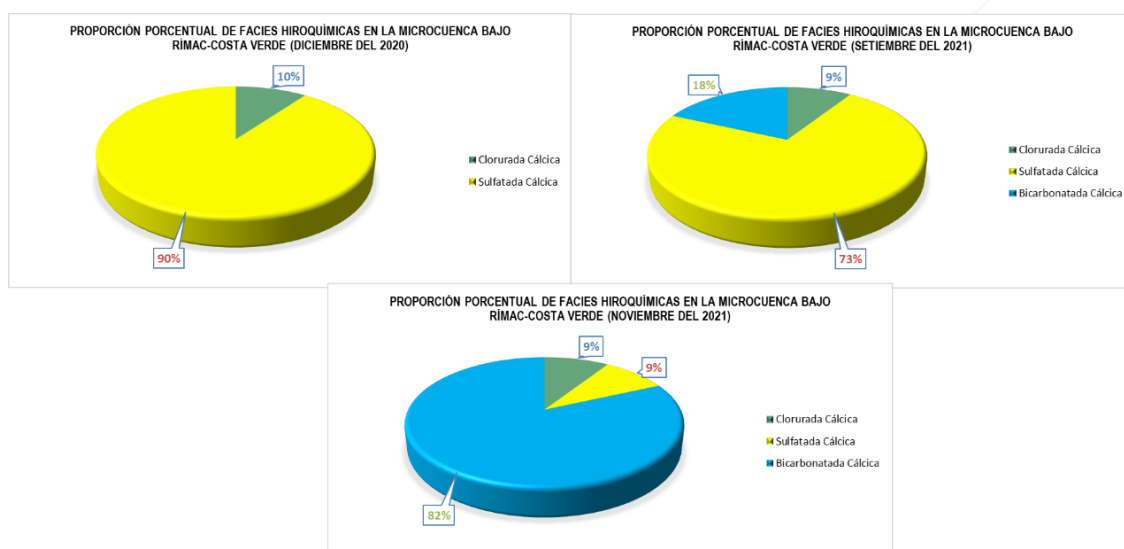


Figura 238. Clasificación de los tipos de aguas en la Microcuenca Bajo Rímac en base al tipo de agua para diciembre del 2020 y setiembre-noviembre del 2021.

Con ayuda de la base de datos de laboratorio (informes de ensayo N° 004-2021/INGEMMET/DL-LQ y N° 027-2021-INGEMMET/DL-LQ se pudo generar la figura 220 donde la menor y mayor facie hidroquímica corresponde al tipo clorurada sódica el 10 %, y 90% que corresponde para el tipo sulfatada cálcica del total de las estaciones muestreadas para la temporada de avenida para el año 2020, las mayores facies hidroquímicas para la temporada de avenidas corresponde al tipo sulfatada cálcica. Por otro lado, las facies hidroquímicas para el 2021 tienen composición sulfatada cálcica en el orden del 73% del total de muestras (11 muestras), 18 % de facie bicarbonatada cálcica y 9% de facie clorurada cálcica.

Se logró identificar 02 facies hidroquímicas para la temporada de avenida (clorurada cálcica y sulfatada cálcica). A lo largo de su recorrido de la Costa Verde posee un tipo de facie hidroquímica la cual es sulfatada cálcica en la microcuenca Bajo Rímac, la composición se debe al aporte hídrico del agua de mar (también de composición clorurada sódica en el 137554-013 para la localidad de Chorrillos) donde se tiene un caudal considerable en dicha estación para el año 2020, cabe mencionar que las estaciones 137554-019 y 137554-020 no fueron muestreadas (Tabla 36).

Para el año 2021 (20 de septiembre), se logró identificar dos facies bicarbonatadas

cálcicas que corresponden a las estaciones 137554-015 y 137554-016 (Chorrillos), una facie clorurada cálcica que corresponde a la estación 137554-013 (Chorrillos) y todas las demás estaciones de facie sulfatada cálcica (Barranco, Miraflores y Magdalena del Mar), a excepción del 137554-029 que fue una estación sin escorrentía. En el mismo año las facies hidroquímicas cambian a composiciones más bicarbonatadas, así lo demuestra la figura 239, en donde para el mes de noviembre se tiene 09 estaciones de facies bicarbonatada cálcica, 01 estación de facie sulfatada cálcica (Miraflores) y 01 estación de facie clorurada cálcica (Chorrillos).

Tabla 36. Clasificación de los tipos de aguas en la microcuenca Bajo Rímac para diciembre del 2022, setiembre y noviembre del 2021.

Fecha de muestreo	CÓDIGO DE MUESTRA	K+N a	Ca	Mg	Cl	SO4	HCO3+C O3	DESCRIPCIÓN GENERAL	DESCRIPCIÓN ESPECÍFICA
		%	%	%	%	%	%		
21 de diciembre del 2020	1375541-013	12.46	71.86	15.69	61.23	38.77	0.00	Clorurada Cálcica	Clorurada Cálcica
	1375541-015	13.40	70.85	15.75	42.50	57.50	0.00	Sulfatada Cálcica	Sulfatada clorurada cálcica
	1375541-016	13.62	70.75	15.63	17.88	43.82	38.30	Sulfatada Cálcica	Sulfatada bicarbonatada cálcica
	1375541-017	15.02	69.38	15.60	21.14	46.51	32.35	Sulfatada Cálcica	Sulfatada bicarbonatada cálcica
	1375541-018	13.20	71.41	15.39	18.49	49.91	31.61	Sulfatada Cálcica	Sulfatada bicarbonatada cálcica
	1375541-019 (*)	-	-	-	-	-	-	-	-
	1375541-020 (*)	-	-	-	-	-	-	-	-
	1375541-021	15.70	69.30	15.00	19.64	44.72	35.64	Sulfatada Cálcica	Sulfatada bicarbonatada cálcica
	1375541-022	13.85	71.18	14.97	18.01	48.86	33.13	Sulfatada Cálcica	Sulfatada bicarbonatada cálcica
	1375541-023	16.61	68.41	14.98	21.52	48.57	29.91	Sulfatada Cálcica	Sulfatada bicarbonatada cálcica
	1375541-028	15.76	72.03	12.21	9.95	90.05	0.00	Sulfatada Cálcica	Sulfatada cálcica
	1375541-029	12.19	73.78	14.03	24.84	75.16	0.00	Sulfatada Cálcica	Sulfatada clorurada cálcica
20 de setiembre del 2021	1375541-013	12.01	72.88	15.11	46.15	28.71	25.14	Clorurada Cálcica	Clorurada Sulfatada Cálcica
	1375541-015	13.48	72.30	14.22	19.89	39.11	41.00	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Sulfatada Cálcica
	1375541-016	13.70	71.66	14.65	19.41	40.12	40.47	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Sulfatada Cálcica
	1375541-017	14.06	71.33	14.61	20.48	40.47	39.05	Sulfatada Cálcica	Sulfatada bicarbonatada Cálcica
	1375541-018	13.27	72.48	14.25	19.97	43.63	36.40	Sulfatada Cálcica	Sulfatada bicarbonatada Cálcica
	1375541-019	14.11	71.68	14.21	21.26	43.36	35.38	Sulfatada Cálcica	Sulfatada bicarbonatada Cálcica
	1375541-020	16.88	68.67	14.45	23.57	42.10	34.33	Sulfatada Cálcica	Sulfatada bicarbonatada Cálcica
	1375541-021	13.73	72.22	14.05	19.41	41.54	39.05	Sulfatada Cálcica	Sulfatada bicarbonatada Cálcica
	1375541-022	13.62	72.33	14.05	17.83	44.59	37.58	Sulfatada Cálcica	Sulfatada bicarbonatada Cálcica
	1375541-023	14.92	70.92	14.17	19.18	41.84	38.98	Sulfatada Cálcica	Sulfatada bicarbonatada Cálcica
	1375541-028	14.65	74.10	11.25	8.91	57.45	33.64	Sulfatada Cálcica	Sulfatada bicarbonatada Cálcica
	1375541-029 (*)	-	-	-	-	-	-	-	-
18 de noviembre del 2021	1375541-013	11.60	72.77	15.63	46.37	27.29	26.33	Clorurada cálcica	Clorurada sulfatada cálcica
	1375541-015	12.74	72.08	15.18	32.45	32.99	34.56	Bicarbonatada cálcica	Bicarbonatada sulfatada cálcica

Fecha de muestreo	CÓDIGO DE MUESTRA	K+N a	Ca	Mg	Cl	SO4	HCO3+C O3	DESCRIPCIÓN GENERAL	DESCRIPCIÓN ESPECÍFICA
		%	%	%	%	%	%		
	1375541-016	12.96	72.04	15.01	19.33	37.18	43.49	Bicarbonatada cálcica	Bicarbonatada sulfatada cálcica
	1375541-017	14.27	70.61	15.12	20.29	37.73	41.98	Bicarbonatada cálcica	Bicarbonatada sulfatada cálcica
	1375541-018	13.78	71.37	14.86	19.07	39.41	41.52	Bicarbonatada cálcica	Bicarbonatada sulfatada cálcica
	1375541-019	12.42	72.91	14.66	20.11	39.75	40.14	Bicarbonatada cálcica	Bicarbonatada sulfatada cálcica
	1375541-020	18.23	66.54	15.23	24.14	37.71	38.16	Bicarbonatada cálcica	Bicarbonatada sulfatada cálcica
	1375541-021	13.21	72.49	14.29	18.78	38.89	42.34	Bicarbonatada cálcica	Bicarbonatada sulfatada cálcica
	1375541-022	14.02	71.44	14.54	17.11	40.07	42.82	Bicarbonatada cálcica	Bicarbonatada sulfatada cálcica
	1375541-023	12.78	72.66	14.56	17.40	40.68	41.92	Bicarbonatada cálcica	Bicarbonatada sulfatada cálcica
	1375541-028	14.98	72.84	12.18	10.33	50.79	38.88	Sulfatada cálcica	Sulfatada bicarbonatada cálcica
	1375541-029 (*)	-	-	-	-	-	-		
(*) No se efectuó el muestreo									



Figura 239. Facies hidroquímicas distribuidas a lo largo de la Costa Verde para diciembre del 2020.



Figura 240. Facies hidroquímicas distribuidas a lo largo de la Costa Verde para setiembre del 2021.



Figura 241. Facies hidroquímicas distribuidas a lo largo de la Costa Verde para noviembre del 2021.

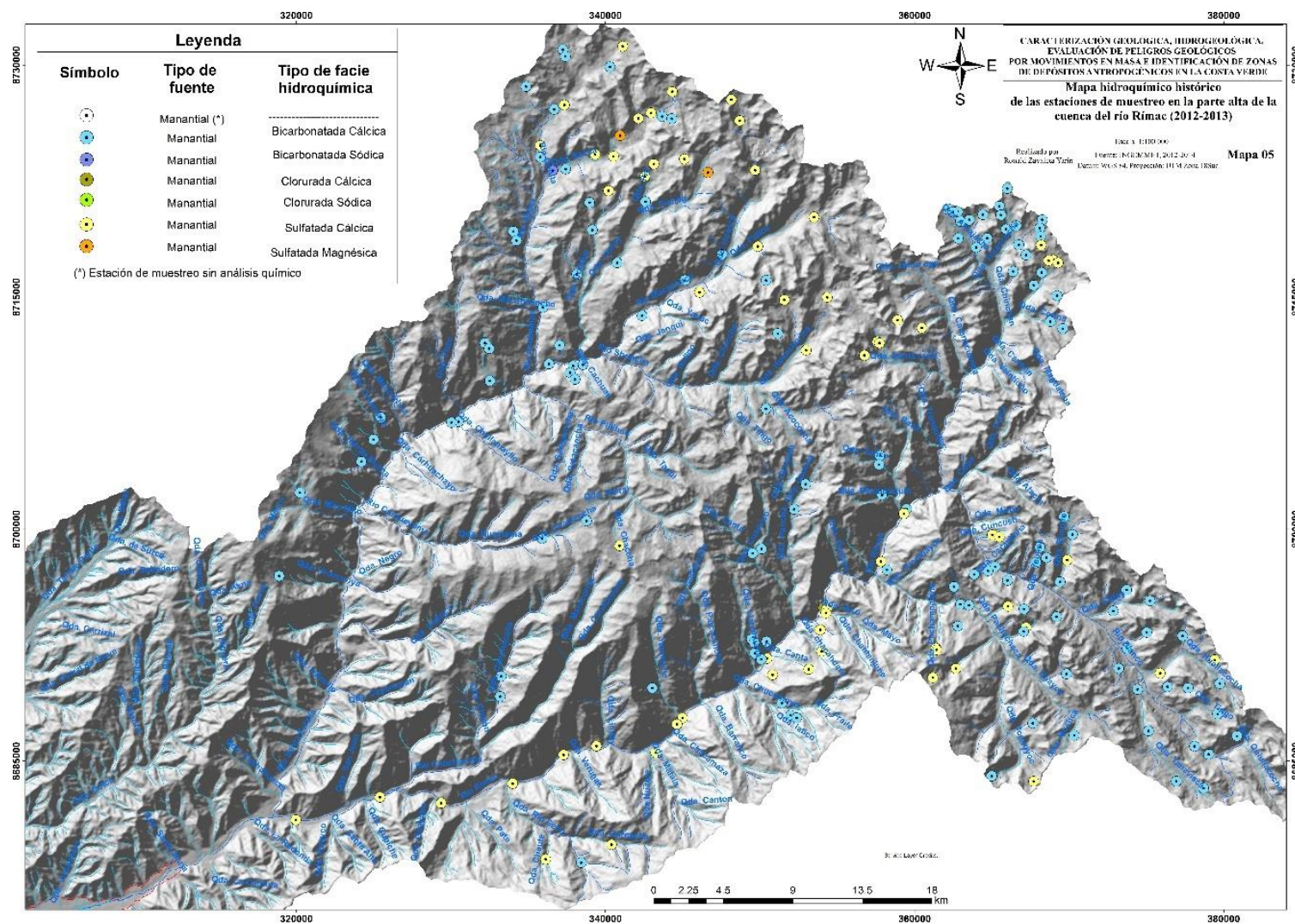


Figura 242. Facies hidroquímicas distribuidas a lo largo de la CV entre los años 2012-2013.

En su mayoría la interacción bicarbonato-sulfato el ion predominante es el sulfato para ambas temporadas (2020-2021), dicho anteriormente por acciones del agua de mar.

Cabe señalar que las estaciones de los Puntos 137554-019 y 137554-020 respectivamente están sumergidas bajo la línea de playa para la temporada 2020, por ello de igual forma que el 137554-013 podrían considerarse como estaciones de facie hidroquímica sulfata o clorurada (agua de mar), sin embargo, para el año 2021 las estaciones de muestreo en mención poseen una facie hidroquímica sulfatada cálcica, ello debido a la presencia de sales disueltas en el agua y la cerca con la playa en estos sectores (figura 242), sin embargo las facies hidroquímicas para noviembre del 2021 (18-11-2021) cambian a una facie hidroquímica bicarbonatada cálcica en su mayor parte, solo la estación 137554-013 posee una facie clorurada cálcica y la estación 137554-028 una facie sulfatada cálcica, cabe mencionar que la estación de muestreo 137554-029, tanto para noviembre y setiembre del 2021 no posee escurrentía suficiente para el muestreo hidroquímico (figuras 243 y 244).

Según la data histórica, en la parte alta de la cuenca del río Rímac se tiene mayormente facies bicarbonatadas cálcicas y la facie sulfatada obedece a una interrelación con zonas de alteración y prospectos mineros ubicados en la parte alta (Unidades mineras y pasivos mineros), cabe resaltar que el centro poblado de San Mateo posee facies hidroquímica sulfatadas cálcicas en el río San Mateo, pero los ojos de agua o manantes poseen facies sulfatadas cálcicas de origen subterráneo y asociadas directamente a bancos de caliza y yacimientos polimetálicos de la parte alta de la cuenca del río Rímac.

Por último, las facies sulfatadas entre el 2012-2013 (figura 243) obtenidas por el INGENMET muestra la predominancia en el ion sulfato (SO_4), siendo constante a través del río San Mateo y en consecuencia hacia el río Rímac, cabe mencionar que las facies mencionadas son referenciales pudiendo cambiar de acuerdo al contexto antrópico y de recarga hídrica de la zona de toda la cuenca donde se ubican yacimientos polimetálicos y pasivos mineros ubicados a lo largo de dicha cuenca.

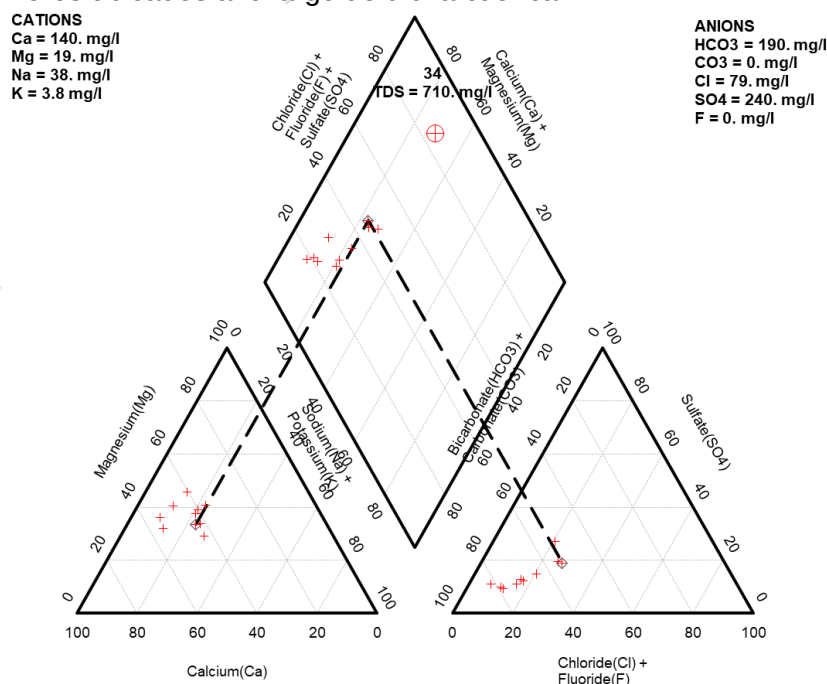


Figura 243. Clasificación Piper de los tipos de facies hidroquímicas en la Microcuenca Bajo Rímac para diciembre del 2020.

Para confirmar el balance manual, se presenta las facies hidroquímicas en Piper en la figura 244, donde se confirma la presencia de 01 facie clorurada cálcica (137554-013) y 09 facies sulfatadas cálcicas (corresponden a las demás estaciones muestreadas) con tendencias salinas.

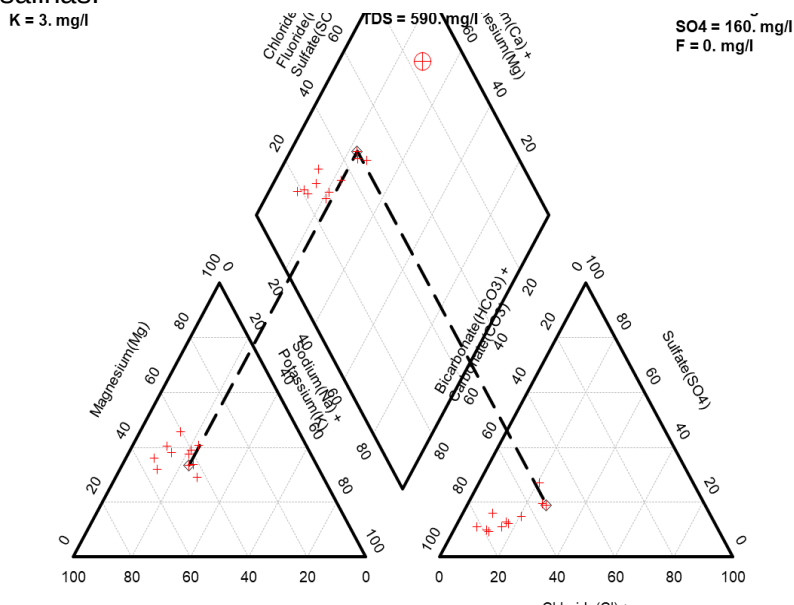


Figura 244. Clasificación Piper de los tipos de facies hidroquímicas en la microcuenca Bajo Rímac para setiembre del 2021.

De igual forma que en el año 2020, para el año 2021 (setiembre) la interacción bicarbonato-sulfato el ion predominante es el sulfato, por incidencia del agua de mar.

En el anterior análisis de Piper (figura 244) las estaciones 137554-019 y 137554-020 estaban sumergidas bajo la línea de playa, para el año 2021 se confirma su condición sulfatada (incidencia de agua de mar), cabe recordar que el 137554-029 no fue muestreado ni analizado por la ausencia de escorrentía.

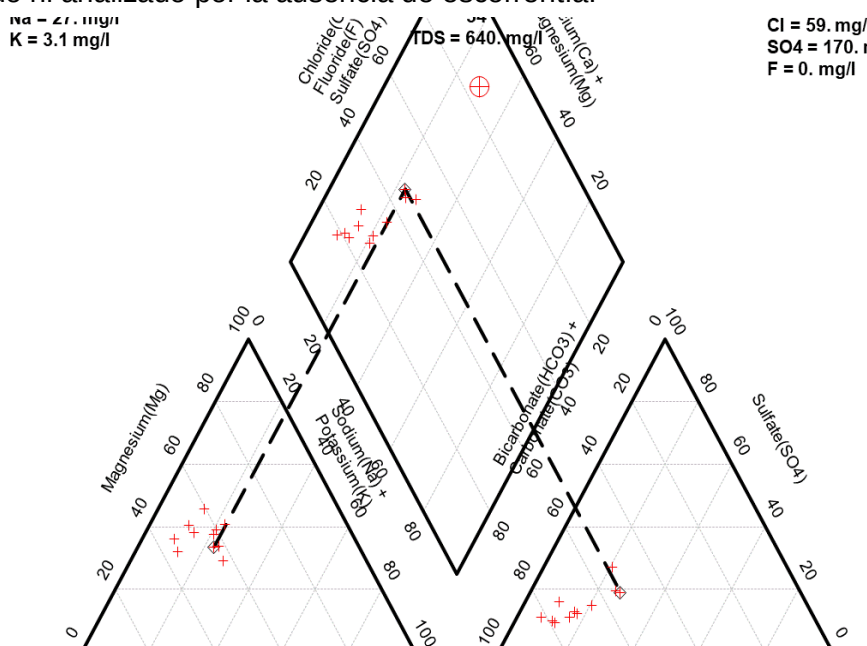


Figura 245. Clasificación Piper de los tipos de facies hidroquímicas en la microcuenca Bajo Rímac para noviembre del 2021.

Para el año 2021, en noviembre (18-11-2021) la interacción bicarbonato-sulfato el ion predominante es el bicarbonato, por influencia de la marea de la Costa Verde, sin embargo, en setiembre (20-09-2021) del mismo año tiene una facie predominante sulfatada.

Tabla 37. Registro de mareas en la costa de Lima, a la izquierda (setiembre) y a la derecha (noviembre) del 2021. Fuente: Tabla de mareas-Lima, 2021.

DÍA			MAREAS DE LIMA				
			1ª MAREA	2ª MAREA	3ª MAREA	4ª MAREA	COEFICIENTE
1 X		▲ 6:11 am ▼ 6:04 pm	2:44 am ▲ 0,8 m	9:59 am ▼ 0,5 m	1:28 pm ▲ 0,5 m	7:47 pm ▼ 0,3 m	36 bajo
2 J		▲ 6:10 am ▼ 6:04 pm	3:27 am ▲ 0,8 m	10:26 am ▼ 0,4 m	2:41 pm ▲ 0,5 m	8:40 pm ▼ 0,3 m	46 bajo
3 V		▲ 6:09 am ▼ 6:04 pm	4:02 am ▲ 0,9 m	10:48 am ▼ 0,4 m	3:31 pm ▲ 0,6 m	9:26 pm ▼ 0,2 m	58 medio
4 S		▲ 6:09 am ▼ 6:04 pm	4:34 am ▲ 0,9 m	11:11 am ▼ 0,4 m	4:12 pm ▲ 0,6 m	10:07 pm ▼ 0,2 m	70 alto
5 D		▲ 6:08 am ▼ 6:04 pm	5:05 am ▲ 1,0 m	11:36 am ▼ 0,3 m	4:50 pm ▲ 0,7 m	10:46 pm ▼ 0,1 m	82 alto
6 L		▲ 6:07 am ▼ 6:04 pm	5:36 am ▲ 1,0 m	12:02 pm ▼ 0,3 m	5:28 pm ▲ 0,7 m	11:25 pm ▼ 0,1 m	92 muy alto
7 M		▲ 6:07 am ▼ 6:04 pm	6:07 am ▲ 1,0 m	12:31 pm ▼ 0,2 m	6:08 pm ▲ 0,8 m		99 muy alto
8 X		▲ 6:06 am ▼ 6:04 pm	12:05 am ▼ 0,1 m	6:39 am ▲ 1,0 m	1:01 pm ▼ 0,2 m	6:50 pm ▲ 0,8 m	101 muy alto
9 J		▲ 6:05 am ▼ 6:04 pm	12:47 am ▼ 0,2 m	7:12 am ▲ 1,0 m	1:33 pm ▼ 0,2 m	7:34 pm ▲ 0,8 m	99 muy alto
10 V		▲ 6:05 am ▼ 6:03 pm	1:32 am ▼ 0,2 m	7:45 am ▲ 0,9 m	2:08 pm ▼ 0,2 m	8:24 pm ▲ 0,8 m	91 muy alto
11 S		▲ 6:04 am ▼ 6:03 pm	2:22 am ▼ 0,3 m	8:21 am ▲ 0,8 m	2:46 pm ▼ 0,2 m	9:21 pm ▲ 0,8 m	79 alto
12 D		▲ 6:03 am ▼ 6:03 pm	3:22 am ▼ 0,4 m	9:01 am ▲ 0,7 m	3:31 pm ▼ 0,2 m	10:30 pm ▲ 0,8 m	65 medio
13 L		▲ 6:03 am ▼ 6:03 pm	4:43 am ▼ 0,4 m	9:51 am ▲ 0,6 m	4:27 pm ▼ 0,2 m	11:53 pm ▲ 0,8 m	51 medio
14 M		▲ 6:02 am ▼ 6:03 pm	6:34 am ▼ 0,5 m	11:05 am ▲ 0,6 m	5:39 pm ▼ 0,2 m		44 bajo
15 X		▲ 6:01 am ▼ 6:03 pm	1:20 am ▲ 0,9 m	8:22 am ▼ 0,4 m	12:49 pm ▲ 0,5 m	7:01 pm ▼ 0,2 m	46 bajo
16 J		▲ 6:01 am ▼ 6:03 pm	2:33 am ▲ 0,9 m	9:30 am ▼ 0,4 m	2:21 pm ▲ 0,6 m	8:16 pm ▼ 0,2 m	57 medio
17 V		▲ 6:00 am ▼ 6:03 pm	3:30 am ▲ 1,0 m	10:17 am ▼ 0,3 m	3:27 pm ▲ 0,6 m	9:19 pm ▼ 0,2 m	69 medio
18 S		▲ 5:59 am ▼ 6:03 pm	4:18 am ▲ 1,0 m	10:56 am ▼ 0,3 m	4:19 pm ▲ 0,7 m	10:11 pm ▼ 0,1 m	80 alto
19 D		▲ 5:58 am ▼ 6:03 pm	4:59 am ▲ 1,0 m	11:30 am ▼ 0,2 m	5:05 pm ▲ 0,7 m	10:59 pm ▼ 0,1 m	89 alto
20 L		▲ 5:58 am ▼ 6:03 pm	5:36 am ▲ 1,0 m	12:02 pm ▼ 0,2 m	5:46 pm ▲ 0,8 m	11:42 pm ▼ 0,1 m	93 muy alto

DÍA			MAREAS DE LIMA				
			1ª MAREA	2ª MAREA	3ª MAREA	4ª MAREA	COEFICIENTE
1 L		▲ 5:34 am ▼ 6:08 pm	2:50 am ▲ 0,9 m	9:33 am ▼ 0,2 m	3:32 pm ▲ 0,7 m	9:09 pm ▼ 0,3 m	77 alto
2 M		▲ 5:34 am ▼ 6:08 pm	3:26 am ▲ 0,9 m	9:59 am ▼ 0,2 m	4:11 pm ▲ 0,8 m	10:00 pm ▼ 0,3 m	92 muy alto
3 X		▲ 5:34 am ▼ 6:08 pm	4:03 am ▲ 0,9 m	10:29 am ▼ 0,1 m	4:52 pm ▲ 0,9 m	10:49 pm ▼ 0,2 m	102 muy alto
4 J		▲ 5:33 am ▼ 6:08 pm	4:41 am ▲ 0,9 m	11:02 am ▼ 0,0 m	5:35 pm ▲ 1,0 m	11:40 pm ▼ 0,2 m	108 muy alto
5 V		▲ 5:33 am ▼ 6:09 pm	5:20 am ▲ 0,8 m	11:38 am ▼ 0,0 m	6:21 pm ▲ 1,0 m		107 muy alto
6 S		▲ 5:33 am ▼ 6:09 pm	12:33 am ▼ 0,3 m	6:01 am ▲ 0,8 m	12:16 pm ▼ 0,0 m	7:09 pm ▲ 1,0 m	101 muy alto
7 D		▲ 5:32 am ▼ 6:09 pm	1:30 am ▼ 0,3 m	6:45 am ▲ 0,7 m	12:58 pm ▼ 0,0 m	8:02 pm ▲ 1,0 m	89 alto
8 L		▲ 5:32 am ▼ 6:10 pm	2:34 am ▼ 0,3 m	7:33 am ▲ 0,6 m	1:43 pm ▼ 0,1 m	9:01 pm ▲ 1,0 m	74 alto
9 M		▲ 5:32 am ▼ 6:10 pm	3:51 am ▼ 0,3 m	8:32 am ▲ 0,6 m	2:35 pm ▼ 0,1 m	10:07 pm ▲ 1,0 m	59 medio
10 X		▲ 5:32 am ▼ 6:11 pm	5:20 am ▼ 0,4 m	9:52 am ▲ 0,5 m	3:39 pm ▼ 0,2 m	11:20 pm ▲ 1,0 m	48 bajo
11 J		▲ 5:32 am ▼ 6:11 pm	6:48 am ▼ 0,3 m	11:42 am ▲ 0,5 m	5:01 pm ▼ 0,3 m		44 bajo
12 V		▲ 5:32 am ▼ 6:11 pm	12:32 am ▲ 1,0 m	7:55 am ▼ 0,3 m	1:24 pm ▲ 0,5 m	6:32 pm ▼ 0,3 m	48 bajo
13 S		▲ 5:31 am ▼ 6:12 pm	1:36 am ▲ 0,9 m	8:43 am ▼ 0,2 m	2:36 pm ▲ 0,6 m	7:52 pm ▼ 0,3 m	56 medio
14 D		▲ 5:31 am ▼ 6:12 pm	2:29 am ▲ 0,9 m	9:21 am ▼ 0,2 m	3:29 pm ▲ 0,7 m	8:58 pm ▼ 0,3 m	64 medio
15 L		▲ 5:31 am ▼ 6:13 pm	3:13 am ▲ 0,9 m	9:53 am ▼ 0,2 m	4:11 pm ▲ 0,8 m	9:52 pm ▼ 0,3 m	72 alto
16 M		▲ 5:31 am ▼ 6:13 pm	3:50 am ▲ 0,8 m	10:20 am ▼ 0,1 m	4:49 pm ▲ 0,8 m	10:41 pm ▼ 0,3 m	77 alto
17 X		▲ 5:31 am ▼ 6:13 pm	4:22 am ▲ 0,8 m	10:46 am ▼ 0,1 m	5:24 pm ▲ 0,9 m	11:25 pm ▼ 0,3 m	80 alto
18 J		▲ 5:31 am ▼ 6:14 pm	4:52 am ▲ 0,7 m	11:10 am ▼ 0,1 m	5:58 pm ▲ 0,9 m		81 alto

En la figura 228, según Pipper, muestra una clasificación bicarbonatada cálcica en casi todas las estaciones de muestreo, facie clorurada cálcica en el 137554-013 (efectos de la marea para noviembre del 2021) y sulfatada cálcica en el 137554-029 ligado más a una asociación antrópica entre el medio natural y dicha estación de muestreo, que corresponden a actividades agrícolas en la parte media de la cuenca, aguas provenientes de pasivos mineros en la parte alta y yacimientos polimetálicos en la parte alta e intermedia de la cuenca del río Rímac.

Según la tabla de mareas, la predominancia de facie sulfatada (setiembre) corresponde a un coeficiente de marea muy alto, eso quiere decir que es probable que la facie en

mención tenga relación con mayores coeficientes de muy alto en adelante, según la clasificación hidroquímica hecho a los análisis de laboratorio del año 2021 aplicados para este proyecto.

4.5.2 Intrusión salina

Todos los puntos de muestreo-monitoreo para diciembre del año 2020 (excepción del 137554-028) poseen una intrusión salina a lo largo de la CV, los valores hallados muestran una zona limite (línea azul) la cual indica el límite entre zona de intrusión por acción salina (mar) y zona saturada de agua fresca (agua de continente), dicho análisis muestra la estrecha relación entre los puntos de agua con la franja del litoral de los acantilados, sin embargo, las estaciones a excepción del 137554-013 (Ver figura 246, 247 y 248), poseen relación de origen continental sin ser afectados (aparentemente) en gran parte por las aguas del mar entre Magdalena del Mar hasta cerca de la playa Agua Dulce en Chorrillos.

Los puntos muestreo-monitoreo (exceptuando el 137554-029 por ausencia de escorrentía) poseen una intrusión salina a lo largo de la Costa Verde, los valores hallados muestran una zona limite (línea azul) la cual indica el límite entre zona de intrusión por acción salina (mar) y zona saturada de agua fresca (agua de continente) al igual que el anterior año (2020), dicho análisis confirma la intrusión salina que viene sufriendo toda la Costa Verde debido a cuestiones de origen marino y relacionado directamente con las mareas estaciones y diarias según el pronóstico de marea asignado antes del monitoreo y muestreo.

Tabla 38. *Facies de evolución hidroquímica para las aguas en la microcuenca Bajo Rímac – Costa Verde para el año 2022 del mes de diciembre.*

Ref.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Phase	Facies	
1375541-013	227.5	29.8	42.7	4.5	211	239.5	279.8	17.5	Intrus.	Ca	MixCl
1375541-015	169.5	22.6	34.8	3.5	205	243.5	133.1	11.9	Intrus.	Ca	MixSO4
1375541-016	148.6	19.7	31.0	3.2	208	190.9	57.6	17.0	Intrus.	Ca	MixSO4
1375541-017	149.0	20.1	35.1	3.4	202	228.5	76.8	19.1	Intrus.	Ca	MixSO4
1375541-018	150.0	19.4	30.0	3.2	198	246.0	67.4	21.3	Intrus.	Ca	MixSO4
1375541-021	141.7	18.4	34.8	3.6	189	186.6	60.6	12.6	Intrus.	Ca	MixSO4
1375541-022	137.9	17.4	28.9	3.3	189	219.3	59.8	12.6	Intrus.	Ca	MixSO4
1375541-023	142.3	18.7	37.5	3.8	188	240.2	78.7	13.3	Intrus.	Ca	MixSO4
1375541-028	53.1	5.4	12.0	2.3	73	86.9	7.1	2.3	Fresh.	Ca	SO4
1375541-029	144.6	16.5	26.3	2.0	216	216.4	52.9	15.0	Intrus.	Ca	MixSO4

Tabla 39. *Facies de evolución hidroquímica para las aguas en la microcuenca Bajo Rímac – Costa Verde para el año 2021 del mes de setiembre.*

Ref.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Phase	Facies	
1375541-013	228.3	28.4	40.5	4.7	210	192.4	228.7	33.0	Intrus.	Ca	MixCl
1375541-015	150.8	17.8	30.2	3.6	230	175.7	66.1	29.9	Intrus.	Ca	MixHCO3
1375541-016	137.8	16.9	28.4	3.2	214	168.5	60.3	32.5	Intrus.	Ca	MixSO4
1375541-017	144.8	17.8	31.0	3.1	207	172.1	64.4	28.5	Intrus.	Ca	MixSO4
1375541-018	148.3	17.5	29.4	3.1	198	190.6	64.5	39.0	Intrus.	Ca	MixSO4
1375541-019	136.2	16.2	29.0	3.1	185	182.3	66.1	42.6	Intrus.	Ca	MixSO4
1375541-020	135.4	17.1	36.2	3.5	191	184.3	76.3	34.7	Intrus.	Ca	MixSO4
1375541-021	131.1	15.3	26.9	3.0	192	164.1	56.7	28.1	Intrus.	Ca	MixSO4
1375541-022	128.7	15.0	26.1	3.0	193	184.0	54.4	22.7	Intrus.	Ca	MixSO4
1375541-023	141.0	16.9	32.1	3.4	195	168.1	57.0	26.7	Intrus.	Ca	MixSO4
1375541-028	80.1	7.3	16.5	2.9	98	131.7	15.1	5.1	Intrus.	Ca	SO4

Tabla 40. Facies de evolución hidroquímica para las aguas en la microcuenca Bajo Rímac – Costa Verde para el año 2021 del mes de noviembre.

Ref.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Phase	Facies	
1375541-013	238.2	30.7	41.0	4.5	249	203	255.2	0.0	Intrus.	Ca	MixCl
1375541-015	178.9	22.6	34.3	3.5	254	191	138.8	26.8	Intrus.	Ca	MixHCO3
1375541-016	148.0	18.5	28.9	2.9	257	173	66.5	34.2	Intrus.	Ca	MixHCO3
1375541-017	137.8	17.7	30.2	3.1	250	177	70.3	30.8	Intrus.	Ca	MixHCO3
1375541-018	137.7	17.2	28.8	3.0	241	180	64.4	38.6	Intrus.	Ca	MixHCO3
1375541-019	150.0	18.1	27.5	3.2	225	175	65.6	43.1	Intrus.	Ca	MixHCO3
1375541-020	139.8	19.2	41.7	4.0	232	180	85.4	34.6	Intrus.	Ca	MixHCO3
1375541-021	136.1	16.1	26.7	3.1	229	166	59.1	28.3	Intrus.	Ca	MixHCO3
1375541-022	131.0	16.0	27.8	3.0	236	174	54.9	21.9	Intrus.	Ca	MixHCO3
1375541-023	135.6	16.3	25.6	3.1	236	180	57.0	29.0	Intrus.	Ca	MixHCO3
1375541-028	90.7	9.1	19.5	3.3	139	143	21.5	9.2	Fresh.	Ca	MixSO4

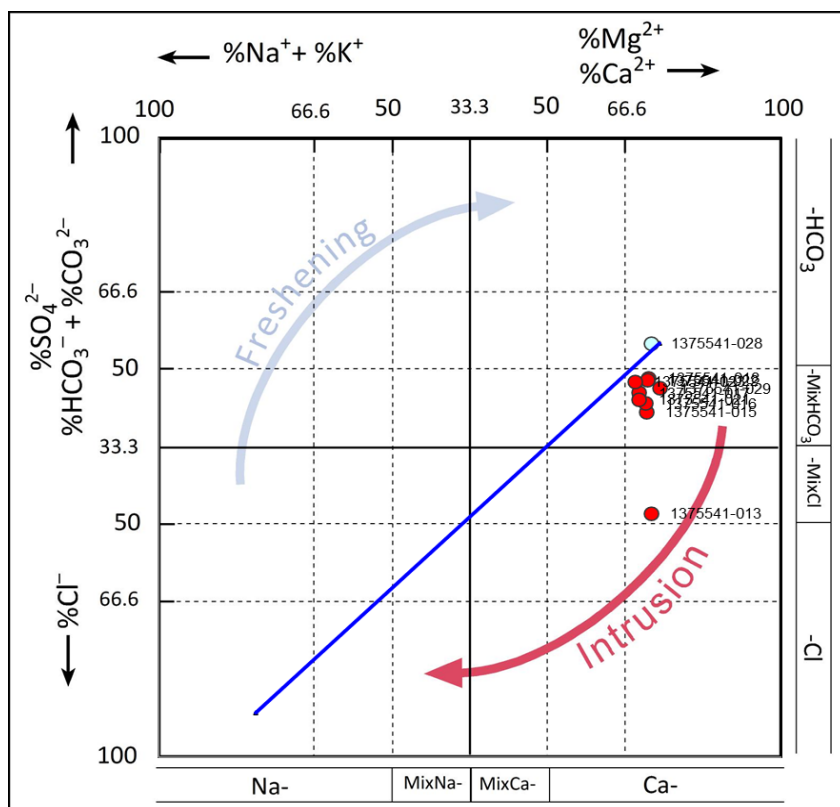


Figura 246. Facies de evolución hidroquímica para las aguas en la Microcuenca Bajo Rímac-Costa Verde para el año 2020 del mes de diciembre.

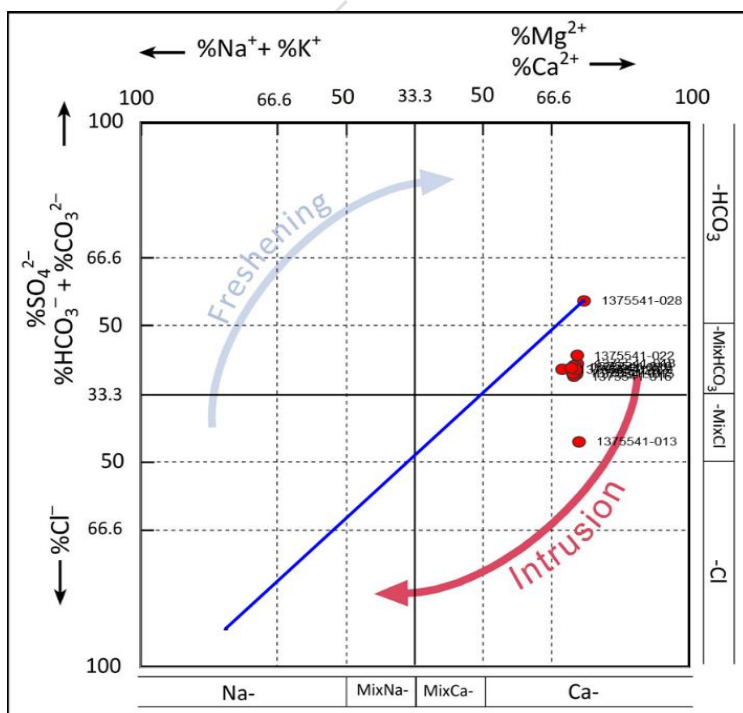


Figura 247. Facies de evolución hidroquímica para las aguas en la Microcuenca Bajo Rímac-CV para el año 2021 del mes de setiembre.

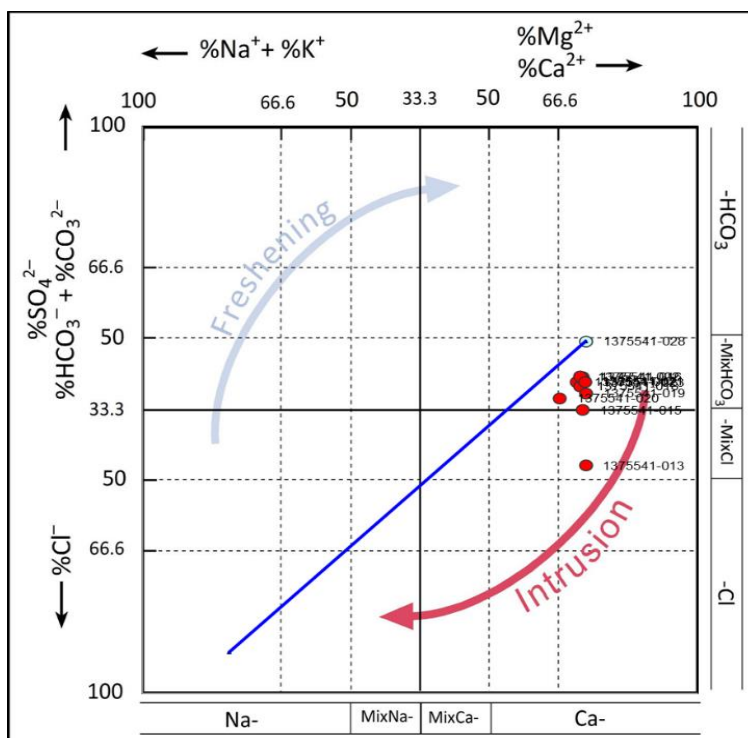


Figura 248. Facies de evolución hidroquímica para las aguas en la Microcuenca Bajo Rímac-CV para el año 2021 del mes de noviembre.

La intrusión en dicha la CV viene dada en ambas temporadas, sin embargo las estaciones 137554-028 y 137554-029 están asociadas a canales de irrigación que sirven de agua de regadío para los parques ubicados en la zona de estudio, cabe mencionar que el 137554-013 es la estación que está en una zona de mezcla con las aguas de mar en el distrito de Chorrillos, a medida que se avanza hacia Magdalena del Mar (hacia el Noroeste) las estaciones de muestreo disminuyen su carga en sales, posiblemente debido a una menor densidad en el espesor del litoral y al decrecimiento de la altura del acantilado, por otro lado las mareas también tendrían cierta relación con el cambio de facies hidroquímicas, sin embargo se necesita estudios de tomografía eléctrica y de manera sincrónica hacer el muestreo de los puntos de muestreo de la CV, de esa manera se verificara si la intrusión salina tiene el efecto mencionado para un cambio de facie hidroquímica, en este caso de una facie bicarbonatada a una facie sulfatada y viceversa.

4.5.3 Análisis químicos de sales agresivas al concreto

Para análisis de agresividad del suelo húmedo al concreto se puede hacer un análisis de sales y cloruros en función de los resultados de laboratorio, estos análisis son tomados de manera referencial en función del % en peso según los parámetros establecidos por el Reglamento Nacional de Construcciones (RCN) donde se indican los valores permisibles de sales en los suelos y los grados de ataque.

Tabla 41. Grado de ataque de los sulfatos (So4-2) al concreto.

Grado de ataque al concreto	Concentración (ppm)	Tipo de cemento
Despreciable	0 – 1,000	Sin limitaciones
Perceptible (Moderado)	1,000 – 2,000	II
Considerable (Severo)	2,000 – 20,000	V
Grave (Muy Severo)	> 20,000	V + Puzolana

Tabla 42. Grado de ataque de los cloruros (Cl-) y sales solubles totales.

Agente presente	Concentración (ppm)	Grado de alteración	Observaciones
Cloruros (Cl ⁻)	> 6.000	Perjudicial	Ocasiona problemas de corrosión de armaduras o elementos metálicos.
Sales Solubles Totales	> 15,000	Perjudicial	Ocasiona problemas de pérdida de resistencia mecánica por problema de lixiviación.

Exposición a sulfatos	Sulfato soluble en agua (SO ₄) ¹ , presente en el suelo, % en peso	Sulfato (SO ₄) En agua p.p.m.	Tipo de cemento	Concreto con agregado de peso normal Relación máxima agua/cemento en peso	Concreto con agregados de peso normal y ligero Resistencia mínima a compresión, f'c MPa ¹
Despreciable	0,00 ≤ SO ₄ < 0,10	0,00 ≤ SO ₄ < 150	II, IP(MS), IS(MS), P(MS), I(PM)(MS), I(SM)(MS)	0,50	28
Moderado ²	0,10 ≤ SO ₄ < 0,20	150 ≤ SO ₄ < 1500	V	0,45	31
Severo	0,20 ≤ SO ₄ < 2,00	1500 ≤ SO ₄ < 10000	V más puzolana ³	0,45	31
Muy Severo	SO ₄ > 2,00	SO ₄ > 1000			

1 Puede requerirse una relación agua-cemento menor o una resistencia más alta para lograr baja permeabilidad, protección contra la corrosión de elementos metálicos embebidos, o contra congelamiento y deshielo (Tabla 4.4.2).
2 Agua de mar.
3 Puzolana que se ha determinado por medio de ensayos o por experiencia que mejora la resistencia a sulfatos cuando se usa en concretos que contienen Cementos Tipo V.

Figura 249. Norma E-50 sobre la exposición de sulfatos solubles en agua aplicado para actividades geotécnicas. Fuente: Norma E.050 – Reglamento Nacional de Edificaciones.

El resultado del Análisis Físico Químico efectuado con muestras representativas del estrato que conforma el subsuelo del terreno de fundación, presenta los siguientes valores:

Tabla 43. Grado de ataque de los sulfatos (So4-2) al concreto desde una solución acuosa (muestra de agua).

CÓDIGO DE MUESTRA	Fecha de muestreo	SO ₄ mg/l	Sulfato en agua (mg/L) aplicado a la norma E.050.	Exposición a sulfatos	Fecha de muestreo	SO ₄ mg/l	Sulfato en agua (mg/L) aplicado a la norma E.050.	Exposición a sulfatos	Fecha de muestreo	SO ₄ mg/l	Sulfato en agua (mg/L) aplicado a la norma E.050.	Exposición a sulfatos
1375541-013	21 de diciembre del 2020	239.5	150≤SO ₄ ≤1500	Moderado	20 de setiembre del 2021	192.4	150≤SO ₄ ≤1500	Moderado	18 de noviembre del 2021	203.1	150≤SO ₄ ≤1500	Moderado
1375541-015		243.5	150≤SO ₄ ≤1500	Moderado		175.7	150≤SO ₄ ≤1500	Moderado		190.8	150≤SO ₄ ≤1500	Moderado
1375541-016		190.9	150≤SO ₄ ≤1500	Moderado		168.5	150≤SO ₄ ≤1500	Moderado		172.9	150≤SO ₄ ≤1500	Moderado
1375541-017		228.5	150≤SO ₄ ≤1500	Moderado		172.1	150≤SO ₄ ≤1500	Moderado		176.8	150≤SO ₄ ≤1500	Moderado
1375541-018		246.0	150≤SO ₄ ≤1500	Moderado		190.6	150≤SO ₄ ≤1500	Moderado		180	150≤SO ₄ ≤1500	Moderado
1375541-019		-	150≤SO ₄ ≤1500	Sin medición		182.3	150≤SO ₄ ≤1500	Moderado		175.3	150≤SO ₄ ≤1500	Moderado
1375541-020		-	150≤SO ₄ ≤1500	Sin medición		184.3	150≤SO ₄ ≤1500	Moderado		180.4	150≤SO ₄ ≤1500	Moderado
1375541-021		186.6	150≤SO ₄ ≤1500	Moderado		164.1	150≤SO ₄ ≤1500	Moderado		165.5	150≤SO ₄ ≤1500	Moderado
1375541-022		219.3	150≤SO ₄ ≤1500	Moderado		184.0	150≤SO ₄ ≤1500	Moderado		173.8	150≤SO ₄ ≤1500	Moderado
1375541-023		240.2	150≤SO ₄ ≤1500	Moderado		168.1	150≤SO ₄ ≤1500	Moderado		180.2	150≤SO ₄ ≤1500	Moderado
1375541-028		86.9	0.00≤SO ₄ ≤150	Despreciable		131.7	0.00≤SO ₄ ≤150	Despreciable		142.9	0.00≤SO ₄ ≤150	Despreciable
1375541-029		216.4	150≤SO ₄ ≤1500	Moderado		-	150≤SO ₄ ≤1500	Moderado		-	150≤SO ₄ ≤1500	Sin medición

4.5.4 Estadística de los parámetros fisicoquímicos

Los rangos de temperatura asignados en todas las estaciones de monitoreo oscilan entre 17.3 (137554-029) a 25.0°C (137554-019); para el valor de pH los valores que toman a lo largo de la CV son entre 6.87 a 8.67; el potencial reductor oxidante posee valores oscilantes entre 78.40 a 500.50 (137554-029), en su mayoría posee valores por

debajo de 345 mV, ello debido a las distancias recorridas por dichas aguas. Por otro lado la conductividad eléctrica tiene valores en el rango de 230.6 a 2770 uS/cm en todo el litoral de la Costa Verde y siendo el valor más alto correspondiente al 137554-013, por ello los valores de TDS al ser directamente proporcional al valor de C.E. tiene un rango de medida entre 50.8 a 1353.00, de la misma forma el valor de salinidad es un valor directamente proporcional a la C.E. y el TDS y debido a ello de la misma forma sus valores están entre 0.8 a 1.37 psu, además, el valor de resistividad al ser un valor inversamente proporcional tiene valores entre 215.00 (137554-021) a 4091.00 (137554-029).

Por último, los valores de RDO y OD expresados en mg/L y porcentaje de saturación (%) poseen valores oscilantes entre 4.50 y 9.14 mg/L y 55.90 a 103.10 % Saturación, dicha valores obtenidos corresponden a los años 2020 y 2021 (tabla 26).

Tabla 44. Resumen estadístico de los parámetros físico-químicos para los años 2022 y 2021.

Punto de monitoreo	Parámetros estadísticos	Temperatura de la Fuente	pH	ORP	CE	TDS	Salinidad	Resistividad	RDO	OD
137554-013	Promedio	23.40	7.04	210.90	1499.55	646.98	0.80	720.99	5.40	65.38
	Mínimo	22.60	6.87	114.30	722.60	386.50	0.44	362.30	4.73	55.90
	Máximo	24.90	7.46t	318.00	2770.00	1353.00	1.37	1253.00	5.82	70.80
137554-015	Promedio	23.40	7.23	168.67	1116.91	547.55	0.60	905.34	6.30	74.53
	Mínimo	22.70	7.06	112.60	580.30	284.80	0.33	479.30	6.05	73.30
	Máximo	25.00	7.62	228.40	1587.00	779.10	0.81	1724.00	6.40	75.60
137554-016	Promedio	23.25	7.29	167.07	871.11	427.77	0.48	1241.57	6.64	78.40
	Mínimo	22.60	7.07	107.90	400.60	197.00	0.22	965.70	6.48	76.70
	Máximo	24.30	7.70	230.00	1027.00	507.90	0.56	2493.00	6.85	80.50
137554-017	Promedio	23.04	7.23	168.07	921.86	430.81	0.50	1164.54	5.12	60.33
	Mínimo	22.50	7.08	116.20	500.80	50.80	0.29	939.20	4.85	56.90
	Máximo	24.10	7.69	219.00	1065.00	522.20	0.58	1994.00	5.47	65.00
137554-018	Promedio	23.14	7.25	159.03	897.45	451.91	0.50	1135.73	6.59	77.70
	Mínimo	22.60	7.07	84.00	414.30	249.40	0.30	934.10	6.47	75.60
	Máximo	24.40	7.67	225.90	1071.00	525.10	0.58	1965.00	6.73	79.70
137554-019	Promedio	23.27	7.33	156.20	913.79	446.64	0.50	1150.72	7.16	83.63
	Mínimo	22.50	7.14	131.90	493.80	242.40	0.29	874.00	7.03	81.40
	Máximo	25.00	7.74	181.00	1194.00	570.80	0.62	2025.00	7.23	85.20
137554-020	Promedio	22.87	7.39	226.80	1112.46	545.21	0.63	944.69	7.30	86.90
	Mínimo	22.00	7.15	226.80	683.60	335.20	0.38	689.60	7.30	86.90
	Máximo	23.60	7.79	226.80	1450.00	708.70	0.97	1466.00	7.30	86.90
137554-021	Promedio	23.09	7.37	162.67	849.50	413.85	0.46	1087.37	7.11	83.63
	Mínimo	22.60	7.21	78.40	465.10	228.40	0.27	215.00	6.91	81.90
	Máximo	24.20	7.76	217.10	1001.00	475.70	0.54	1518.00	7.29	84.80
137554-022	Promedio	22.94	7.46	185.95	807.95	395.69	0.45	1161.93	7.46	88.05
	Mínimo	21.90	7.22	103.30	452.10	218.80	0.27	217.00	7.24	84.90
	Máximo	23.80	7.90	244.20	959.40	470.80	0.52	2132.00	7.83	92.20
137554-023	Promedio	23.33	7.53	170.87	869.42	435.58	0.48	1187.48	6.47	89.23
	Mínimo	21.90	7.30	87.80	489.70	240.50	0.29	838.20	4.50	88.60
	Máximo	24.50	7.93	239.40	1028.00	607.00	0.66	2042.00	7.51	89.70

137554-028	Promedio	20.36	8.07	185.30	494.81	243.52	0.29	2168.54	8.33	97.07
	Mínimo	18.40	7.36	80.00	230.60	113.50	0.16	1600.00	8.26	95.80
	Máximo	22.20	8.67	280.90	625.00	306.80	0.35	4336.00	8.47	98.30
137554-029	Promedio	19.35	7.94	345.75	581.63	285.69	0.33	1884.23	7.82	88.65
	Mínimo	17.30	7.08	191.00	244.40	120.30	0.17	1060.80	6.49	74.20
	Máximo	23.20	8.60	500.50	918.00	450.90	0.50	4091.00	9.14	103.10

5 PELIGROS GEOLÓGICOS

Ing. Geol. Cristhian Chiroque, CIP: 236400

Ing. Geol. Abraham Gamonal, CIP: 211188

La cartografía de movimientos en masa a tomado en cuenta los procesos geodinámicos que se encuentran condicionados por factores propios de la geomorfología y la geología como la pendiente, el tipo de roca, el tipo de suelo o las coberturas aluviales; además de la presencia de drenaje superficial y subterráneo.

Sin embargo, a lo largo de la CV se identificaron zonas de rellenos antropogénicos cuya extensión en área y cobertura se ha observado con la ayuda de fotografías aéreas antiguas con una temporalidad de 20, 40 y 60 años. Las primeras fotografías observadas y analizadas datan del año 1943, donde se distinguen que gran parte de la planicie aluvial adyacente al acantilado era ocupada por áreas de cultivo entre los distritos de San Miguel, San Isidro y los extremos norte de Miraflores, Barranco y Chorrillos; mientras que, el distrito de Magdalena del Mar ya contaba con una considerable área urbana distribuida principalmente hacia el norte y centro del distrito.

En las fotografías aéreas del año 1960, la ocupación urbana se empieza a extender hacia el acantilado siendo los distritos de Miraflores, Barranco y Chorrillos los que más crecieron demográficamente disminuyendo gran parte de las áreas de cultivo. La ocupación descrita se evidencia en el proceso de relleno de quebradas y cárcavas con más de 220 m de largo y 100 m de ancho que fueron ocupadas por viviendas.

Para el año 2000, se analizaron imágenes satelitales donde se observa la consolidación de las áreas urbanas de los distritos evaluados, además se destaca que, en 40 años la línea costera y las playas retrocedieron más de 120 m mar adentro, debido a la ocupación progresiva de una terraza baja de origen antropogénico que se entiende entre los distritos evaluados disminuyendo en ancho de norte a sur hasta el distrito de Barranco. Hacia el distrito de Chorrillos la terraza baja se extiende hasta 200 m con playas de hasta 50 m.

De acuerdo con lo descrito, las geoformas antiguas como el acantilado y las cárcavas observadas desde el año 1943 hacia 1960, tuvieron la mayor evolución debido a la intervención antrópica siendo rellenas para el emplazamiento de áreas urbanas. Estas condiciones originan áreas críticas donde pueden desarrollarse peligros geológicos debido a los tipos de materiales de relleno.

Los peligros geológicos fueron divididos dos tipos de eventos geodinámicos de acuerdo con la temporalidad, antiguos; aquellos que fueron identificados entre los años 1943-1960 y los peligros geológicos recientes y potenciales que pueden afectar la estabilidad de los taludes de los acantilados ante la ocurrencia de un sismo de regular magnitud.

Debido a la ubicación geográfica de la zona de estudio, enmarcada en la costa central del Perú, el factor “desencadenante” está representado por los sismos de mediana a regular magnitud, bajo el escenario sísmico previsto, estas zonas de estudio deben ser correctamente estudiadas.

5.1 Peligros geológicos antiguos en el distrito de San Miguel

A continuación, se describen los movimientos en masa identificados a lo largo de los taludes del distrito de San Miguel desde el año 1943 hasta el 2000 (**Plano PD.PGA-SM18**):

5.1.1 Peligros por movimientos en masa en el distrito de San Miguel

Los peligros geológicos reconocidos en el acantilado de la CV en los límites del distrito de San Miguel corresponden a movimientos en masa de tipo caídas (derrumbes) (PMA: GCA, 2007).

La ocurrencia de caída de rocas o suelos están condicionadas a factores intrínsecos, como son la geometría del terreno, la pendiente del terreno, tipo de roca, tipo de suelos y cobertura vegetal. El factor desencadenante de estos eventos son las precipitaciones pluviales periódicas y extraordinarias.

Teniendo en cuenta la ubicación geográfica de la zona de evaluación, la geodinámica superficial está influenciada por otros factores hidrogeológicos, como la humedad, el agua superficial en forma de escorrentía, el agua subterránea y la cobertura vegetal; además de la brisa marina y el oleaje.

5.1.1.1 Caída de suelos y rocas

La caída es un movimiento en masa que involucra a uno o varios bloques de roca o suelo que se desprenden de una ladera, no existe un plano de desplazamiento cortante. El material cae desplazándose por el aire, y puede efectuar golpes, rebotes o rodamiento. En función del mecanismo de falla y la morfología de las zonas afectadas, así como del material involucrado, las caídas se subdividen en tres tipos principales: aludes, caída de rocas y derrumbes.

5.1.1.1.1 Derrumbes

Corresponde al desplazamiento ladera debajo de masas de roca, suelo o ambas, a lo largo de superficies irregulares de arranque o desplome como una sola unidad. Se identificaron 13 zonas de derrumbes ubicadas en taludes con pendientes muy fuertes (figura 250).



Figura 250. Explanada de San Miguel en el año 1950. Fotografía: Limalaunica.pe.

5.1.1.2 Movimientos complejos

Consisten en la ocurrencia y combinación de dos tipos de movimientos en masa, mediante el análisis de las fotografías aéreas de los años 1943 y 1960, los eventos geodinámicos identificados fueron catalogados como deslizamientos – derrumbes.

5.1.1.2.1 Deslizamiento-derrumbe

En el distrito de San Miguel se identificaron 11 zonas de deslizamientos con ocurrencia de derrumbes, los deslizamientos fueron inferidos debido a la geoforma de las zonas de arranque donde se muestran escarpes con formas circulares a semicirculares (figura 251).



Figura 251. Sistema de bombeo de agua hacia la piscina municipal actual Casa de la Cultura de San Miguel, donde se depositaban los materiales provenientes de deslizamientos y derrumbes. Fuente: Gallese (1913).

5.1.2 Otros peligros geológicos en el distrito de San Miguel

5.1.2.1 Erosión de ladera

La erosión en laderas es originada por flujos de agua no drenada que fluye libremente en forma de escorrentía y cuya magnitud es incrementada por varios factores como el clima árido, suelos poco consolidados, escasa vegetación, vías de comunicación mal diseñadas, entre otro.

5.1.2.1.1 Erosión en cárcava y surco

Las incisiones en el relieve en forma de cárcavas o surcos se originan a partir de lluvias intensas que originan escorrentía superficial que fluye a través de suelos con escasa cobertura vegetal, los cursos de agua fluyen hacia un punto de equilibrio, si el caudal se incrementa el canal se ensancha y profundiza incrementando la pendiente.

En el distrito de San Miguel, se identificaron 150 zonas de erosión en cárcavas y además de 7 zonas de curcos con mejor incidencia en pendientes baja (figuras 252 y 253).



Figura 252. Vista hacia la calle Ramón Castilla, Ca. Alfonso Ugarte y Jr. Francisco Bolognesi, se observa erosión de laderas en la parte inferior del talud. Referencia al actual Club Tenis San Miguel. Fuente: SAN.



Figura 253. Vista aérea del distrito de San Miguel, se distinguen zonas de grandes cárcavas al borde del acantilado. Fuente: SAN.

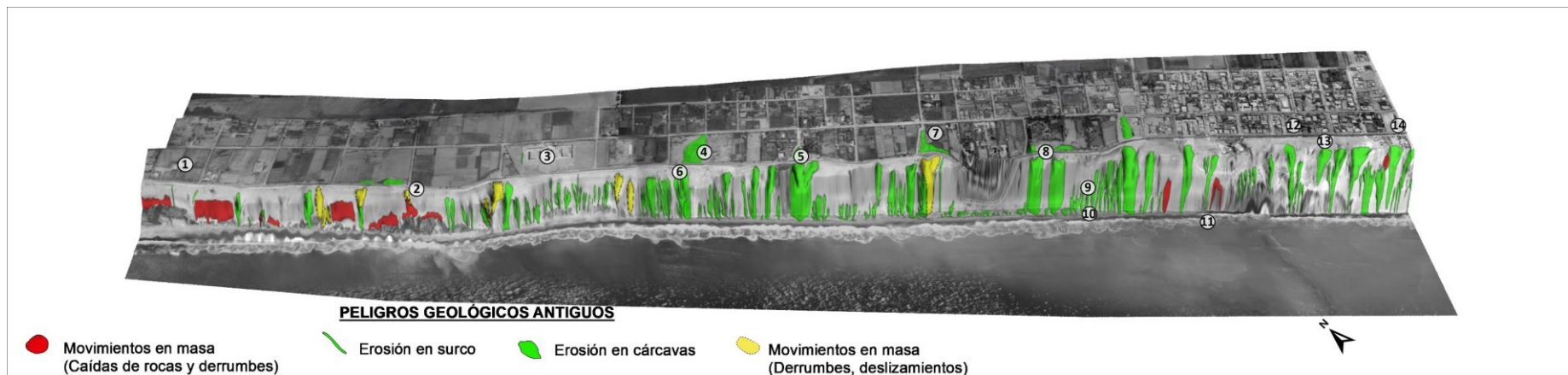


Figura 254. Peligros geológicos antiguos en el distrito de San Miguel, vista sobre la foto aérea del año 1943.

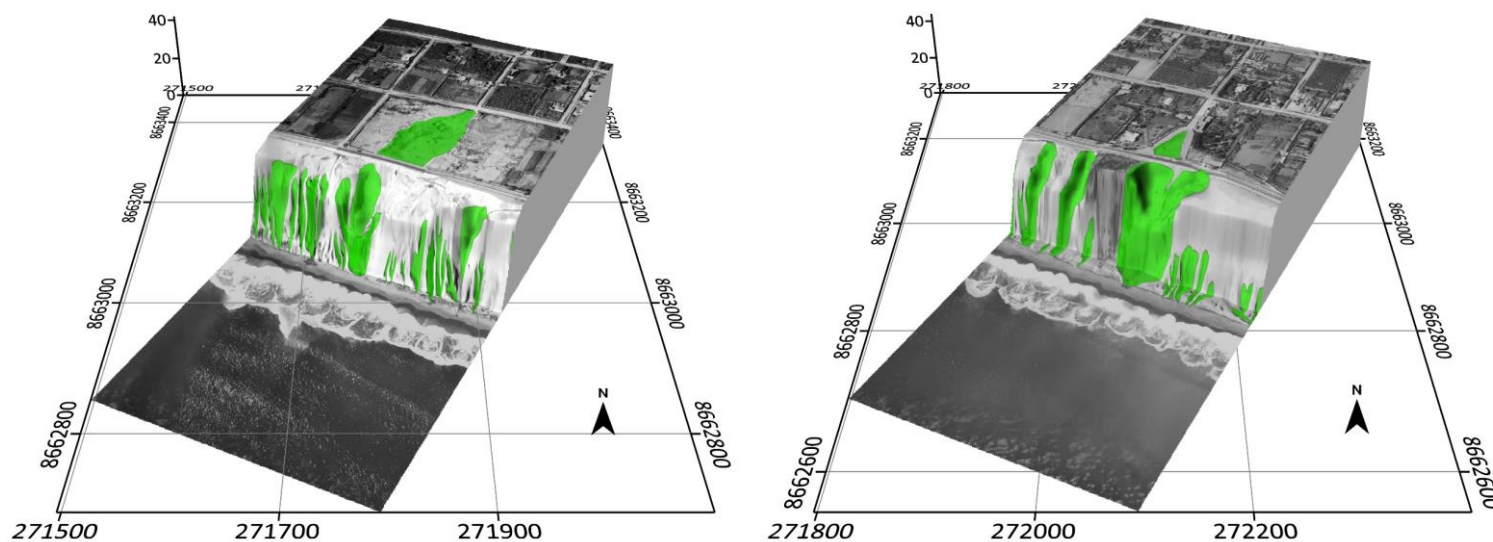


Figura 255. Sección SM-01 se identificaron procesos de erosión en cárcavas y zonas de rellenos. Sección SM-02, se identificaron cárcavas como probables cauces de antiguas quebradas.

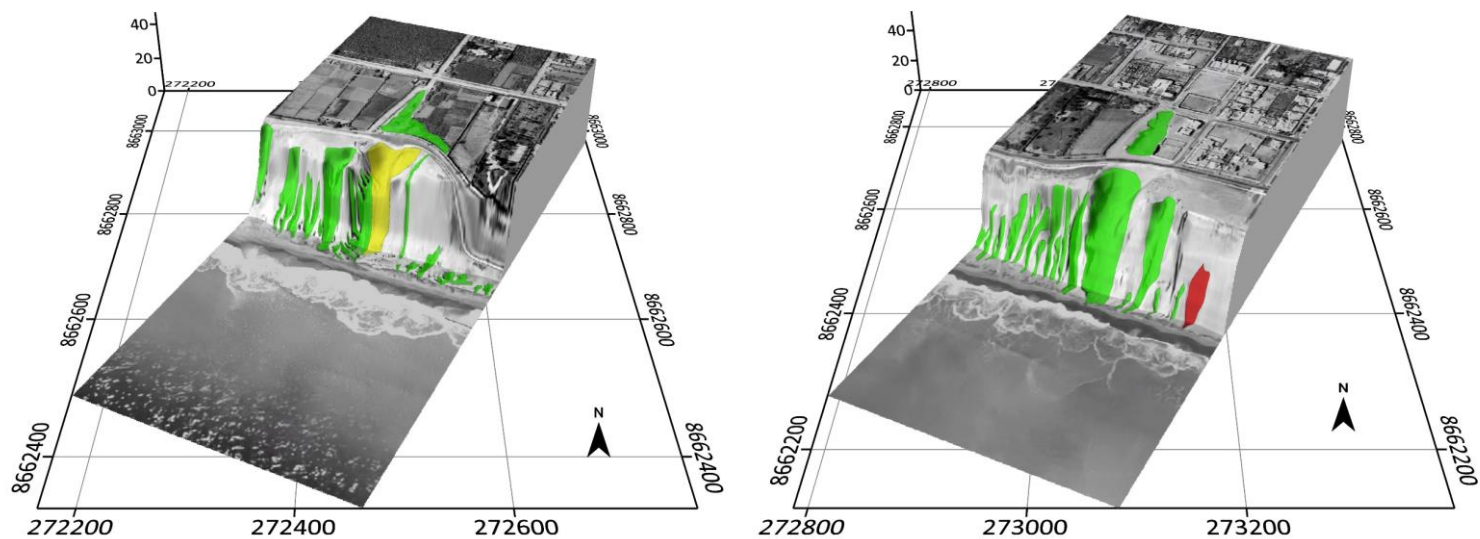


Figura 256. Sección SM-03, para el año 1960 se identificaron cárcavas. Sección SM-04, cárcavas, derrumbes y caídas en el acantilado.

5.2 Peligros geológicos recientes y potenciales en el distrito de San Miguel

En este capítulo se describen los movimientos en masa identificados a partir del año 2000 hasta la actualidad, se recopilaban informes técnicos, imágenes satelitales y fotografías aéreas, los eventos geodinámicos identificados fueron denominados peligros geológicos recientes.

Además, en base a las fotografías aéreas de los años 1943-1960 y las imágenes satelitales disponibles antes del año 2000, se identificaron antiguos cauces de quebradas y cárcavas que fueron rellenadas, sobre estas zonas se cartografiaron zonas con peligro potencial a generar procesos de deslizamientos o hundimientos (asentamientos).

A continuación, se describen los peligros geológicos recientes y potenciales en el distrito de San Miguel (**Plano PD.PGRP-SM19**):

5.2.1 Peligros recientes por movimientos en masa en el distrito de San Miguel

Los principales peligros geológicos identificados en los límites del distrito de San Miguel, que se desarrollan sobre el acantilado y parte de la planicie aluvial están catalogados como caídas de tipo derrumbes de suelos y rocas.

5.2.1.1 Caída de suelos y rocas

La caída de suelos y rocas en el acantilado de San Miguel se desarrollan en taludes con pendientes muy escarpadas, además de la influencia de procesos de erosión marina y factores de tipo antrópico. Estos procesos originan derrumbes que fueron identificados y cartografiados en base a imágenes satelitales.

5.2.1.1.1 Derrumbes

Se cartografiaron e inventariaron mediante imágenes satelitales multitemporales con rangos de 10 a 20 años, desde el año 2000 a la actualidad. Se identificaron 30 zonas de derrumbes que representan el 20% de los movimientos en masa inventariados en San Miguel (figuras 257 y 258).



Figura 257. Imagen satelital del mes de junio del 2002 a la altura del Centro de Rehabilitación Maranga, se observan caídas de tipo derrumbes.



Figura 258. Vista hacia el extremo noroeste del distrito de San Miguel límite con el distrito de la Perla, se observan derrumbes próximos al pie del talud.

5.2.1.2 Escarpes activos y agrietamientos

La formación de escarpes y agrietamientos con las principales evidencias de la ocurrencia de movimientos en masa como los deslizamientos en procesos iniciales, la formación de planos de fallas superficiales o profundos desplazan masas de sedimentos o materiales de diferente origen. Las características geomecánicas de los suelos y sedimentos condicionan la formación de deslizamientos que son desencadenados por lluvias, incremento de humedad, saturamiento de suelos o sismos (figura 259).



Figura 259. Escarpes activos con desplazamientos de 10 a 30 cm con dirección hacia el acantilado.
Fuente: Panamericana.pe

Se identificaron 25 escarpes con forma alargada, semicircular y circular con una orientación noroeste a sureste con desplazamientos de pocos centímetros hasta 1 m con dirección hacia el suroeste (figura 260).



Figura 260. Escarpe semicircular de 56 m de largo con un salto de falla menor a 1 m.

Los escarpes identificados inician a la altura del parque “Turquía” hasta el Parque “Wallenberg”, tienen una longitud entre 8.5 m a 62.3 m.

Las grietas de tipo tensional son los primeros indicadores de deformaciones que pueden llegar a definir la corona o zona de arranque de un deslizamiento. Las aberturas son desencadenadas por la infiltración de agua al subsuelo, en el interior los sedimentos se erosionan originando vacíos y reacomodamientos por mala compactación (figuras 261 y 262).



Figura 261. Grietas de hasta 1 m de profundidad, registrada por periodistas el 06 de noviembre del 2020. (Fuente: Panamerica.pe).



Figura 262. Grietas longitudinales de 60 m y ancho de hasta 10 cm.



Figura 263. Grieta por falla circular, juntas de veredas desplazadas.

5.2.2 Peligros potenciales por movimientos en masa en el distrito de San Miguel

En los primeros trabajos de gabinete basados en las fotografías aéreas de 1943 y 1960 se identificaron zonas de relleno antropogénico de quebradas y cárcavas antiguas, basándose en la delimitación de zonas cóncavas de hasta 60 m de profundidad, 220 m de largo y 100 m de ancho.

Desde 1943 a 1960, el pie del acantilado retrocedió de 30 m a 70 m, el ancho de la playa se amplió de 40 m a 80 m. Sin embargo, entre 1990 al 2001 inició una fuerte actividad antrópica, el desmonte de tierra extraído de las obras realizadas en la vía expresa fueron utilizadas para ampliar la planicie, crear terraplenes y terrazas, de esta forma se ampliaron áreas verdes y parques.

La ampliación de estas zonas, están expuestas a peligros geológicos potenciales, que se expresan sobre la superficie como agrietamientos y asentamientos del terreno.

Los peligros geológicos potenciales se han proyectado a través de la cartografía multitemporal de varias capas como la geomorfología y la geología.

De esa forma, se han estimado la ocurrencia de potenciales deslizamientos de tipo rotacional, deslizamientos-derrumbes, hundimientos y escarpes proyectados los cuales se describen a continuación:

5.2.2.1 Deslizamiento

Es un movimiento ladero abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante. Se identificaron 25 deslizamientos, de los cuales se determinaron 16 deslizamientos potenciales de tipo rotacional y 9 deslizamientos-derrumbes.

5.2.2.1.1 Deslizamiento rotacional

Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. Los movimientos en masa rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y un contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal (figuras 264 y 265).

La deformación interna de la masa desplazada es usualmente muy poca. Debido a que

el mecanismo rotacional es auto-estabilizante, y éste ocurre en rocas poco competentes, la tasa de movimiento es con frecuencia baja, excepto en presencia de materiales altamente frágiles como las arcillas sensitivas.

Los deslizamientos rotacionales pueden ocurrir lenta a rápidamente, con velocidades menores a 1 m/s.



Figura 264. Potencial deslizamiento de tipo rotacional entre los Parques Belén y Wallenberg.



Figura 265. Deslizamiento en las inmediaciones del parque Belén, vista de sureste a noroeste.

Se han identificado 18 potenciales deslizamientos de tipo rotacional, estas zonas se delimitaron y proyectaron en función de la presencia de escarpes activos que pueden llegar a formar cuerpos de deslizamientos que llegarían hasta la vía costanera y depositar materiales en la terraza baja (figuras 266, 267, 268 y 269).



Figura 266. Grietas que evidencian fallas circulares con potencial de formar un escarpe de deslizamiento.



Figura 267. Vista de un potencial deslizamiento rotacional a la altura del parque Pedro Planas Silva.

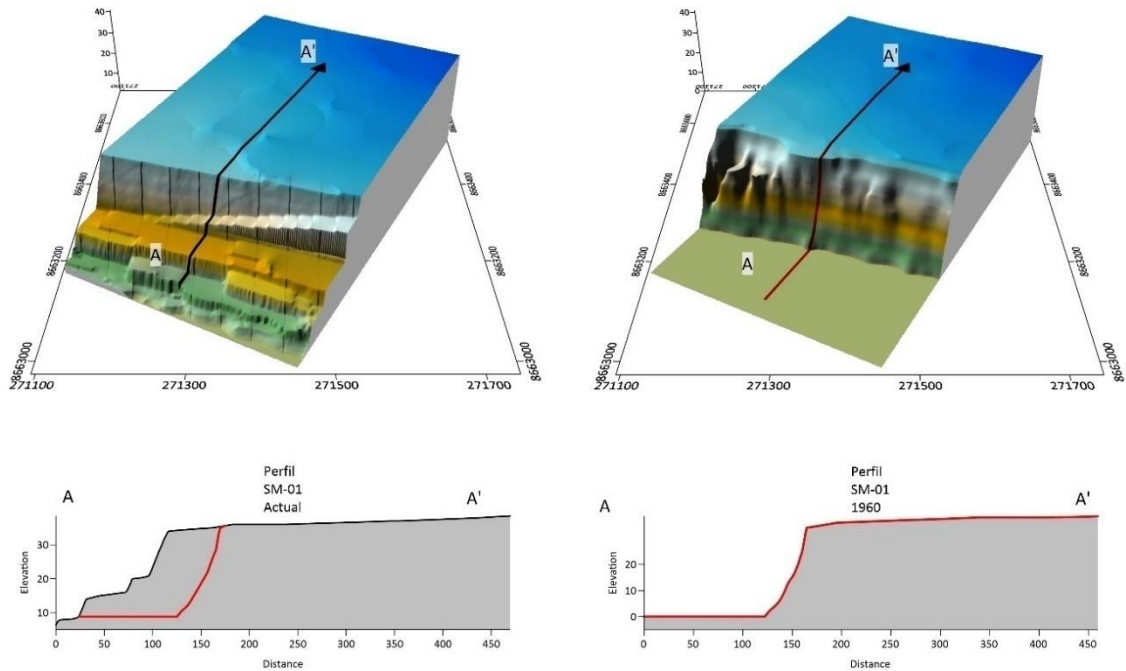


Figura 268. Sección SM-01 A-A' ubicado de suroeste a noreste en el Centro Juvenil de Diagnóstico y Rehabilitación, comparación de modelos digitales de terreno del año 1960 y 2021, donde se evidencia el relleno antrópico que genera zonas potenciales a deslizarse.

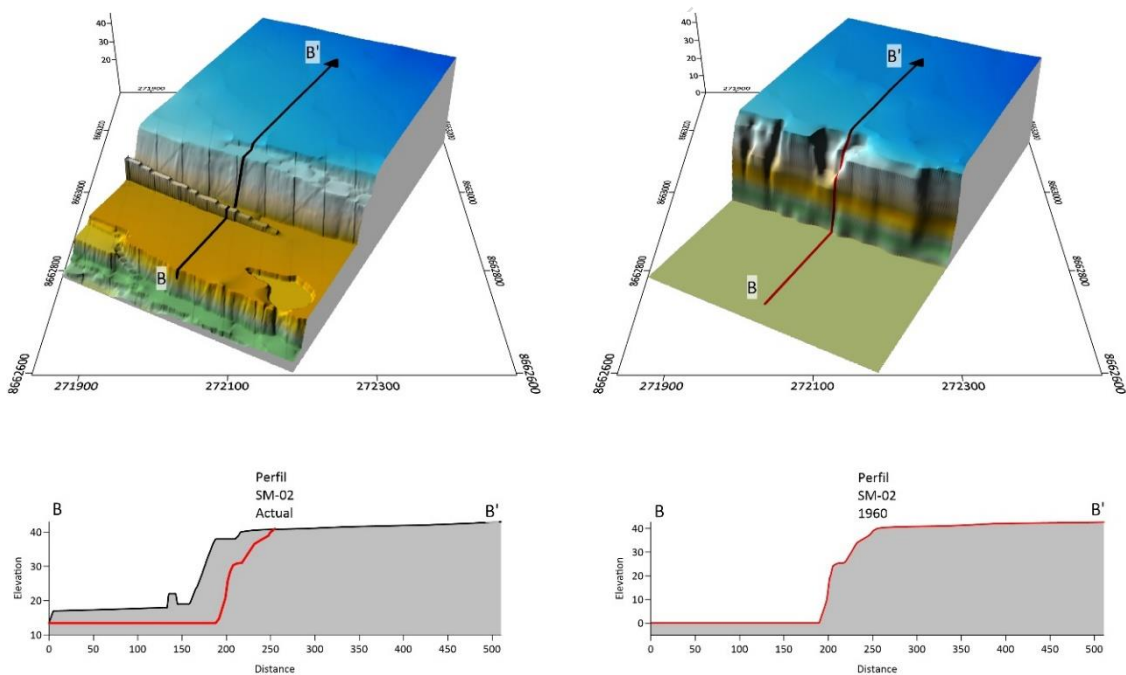


Figura 269. Sección SM-02 B-B' ubicado en el Malecón Costanera, comparación de modelos digitales de terreno del año 1960 y 2021, donde se evidencia el relleno antrópico que genera zonas potenciales a deslizarse.

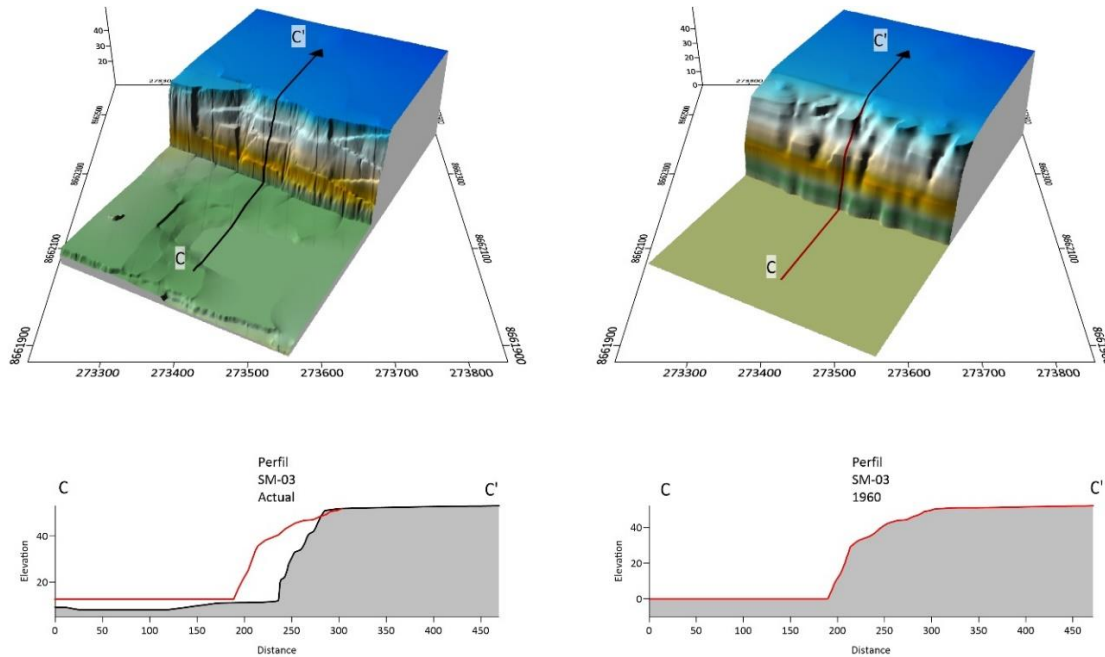


Figura 270. Sección SM-03 C-C' ubicado entre el Parque Media Luna y Malecón Bertolotto, comparación de modelos digitales de terreno del año 1960 y 2021, donde se evidencia el relleno antrópico que genera zonas potenciales a deslizarse.

5.2.2.2 Movimiento complejo

Además, se identificaron movimientos en masa complejos o mixtos, donde se combinan la ocurrencia de 2 o más tipos de eventos geodinámicos, en el distrito de San Miguel se han estimado deslizamientos-derrumbes.

5.2.2.2.1 Deslizamiento-derrumbe

Se identificaron 9 zonas de potenciales deslizamientos con posterior fase de derrumbe. Estos eventos geodinámicos están condicionados a formas cóncavas en la parte alta del talud que podrían formar escarpes o zonas de arranque, los materiales se desplazarían por el talud con pendientes fuerte a muy escarpadas originando derrumbes que llegarían hasta la vía Costanera (figura 271).

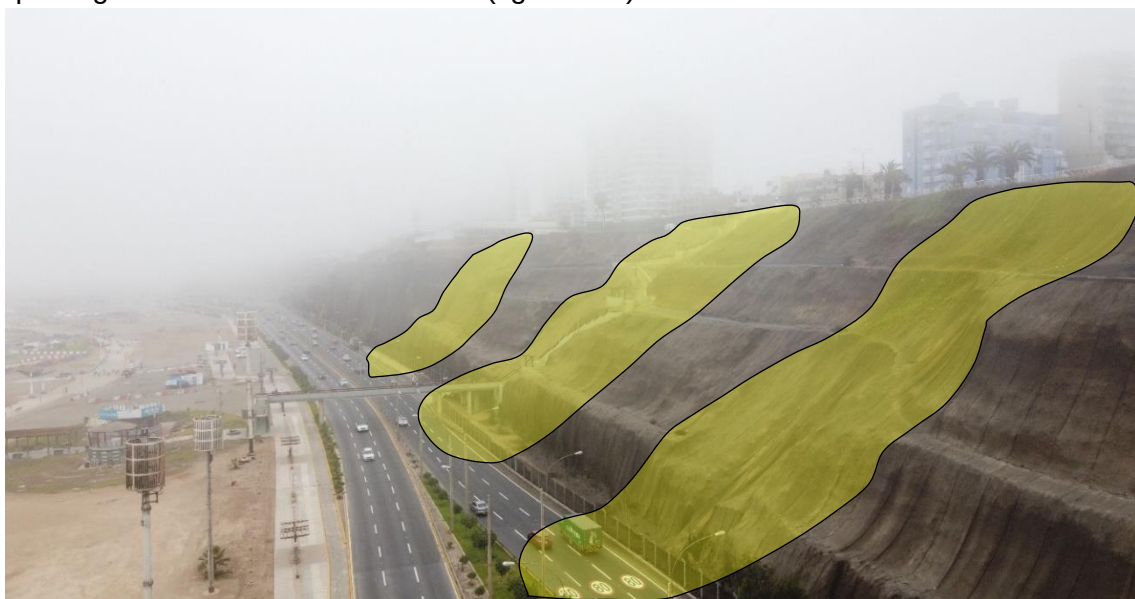


Figura 271. Vista hacia el circuito de playas a la altura del Parque Media Luna. En esta zona de han proyectado varios deslizamientos-derrumbes.

5.2.3 Otros peligros geológicos

Las deformaciones gravitacionales profundas son movimientos muy lentos y extensos de grandes masas rocosas en donde no se distingue una superficie de falla, aunque pueden ser precursores de deslizamientos de gran magnitud.

5.2.3.1 Hundimiento

Los Hundimientos están condicionados por la presencia de antiguas quebradas, cárcavas y zonas de extracción de materiales que fueron observadas en las fotografías aéreas de los años 1943 y 1960; estas fueron rellenadas con materiales de diverso origen y procedencia. Además, se identificaron terrazas bajas que fueron ocupando y ganando área al mar, siendo el suelo de cimentación base depósitos marinos.

Se identificaron 10 potenciales zonas de hundimientos, 4 de ellas fueron identificadas como cárcavas o antiguas quebradas y 6 fueron antiguos rellenos o zonas de extracción de materiales probablemente antiguas ladrilleras, se tiene un riesgo moderado a alto de inducir daños hacia las estructuras de las áreas urbanas ubicadas sobre estas áreas (figura 272).



Figura 272. Estadio “Adolfo Magallanes”, en la foto aérea del año 1943 se identificó una cárcava y una probable zona de extracción de materiales de agregados (canteras o ladrillera).

5.2.3.2 Escarpes proyectados

Mediante la superposición de las fotos aéreas de los años 1943, 1960 y la ortofoto del año 2021, se encontró que las grietas y escarpes registrados desde el año 2014 coinciden con límite del antiguo acantilado ubicado hasta antes del año 2002, por tanto, se infiere que esta zona indica zonas inestables donde se pueden formar planos de falla originando deslizamientos.

El análisis de esta información ha permitido inferir nuevas zonas de inestabilidad denominadas como escarpes proyectados inferidos en base a la información disponible de los años 1943 y 1960 (figuras 273, 274, 275 y 276).



Figura 273. Toma aérea entre el Parque Turquía y el parque Wallenberg, la línea roja indica la antigua ubicación del acantilado.



Figura 274. Peligros geológicos recientes y potenciales identificados e inferidos en el distrito de San Miguel.

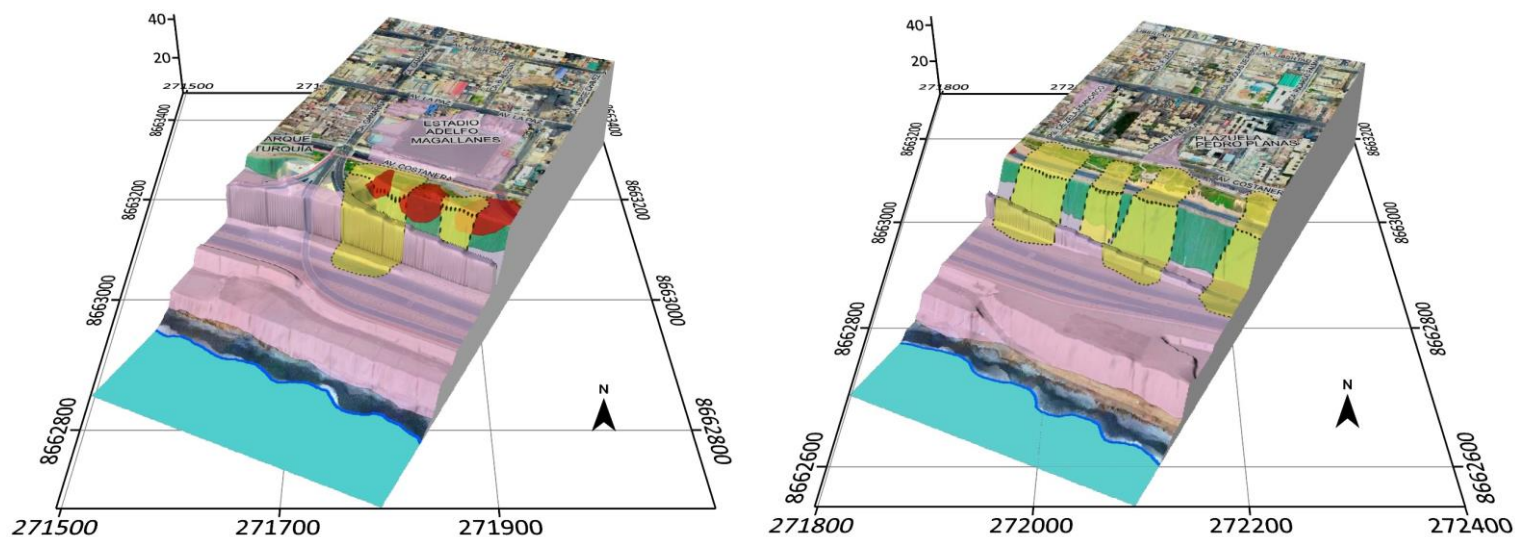


Figura 275. En la Sección SM-01 se ubica en el Estadio Adolfo Magallanes donde se identificaron potenciales deslizamientos y hundimientos. En la Sección SM-02 se tienen 4 deslizamientos potenciales con zonas de hundimientos por rellenos antropogénicos en el distrito de San Miguel.

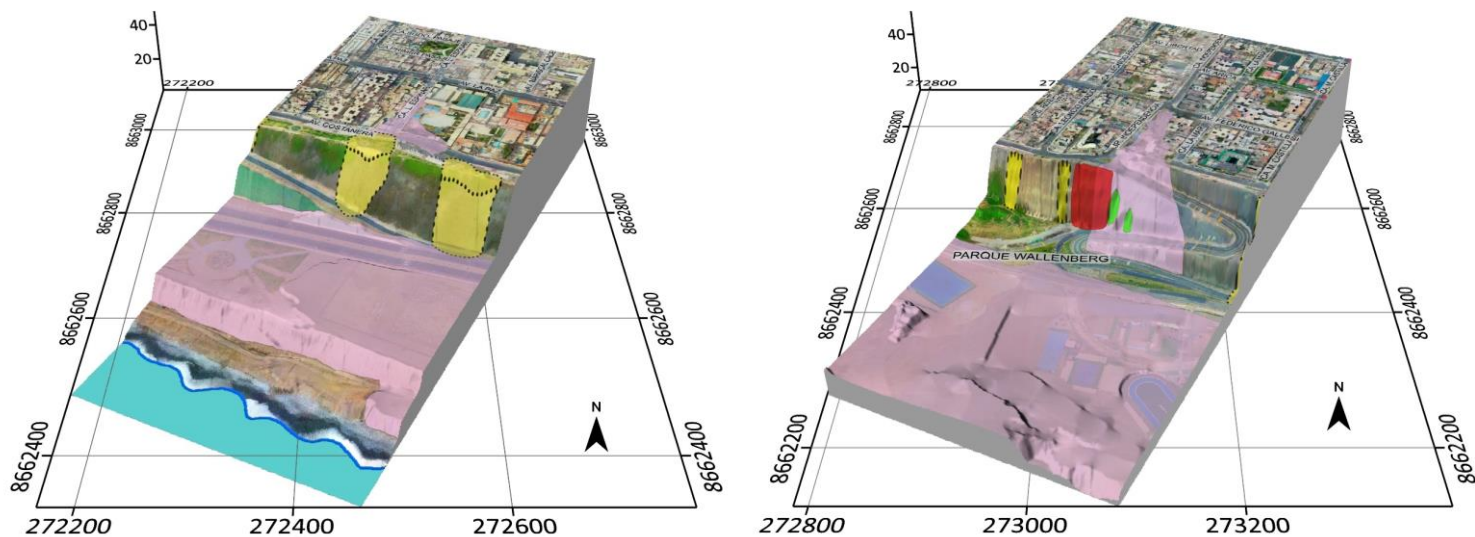


Figura 276. Sección SM-03 se ubica entre la Ca. Luis Espinar donde se identificaron 2 deslizamientos potenciales y zonas de hundimientos. La Sección SM-04 ubicada en el Parque Wallenberg donde se identificó una zona de relleno antrópico en la parte superior del acantilado además de deslizamientos en el distrito de San Miguel.

5.3 Peligros geológicos antiguos en el distrito de Magdalena del Mar

A continuación, se describen los movimientos en masa identificados a lo largo de los taludes del distrito de Magdalena del Mar desde el año 1943 hasta el 2000 (**Plano PD.PGA-MM20**):

5.3.1 Peligros por movimientos en masa en el distrito de Magdalena del Mar

Los peligros geológicos reconocidos en el distrito de Magdalena, en el sector del acantilado corresponden a movimientos en masa de tipo caídas (derrumbes) y deslizamientos - derrumbes denominados como movimientos en masa complejos (PMA: GCA, 2007). Además, se identificaron procesos de erosión en cárcavas y surcos.

Los movimientos en masa están condicionados a las formas del relieve, la pendiente, el tipo de roca, el tipo de suelos y la cobertura vegetal. El factor desencadenante de estos eventos son los depósitos antrópicos que tienen filtraciones de agua proveniente de las áreas verdes, así como, sismos de mediana a regular magnitud.

Además, por la ubicación geográfica de la zona de evaluación, la geodinámica está influenciada por otros factores hidrogeológicos como la humedad, el agua superficial en forma de esorrentía y el agua subterránea; además de la brisa marina y el oleaje.

5.3.1.1 Caída de suelos y rocas

Las caídas es un movimiento en masa que involucra a uno o varios bloques de roca o suelo que se desprenden de una ladera, no existe un plano de desplazamiento cortante. El material cae desplazándose por el aire, y puede efectuar golpes, rebotes o rodamiento; las caídas se subdividen en tres tipos: aludes, caída de rocas y derrumbes.

5.3.1.1.1 Derrumbes

Corresponde al desplazamiento ladera debajo de masas de roca, suelo o ambas, a lo largo de superficies irregulares de arranque o desplome como una sola unidad. Se identificaron 23 zonas de derrumbes ubicadas en taludes con pendientes muy fuertes (figura 277).



Figura 277. Zona de derrumbes en el distrito de Magdalena. Fotografía: ElComercio.pe.

5.3.1.2 Movimientos complejos

Consisten en la ocurrencia y combinación de dos tipos de movimientos en masa, mediante el análisis de las fotos aéreas de los años 1943 y 1960, los eventos geodinámicos identificados fueron catalogados como deslizamientos – derrumbes.

5.3.1.2.1 Deslizamiento-derrumbe

En los acantilados del distrito de Magdalena del Mar se identificaron 07 zonas de deslizamientos con posterior fase de derrumbes, los deslizamientos fueron inferidos debido a la geoforma de las zonas de arranque donde se muestran escarpes con formas circulares a semicirculares (figura 278).



Figura 278. Av. Brasil 1956 en el distrito de Magdalena donde se observa deslizamientos – derrumbes cuyos materiales llegan hasta el sector de playas. Fuente: SAN (1956).

5.3.2 Otros peligros geológicos en el distrito de Magdalena

5.3.2.1 Erosión de laderas

La erosión en laderas es originada por flujos de agua no drenada que fluye libremente en forma de escorrentía y cuya magnitud es incrementada por varios factores como el clima árido, suelos poco consolidados, escasa vegetación, vías de comunicación mal diseñadas, entre otro.

5.3.2.1.1 Erosión en cárcava y surco

Las incisiones en el relieve en forma de cárcavas o surcos se originan a partir de lluvias intensas que originan escorrentía superficial que fluye a través de suelos con escasa cobertura vegetal, los cursos de agua fluyen hacia un punto de equilibrio, si el caudal se incrementa el canal se ensancha y profundiza incrementando la pendiente.

En el distrito de Magdalena, se identificaron 73 zonas de erosión en cárcavas y además de 19 zonas de surcos con mayor incidencia en pendientes bajas a llanas (figuras 279 y 280).

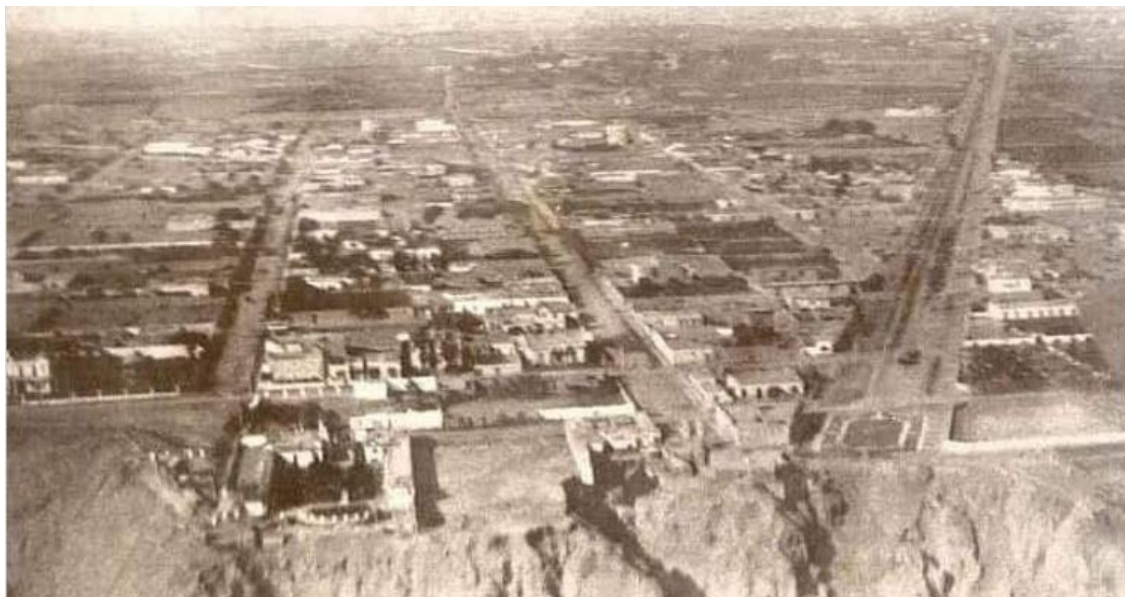


Figura 279. Vista hacia la Av. Brasil, se observan procesos de erosión de laderas en la parte superior del talud.



Figura 280. Foto aérea del distrito de Magdalena, se distinguen zonas de grandes cárcavas al borde del acantilado.

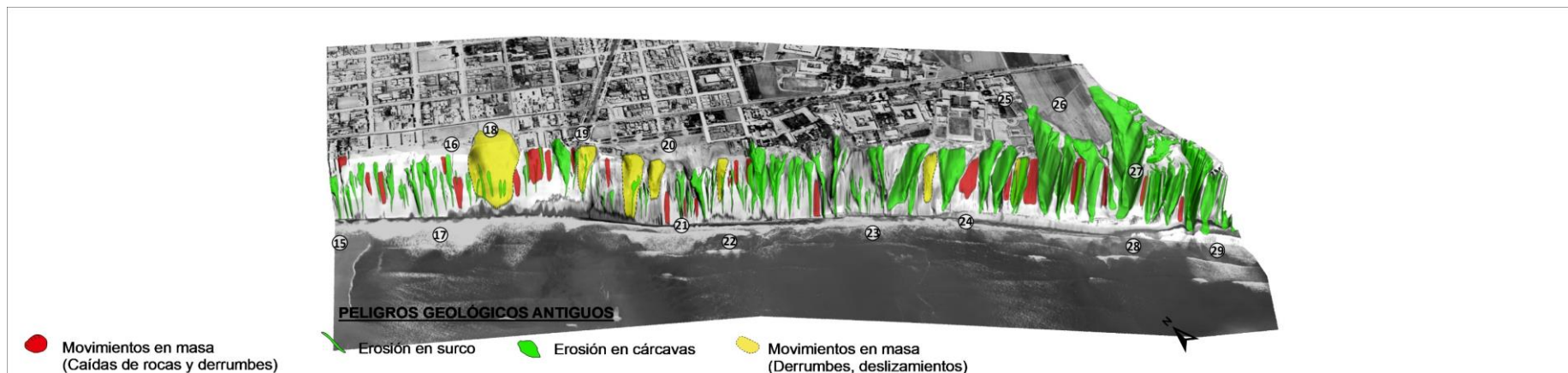


Figura 281. Peligros geológicos antiguos en el distrito de Magdalena del Mar, vista sobre la ortofoto del año 1943.

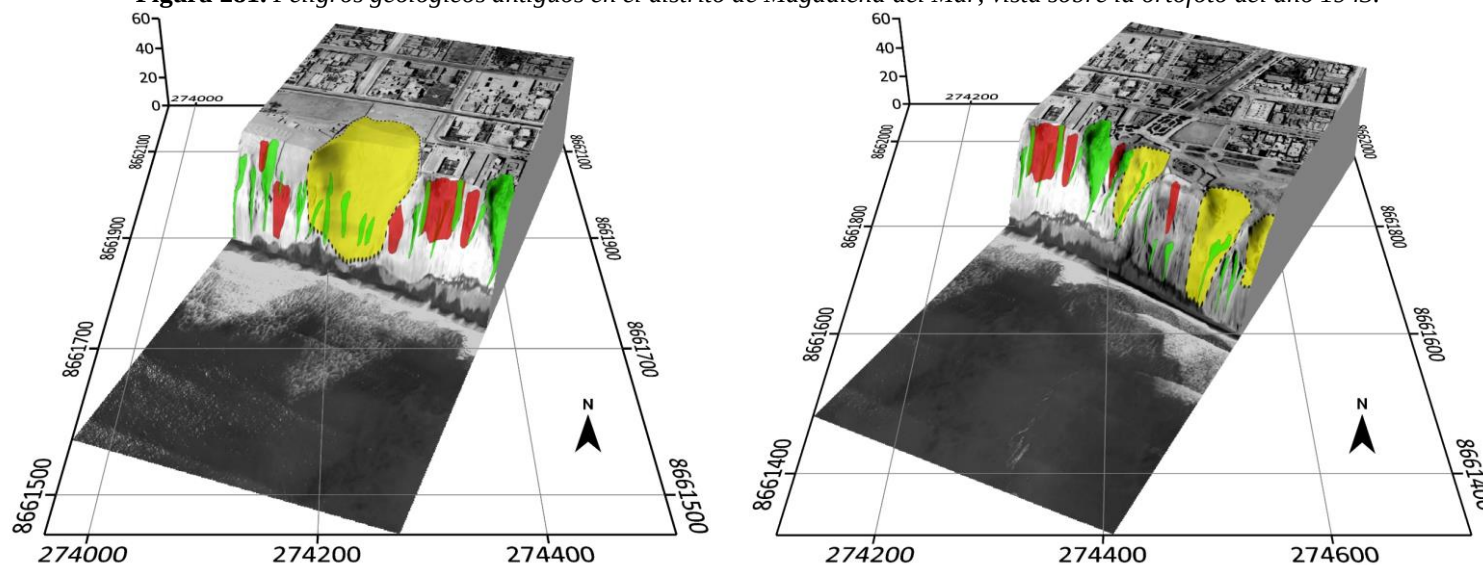


Figura 282. Sección MM-01 se identificaron derrumbes además de un probable deslizamiento rotacional en lo que hoy es el Coliseo Aldo Chamochumbi. La Sección MM-02 se ubica en la Av. Brasil donde se identificaron derrumbes, caídas y deslizamientos en el distrito de Magdalena del Mar.

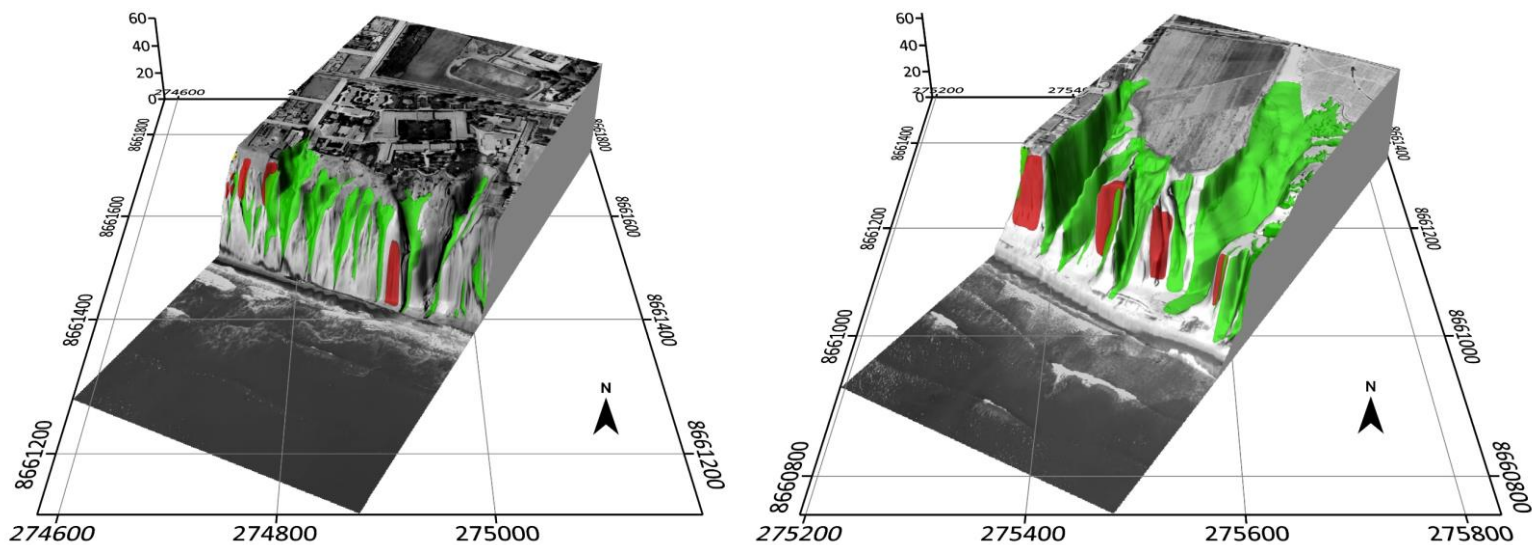


Figura 283. Sección MM-03 ubicada en el Puericultorio Pérez Aranibar, se identificaron cárcavas y derrumbes. En la Sección MM-04 se ubica en lo que hoy es La Residencial Marbella donde se observan extensas cárcavas en la ortofoto del año 1943 y 1960.

5.4 Peligros geológicos recientes y potenciales en el distrito de Magdalena del Mar

En este capítulo se describen los movimientos en masa identificados a partir del año 2000 hasta la actualidad, se recopilaron informes técnicos, imágenes satelitales y fotografías aéreas, los eventos geodinámicos identificados fueron denominados peligros geológicos recientes.

Además, en base a las fotografías aéreas de los años 1943-1960 y las imágenes satelitales disponibles antes del año 2000, se identificaron antiguos cauces de quebradas y cárcavas que fueron rellenadas, sobre estas zonas se cartografiaron zonas con peligro potencial a generar procesos de deslizamientos o hundimientos.

A continuación, se describen los peligros geológicos recientes y potenciales en el distrito de Magdalena (**Plano PD.PGRP-MM21**):

5.4.1 Peligros geológicos recientes en el distrito de Magdalena del Mar

Los principales peligros geológicos identificados como caída de tipo derrumbes de suelos y rocas.

5.4.1.1 Caída de suelos y rocas

La caída de suelos y rocas en el acantilado de Magdalena se desarrollan en taludes con pendientes muy escarpadas, además de la influencia de procesos de erosión marina y factores de tipo antrópico. Estos procesos originan derrumbes que fueron identificados y cartografiados en base a imágenes satelitales.

5.4.1.1.1 Derrumbes

Se cartografiaron e inventariaron mediante imágenes satelitales multitemporales con rangos de 10 a 20 años, desde el año 2000 a la actualidad. Se identificaron 29 zonas de derrumbes que representan el 34% de los movimientos en masa inventariados en Magdalena (figuras 284, 285 y 286).

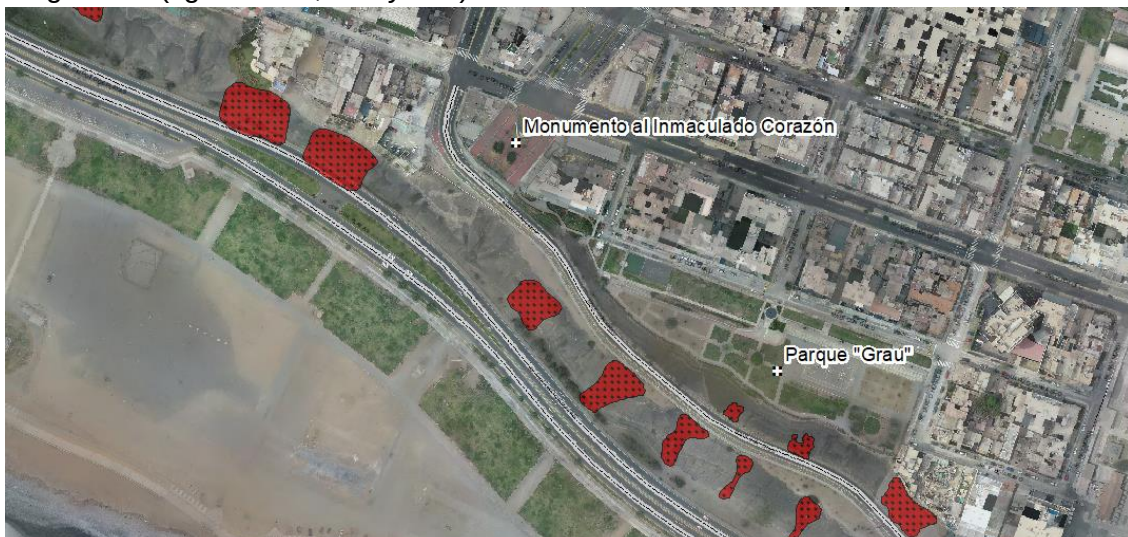


Figura 284. Ortofoto de las zonas de derrumbes en el distrito de Magdalena entre el Parque Grau y la Av. Brasil.



Figura 285. Vista hacia el acantilado expuesto a derrumbes a la altura del Jr. Echenique.



Figura 286. Vista lateral hacia el sur del parque Grau.

5.4.1.2 Escarpes activos y agrietamientos

La formación de escarpes y agrietamientos con las principales evidencias de la ocurrencia de movimientos en masa como los deslizamientos, la formación de planos de fallas superficiales o profundos desplazan masas de sedimentos o materiales de diferente origen. Las características geomecánicas de los suelos y sedimentos condicionan la formación de deslizamientos que son desencadenados por sismos. Un factor que influye es la presencia de regadíos de parques que generan infiltraciones de agua al subsuelo (figura 287).



Figura 287. Formación de escarpes activos con desplazamientos de 2 a 4 cm con dirección hacia el acantilado.

Se identificaron 12 escarpes con forma alargada, semicircular y circular con una orientación noroeste a sureste con desplazamientos de pocos centímetros (figura 288).



Figura 288. Los desplazamientos generan grietas en paredes, pisos, veredas y sardineles.

Los escarpes identificados se ubican entre el estadio “Aldo Chamuchumbi”, Parque Grau y la Residencial Marbella, tienen longitudes mínimas de 22 m y máximos de 86 m.

Las grietas de tipo tensional son los primeros indicadores de deformaciones que pueden llegar a definir la corona o zona de arranque de un deslizamiento. Las aberturas son desencadenadas por la infiltración de agua al subsuelo, en el interior los sedimentos se erosionan originando vacíos (figuras 289 y 290).



Figura 289. Grietas y desplazamientos de hasta 7 cm.



Figura 290. Grietas longitudinales de 34 m de largo.

5.4.2 Peligros potenciales por movimientos en masa en el distrito de Magdalena

En los primeros trabajos de gabinete basados en las fotografías aéreas de 1943 y 1960 se identificaron zonas de relleno antropogénico de quebradas y cárcavas antiguas.

Desde 1943 a 1960, el pie del acantilado retrocedió de 23 m a 36 m, el ancho de la playa se redujo de 35 m a 17 m. Sin embargo, entre 1990 al 2001 inició una fuerte actividad antrópica, el desmonte extraído de diversas obras fue utilizado para ampliar la planicie, crear terraplenes y terrazas, de esta forma se ampliaron áreas verdes y parques.

La ampliación de estas zonas ha originado peligros geológicos potenciales que se expresan sobre la superficie a través de grietas y asentamientos.

Se han estimado la ocurrencia de potenciales deslizamientos de tipo rotacional, deslizamientos-derrumbes, hundimientos y escarpes proyectados los cuales se describen a continuación:

5.4.2.1 Deslizamiento

Es un movimiento ladero abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante. Se identificaron 8 deslizamientos, de los cuales se determinaron 1 potencial deslizamiento de tipo rotacional y 7 deslizamientos-derrumbes.

5.4.2.1.1 Deslizamiento rotacional

Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. Los movimientos en masa rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y un contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal.

Las fotografías aéreas de los años 1943 y 1960 han permitido identificar una zona cóncava que fue rellena a través de los años y donde finalmente, se construyó el Coliseo Aldo Chamochumbi (figuras 291 y 292).



Figura 291. A la izquierda el Coliseo Aldo Chamuchumbi SAN (1956), al centro foto tomada por Sogreah (1959) y a la derecha rellenos antrópicos SAN (1964).



Figura 292. Acantilados de Magdalena y el Coliseo Aldo Chamuchumbi donde se infiere una potencial zona de deslizamiento. Línea continua (superficie del terreno) y línea puntuada (superficie antigua del terreno en 1960)

Se ha proyectado un área total de 7800 m² que podrían verse afectados por un potencial deslizamiento de tipo rotacional, este tipo de movimiento en masa se trasladaría hasta el pie del talud del acantilado ocupando el ancho de la vía costanera y parte de los parques. Las viviendas y edificios ubicados próximos a esta aéreas también pueden verse afectados (figura 293).



Figura 293. Vista frontal de andenes en malecón Castagnola. Fuente: Perú 21.

5.4.2.2 Movimiento complejo

Los movimientos en masa complejos resultan de la ocurrencia de dos o más tipos de eventos geodinámicos, en el distrito de Magdalena se han estimado deslizamientos-derrumbes.

5.4.2.2.1 Deslizamiento-derrumbe

Se identificaron 8 zonas de potenciales deslizamientos con posterior fase de derrumbe. Estos eventos geodinámicos están condicionados a formas cóncavas en la parte alta del talud que podrían formar escarpes o zonas de arranque, los materiales se desplazarían por el talud con pendientes fuerte a muy escarpadas originando derrumbes que llegarían hasta la vía Costanera (figura 294).



Figura 294. Vista hacia el circuito de playas a la altura del Parque Media Luna. En esta zona de han proyectado varios deslizamientos-derrumbes.

5.4.3 Otros peligros geológicos

Las deformaciones gravitacionales profundas son movimientos muy lentos y extensos de

grandes masas rocosas en donde no se distingue una superficie de falla, aunque pueden ser precursores de deslizamientos de gran magnitud.

5.4.3.1 Hundimiento

Los hundimientos están condicionados por la presencia de antiguas quebradas, cárcavas y zonas de extracción de materiales que fueron observadas en las fotografías aéreas de los años 1943 y 1960; estas fueron rellenadas. Además, se identificaron terrazas bajas que fueron ocupando y ganado área al mar cuyo suelo de cimentación base está constituido por depósitos marinos.

Se identificaron 10 potenciales zonas de hundimientos, 4 de ellas fueron identificadas como cárcavas o antiguas quebradas y 6 fueron antiguos rellenos o zonas de extracción de materiales probablemente antiguas ladrilleras, se tiene un riesgo moderado a alto de inducir daños hacia las estructuras de las áreas urbanas ubicadas sobre estas áreas (figuras 295 y 296).

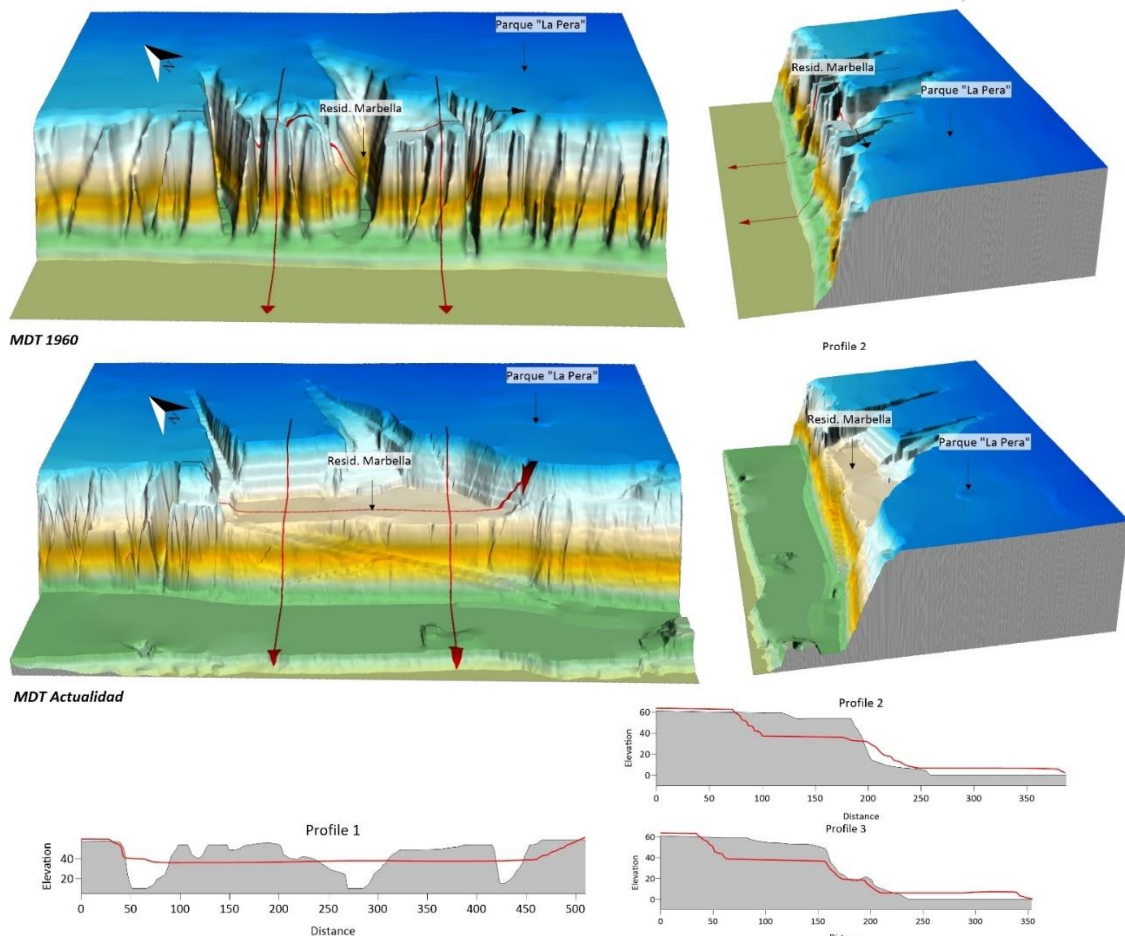


Figura 295. Residencial Marbella, modelo digital de terreno de 1960 y 2021 donde se pudo observar la profundidad del relleno antrópico.



Figura 296. Hundimientos inventariados sobre antiguas cárcavas.

5.4.3.2 Escarpes proyectados

Mediante la superposición de las fotografías aéreas de los años 1943, 1960 y la ortofoto del año 2021, las grietas coinciden con límite del antiguo acantilado ubicado hasta antes del año 2002, por tanto, se infiere que esta zona es inestable donde se pueden formar planos de falla de deslizamientos.

Se han proyectado 33 escarpes que se infieren como zonas inestables, donde antes existían antiguas cárcavas que pueden producir zonas de fallas por deslizamientos o derrumbes (figura 297).



Figura 297. Comparación de la ortofoto del año 1943 y la ortofoto actual donde se proyectaron escarpes de arranque de antiguas cárcavas.

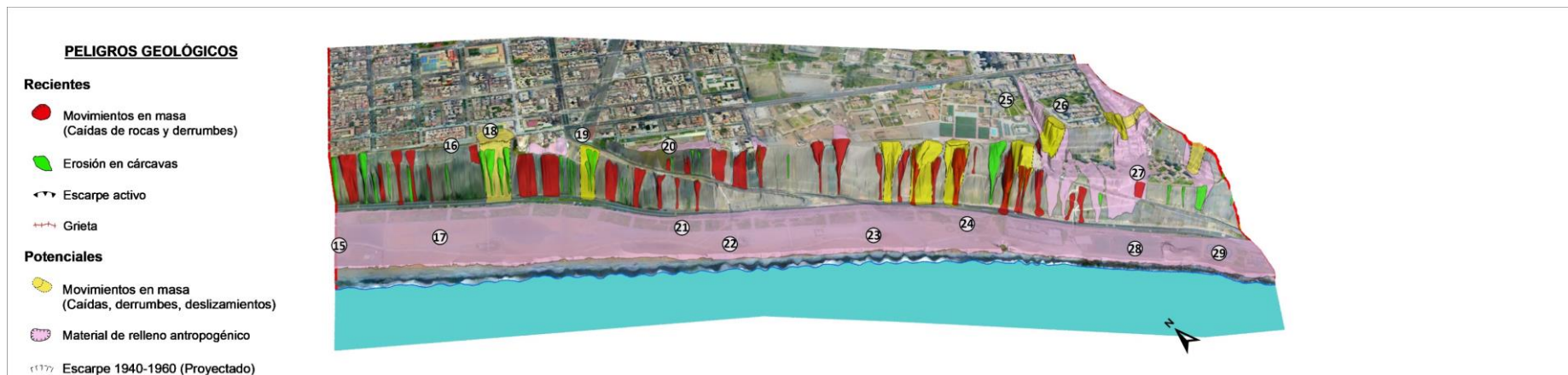


Figura 298. Peligros geológicos recientes y potenciales en el distrito de Magdalena del Mar.

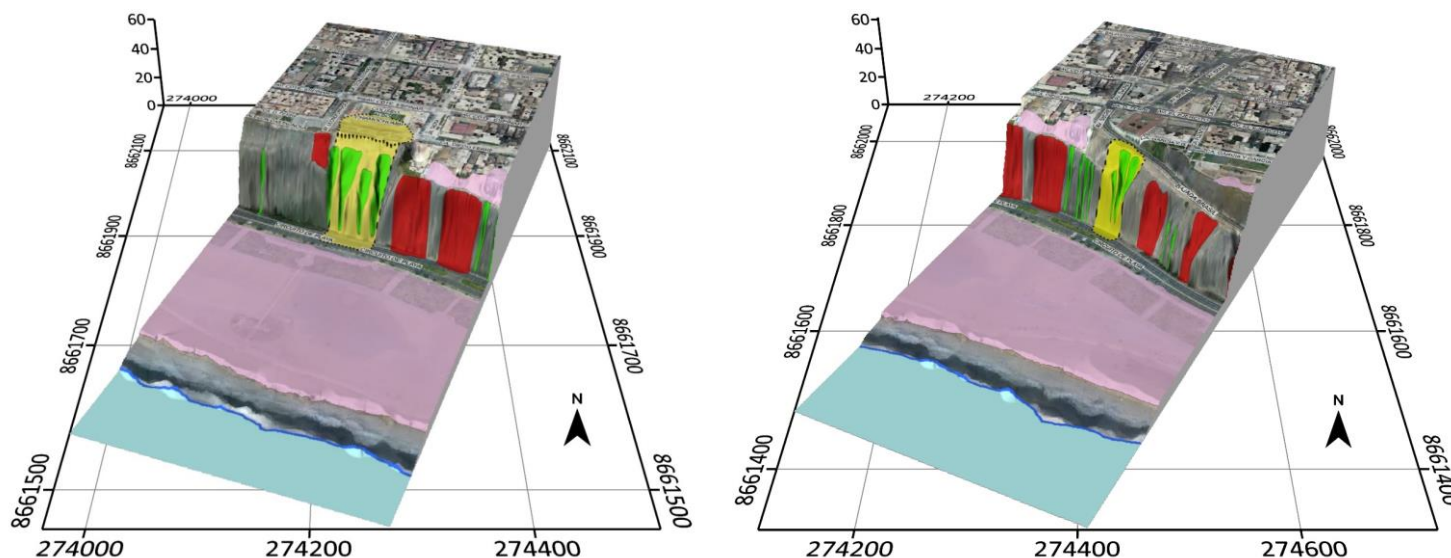


Figura 299. Sección MM-01 se ubica en el Coliseo Aldo Chamochumbi donde se identifica un potencial deslizamiento producto del relleno de una antigua cárcava. Sección MM-02 se ubica en la Bajada Brasil donde también se delimitó derrumbes y deslizamientos además de potenciales hundimientos por rellenos antrópicos.

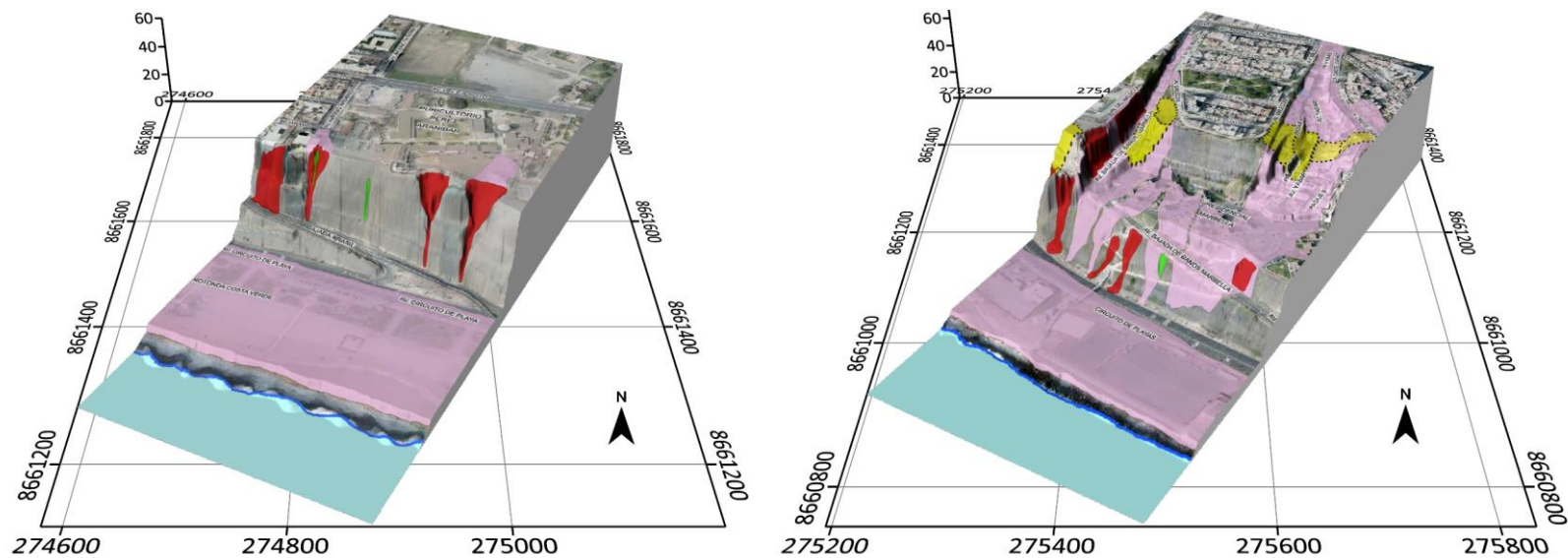


Figura 300. Sección MM-03 se proyecta en el Puericultorio Pérez Aranibar donde se identificaron caídas y derrumbes además de potenciales hundimientos por rellenos antropogénicos. Sección MM-04 se ubica en la Residencial Marbella, entre 1943 y 1960 se identificaron extensas cárcavas que fueron rellenadas y sobre las cuales se ubicaron viviendas y conjuntos habitacionales.

5.5 Peligros geológicos antiguos en el distrito de San Isidro

A continuación, se describen los movimientos en masa identificados a lo largo de los taludes del distrito de San Isidro desde el año 1943 hasta el año 2000 (**Plano PD.PGA-SI22**):

5.5.1 Peligros por movimientos en masa en el distrito de San Isidro

Los peligros geológicos en los acantilados del distrito de San Isidro, corresponden a movimientos en masa de tipo caídas (derrumbes) y deslizamientos – derrumbes (movimientos complejos) (PMA: GCA, 2007). Además, se identificaron procesos de erosión en cárcavas y surcos.

Los movimientos en masa están condicionados a las formas del relieve, pendiente del terreno, tipo de roca, tipo de suelos y cobertura vegetal. El factor desencadenante de estos eventos son los sismos de mediana a regular magnitud, además de los jardines y parques como factor antrópico, el agua se infiltra al subsuelo producto de la irrigación de áreas verdes.

Además, por la ubicación geográfica de la zona de evaluación, la geodinámica está influenciada por otros factores hidrogeológicos como la humedad, el agua superficial en forma de escorrentía y el agua subterránea.

5.5.1.1 Caída de suelos y rocas

La caída es un movimiento en masa que involucra a uno o varios bloques de roca o suelo que se desprenden de una ladera, no existe un plano de desplazamiento cortante. El material cae desplazándose por el aire, y puede efectuar golpes, rebotes o rodamiento; las caídas se subdividen en tres tipos: aludes, caída de rocas y derrumbes.

5.5.1.1.1 Derrumbes

Corresponde al desplazamiento ladera debajo de masas de roca, suelo o ambas, a lo largo de superficies irregulares de arranque o desplome como una sola unidad. Se identificaron 7 zonas de derrumbes ubicadas en taludes con terrenos de pendientes muy fuertes (figura 301).



Figura 301. Zona de derrumbes en el distrito de San Isidro. Foto: *apcvperu.gob.pe*.

5.5.1.2 Movimientos complejos

Consisten en la ocurrencia y combinación de dos tipos de movimientos en masa, mediante el análisis de las fotos aéreas de los años 1943 y 1960, los eventos geodinámicos identificados fueron catalogados como deslizamientos – derrumbes.

5.5.1.2.1 Deslizamiento-derrumbe

En el distrito de Magdalena se identificaron 07 zonas de deslizamientos con posterior fase de derrumbes, los deslizamientos fueron inferidos debido a la geoforma de las zonas de arranque donde se muestran escarpes con formas circulares a semicirculares (figura 302).



Figura 302. Parque La Pera en el distrito de San Isidro donde se identifican deslizamiento derrumbes.
Fuente: SAN (1943).

5.5.2 Otros peligros geológicos en el distrito de San Isidro

5.5.2.1 Erosión de ladera

La erosión en laderas es originada por flujos de agua no drenada que fluye libremente en forma de escorrentía y cuya magnitud es incrementada por varios factores como el clima árido, suelos poco consolidados, escasa vegetación, vías de comunicación mal diseñadas, entre otro.

5.5.2.1.1 Erosión en cárcava y surco

Las incisiones en el relieve en forma cárcavas o surcos se originan a partir de lluvias intensas que originan escorrentía superficial que fluye a través de suelos con escasa cobertura vegetal, los cursos de agua fluyen hacia un punto de equilibrio, si el caudal se incrementa el canal se ensancha y profundiza incrementando la pendiente.

En el distrito de San Isidro, se identificaron 11 zonas de erosión en cárcavas y 31 zonas de erosión en surcos con mayor incidencia en pendientes bajas a llanas (figura 303).



Figura 303. Vista aérea del año 1956, vista hacia el actual Parque Bicentenario donde se observan procesos de erosión de laderas. Fuente: SAN.

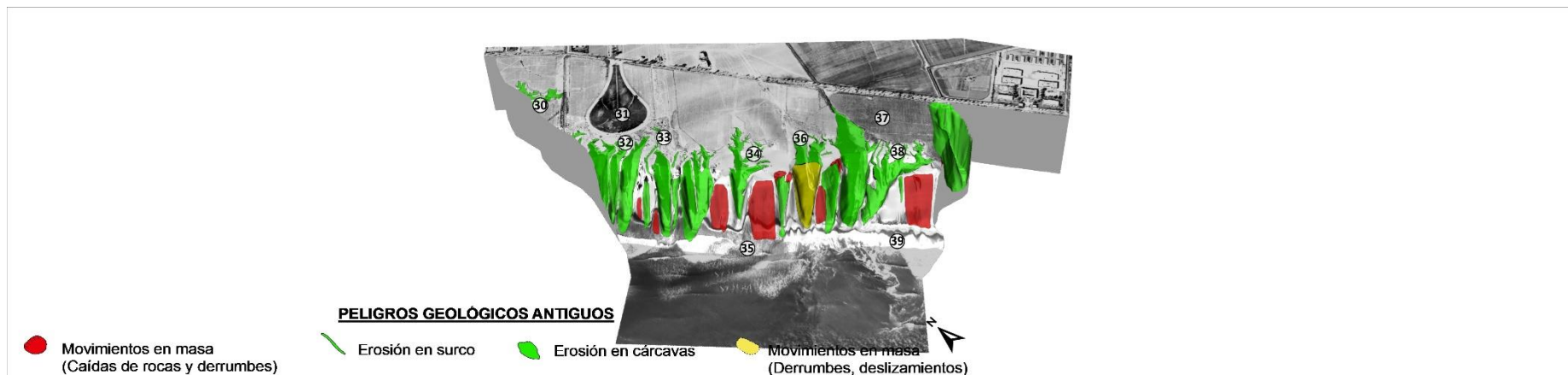


Figura 304. Peligros geológicos antiguos en el distrito de San Isidro, vista sobre la foto aérea del año 1943.

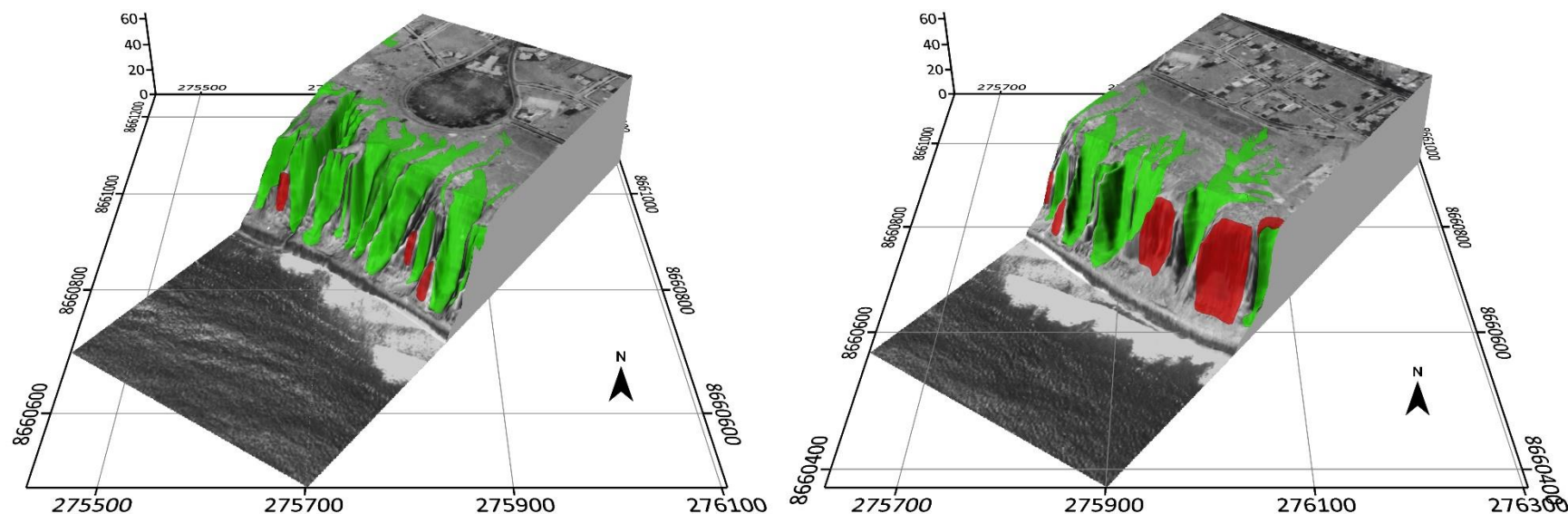


Figura 305. Sección SI-01 entre los años 1943 y 1960, se observan procesos de erosión en cárcavas de 130 m a 160 m de longitud. Además de, caídas de rocas y derrumbes en el Malecón Godofredo García. Sección SI-02, se observan caídas y derrumbes, además de cárcavas de hasta 200 m de largo en el Parque Mahatma Gandhi.

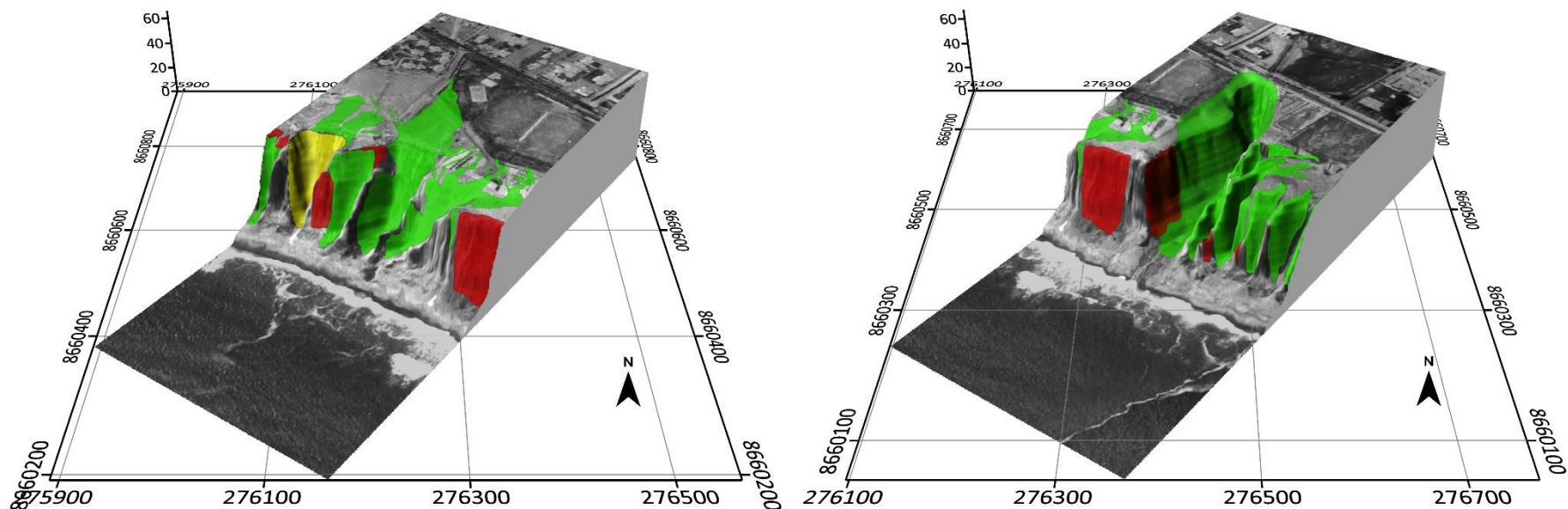


Figura 306. Sección SI-03 las cárcavas llegan a 259 m de longitud, fueron rellenadas y ocupadas por áreas urbanas, además se identificaron deslizamientos, caídas y derrumbes en zonas adyacentes al Parque Grecia. Sección SI-04 ubicado entre Parque Bicentenario con una extensa cárcava de 265 m de largo.

5.6 Peligros geológicos recientes y potenciales en el distrito de San Isidro

En este capítulo se describen los movimientos en masa identificados a partir del año 2000 hasta la actualidad, se recopilaron informes técnicos, imágenes satelitales y fotografías aéreas, los eventos geodinámicos identificados fueron denominados peligros geológicos recientes.

Además, en base a las fotografías aéreas de los años 1943-1960 y las imágenes satelitales disponibles antes del año 2000, se identificaron antiguos cauces de quebradas y cárcavas que fueron rellenadas, sobre estas zonas se están generando procesos de derrumbes o hundimientos.

A continuación, se describen los peligros geológicos recientes y potenciales en el distrito de San Isidro (**Plano PD.PGRP-SI23**):

5.6.1 Peligros recientes por movimientos en masa en el distrito de San Isidro

Los principales peligros geológicos identificados como caídas de tipo derrumbes de suelos y rocas.

5.6.1.1 Caída de suelos y rocas

La caída de suelos y rocas en el acantilado del distrito de San Miguel se desarrollan en taludes con pendientes muy escarpadas, además de la influencia de procesos de erosión marina y factores de tipo antrópico. Estos procesos originan derrumbes que fueron identificados y cartografiados en base a imágenes satelitales.

5.6.1.1.1 Derrumbes

Se cartografiaron e inventariaron mediante imágenes satelitales multitemporales con rangos de 10 a 20 años, desde el año 2000 a la actualidad. Se identificó 01 derrumbe, esto ocurre debido a la existencia a cobertura vegetal sobre relieves con pendientes moderadas (figura 307).

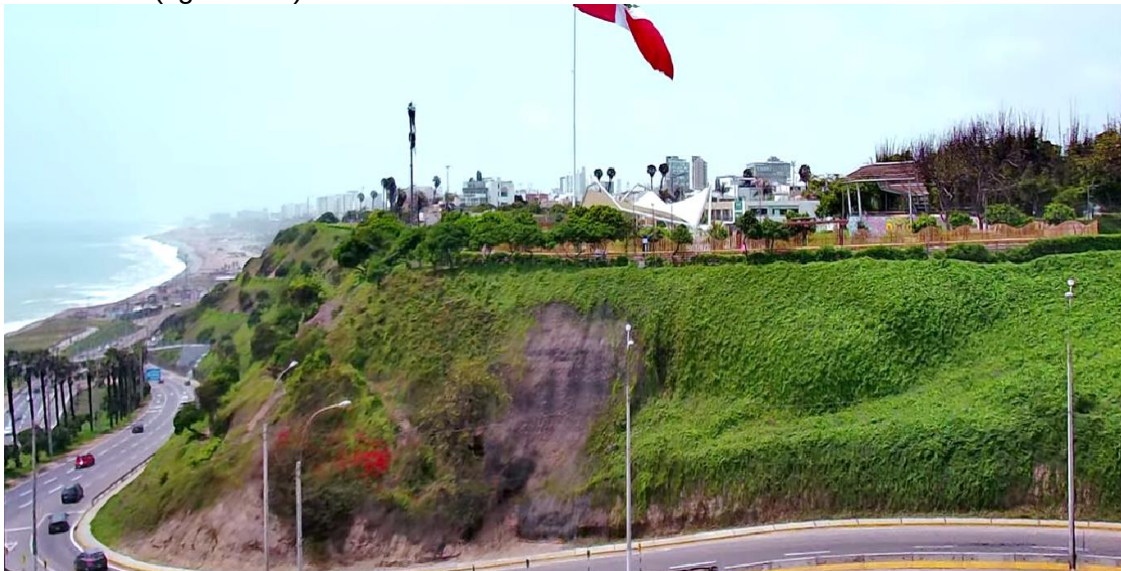


Figura 307. Derrumbe en la bajada a playa los delfines en el distrito de San Isidro.

5.6.1.2 Escarpes activos y agrietamientos

La formación de escarpes y agrietamientos con las principales evidencias de la ocurrencia de movimientos en masa como los deslizamientos, la formación de planos de fallas superficiales o profundos desplazan masas de sedimentos o materiales de diferente origen. Las características geomecánicas de los suelos y sedimentos

condicionan la formación de deslizamientos que son desencadenados por el incremento de humedad, saturamiento de suelos proveniente del regadío de parques y sismos de regular a mediana magnitud (figura 308).



Figura 308. *Grietas longitudinales con aberturas de pocos centímetros.*

Se identificaron 02 escarpes con forma circular con una orientación noroeste a sureste con desplazamientos de pocos centímetros (figura 309).



Figura 309. *Las grietas tienen forma circular y elongada desplazando pisos, veredas y sardineles.*

Los escarpes identificados se ubican en el parque Mahatma Ghandi y el parque Virgen María, tienen longitudes de 21 y 26 m.

Las grietas son los primeros indicadores de deformaciones que pueden llegar a definir la corona o zona de arranque de un deslizamiento. Las aberturas son desencadenadas por la infiltración de agua al subsuelo, en el interior los sedimentos se erosionan originando vacíos (figura 310).



Figura 310. Pistas, veredas, sardineles y paredes con presencia de grietas que se alinean y siguen direcciones de falla de tipo circular, en las inmediaciones del parque de la Pera.

5.6.2 Peligros potenciales por movimientos en masa en el distrito de San Isidro

En los primeros trabajos de gabinete basados en las fotografías aéreas de 1943 y 1960 se identificaron zonas de relleno antropogénico de quebradas y cárcavas antiguas.

Se identificaron potenciales zonas de deslizamientos de tipo rotacional, deslizamientos-derrumbes, hundimientos y escarpes proyectados los cuales se describen a continuación:

5.6.2.1 Deslizamiento

Es un movimiento ladero abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante. Se identificaron 5 deslizamientos, de los cuales se determinaron 4 potenciales deslizamientos de tipo rotacional y 1 deslizamiento-derrumbe.

5.6.2.1.1 Deslizamiento rotacional

Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. Los movimientos en masa rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal (figura 311).



Figura 311. Vista de una potencial zona de deslizamiento próxima al parque de La Pera.

Se ha proyectado un área total de 10279 m² que podrían verse afectados por un

potencial deslizamiento de tipo rotacional, este tipo de movimiento en masa se trasladaría hasta el pie del talud del acantilado ocupando el ancho de la vía costanera y parte de los parques. Las viviendas y edificios ubicados próximos a esta aéreas también pueden verse afectados.

5.6.2.2 Movimiento complejo

Los movimientos en masa complejos resultan de la ocurrencia de dos o más tipos de eventos geodinámicos, en el distrito de San Isidro se han estimado deslizamientos-derrumbes.

5.6.2.2.1 Deslizamiento-derrumbe

Se identificó 01 zona de potencial deslizamiento con posterior fase de derrumbe, condicionado a formas cóncavas en la parte alta del talud que podrían formar escarpes o zonas de arranque, los materiales se desplazarían por el talud con pendientes fuerte a muy escarpadas originando derrumbes que llegarían hasta la vía Costanera (figura 312).



Figura 312. Vista hacia la zona de un probable deslizamiento con fase de derrumbe.

5.6.3 Otros peligros geológicos

Las deformaciones gravitacionales profundas son movimientos muy lentos y extensos de grandes masas rocosas en donde no se distingue una superficie de falla, aunque pueden ser precursores de deslizamientos de gran magnitud.

5.6.3.1 Hundimiento

Los hundimientos están condicionados por la presencia de antiguas quebradas, cárcavas y zonas de extracción de materiales identificadas en las fotografías aéreas de los años 1943 y 1960; estas fueron rellenadas. Además, se identificaron terrazas bajas que fueron extendiéndose y ocupando área hacia al mar cuyo suelo de cimentación base está constituido por depósitos marinos.

Se identificaron 10 zonas con potencial de hundimientos, 4 de ellas fueron identificadas como cárcavas o antiguas quebradas y 6 fueron antiguos rellenos o zonas de extracción de materiales probablemente antiguas ladrilleras, se tiene un peligro moderado a alto de inducir daños hacia las estructuras de las áreas urbanas ubicadas sobre estas áreas (figuras 313 y 314).



Figura 313. Hundimientos inventariados sobre antiguas cárcavas.



Figura 314. Hundimiento de forma circular en el Parque Mahatma Gandhi. Posiblemente corresponda a un deslizamiento en relleno antrópico.

5.6.3.2 Escarpe proyectado

Mediante la superposición de las fotografías aéreas de los años 1943, 1960 y la ortofoto del año 2021, las grietas coinciden con límite del antiguo acantilado ubicado hasta antes del año 2002, por tanto, se infiere que esta zona indica zonas inestables donde se pueden formar planos de falla originando deslizamientos.

Se han proyectado 33 escarpes proyectados que se infieren como zonas inestables donde antes existían antiguas cárcavas que pueden producir zonas de fallas por deslizamientos o derrumbes (figura 315).



Figura 315. Ortofoto del año 1943 y la ortofoto actual donde se proyectaron escarpes de arranque de antiguas cárcavas.

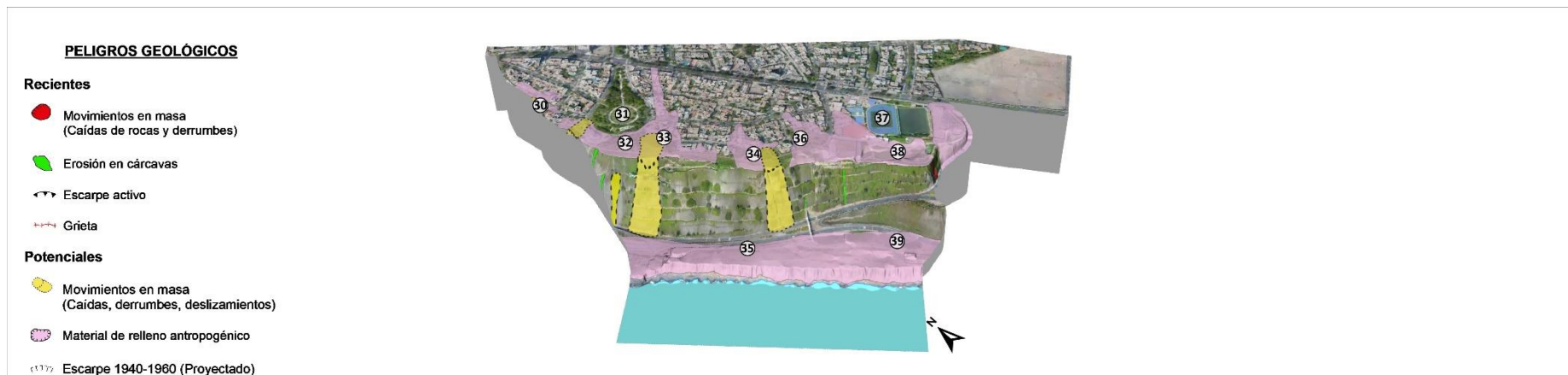


Figura 316. Peligros geológicos recientes y potenciales identificados entre los años 1943 y 1960 por zonas de rellenos antropicos. En la cartografía actual se observan grietas, escarpes y leves subsidencias que indican zonas de potenciales deslizamientos.

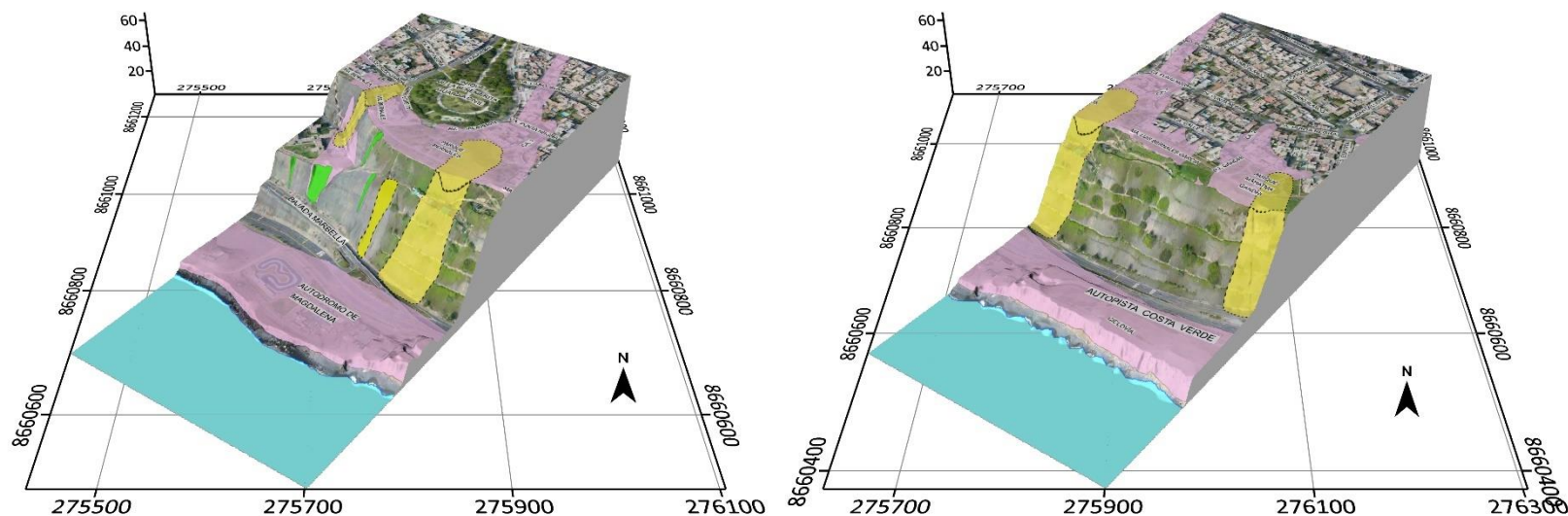


Figura 317. Sección SI-01, cárcavas extintas y potenciales zonas de deslizamientos y hundimientos. Sección SI-02, entre el Parque de la Pera y Parque Mahatma Gandhi, zona de relleno antropico donde pueden ocurrir hundimientos y deslizamientos potenciales.

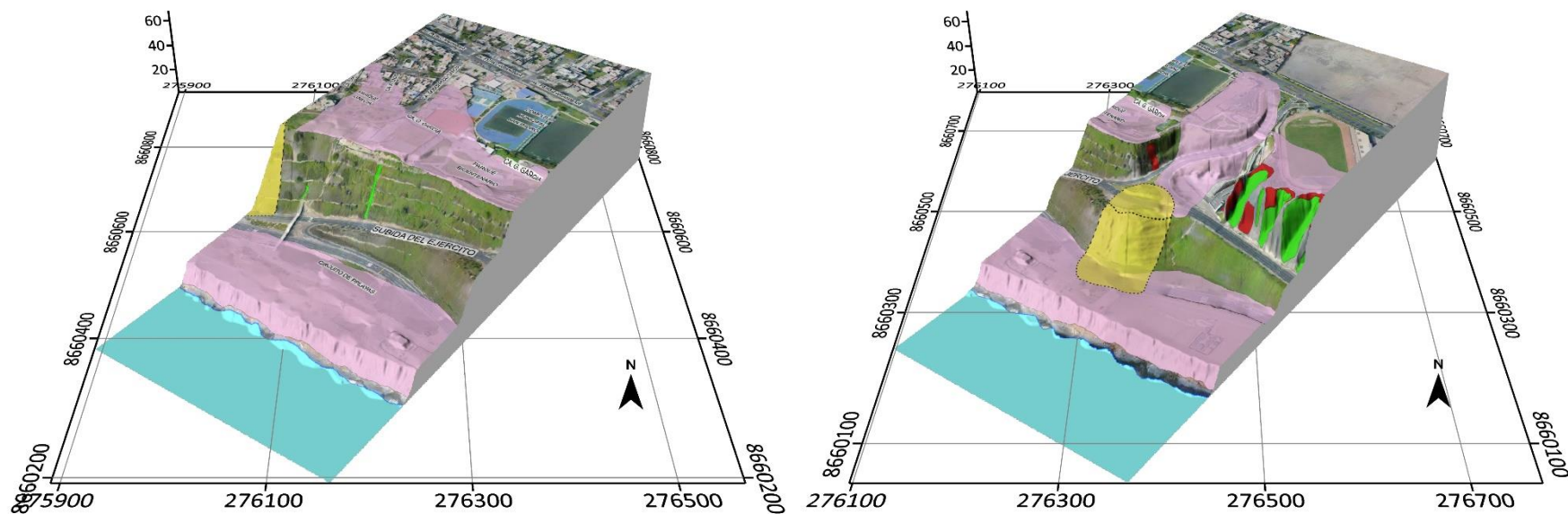


Figura 318. Sección SI-03, ubicado en el Parque Bicentenario se identificaron zonas de potenciales hundimientos por rellenos antropogénicos. Sección SI-04 ubicado en la bajada del Ejercito se identificó potenciales zonas de hundimientos por rellenos antrópicos y un deslizamiento en el óvalo donde se cartografiaron grietas semicirculares que infieren un potencial deslizamiento afectando una vía de evacuación muy importante.

5.7 Peligros geológicos antiguos en el distrito de Miraflores

Se describen los movimientos en masa identificados a lo largo de los acantilados del distrito de Miraflores identificados en los ortomosaicos de 1943 y 1960, además de imágenes satelitales del año 2000 (**Plano PD.PGA-M24**):

5.7.1 Peligros por movimientos en masa en el distrito de Miraflores

Los peligros geológicos reconocidos en el distrito de Miraflores corresponden a movimientos en masa de tipo caídas (derrumbes) y deslizamientos - derrumbes denominados como movimientos en masa complejos (PMA: GCA, 2007). Además, se identificaron procesos de erosión en cárcavas y surcos.

Están condicionados a las formas del relieve, pendiente del terreno, tipo de roca, tipo de suelos y cobertura vegetal. El factor desencadenante de estos eventos son los sismos de mediana a regular magnitud; además de la saturación de suelos generada por la infiltración de agua de escorrentía proveniente del regadío de jardines y parques.

Además, por la ubicación geográfica de la zona de evaluación, la geodinámica está influenciada por otros factores hidrogeológicos como la humedad, el agua superficial en forma de escorrentía y el agua subterránea.

5.7.1.1 Caída de suelos y rocas

La caída es un movimiento en masa que involucra a uno o varios bloques de roca o suelo que se desprenden de una ladera, no existe un plano de desplazamiento cortante. El material cae desplazándose por el aire, y puede efectuar golpes, rebotes o rodamiento; en el distrito de Miraflores tenemos caída de rocas y derrumbes.

5.7.1.1.1 Derrumbes

Corresponde al desplazamiento ladera debajo de masas de roca, suelo o ambas, a lo largo de superficies irregulares de arranque o desplome como una sola unidad. Se identificaron 79 zonas de derrumbes en la totalidad del acantilado perteneciente al tramo del distrito de Miraflores (figura 319).



Figura 319. Vista hacia la bajada Balta donde se observan derrumbes en el borde del acantilado.

5.7.1.2 Movimientos complejos

Consisten en la ocurrencia y combinación de dos tipos de movimientos en masa, mediante el análisis de las fotografías aéreas de los años 1943 y 1960, los eventos geodinámicos identificados fueron catalogados como deslizamientos – derrumbes. En el tramo del acantilado correspondiente al distrito de Miraflores se identificaron 08 movimientos complejos.

5.7.1.2.1 Deslizamiento-derrumbe

En el distrito de Miraflores se identificaron 08 zonas de deslizamientos con posterior fase de derrumbes, los deslizamientos fueron inferidos debido a la geoforma de las zonas de arranque donde se muestran escarpes con formas circulares a semicirculares (figura 320).

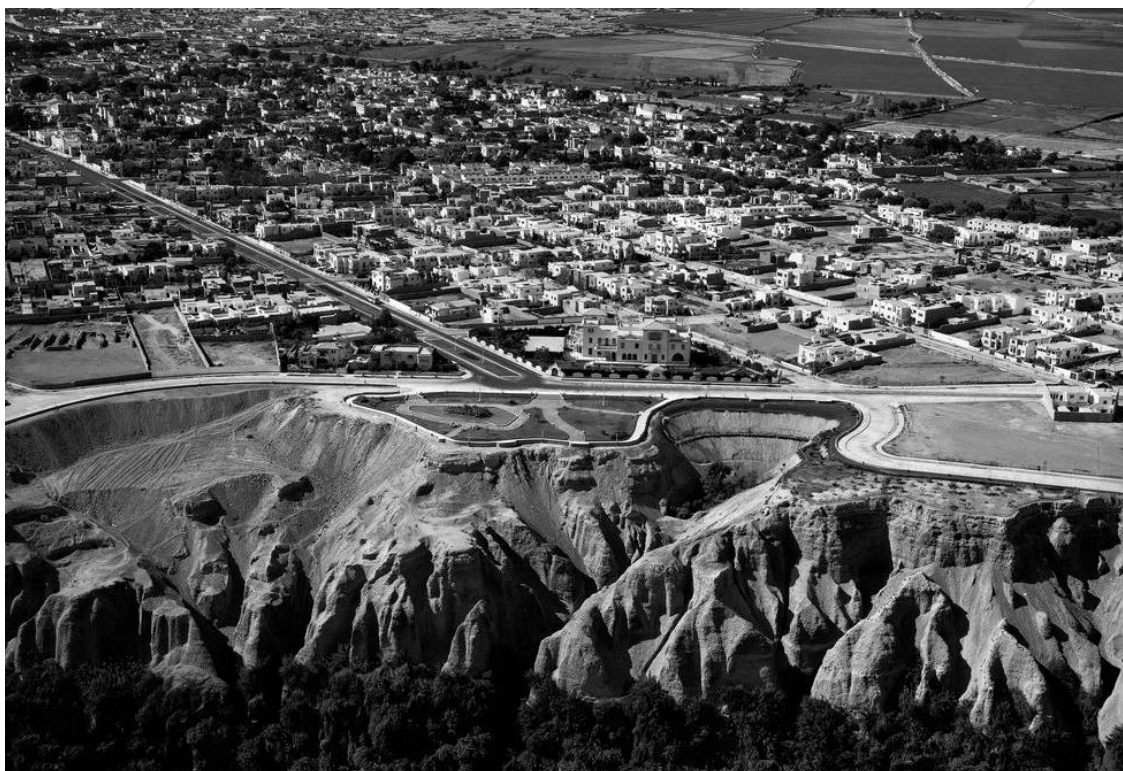


Figura 320. Vista hacia el acantilado en el distrito de Miraflores, actual Centro Comercial Larcomar.

5.7.2 Otros peligros geológicos en el distrito de Miraflores

5.7.2.1 Erosión de laderas

La erosión en laderas es originada por flujos de agua no drenada que fluye libremente en forma de escorrentía y cuya magnitud es incrementada por varios factores como el clima árido, suelos poco consolidados, escasa vegetación, vías de comunicación mal diseñadas, entre otro.

5.7.2.1.1 Erosión en cárcava y surco

Las incisiones en el relieve en forma de cárcavas o surcos se originan a partir de lluvias intensas que originan escorrentía superficial que fluye a través de suelos con escasa cobertura vegetal, los cursos de agua fluyen hacia un punto de equilibrio, si el caudal se incrementa el canal se ensancha y profundiza incrementando la pendiente.

En el distrito de Miraflores, se identificaron 575 zonas de erosión en cárcavas y además de 43 zonas de surcos con mayor incidencia en pendientes bajas a llanas (figura 321).



Figura 321. Vista hacia el acantilado donde se observan cárcavas y surcos en el distrito de Miraflores.

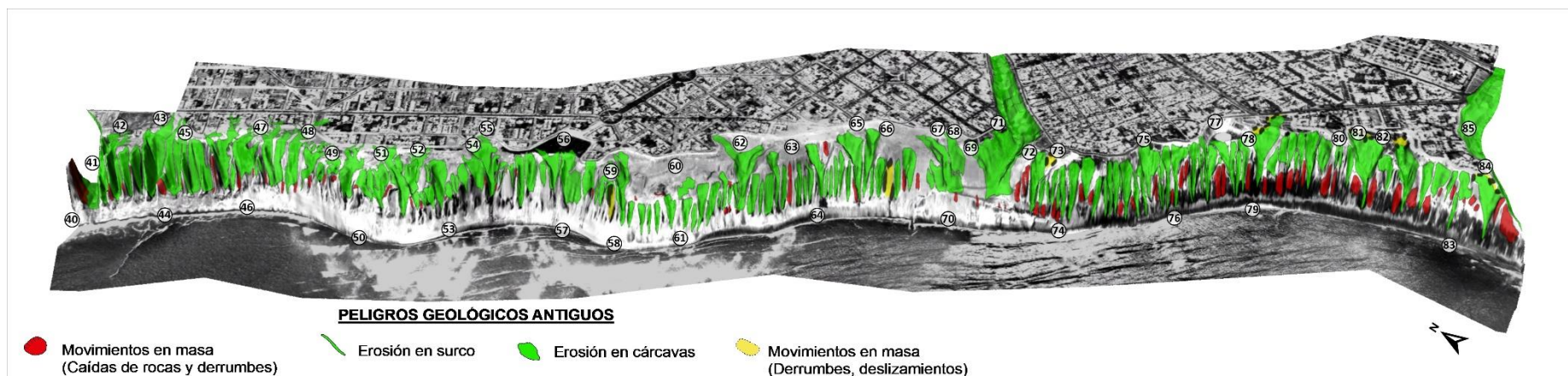


Figura 322. Peligros geológicos identificados en las ortofotos de los años 1943 y 1960 en el distrito de Miraflores.

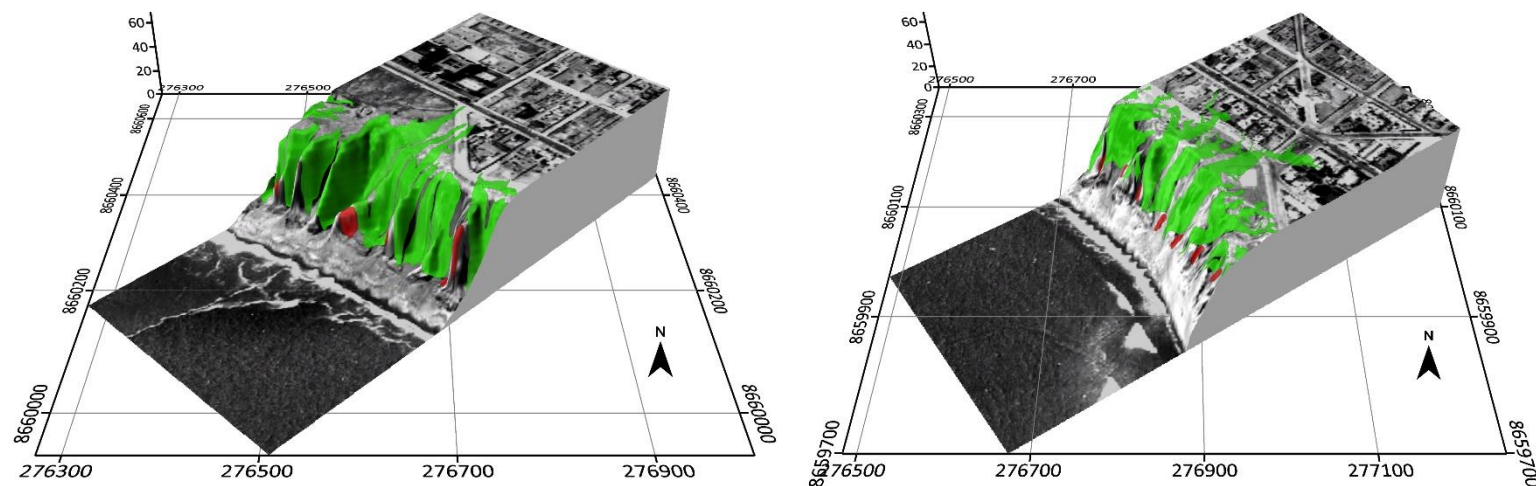


Figura 323. Sección MI-01 ubicado en el Complejo Manuel Bonilla donde se identificaron extensas cárcavas. Sección MI-02 ubicada en el Parque Malecón La Marina se identificaron caídas de rocas, derrumbes y cárcavas que se extienden hacia la planicie aluvial en el distrito de Miraflores.

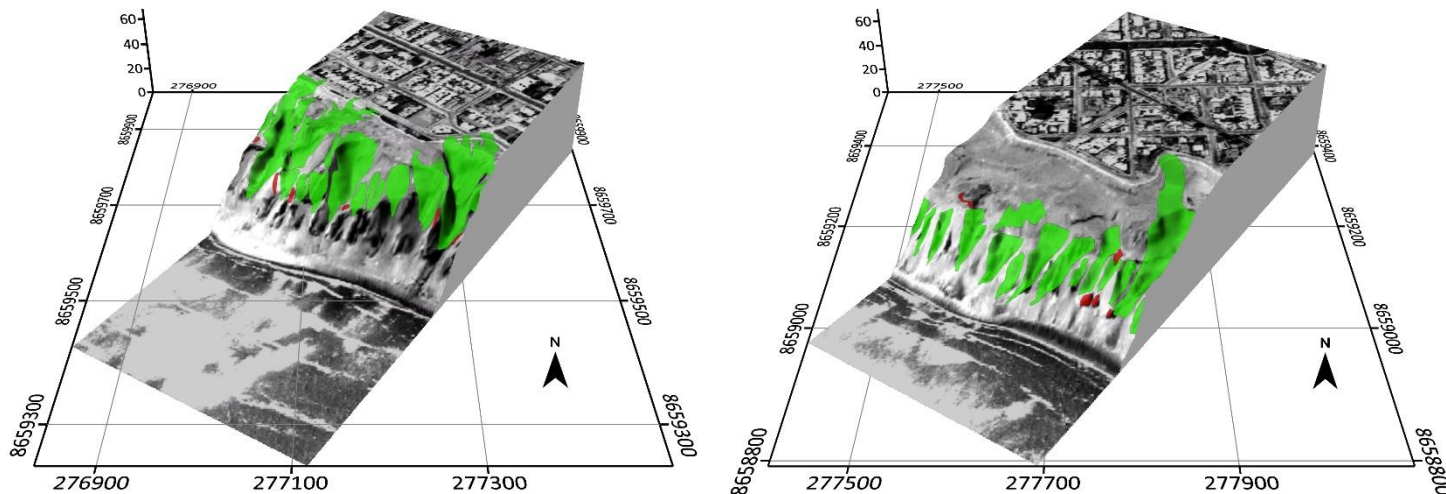


Figura 324. Sección MI-03 ubicada entre el Parque María Reiche y Playa Los Delfines se identificaron cárcavas y derrumbes en el acantilado. En la Sección MI-04 se identificaron cárcavas que se extienden hasta la planicie aluvial a la altura de Playa Punta Roquitas en el distrito de Miraflores.

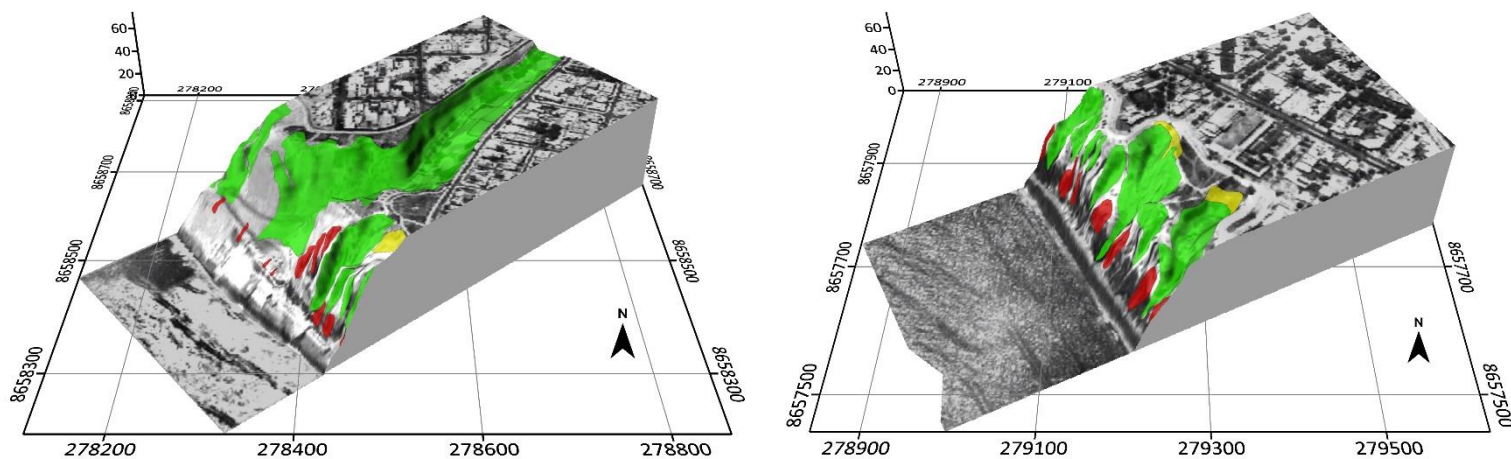


Figura 325. Sección MI-05 ubicado en la bajada Balta donde se infiere una extensa cárcava de 560 m de largo, además de caídas de rocas y derrumbes. Sección MI-06 ubicada entre el Mirador de La Reserva y el Parque Pedro Paulet se observan cárcavas y derrumbes en el distrito de Miraflores.

5.8 Peligros geológicos recientes y potenciales en el distrito de Miraflores

En este capítulo se describen los movimientos en masa identificados a partir del año 2000 hasta la actualidad, se recopilaron informes técnicos, imágenes satelitales y fotografías aéreas, los eventos geodinámicos identificados fueron denominados peligros geológicos recientes.

Además, en base a las fotografías aéreas de los años 1943-1960 y las imágenes satelitales disponibles antes del año 2000, se identificaron antiguos cauces de quebradas y cárcavas que fueron rellenadas, sobre estas zonas se cartografiaron zonas con peligro potencial a generar procesos de deslizamientos o hundimientos.

A continuación, se describen los peligros geológicos recientes y potenciales en el distrito de Miraflores (**Plano PD.PGRP-M25**):

5.8.1 Peligros recientes por movimientos en masa en el distrito de Miraflores

Los principales peligros geológicos identificados como caídas de tipo derrumbes de suelos y rocas.

5.8.1.1 Caída de suelos y rocas

La caída de suelos y rocas en el acantilado de Miraflores se desarrollan en taludes con pendientes muy escarpadas, además de la influencia de procesos de erosión marina y factores de tipo antrópico. Estos procesos originan derrumbes que fueron identificados y cartografiados en base a imágenes satelitales.

5.8.1.1.1 Derrumbes

Se cartografiaron e inventariaron mediante imágenes satelitales multitemporales con rangos de 10 a 20 años, desde el año 2000 a la actualidad. Se identificaron 49 derrumbes, esto ocurre debido a la existencia a cobertura vegetal sobre relieves con pendientes moderadas, también por la acumulación de material de relleno sobre el borde del talud del acantilado.



Figura 326. Vista aérea de zonas de derrumbes en las inmediaciones del CC. Larcomar.

5.8.1.2 Escarpes activos y agrietamientos

La formación de escarpes y agrietamientos con las principales evidencias de la ocurrencia de movimientos en masa como los deslizamientos, la formación de planos de fallas superficiales o profundos desplazan masas de sedimentos o materiales de diferente origen. Las características geomecánicas de los suelos y sedimentos condicionan la formación de deslizamientos que son desencadenados por sismos; además de, la presencia de los regadíos de parques en forma abundante que saturan los terrenos.

Se ha cartografiado rellenos antrópicos antiguos que presenta agrietamientos, desde el estadio Manuel Bonilla, complejo deportivo Manuel Bonilla, estatua Carlos Alberto Izaguirre Alzamora, parque malecón de La Marina, complejo deportivo Chino Vásquez, malecón de La Marina, parque María Reiche, Skatepark Miraflores, parques Grau, Del Libro, Itzhak Rabin, de los Niños, canil de Miraflores, centro promotor de Tenis (Roland Parks Perú), faro de La Marina, parques Antonio Raimondiy del Amor, San Marcelino Champagnat, Letonia, Salazar y Domodossola.

En todos estos sectores se observan muros inclinados, grietas en muros de ladrillo y concreto, grietas en veredas cercanas al acantilado, hundimientos en pistas y veredas. Todas asociadas al relleno antrópico, que se encuentra esparcido sobre el borde del acantilado (figuras 327 y 328).

Las grietas son los primeros indicadores de deformaciones que pueden llegar a definir la corona o zona de arranque de un deslizamiento. Las aberturas son desencadenadas por la infiltración de agua al subsuelo, en el interior los sedimentos se erosionan originando vacíos.

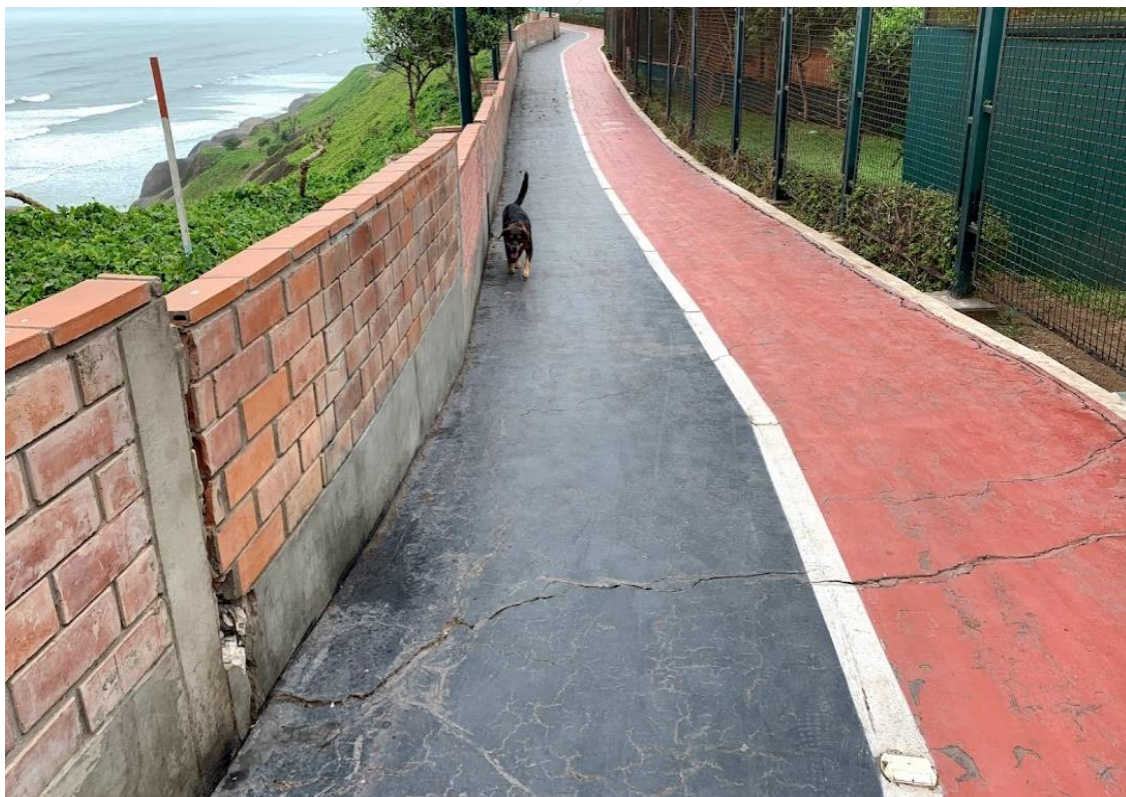


Figura 327. Grietas en muros y veredas, parte posterior de Roland Parks Perú.



Figura 328. *Inclinación de muros en parque Pedro Paulet.*

5.8.2 Peligros potenciales por movimientos en masa en el distrito de Miraflores

Mediante los trabajos de gabinete, se analizaron fotografías aéreas de 1943 y 1960 se identificaron zonas de relleno antropogénico de quebradas y cárcavas antiguas. Entre el año 1990 y 2001 se inició una fuerte actividad antrópica con la movilización y depositación de materiales de desmonte extraídos de obras realizadas en la vía expresa, estos materiales fueron utilizadas para ampliar planicies, terrazas y terraplenes, de esta forma se ampliaron áreas verdes y parques.

La ampliación de estas zonas ha originado peligros geológicos potenciales que se expresan sobre la superficie a través de grietas y asentamientos, los peligros geológicos potenciales se han proyectado a través de la cartografía multitemporal de varias capas como la geomorfología y la geología.

Se identificaron potenciales zonas de deslizamientos de tipo rotacional, deslizamientos-derrumbes, hundimientos y escarpes proyectados los cuales se describen a continuación:

5.8.2.1 Deslizamiento

Es un movimiento ladero abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante. Se identificaron 26 deslizamientos, de los cuales se determinaron 2 potenciales deslizamientos de tipo rotacional y 24 deslizamientos-derrumbes.

5.8.2.1.1 Deslizamiento rotacional

Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. Los movimientos en masa rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal.

Se ha identificado un agrietamiento en forma de herradura (20 m a 25 m), lo cual se infiere corresponde a la zona de arranque de un deslizamiento rotacional activo, desarrollado sobre relleno antrópico. La zona de arranque se ubica en la parte posterior del complejo deportivo Manuel Bonilla. Se ha observado también un hundimiento de la masa inestable, por lo que califica como una zona de peligro alto (figura 329).



Figura 329. Escarpa de deslizamiento generado sobre rellenos antrópicos, parte posterior del complejo deportivo Manuel Bonilla.

5.8.2.2 Movimientos complejos

Los movimientos en masa complejos resultan de la ocurrencia de dos o más tipos de eventos geodinámicos, en el distrito de Miraflores se han estimado deslizamientos-derrumbes.

5.8.2.2.1 Deslizamiento-derrumbe

Se identificaron 24 zonas de deslizamientos-derrumbes, un punto crítico se ubica en la intersección del Malecón de La Reserva y Calle Porta, motivo por lo cual se ha habilitado un pase aéreo, se infiere la ocurrencia de un deslizamiento derrumbe en zonas de rellenos de antiguas cárcavas y donde existen evidencia de grietas y leves hundimientos en la parte superior del talud (figura 330).



Figura 330. Pase aéreo sobre derrumbe en la intersección del malecón de La Reserva y calle Porta.

5.8.3 Otros peligros geológicos

Las deformaciones gravitacionales profundas son movimientos muy lentos y extensos de grandes masas rocosas en donde no se distingue una superficie de falla, aunque pueden ser precursores de deslizamientos de gran magnitud.

5.8.3.1 Hundimiento

Los hundimientos están condicionados por la presencia de antiguas quebradas, cárcavas y zonas de extracción de materiales identificadas en las fotos aéreas de los años 1943 y 1960; estas fueron rellenadas. Además, se identificaron terrazas bajas que fueron extendiéndose y ocupando área hacia al mar cuyo suelo de cimentación base está constituido por depósitos marinos.

Se identificaron 09 zonas con potencial de hundimientos, 5 de ellas fueron identificadas como cárcavas o antiguas quebradas y 4 fueron antiguos rellenos o zonas de extracción de materiales probablemente antiguas ladrilleras, se tiene un riesgo moderado a alto de inducir daños hacia las estructuras de las áreas urbanas ubicadas sobre estas áreas (figura 331).



Figura 331. Zona de potencial hundimiento en el Parque Antonio Raimondi.

5.8.3.2 Escarpe proyectado

Mediante la superposición de las fotografías aéreas de los años 1943, 1960 y la ortofoto del año 2021, las grietas coinciden con límite del antiguo acantilado ubicado hasta antes del año 2002, por tanto, se infiere que esta zona indica zonas inestables donde se pueden formar planos de falla originando deslizamientos.

Se han proyectado varios escarpes proyectados que se infieren como zonas inestables donde antes existían antiguas cárcavas que pueden producir zonas de fallas por deslizamientos o derrumbes (figura 332).



Figura 332. Rellenos antrópicos esparcidos sobre el acantilado, parque María Reiche.

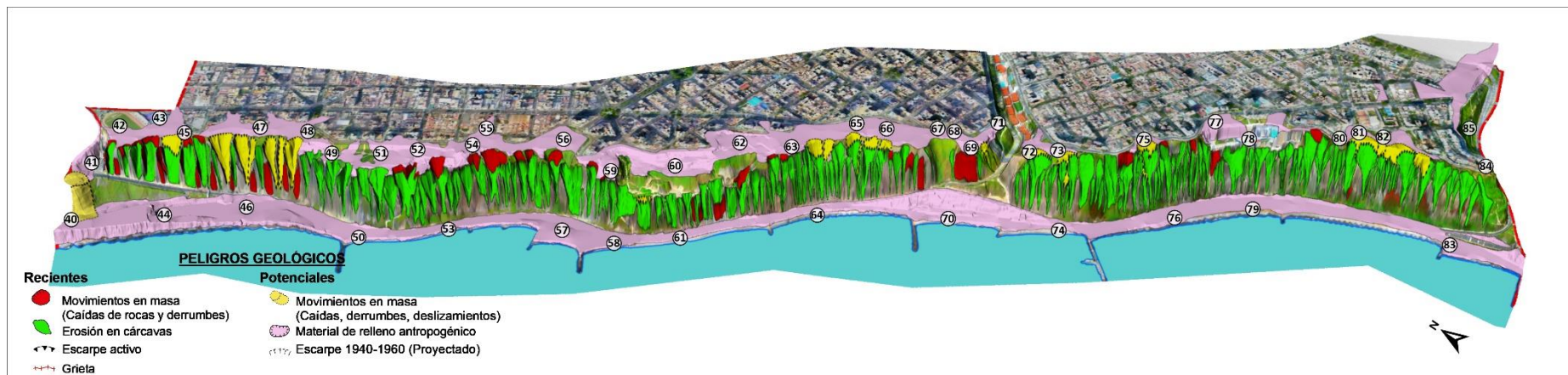


Figura 333. Peligros geológicos recientes y potenciales en el distrito de Miraflores.

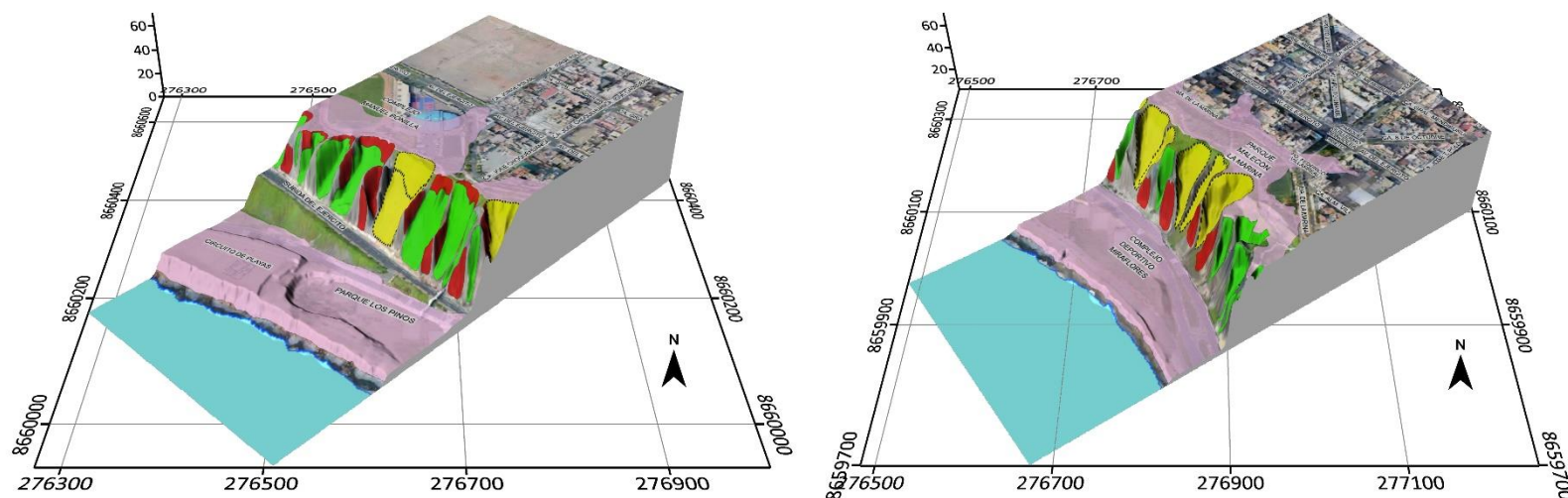


Figura 334. Sección MI-01 se identificaron potenciales hundimientos y deslizamientos en el Complejo Manuel Bonilla, además de caídas y derrumbes en el acantilado. Sección MI-02 en el acantilado en el distrito de Miraflores, se identificaron potenciales hundimientos en el Malecón de la Marina, además de deslizamientos-derrumbes.

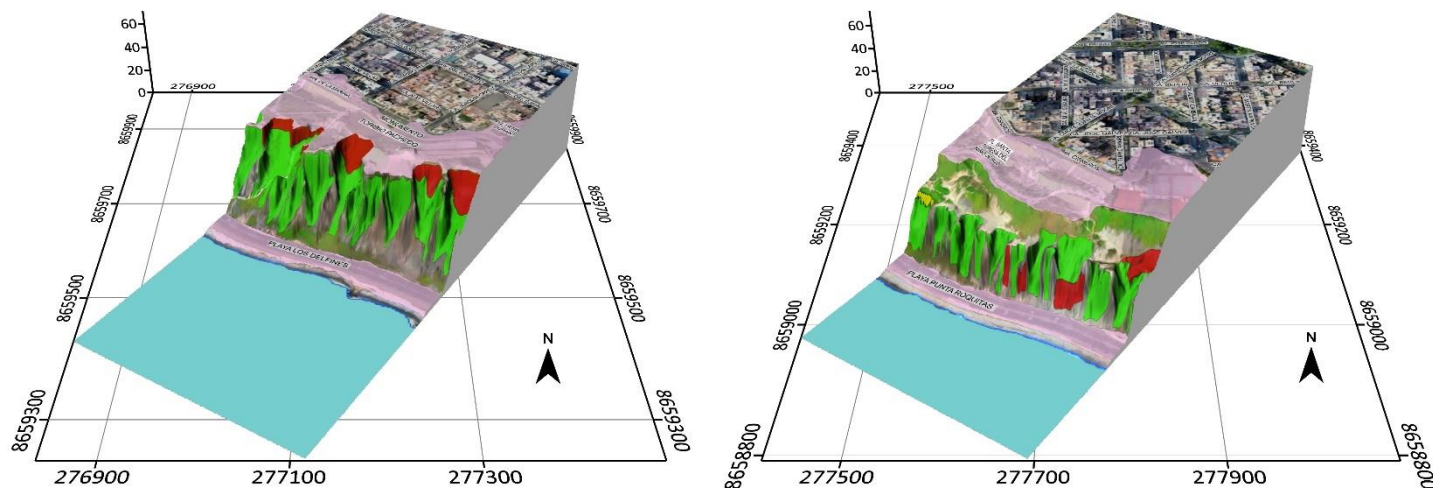


Figura 335. Sección MI-03 entre Malecón Toribio Pacheco y Playa Los Delfines se identificaron potenciales hundimientos y deslizamientos, además de cárcavas y caídas en el borde del acantilado. Sección MI-04 se identificaron potenciales hundimientos en el Parque Santa Teresa y Playa Punta Roquitas, además caídas en el acantilado.

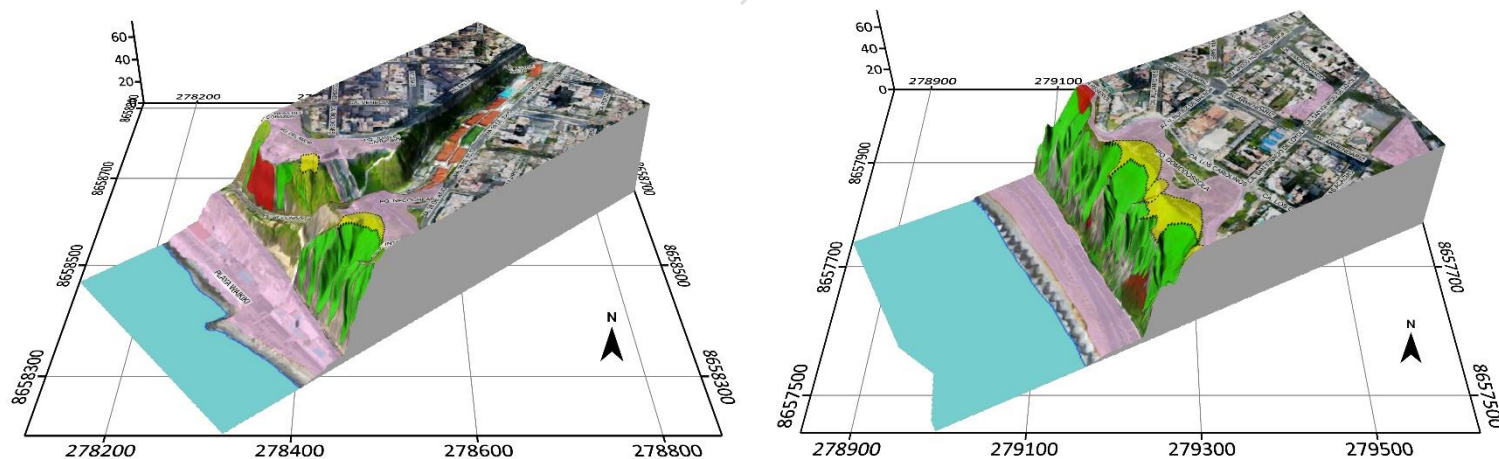


Figura 336. Sección MI-05 se identificaron potenciales hundimientos y deslizamientos-derrumbes en las inmediaciones de Bajada Balta. Sección MI-06 se infieren zonas de potenciales hundimientos, además de cárcavas y caídas en el acantilado en el distrito de Miraflores.

5.9 Peligros geológicos antiguos en el distrito de Barranco

A continuación, se describen los movimientos en masa identificados a lo largo de los taludes del distrito de Barranco desde el año 1943 hasta el año 2000 (**Plano PD.PGA-B26**):

5.9.1 Peligros por movimientos en masa en el distrito de Barranco

Los peligros geológicos reconocidos en el distrito de Barranco corresponden a movimientos en masa de tipo caídas (derrumbes) y deslizamientos - derrumbes denominados como movimientos en masa complejos (PMA: GCA, 2007). Además, se identificaron procesos de erosión en cárcavas y surcos.

Los movimientos en masa están condicionados a las formas del relieve, pendiente del terreno, tipo de roca, tipo de suelos y cobertura vegetal. El factor desencadenante de estos eventos son los sismos; además de la infiltración de agua al subsuelo producto del agua de escorrentía generada por el regadío de parques.

Además, por la ubicación geográfica de la zona de evaluación, la geodinámica está influenciada por otros factores hidrogeológicos como la humedad, el agua superficial en forma de escorrentía y el agua subterránea; además de la brisa marina y el oleaje.

5.9.1.1 Caída de suelos y rocas

La caída es un movimiento en masa que involucra a uno o varios bloques de roca o suelo que se desprenden de una ladera, no existe un plano de desplazamiento cortante. El material cae desplazándose por el aire, y puede efectuar golpes, rebotes o rodamiento; las caídas se subdividen en tres tipos: aludes, caída de rocas y derrumbes.

5.9.1.1.1 Derrumbes

Corresponde al desplazamiento ladera debajo de masas de roca, suelo o ambas, a lo largo de superficies irregulares de arranque o desplome como una sola unidad. Se identificaron 28 zonas de derrumbes ubicadas en taludes con pendientes muy fuertes a muy escarpadas (figura 337).



Figura 337. Zonas de derrumbes en el acantilado del distrito de Barranco, donde se observan pendientes muy escarpadas.

5.9.1.2 Movimientos complejos

Consisten en la ocurrencia y combinación de dos tipos de movimientos en masa, mediante el análisis de las fotos aéreas de los años 1943 y 1960, los eventos geodinámicos identificados fueron catalogados como deslizamientos – derrumbes.

5.9.1.2.1 Deslizamiento-derrumbe

En el distrito de Barranco se identificaron 11 zonas de deslizamientos con posterior fase de derrumbes, los deslizamientos fueron inferidos debido a la geoforma de las zonas de arranque donde se muestran escarpes con formas circulares a semicirculares (figura 338).

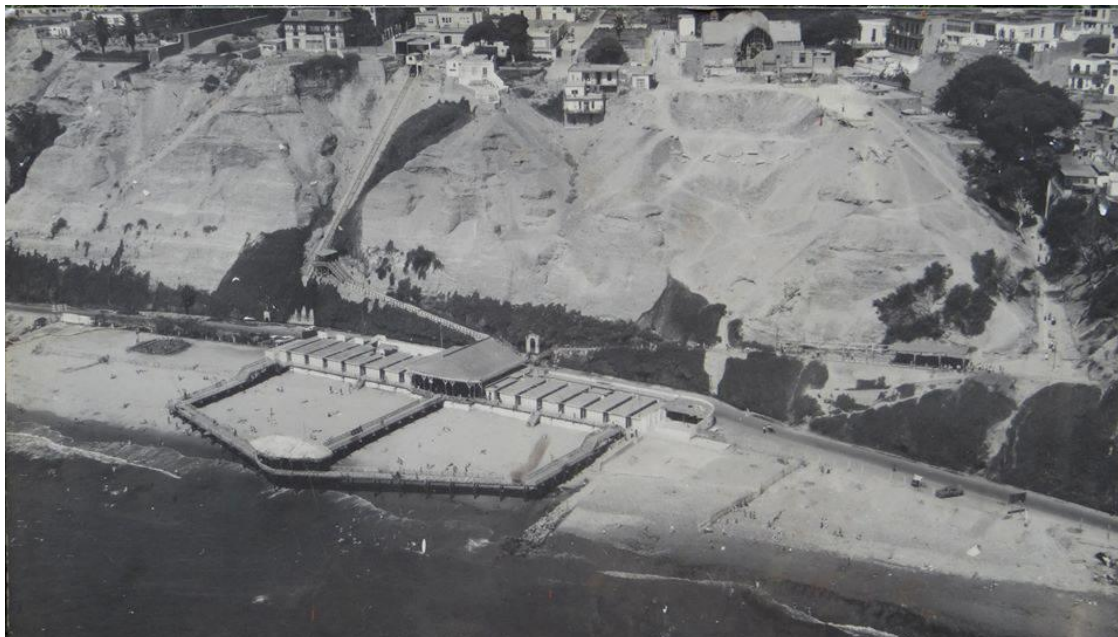


Figura 338. Zonas de probables deslizamientos y derrumbes en el acantilado del distrito de Barranco, altura de Bajada de Baños.

5.9.2 Otros peligros geológicos en el distrito de Barranco

5.9.2.1 Erosión de laderas

La erosión en laderas es originada por flujos de agua no drenada que fluye libremente en forma de escorrentía y cuya magnitud es incrementada por varios factores como el clima árido, suelos poco consolidados, escasa vegetación, vías de comunicación mal diseñadas, entre otro.

5.9.2.1.1 Erosión en cárcava y surco

Las incisiones en el relieve en forma cárcavas o surcos se originan a partir de lluvias intensas que originan escorrentía superficial que fluye a través de suelos con escasa cobertura vegetal, los cursos de agua fluyen hacia un punto de equilibrio, si el caudal se incrementa el canal se ensancha y profundiza incrementando la pendiente.

En el distrito de Barranco, se identificaron 47 zonas de erosión en cárcavas y surcos con mayor incidencia en pendientes bajas a llanas entre la planicie aluvial y el borde del acantilado donde la pendiente cambia a muy escarpada (figura 339).



Figura 339. Zonas de cárcavas y surcos en el acantilado de la Costa Verde, que erosionan hasta la planicie aluvial hasta el pie del acantilado en el distrito de Barranco.

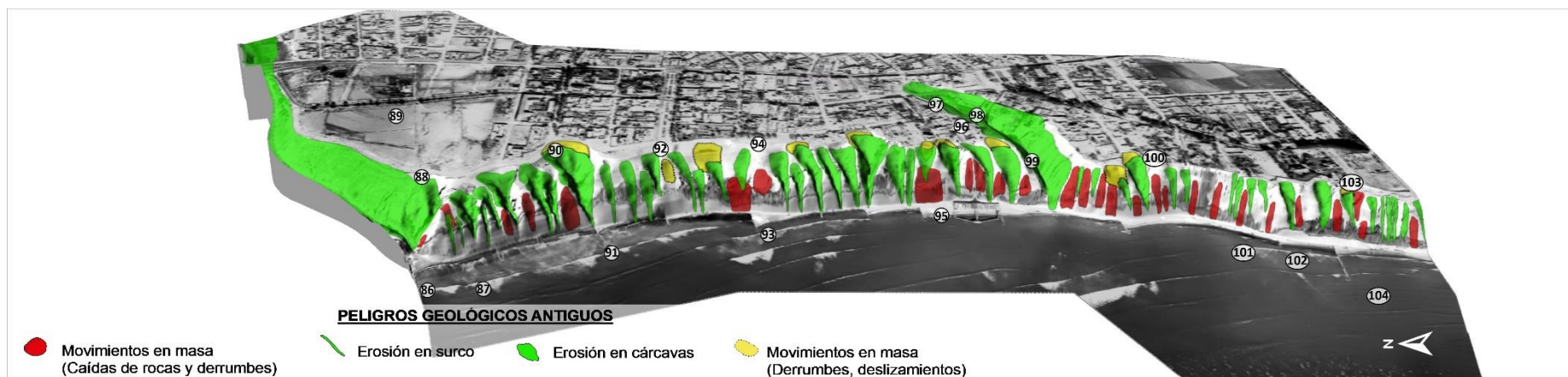


Figura 340. Peligros geológicos antiguos en el distrito de Barranco, identificado entre el año 1943 y 1960.

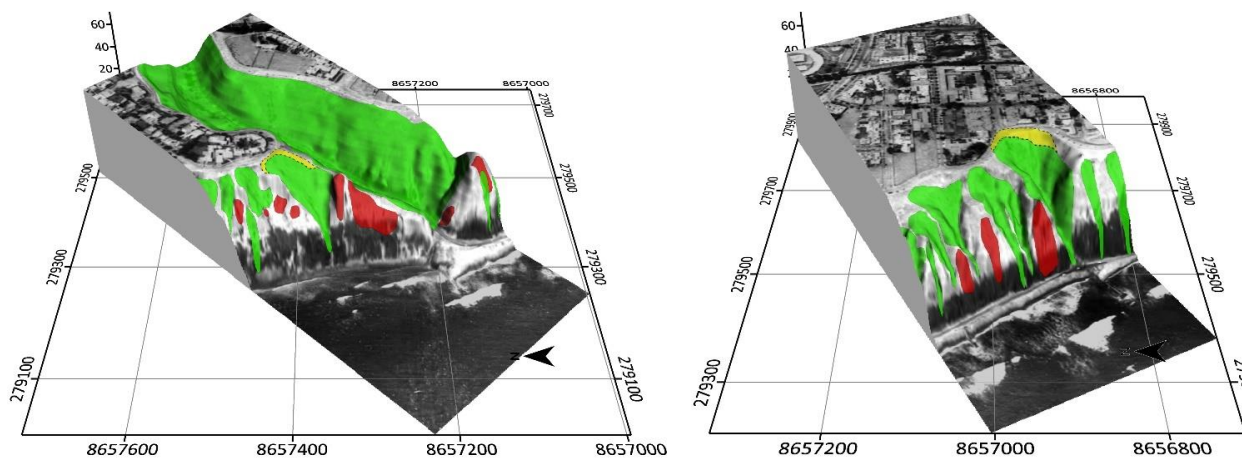


Figura 341. Sección B-01 se delimitó una cárcava con largo de 1 km y ancho de 150 m donde se ubica la Bajada de Armendáriz, además de caídas y derrumbes. Sección B-02 se identificaron cárcavas con longitudes de 149 m y ancho de 75 m, además se tienen caída de rocas y derrumbes en el sector Malecón Barranco y playa Barranquito.

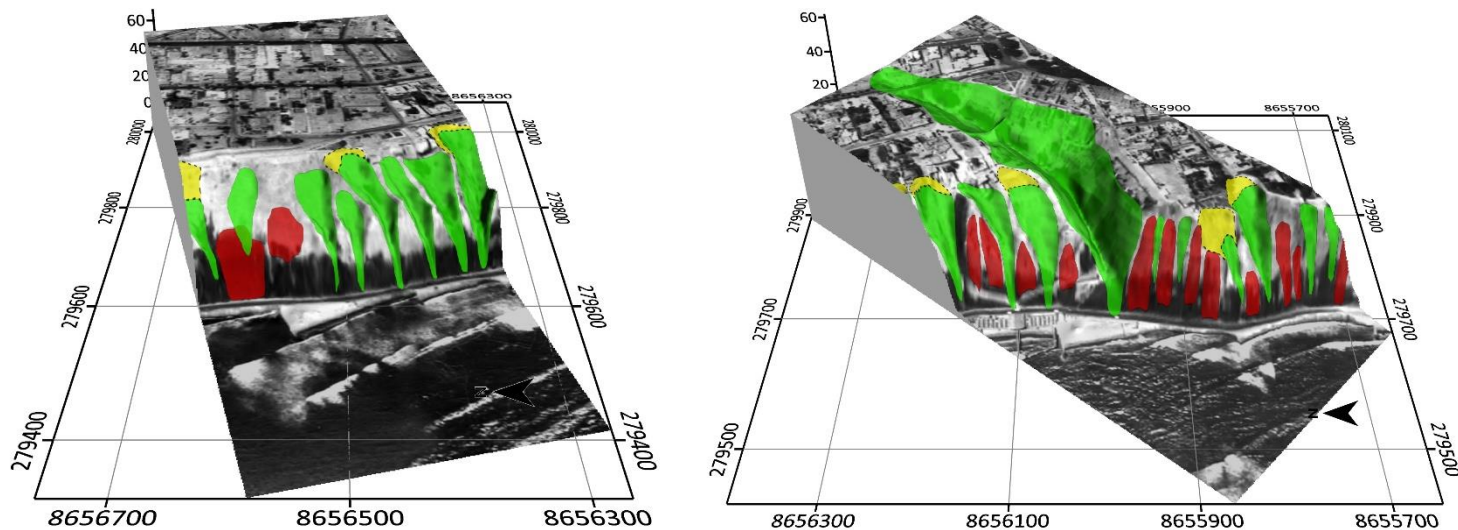


Figura 342. Sección B-03 se delimitaron varias cárcavas con longitudes entre 60 m y 115 m de largo y 50 m de ancho, además de caídas y derrumbes. Sección B-04 se observa una gran cárcava de 440 m de longitud que hoy es la "Bajada de Baños", además de caídas y derrumbes.

5.10 Peligros geológicos recientes y potenciales en el distrito de Barranco

En este capítulo se describen los movimientos en masa identificados a partir del año 2000 hasta la actualidad, se recopilaban informes técnicos, imágenes satelitales y fotografías aéreas, los eventos geodinámicos identificados fueron denominados peligros geológicos recientes.

Además, en base a las fotografías aéreas de los años 1943-1960 y las imágenes satelitales disponibles antes del año 2000, se identificaron antiguos cauces de quebradas y cárcavas que fueron rellenadas, sobre estas zonas se cartografiaron zonas con peligro potencial a generar procesos de deslizamientos o hundimientos.

A continuación, se describen los peligros geológicos recientes y potenciales en el distrito de Barranco (**Plano PD.PGRP-B27**):

5.10.1 Peligros recientes por movimiento en masa en el distrito de Barranco

Los principales peligros geológicos identificados como caídas de tipo derrumbes de suelos y rocas.

5.10.1.1 Caída de suelos y rocas

La caída de suelos y rocas en el acantilado de Barranco se desarrollan en taludes con pendientes muy escarpadas, además de la influencia de procesos de erosión marina y factores de tipo antrópico. Estos procesos originan derrumbes que fueron identificados y cartografiados en base a imágenes satelitales.

5.10.1.1.1 Derrumbes

Se cartografiaron e inventariaron mediante imágenes satelitales multitemporales con rangos de 10 a 20 años, desde el año 2000 a la actualidad. Se identificaron 41 derrumbes, esto ocurre debido a la verticalidad de los taludes y a la saturación de agua proveniente del regadío de jardines (figuras 343 y 344).



Figura 343. Zona de derrumbes en el acantilado del distrito de Barranco con pendientes muy escarpadas.



Figura 344. Derrumbes en las inmediaciones de Lima Marina Club y Playa Los Yuyos en el distrito de Barranco.

5.10.1.2 Escarpes activos y agrietamientos

La formación de escarpes y agrietamientos con las principales evidencias de la ocurrencia de movimientos en masa como los deslizamientos, la formación de planos de fallas superficiales o profundos desplazan masas de sedimentos o materiales de diferente origen. Las características geomecánicas de los suelos y sedimentos condicionan la formación de deslizamientos que son desencadenados por el incremento de humedad debido al regadío de parques y jardines y el agua de es, saturamiento de suelos o sismos (figuras 345, 346, 347 y 348).

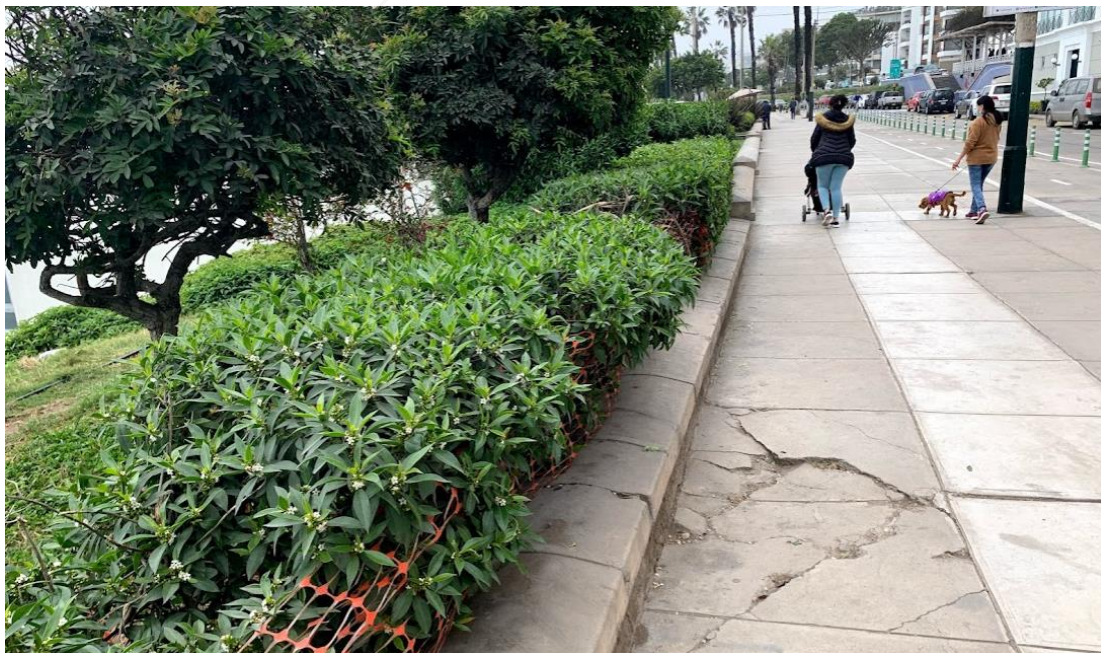


Figura 345. Grietas y asentamientos en veredas del Malecón Paul Harris.



Figura 346. Grietas en muros de malecón Souza.



Figura 347. Malecón de los ingleses con grietas por presencia de rellenos antrópicos.



Figura 348. Malecón Ramón Castilla con asentamientos por presencia de rellenos.

5.10.2 Peligros potenciales por movimiento en masa en el distrito de Barranco

En los primeros trabajos de gabinete basados en las fotografías aéreas de 1943 y 1960 se identificaron zonas de relleno antropogénico de quebradas y cárcavas antiguas.

Se identificaron potenciales zonas de deslizamientos de tipo rotacional, deslizamientos-derrumbes, hundimientos y escarpes proyectados los cuales se describen a continuación:

5.10.2.1 Deslizamientos

Es un movimiento ladero abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante. Se identificó un potencial deslizamiento rotacional.

5.10.2.1.1 Deslizamiento rotacional

Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. Los movimientos en masa rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y un contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal.

Las fotografías aéreas de los años 1943 y 1960 han permitido identificar una zona cóncava que fue rellena a través de los años, así se ha delimitado un potencial deslizamiento rotacional en el Parque Malecón de Barranco (figura 349).



Figura 349. Vista hacia una potencial zona de deslizamiento rotacional.

5.10.2.2 Movimientos complejos

Los movimientos en masa complejos resultan de la ocurrencia de dos o más tipos de eventos geodinámicos, en el distrito de Barranco se han estimado deslizamientos-derrumbes.

5.10.2.2.1 Deslizamiento-derrumbe

Se identificaron 26 zonas de potencial deslizamiento con posterior fase de derrumbe, condicionado a formas cóncavas en la parte alta del talud que podrían formar escarpes o zonas de arranque, los materiales se desplazarían por el talud con pendientes fuerte a muy escarpadas originando derrumbes que llegarían hasta la vía Costanera (figura 350).



Figura 350. Vista hacia la Bajada de Baños donde se identificaron 4 deslizamientos-derrumbes evidenciados en grietas semicirculares ubicadas en la parte alta del acantilado.

5.10.3 Otros peligros geológicos

Las deformaciones gravitacionales profundas son movimientos muy lentos y extensos de grandes masas rocosas en donde no se distingue una superficie de falla, aunque pueden ser precursores de deslizamientos de gran magnitud.

5.10.3.1 Hundimiento

Los hundimientos están condicionados por la presencia de antiguas quebradas, cárcavas y zonas de extracción de materiales identificadas en las fotografías aéreas de los años 1943 y 1960; con el paso del tiempo, estas zonas fueron rellenadas con materiales de diverso origen, y sin ningún control geotécnico. Además, se identificaron terrazas bajas que fueron extendiéndose y ocupando área hacia al mar. Posteriormente, fueron cubiertos por depósitos marinos Cuaternarios.

Los hundimientos observados se restringen a zonas con presencia de rellenos antrópicos, que se manifiestan como terrenos deformados (figura 351).



Figura 351. Malecón de Barranco con potencial de hundimiento, se aprecian grietas y subsidencias en la parte superior del acantilado.

5.10.3.2 Escarpe proyectado

Mediante la superposición de las fotografías aéreas de los años 1943, 1960 y la ortofoto del año 2021, las grietas coinciden con límite del antiguo acantilado ubicado hasta antes del año 2002, por tanto, se infiere que la zona es inestable, donde se pueden formar deslizamientos.

Se han proyectado 15 escarpes, se infiere como zonas inestables, son lugares o sectores donde existían cárcavas, que pueden generar deslizamientos o derrumbes (figuras 352 y 353).



Figura 352. Escarpe proyectado en la parte superior de la Bajada de Baños, se observó en las fotografías aéreas de los años 1943 y 1960 como rellenos que actualmente delimitan potenciales escarpes.



Figura 353. Malecón de Barranco donde se identifican potenciales escarpes proyectados en base a la superposición de fotografías aéreas de los años 1943 y 1960 y la cartografía actual.



Figura 354. Peligros geológicos recientes y potenciales en el distrito de Barranco.

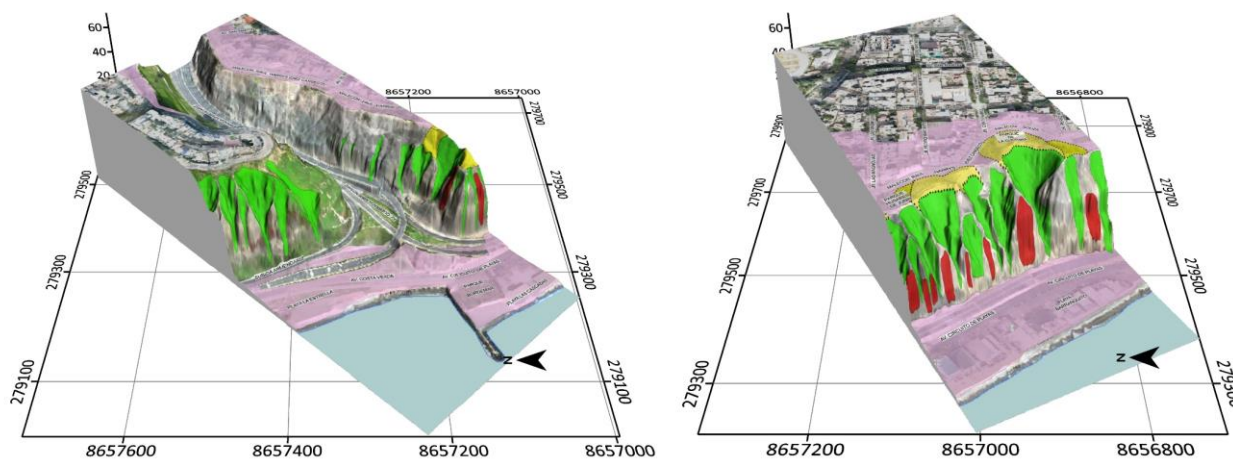


Figura 355. Sección B-01 ubicada en la Bajada de Armendáriz, se identificaron erosión en cárcava y potenciales hundimientos, además de deslizamientos-derrumbes y caída de rocas. Sección B-02 se identificaron deslizamientos-derrumbes, caída de rocas y zonas de potenciales hundimientos en las inmediaciones del sector Malecón de Barranco.

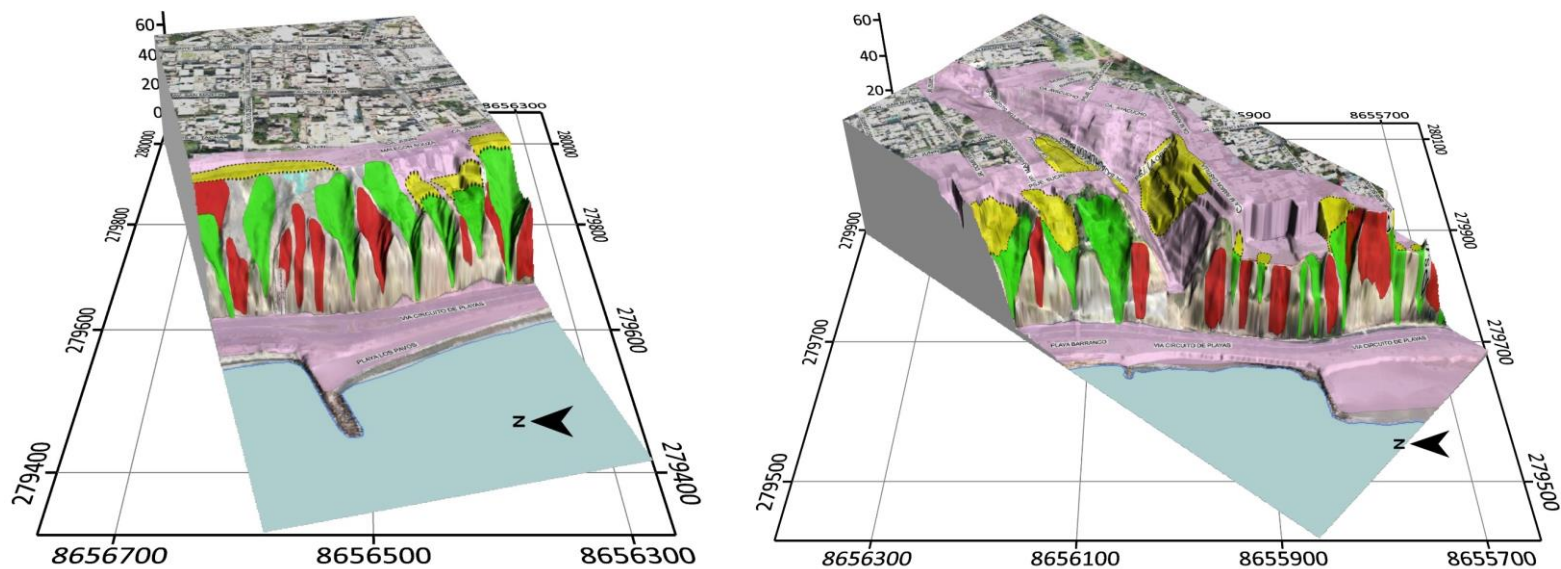


Figura 356. Sección B-03 ubicado en el Malecón Souza se identificaron deslizamientos-derrumbes, caída de rocas y zonas de potenciales hundimientos. Sección B-04 se delimitaron deslizamientos-derrumbes, caída y erosión en cárcavas en las inmediaciones de la Bajada de Baños en el distrito de Barranco.

5.11 Peligros geológicos antiguos en el distrito de Chorrillos

A continuación, se describen los movimientos en masa identificados a lo largo de los taludes del distrito de Chorrillos desde el año 1943 hasta el año 2000 (**Plano PD.PGA-CH28**):

5.11.1 Peligros por movimientos en masa en el distrito de Chorrillos

Los peligros geológicos reconocidos en el distrito de Chorrillos corresponden a movimientos en masa de tipo caídas (derrumbes) y deslizamientos - derrumbes denominados como movimientos en masa complejos (PMA: GCA, 2007). Además, se identificaron procesos de erosión en cárcavas y surcos.

Los movimientos en masa están condicionados a las formas del relieve, la pendiente del terreno, tipo de roca, tipo de suelos y cobertura vegetal. El factor desencadenante de estos eventos son los sismos de mediana y regular magnitud; además de, la humedad generada por el regadío de jardines y parques.

Además, por la ubicación geográfica de la zona de evaluación, la geodinámica está influenciada por otros factores hidrogeológicos como la humedad, el agua superficial en forma de esorrentía y el agua subterránea; además de la brisa marina y el oleaje.

5.11.1.1 Caída de suelos y rocas

La caída es un movimiento en masa que involucra a uno o varios bloques de roca o suelo que se desprenden de una ladera, no existe un plano de desplazamiento cortante. El material cae desplazándose por el aire, y puede efectuar golpes, rebotes o rodamiento; las caídas se subdividen en tres tipos: aludes, caída de rocas y derrumbes.

5.11.1.1.1 Derrumbes

Corresponde al desplazamiento ladera debajo de masas de roca, suelo o ambas, a lo largo de superficies irregulares de arranque o desplome como una sola unidad. Se identificaron 41 zonas de derrumbes ubicadas en taludes con pendientes muy fuertes (figura 357).

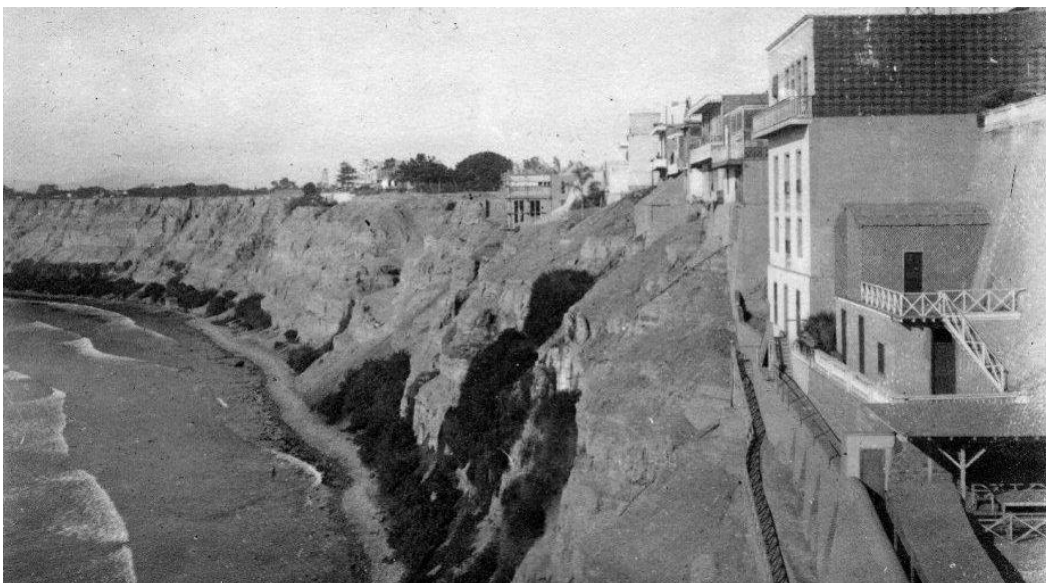


Figura 357. Derrumbes desarrollados en tramos del acantilado donde se aprecia el talud con pendientes muy a muy escarpas. Fuente: *Limalaunica.pe*

5.11.1.2 Movimientos complejos

Consisten en la ocurrencia y combinación de dos tipos de movimientos en masa, mediante el análisis de las fotos aéreas de los años 1943 y 1960, los eventos geodinámicos identificados fueron catalogados como deslizamientos – derrumbes.

5.11.1.2.1 Deslizamiento-derrumbe

En el distrito de Chorrillos se identificaron 02 zonas de deslizamientos con posterior fase de derrumbes, los deslizamientos fueron inferidos debido a la geoforma de las zonas de arranque donde se muestran escarpes con formas circulares a semicirculares (figura 358).

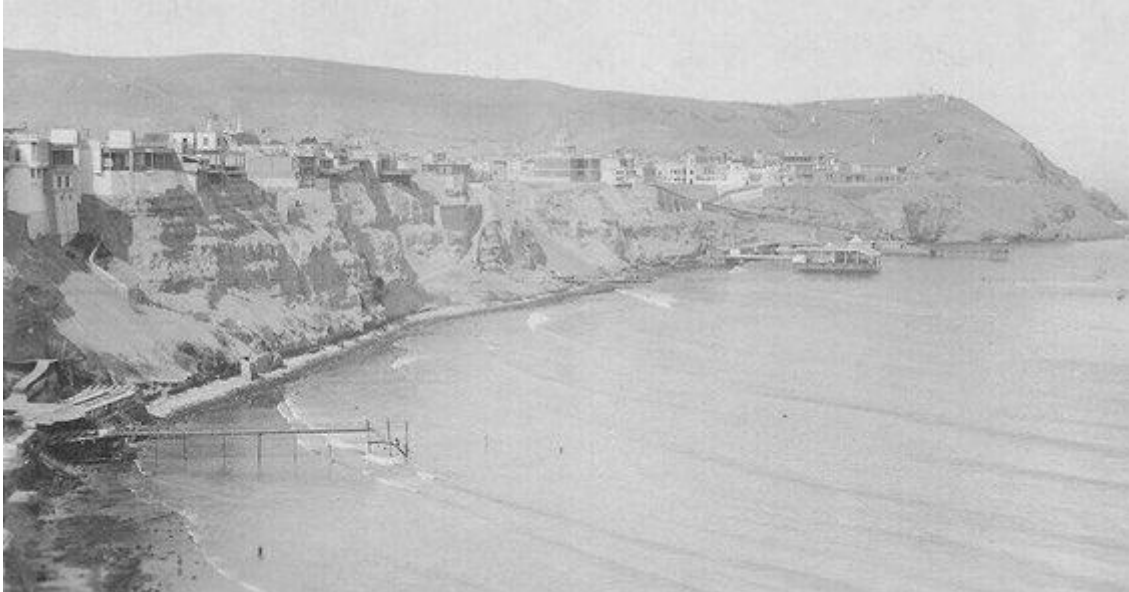


Figura 358. Vista hacia los acantilados de Chorrillos en el año 1960, donde las viviendas ocupaban el límite del acantilado, mediante las fotografías aéreas de 1943 y 1960 se infieren deslizamientos con fases de derrumbes. Fuente: Limalantigua.com.

5.11.1.3 Erosión de laderas

La erosión en laderas es originada por flujos de agua no drenada que fluye libremente en forma de escorrentía y cuya magnitud es incrementada por varios factores como el clima árido, suelos poco consolidados, escasa vegetación, vías de comunicación mal diseñadas, entre otro.

5.11.1.3.1 Erosión en cárcavas y surcos

Las incisiones en el relieve en forma de cárcavas o surcos se originan a partir de lluvias intensas que generan escorrentía superficial que fluye a través de suelos con escasa cobertura vegetal, los cursos de agua fluyen hacia un punto de equilibrio, si el caudal se incrementa el canal se ensancha y profundiza incrementando la pendiente. Otro factor que condiciona la ocurrencia de cárcavas son los canales de regadío que saturan los materiales del acantilado.

En el distrito de Chorrillos, se identificaron 27 zonas de erosión en cárcavas, que se desarrollan en gran parte del acantilado y se extienden pocos metros hacia la planicie (figura 359).

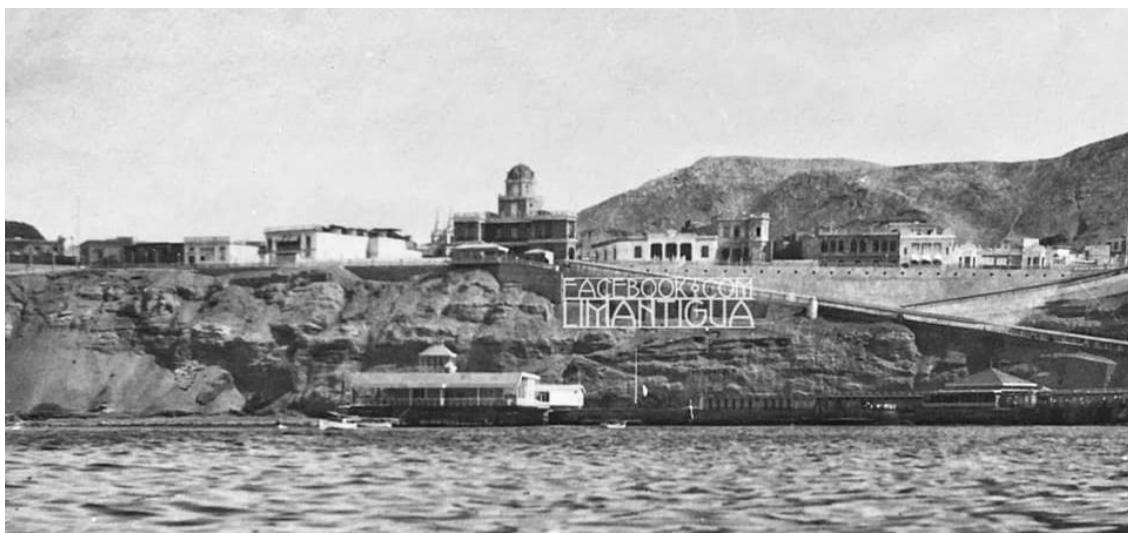


Figura 359. Vista hacia los acantilados de Chorrillos en el año 1960, se observan cárcavas en la parte norte del acantilado. Fuente: @limantigua.pe.

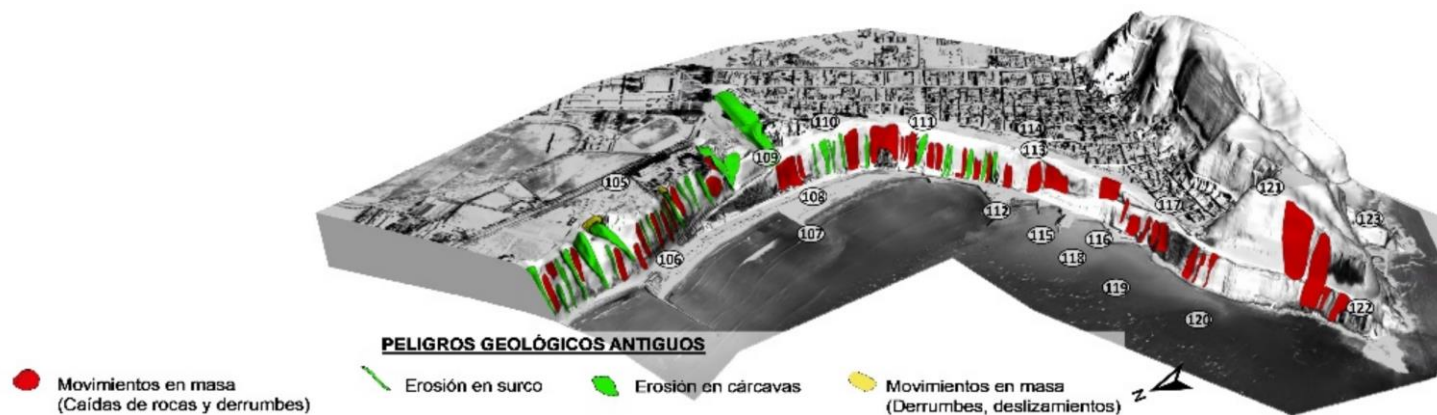


Figura 360. Peligros geológicos antiguos en el distrito de Chorrillos, cartografía de movimientos en masa mediante fotografías aéreas de los años 1943 y 1960.

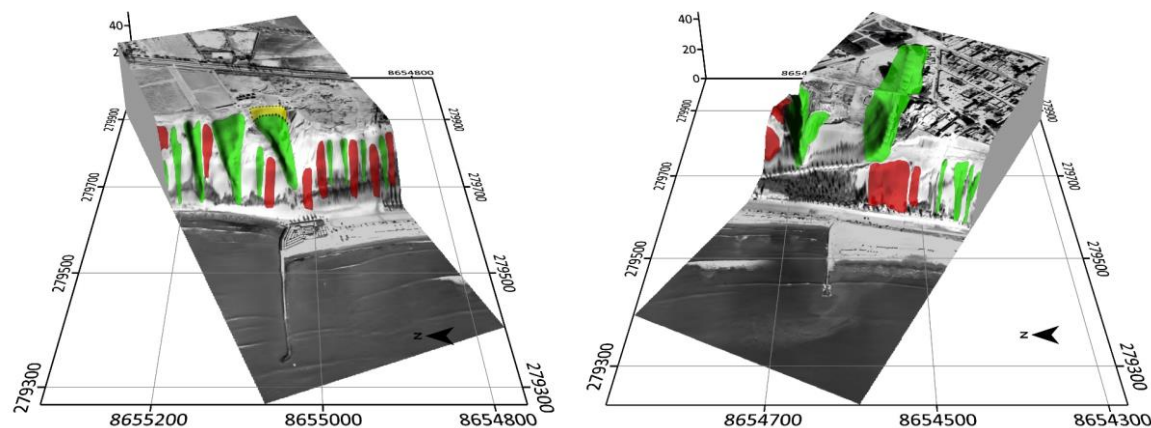


Figura 361. Sección CH-1, se identificaron derrumbes y caídas en el borde del acantilado, además de cárcavas y deslizamientos-derrumbes en las inmediaciones de la Explanada de Agua Dulce. Sección CH-02 se delimitó una extensa cárcava en la Bajada de Agua Dulce, además de caída de rocas y derrumbes.

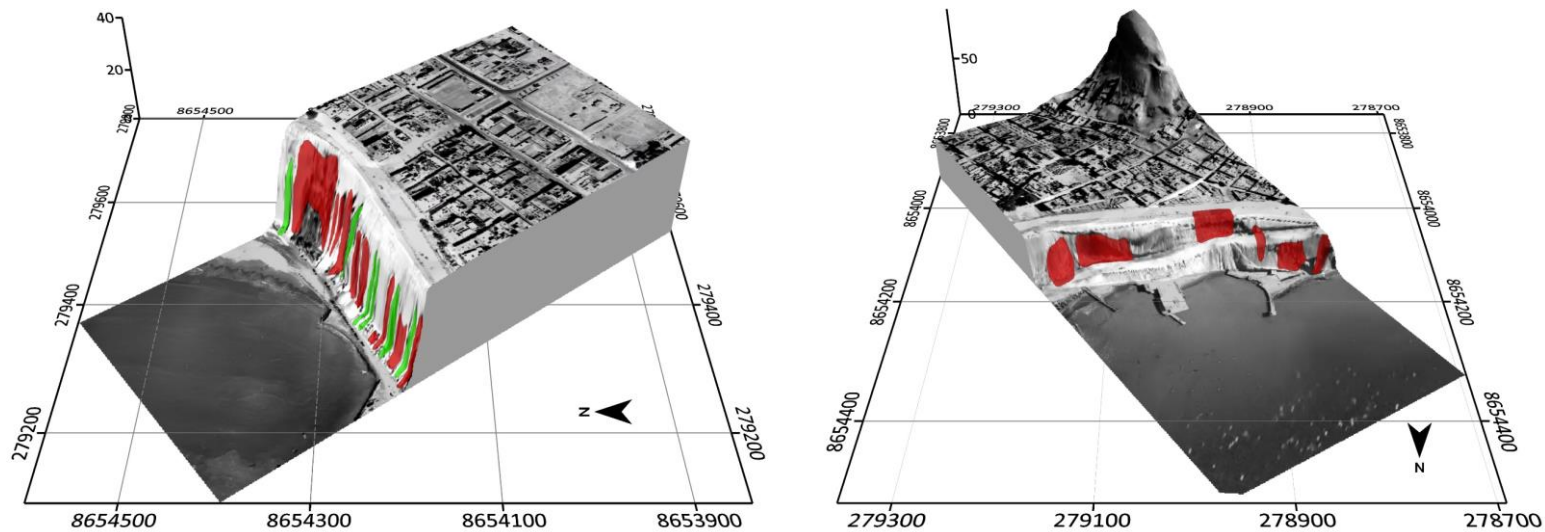


Figura 362. Sección CH-03 ubicada en el Malecón Chorrillos se identificaron derrumbes, caída de rocas y cárcavas que se desarrollan principalmente en el acantilado. Sección CH-04 se observan caída y derrumbes en el borde del acantilado en lo que hoy es el Club Regatas en el distrito de Miraflores.

5.12 Peligros geológicos recientes y potenciales en el distrito de Chorrillos

En este ítem se describen los movimientos en masa identificados a partir del año 2000 hasta la actualidad, se recopilieron informes técnicos, imágenes satelitales y fotografías aéreas, los eventos geodinámicos identificados fueron denominados peligros geológicos recientes.

Además, en base a las fotografías aéreas de los años 1943-1960 y las imágenes satelitales disponibles antes del año 2000, se identificaron antiguos cauces de quebradas y cárcavas que fueron rellenadas, sobre estas zonas se cartografiaron zonas con peligro potencial a generar procesos de deslizamientos o hundimientos.

A continuación, se describen los peligros geológicos recientes y potenciales en el distrito de Chorrillos (**Plano PD.PGRP-CH29**):

5.12.1 Peligros geológicos recientes en masa en el distrito de Chorrillos

Los principales peligros geológicos identificados son derrumbes de suelos y rocas.

5.12.1.1 Caída de suelos y rocas

La caída de suelos y rocas en el acantilado de Chorrillos se desarrolla en taludes con pendientes muy escarpadas además del factor antrópico. La zona de relleno y el riego de los jardines y parques en forma inadecuada. Además del tipo de matriz que tiene el material del conglomerado que se erosiona en la presencia de agua. Estos procesos originan derrumbes que fueron identificados y cartografiados en base a imágenes satelitales.

5.12.1.1.1 Derrumbes

Se cartografiaron e inventariaron mediante imágenes satelitales multitemporales con rangos de 10 a 20 años, desde el año 2000 a la actualidad. Se identificaron 40 derrumbes que se distribuyen en el acantilado sobre relieves con pendientes muy escarpadas. Los taludes están conformados por conglomerados muy erosionados medianamente húmedos y con coberturas antropogénicas (figuras 363, 364, 365 y 366).



Figura 363. Vista hacia el sur de parque Malecón Costa Sur.



Figura 364. Vista hacia el norte de parque en Malecón Costa Sur ubicado sobre relleno antrópico reciente.



Figura 365. Rellenos recientes entre límite de Chorrillos y Barranco.



Figura 366. Vista hacia el sur de parque en Malecón Costa Sur ubicado sobre relleno antrópico reciente que se encuentra cubierto por geomalla.

5.12.1.2 Escarpes activos y agrietamientos

La formación de escarpes y agrietamientos, como evidencias de la generación de movimientos en masa como deslizamientos; la formación de planos de fallas superficiales o profundos desplazan masas de sedimentos o materiales de diferente origen. Las características geomecánicas de los suelos y sedimentos condicionan la formación de deslizamientos, que son desencadenados por sismos de mediana y regular magnitud; además del sobresaturamiento de parques y jardines por el regadío.

En el malecón Costa Sur se evidencian agrietamientos en la vía y muros inclinados, producto del asentamiento sobre zonas de relleno antropogénico (figura 367).



Figura 367. Muro inclinado en Malecón Costa Sur.

5.12.2 Peligros potenciales por movimientos en masa en el distrito de Chorrillos

En los primeros trabajos de gabinete basados en las fotografías aéreas de 1943 y 1960 se identificaron zonas de relleno antropogénico de quebradas y cárcavas antiguas.

Desde 1943 a 1960, el límite superior del acantilado no tuvo modificaciones, las viviendas que ocupaban el borde se ubicaron a 50 m del acantilado, sin embargo, el ancho de la playa se 87 m a 160 m. Para el periodo de 1990 al 2001 inició una fuerte actividad antrópica, el desmonte de tierra extraído de las obras realizadas en la vía expresa fueron utilizadas para ampliar la planicie, crear terraplenes y terrazas, de esta forma se ampliaron áreas verdes y parques.

La ampliación de estas zonas ha originado peligros geológicos potenciales que se expresan sobre la superficie a través de grietas y asentamientos, los peligros geológicos potenciales se han proyectado a través de la cartografía multitemporal de varias capas como la geomorfología y la geología.

De esa forma, se han estimado la ocurrencia de potenciales deslizamientos de tipo deslizamientos-derrumbes, hundimientos y escarpes proyectados los cuales se describen a continuación:

5.12.2.1 Movimiento complejo

Además, se identificaron movimientos en masa complejos o mixtos, donde se combinan la ocurrencia de 2 o más tipos de eventos geodinámicos, en el distrito de San Miguel se han estimado deslizamientos-derrumbes.

5.12.2.1.1 Deslizamiento-derrumbe

Se identificaron 8 zonas de potencial deslizamiento con posterior fase de derrumbe, condicionado a formas cóncavas en la parte alta del talud que podrían formar escarpes o zonas de arranque, los materiales se desplazarían por el talud con pendientes fuerte a muy escarpadas originando derrumbes que llegarían hasta la vía Costanera (figuras 368 y 369).



Figura 368. Pase aéreo sobre derrumbe reciente en Malecón de Chorrillos.



Figura 369. Rellenos antrópicos recientes cubiertos por geomalla.

5.12.3 Otros peligros geológicos

Las deformaciones gravitacionales profundas son movimientos muy lentos y extensos de grandes masas rocosas en donde no se distingue una superficie de falla, aunque pueden ser precursores de deslizamientos de gran magnitud. Entre ellos se encuentran la combadura y pandeo de valles, las roturas confinadas, la expansión de crestas, los flujos o reptación profunda de masas rocosas y los hundimientos gravitacionales.

5.12.3.1 Hundimiento

Los hundimientos están condicionados por la presencia de antiguas quebradas, cárcavas y zonas de extracción de materiales que fueron observadas en las fotos aéreas de los años 1943 y 1960; estas fueron rellenadas con materiales de diverso origen y procedencia. Además, se identificaron terrazas bajas que fueron ocupando y ganando área al mar, siendo el suelo de cimentación base depósitos marinos.

Se identificaron 5 potenciales zonas de hundimientos, 2 de ellas fueron identificadas como cárcavas o antiguas quebradas y 3 fueron antiguos rellenos o zonas de extracción de materiales probablemente antiguas ladrilleras, se tiene un riesgo moderado a alto de inducir daños hacia las estructuras de las áreas urbanas ubicadas sobre estas áreas (figura 370).



Figura 370. Comparación del Parque Pedro Ruiz Gallo en 1960 y en la actualidad, se observan excavaciones probable cantera de extracción de agregados.

5.12.3.2 Escarpes proyectados

Mediante la superposición de las fotos aéreas de los años 1943, 1960 y la ortofoto del año 2021, se encontró que las grietas y escarpes registrados desde el año 2014 coinciden con límite del antiguo acantilado ubicado hasta antes del año 2002, por tanto, se infiere que esta zona indica zonas inestables donde se pueden formar planos de falla originando deslizamientos.

El análisis de esta información ha permitido inferir nuevas zonas de inestabilidad denominadas como escarpes proyectados inferidos en base a la información disponible de los años 1943 y 1960 (figuras 371 y 372).



Figura 371. Vista aérea de los escarpes proyectados ubicados en el borde del acantilado, estas zonas delimitan potenciales zonas inestables.



Figura 372. Escarpes proyectados en el Malecón Costa Sur en donde se observan muros inclinados.



Figura 373. Peligros geológicos recientes y potenciales en el distrito de Chorrillos.

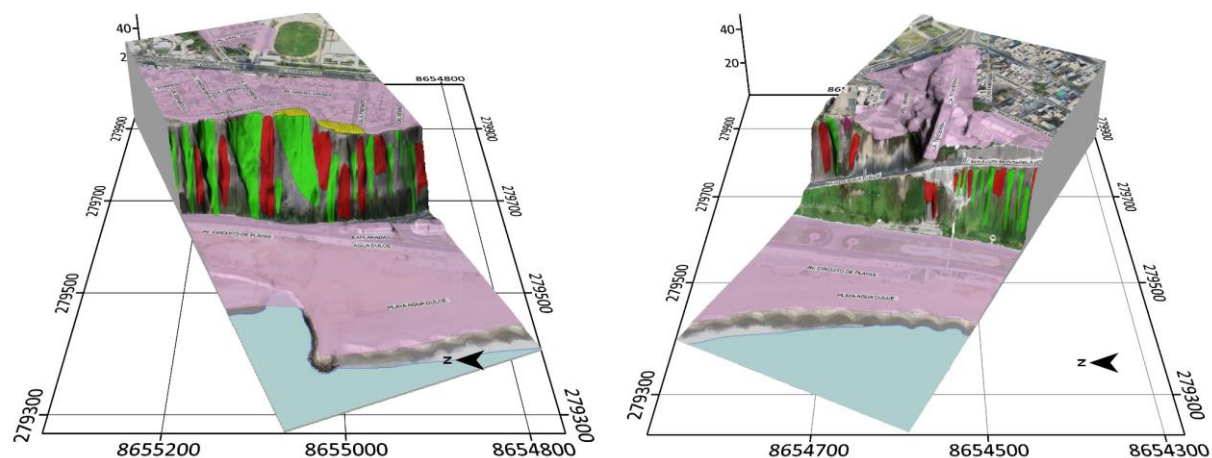


Figura 374. Sección CH-01 ubicada en la explanada de Agua Dulce donde se identifican deslizamientos-derrumbes, caídas y cárcavas, además de extensas zonas de potenciales hundimientos. Sección CH-02 se identificaron caídas y cárcavas, además de, zonas de potenciales hundimientos en las inmediaciones de la Bajada de Agua Dulce y la Vía Costanera.

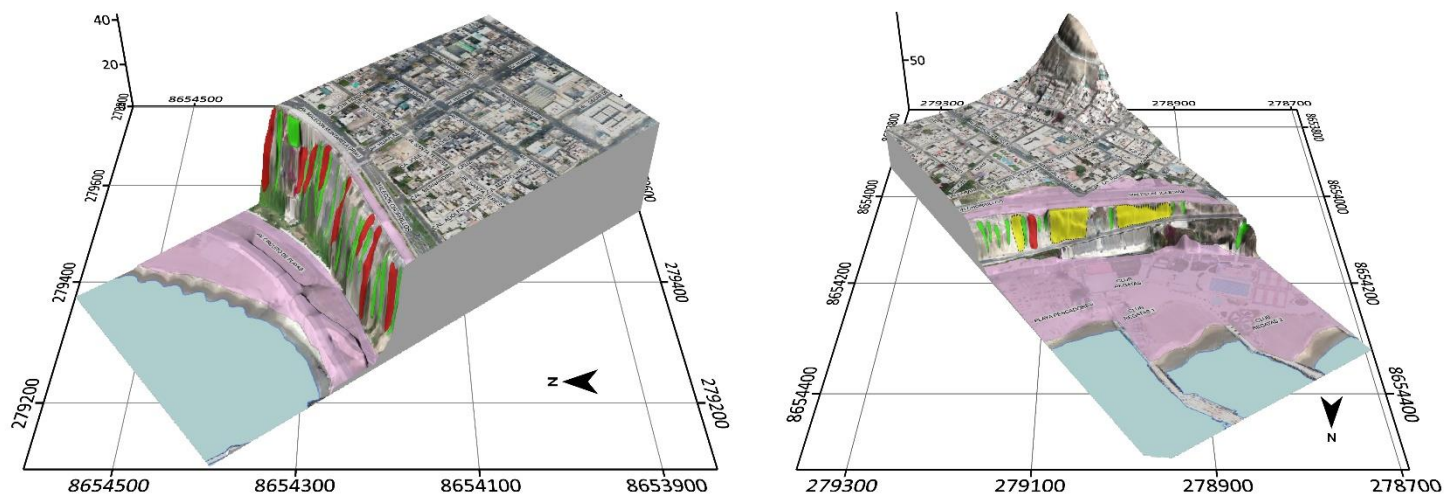


Figura 375. Sección CH-03 se identifican caídas y cárcavas, además de zonas de potenciales hundimientos en las inmediaciones del Malecón Chorrillos. Sección CH-04 ubicado en el Club Regatas se identificaron deslizamientos derrumbes, caídas y cárcavas, además de extensas zonas de hundimientos.

6 CONCLUSIONES

6.1 Geología

- Se realizó la caracterización geológica local de la CV mediante el mapeo geológico detallado, utilizando fotografías frontales de todo el acantilado, procesadas mediante técnicas fotogramétricas y modelos 3D, así como la medición de columnas estratigráficas detalladas y análisis de laboratorio de muestras de campo, que permitieron evaluar y conocer mejor las características geológicas de dicha área.
- Se realizó captura y procesamiento fotogramétrico de tomas frontales de fotografías aéreas y terrestres del acantilado de la CV con datos de control de campo para validación de posicionamiento para la obtención de ortomosaicos georreferenciados y mosaicos frontales de los acantilados, así como modelos de elevación digital (DEMs).
- El procesamiento se efectuó considerando 38 áreas pre establecidas de los acantilados de la CV, ubicados en los distritos de Chorrillos, Barranco, Miraflores, San Isidro, Magdalena del Mar y San Miguel, planteadas según direcciones preferentes de los taludes.
- Con el objetivo de adquirir información detallada de las características litológicas de los conglomerados y areniscas, así como de la matriz que las soporta y de los sedimentos finos que los intercalan en toda la secuencia estratigráfica del abanico aluvial del Lima, se midieron 51 columnas estratigráficas, cuyo detalle nos mostró la variabilidad de la secuencia sedimentaria expuesta en los acantilados, de tal forma que se puede observar su desarrollo y evolución. Está compuesta básicamente de facies de flujos fluvio aluviales, rellenando paleo-cauces, depósitos de llanuras de inundación y travertinos post-sedimentarios. Todas las secuencias fueron descritas con criterio de Ingeniería Geológica con la clasificación cualitativa de suelos de El Sistema Unificado de Clasificación del suelo (SUCS o USCS) y también con criterio de correlación secuencial.
- Dichas secuencias están constituidas por horizontes o bancos de cantos rodados, arenas gruesas, arenas finas, arenas limosas, y en menor medida limos y arcillas pertenecientes a la penúltima terraza fluvio aluvial del río Rímac. En el distrito de San Isidro el acantilado alcanza a medir más de 60 m de altura, está compuesto por conglomerados (gravas), que gradan a areniscas y limolitas según secuencias con grano-estrato decreciente; mientras que tanto hacia el borde Sur en Chorrillos, como el borde norte en San Miguel adelgazan hasta alturas de 30 m., y están conformados por capas de sedimentos finos (arcillas y limos) y en menor medida de conglomerados y arenas.
- Se recolectaron muestras de materiales, para ello, primeramente, se identificaron las zonas con mayor representatividad y continuidad; así como las de mejor accesibilidad, teniendo en cuenta que en la zona existe la cobertura de la geomalla que abarca prácticamente la totalidad del acantilado, que, sumado a las altas pendientes, dificultan o impiden un muestreo sistemático ideal de los acantilados de la CV. Por ello sólo fue posible coleccionar un total de 29 muestras representativas (de las cuales 06 son de gravas y 23 son muestras de arenas y/o limos).

- Se realizó la integración de información de datos geofísicos como complemento de las observaciones de datos geológicos adquiridos. Para ello se usaron los reportes de Evaluación Geofísica de los Acantilados de La Costa Verde, ejecutados durante el año 2021 por el Instituto Geofísico del Perú (IGP).
- Se observó que los métodos geofísicos que tienen mejor correlación con la información geológica adquirida en los afloramientos, son por una parte, la refracción sísmica, que ha corroborado el material poco consolidado de relleno antropogénico, debido a sus valores bajos de velocidades, en las capas superficiales y por otra parte, la tomografía de resistividad eléctrica que también muestra correlación de valores bajos de resistividad asociados a material con alto contenido de humedad en todas las zonas de que muestran suelos de relleno antrópico.
- Por la sísmica, se afirma que, los acantilados son más compactos a medida que se incrementa la profundidad. La variabilidad de la capa del material más superficial, poco compactado está en función del relleno antrópico como del espesor de materiales más finos en ciertas áreas. A lo largo de los acantilados, se define la existencia de tres capas sísmicas, en función a su respuesta de velocidad de ondas de compactación.
- Para la preparación de los mapas geológicos se identificaron unidades de depósitos. Los depósitos fluvio aluviales se dividieron de inicialmente en 2 tipos, finos y gruesos.
- Del análisis sedimentológico, permitió diferenciar dos secuencias de orden mayor (3er Orden), denominadas secuencia 1 que corresponde a la parte inferior, que se caracteriza por presentar niveles arenosos, limosos y en menor medida conglomerádicos; mientras que, la secuencia 2 corresponde a la parte superior, está compuesta mayormente por conglomerados, con algunos niveles y lentes de arenas. Cada una de estas secuencias son sólo parciales, ya que no se presentan completas en los acantilados. Sin embargo, en base a los análisis de las columnas medidas y las observaciones de campo, se interpreta que cada una de estas secuencias son grano decreciente.
- La secuencia 1 ha sido subdividida en tres órdenes a las que se les denominó S-1A, S-1B y S-1C. De igual modo cada una de estas secuencias son grano-decrecientes, las que también pueden contener una o más secuencia de primer orden. De manera similar la Secuencia 2 conformada mayormente por secuencias de conglomerados y arenas, ha podido ser dividida en hasta tres secuencias de menor orden (2do orden), a las que se les denominó S-2A, S-2B y S-2C. Cada una de estas secuencias son grano-decrecientes y pueden contener una o más secuencias de primer orden.
- Del análisis estratigráfico de secuencias en las columnas estratigráficas medidas, utilizando para ello la litología y el tamaño de clasto. Así, se procedió a realizar los cortes longitudinales sobre las áreas con información interpretada, generando así una sección geológica por cada distrito y para una mejor visualización se procedió a realizar una exagerar en la escala vertical por 10X.
- Con el objetivo de tener la posibilidad de obtener una mejor comprensión de los datos en zonas con mayor complejidad geológica de los acantilados, se ha preparado seis modelos geológicos en tres dimensiones (3D), de tal manera que

se puede visualizar las áreas de trabajo no sólo con mayor rapidez sino también con mejor resolución espacial.

- Es así como, la interpretación de datos obtenidos y/o medidos directamente en afloramientos integrados con la información de subsuelo obtenida indirectamente fue interpretada en un modelo 3D que permite conocer las variaciones laterales de las secuencias que afloran en los acantilados y en que rango de distancia se dan dichas variaciones, así como la geometría de los cuerpos que conforman los acantilados.
- De acuerdo con el tiempo disponible y limitados por la densidad de datos computacionales, se ha realizado dos tipos de modelados. En la zona Norte, correspondiente a los distritos de San Miguel, Magdalena y San Isidro, el modelado ha sido de carácter litológico ingenieril. En la zona Sur, correspondiente a los distritos de Miraflores, Barranco y Chorrillos, el modelado ha sido de carácter secuencial Ingenieril, esto debido que la densidad de datos en la zona Sur es muy alta y limitan la triangulación de las caras de las mallas fotogramétricas, lo cual dificulta la visualización detallada y continua de las litologías.

6.2 Hidrogeología

- Climatológicamente, la zona de estudio no presenta eventos de precipitación considerables.
- Hidrogeológicamente, la porción del acuífero de Lima estudiado en el presente trabajo, presente ciertas limitaciones respecto a la disponibilidad de agua superficial.
- La recarga natural del acuífero de Lima ocurre a lo largo del cauce del río Rímac, desde su nacimiento hasta tramos aguas arriba del encuentro con el océano Pacífico.
- El agua subterránea en el acuífero de Lima se mueve a una velocidad promedio de 3 m por día.
- Hacia el acantilado de la CV, el nivel freático del agua subterránea se encuentra controlado por la composición litológica de los distintos estratos presentes.
- Exploraciones realizadas mediante estudios geofísicos ponen en evidencia la saturación parcial del acantilado de Lima.
- Los afloramientos de agua al pie del acantilado de la CV ponen en evidencia la existencia de flujos preferenciales determinados por la permeabilidad establecida por los depósitos aluviales presentes.
- Para el parámetro de pH los valores permanecen neutros a lo largo de la CV.
- El parámetro de conductividad eléctrica tiene valores asociados al agua de mar por debajo de 2770 uS/cm y en la zona de Chorrillos posee mayor variabilidad debido a la marea del mar, sin embargo, las demás estaciones de monitoreo son afectadas de alguna forma por las sales disueltas provenientes del mar, la mayor parte de los datos oscila entre 1500 uS/cm a 230 uS/cm.
- La temperatura se mantiene en el rango de 21.9 a 25°C para las estaciones

ligadas a fuentes subterráneas, las aguas provenientes de canales y pozos relacionadas a las mismas tienen temperaturas mayores a 17.30°C y menores a 23.20°C en la zona de Magdalena del Mar.

- La resistividad tiene valores que oscilan entre los 215 y 4336 ohm/cm a lo largo de la CV.
- Las aguas superficiales son de denominación dulce, todas las demás fuentes de agua subterránea (desde Chorrillos hasta Miraflores) son de denominación salobre supera el valor de 0.5 mg/L.
- Los valores de ORP son de condición oxidante debido a que tiene valores por debajo de 318 mV en las fuentes que van desde Chorrillos hasta Miraflores, sin embargo, las fuentes de agua superficial asociadas a pozos tienen valores cercanos a 500 mV (Punto 54) y 345.75 mV (Punto 53) siendo de esta manera de denominación reductora.
- El oxígeno disuelto varía entre valores de temperatura de 25 a 20°C en los 04 monitoreos realizados, siendo las fuentes de origen subterráneo ligadas más hacia la zona de Chorrillos.
- Entre los años 2020 y 2021 la facie predominante es la sulfatada cálcica asociada al agua de mar y la composición sulfatada aguas arriba (parte alta del Río Rímac según data histórica del 2012 al 2013), la facie clorurada cálcica presenta únicamente la estación del Punto 01 (Chorrillos) asociado directamente con la presencia de sales marinas, por último las facies bicarbonatadas cálcicas son las ubicadas en Chorrillos correspondiente para la temporada 2021 en los puntos 03 y 04 asociado directamente a fuentes de recorrido corto (parte baja del Río Rímac).
- La intrusión salina viene dada en toda la Costa Verde y con mayor presencia en la zona de Chorrillos (Punto 01).
- Según la cantidad de sulfatos presentes en el agua y asociados a la norma E.50-Reglamento Nacional de Edificaciones, la presencia de sales en dichas aguas muestra una exposición moderada a los sulfatos a excepción del punto 53 (Magdalena del Mar).
- La data hidroquímica depende de la recarga aguas arriba de la Costa Verde, sin embargo, posee una aparente influencia de las mareas para un cambio de facie sulfatado a bicarbonatado.
- La estación de muestreo que posee mayor cambio de facies es el Punto 01, desde una facie bicarbonatada, sulfatada y bicarbonatada cálcica respectivamente.

6.3 Geomorfología

Distrito San Miguel

- En el año 1960, el distrito de San Miguel conservaba la mayor parte de geoformas originales, se destaca como geoforma principal el acantilado con pendientes muy fuertes a muy escarpadas (25° - 90°) que alcanzaban hasta 18.4 ha, la planicie aluvial se extendía hasta 172.5 ha con pendientes llanas a suavemente inclinadas (1° - 5°) donde se identificaron cárcavas y surcos, el

borde litoral y playa solo abarcó 4 ha con anchos de 8 m a 25 m.

- En la actualidad, las geoformas del distrito de San Miguel se distribuyen en gran parte entre la planicie aluvial (186 ha) y terraza baja (70.8 ha) con relieves de pendientes llanas a suavemente inclinadas (1° – 5°). El acantilado en San Miguel tiene un total de 12.4 ha con pendientes fuertes a muy fuertes (15° - 45°). La zona del litoral en su totalidad constituye un relleno antrópico reciente, sobre el cual se han construido las siguientes infraestructuras: Complejo Panamericano Costa Verde – San Miguel, Ciudad Ferial, Campo Deportivo Alberto Junior, parque Wallenberg por mencionar los más importantes.

Distrito Magdalena del Mar

- El área de evaluación del distrito de Magdalena del Mar en el año 1960 tenía un total de 110.9 ha, la planicie aluvial es una de las geoformas con mayor extensión con 82.5 ha de relieves con pendientes llanas a suavemente inclinadas (0° – 5°). El acantilado en el límite del distrito de Magdalena abarca un total de 10.7 ha con pendientes fuertes a muy escarpadas (15° a 90°), el ancho promedio de 50 m con una longitud total de 2.2 km. Además, se identificaron depósitos antrópicos como desmontes, antiguas ladrilleras y cárcavas o surcos rellenos que tienen un total de 4.1 ha. Se debe destacar que, el borde litoral y playa solo tenía 1.13 ha con anchos que no superaban los 15 m.
- El área de las geoformas evaluadas se incrementó de 110 ha a 152 ha desde el año 1960 a la actualidad respectivamente, la planicie aluvial alcanza 85.1 ha con relieves de pendientes llanas a suavemente inclinadas (0° – 5°). La terraza baja ocupa un total de 42.7 ha que se expandieron hasta de 150 m a 215 m de ancho que varía de norte a sur, sobre esta unidad se ubican el Parque Bajada Brasil, la Rotonda Costa Verde, Malecón Magdalena y el Autódromo de Magdalena. Se delimitaron 3 terraplenes con un total de 4.2 ha con pendientes ascendentes que comunican la parte baja de la vía costanera con la planicie aluvial.

Distrito San Isidro

- Geomorfológicamente, San Isidro es de los pocos distritos que ha realizado un manejo adecuado del acantilado de la CV, que en el año 1960 tenía un total de 4.8 ha, mientras que, en la actualidad sólo se incrementó a 5.5 ha. Esto se debe principalmente al banqueteo, reduciendo las pendientes muy escarpadas ($>45^{\circ}$) observadas en el año 1960 a pendientes fuertes a muy fuertes (15° - 45°) en la actualidad, reduciendo uno de los principales factores condicionantes de los movimientos en masa como la pendiente.

Para el año 1960, el área de evaluación sólo abarcaba un total de 62. ha, la planicie aluvial es la geoforma de mayor extensión con 43.5 ha y relieves de pendientes llanas a suavemente inclinadas. Se identificaron zonas de rellenos donde se desarrollaban actividades de extracción de canteras, ladrilleras y desmontes que tenían un total de 6.4 ha. Para 1960, el borde litoral o playa tenía un total de 0.4 ha.

- Actualmente, el área de evaluación alcanza un total de 70.1 ha, se registró un leve incremento del área de la planicie aluvial con 52.7 ha donde se asienta gran parte del área urbana del distrito de San Isidro. El acantilado de la CV en San Isidro, presenta pendientes fuertes a muy fuertes con relieves en banquetas que

disminuyeron el factor condicionante ante derrumbes o caídas. Las geoformas que tuvieron una gran expansión fueron la terraza alta y baja con 1.5 ha y 8.1 ha respectivamente; la terraza baja fue originada por la intervención antrópica donde se movilizaron y depositaron gran cantidad de sedimentos y desmonte para expandir el borde costero hasta alcanzar un ancho de 125 m.

Distrito Miraflores

- Las geoformas identificadas en el año 1960 alcanzaron las 238.3 ha, la planicie aluvial conformada por relieves con pendientes llanas a suavemente inclinadas ($0^{\circ} - 5^{\circ}$) tenía 148 ha, mientras que, las cárcavas que ocupaban gran parte del acantilado y la planicie con 32.7 ha. Los depósitos antrópicos se aprecian como zonas de extracción de materiales de cantera de agregados, desmontes y ladrilleras con un total de 18.3 ha en relieves con pendientes irregulares. El acantilado de la CV en el distrito de Miraflores tenía un total de 35.7 ha con pendientes fuertes a muy escarpadas ($15^{\circ} - 90^{\circ}$), que limita con un borde costero que no superaba la 2.8 ha con un ancho de playa menor a 20 m.
- Geomorfológicamente, el distrito de Miraflores es uno de los distritos que no ha realizado un adecuado manejo del acantilado en varios aspectos; en el año 1960 el acantilado tenía 35.7 ha con pendientes muy fuertes a muy escarpadas que, en la actualidad disminuyó hasta 21.7 ha con pendientes muy escarpadas. La planicie aluvial donde se ubica gran parte del área urbana del distrito, incrementó el área de 148.1 ha (1960) a 167.3 en la actualidad. Una de las geoformas que mayor extensión ha ganado, es la terraza baja con 29.6 ha con pendientes llanas, esta unidad es producto del transporte de materiales de desmonte que se vertieron al borde litoral para extender el ancho de la vía costanera.

Distrito de Barranco

- En el año 1960, el área de evaluación del distrito de Barranco tenía un total de 132.1 ha, distribuida en gran parte en la planicie aluvial con pendientes llanas a suavemente inclinadas ($0^{\circ} - 5^{\circ}$) con 88.3 ha donde se identificaron procesos de erosión de laderas (cárcavas) con 17.4 ha que fueron rellenadas hasta alcanzar un total de 17.4 ha. Los depósitos antrópicos en 1960, abarcaban un total de 11.2 ha; el borde litoral o playa sólo cubría un total de 3 ha con anchos menores a 20 m. El acantilado de la CV en el distrito de Barranco tenía un total de 11.2 ha con pendientes llanas a suavemente inclinadas y anchos menores a 20 m.
- En la actualidad, el área de evaluación aumentó a 144.4 ha, expresada en la planicie aluvial con un total de 99.5 ha con relieves de pendientes llanas a suavemente inclinadas. El área del acantilado se incrementó a 13.3 ha con pendientes muy fuertes a muy escarpadas ($25^{\circ} - 90^{\circ}$), la planicie aluvial con pendientes llanas a suavemente inclinadas ($0^{\circ} - 5^{\circ}$) tenía un total de 99.5 ha. Además de terraplenes y espigones se estimaron 2.6 ha y 1.7 ha que son producto de la intensa actividad antrópica. La geoforma de mayor expansión es la terraza baja con un total de 16 ha con pendientes llanas.

Distrito de Chorrillos

- El área de evaluación en el año 1960 tenía un total de 111.9 ha, que se distribuían en gran parte en la planicie aluvial con pendientes llanas a

suavemente inclinadas ($0^{\circ} - 5^{\circ}$) con 73.5 ha. Además, se identificaron zonas de rellenos antropogénicos que indican la presencia de canteras de extracción de materiales, ladrilleras y desmontes que alcanzaban un total de 9.6 ha. El acantilado en el distrito de Chorrillos tenía un total de 15 ha con pendientes muy fuertes a muy escarpadas y que son afectadas por cárcavas como zonas de erosión con un total de 3.4 ha.

- En la actualidad, el área de evaluación se incrementó a 131.9 ha, distribuidas entre la planicie aluvial y la terraza baja con 83.1 ha y 28.4 ha respectivamente, se destaca que, la terraza es la unidad de mayor extensión en ancho producto del factor antropogénico como la extensión de la zona costera con 75 m.

Parte de la extensión de la vía costanera, se realizó la instalación de espigones que alcanzan un total de 2.2 ha, mientras que, el borde litoral o playa tiene un total de 4.3 ha.

6.4 Peligros geológicos

En base a la interpretación de fotografías aéreas de los años 1943, 1960 y actuales se ha determinado la presencia de sectores afectados por procesos de erosión de laderas y cauces antiguos de quebradas, que a lo largo de los años fueron rellenos (desmonte, residuos sólidos, etc.) y que actualmente están ocupados por parques y viviendas que evidencian asentamientos, hundimientos y procesos de deslizamientos y derrumbes.

Distrito San Miguel

- Los movimientos en masa identificados en base a imágenes satelitales del año 2001, se inventariaron en el “Estudio de riesgos geológicos del Perú” elaborado en el 2003, en este documento se describen procesos de caídas de tipo derrumbes y procesos de erosión marina. Las fotos aéreas de los años 1943 y 1960, la imagen satelital del año 2001 y los trabajos de campo, confirman la presencia de este tipo de eventos.
- En la cartografía de campo, se identificaron formación de grietas y desplazamientos por fallas de tipo circular, deformaciones típicas de deslizamientos de tipo rotacional, que se desarrollan en suelos o depósitos cuaternarios o en rellenos antropogénicos poco compactados, porosos y con presencia de humedad.
- Los rellenos antropogénicos antiguos se ubican entre la llanura y en la bajada del parque Media Luna y el acantilado Bertoloto, estas áreas se han definido y delimitado como escarpes proyectados, ya que pueden formar zonas de falla en donde el suelo de relleno antrópico ocasionaría daños en las estructuras actuales.

La zona más crítica, es el relleno que inicia desde el parque Wallenberg hasta el parque los Muritos de César Paco, pasando por el parque Belén. Este sector presenta agrietamientos en losas, muros, veredas, inclinación de postes y estructuras; que confirman la inestabilidad del relleno (figuras).

El distrito de San Miguel, presenta una geodinámica con procesos que evidencian un estado suspendido - latente, representada por derrumbes y

deslizamientos antiguos que fueron rellenados por depósitos antrópicos en el año 2001 y derrumbes de bajo volumen de materiales reactivados en algunos sectores con pendientes muy escarpadas. Se identificaron 30 zonas de derrumbes desarrollados en el acantilado con pendientes muy escarpadas, además de 25 escarpes y agrietamientos con aperturas menores a 20 cm y 1 m de profundidad.

Los movimientos en masa identificados en la actualidad, se evidencian en grietas semicirculares, elongadas e irregulares, en varios sectores se forman fallas circulares por deformación lateras definiendo y delimitando los cuerpos de deslizamientos potenciales, los escarpes tienen leves desplazamientos que no superan los 30 cm de desnivel y cuya pendientes es suavizada por la actividad antrópica ya que estos procesos se ubican entre los parques Vilcahuara, Malecón Costanera, Parque Wallenberg y Malecón Bertolotto.

El relleno de mayor espesor identificado se ubica en el distrito de San Miguel (30 m), y constituye a un relleno reciente, sobre el cual se han construido componentes de parques y jardines que vienen presentando deformaciones claramente visibles. Este relleno va desde el parque Wallenberg hasta el parque los Muritos de César Paco, pasando por el parque Belén. Como rellenos antiguos podemos mencionar parte de la bajada del parque Media Luna y el acantilado Bertolotto.

Los principales peligros potenciales son del tipo deslizamiento rotacional donde se delimitan 18 de falla con formación de escarpes circulares a semicirculares en zonas de rellenos antrópicos. Se delimitaron 9 zonas de potenciales deslizamientos con fases de derrumbes condicionados por formas cóncavas en la parte alta del acantilado y pendientes muy escarpadas.

Distrito Magdalena del Mar

- En este distrito se Magdalena del Mar, uno de los rellenos antiguos cartografiados se ubica en el coliseo Aldo Chamocho (malecón Castagnola), donde el material mostraba una inestabilidad por las características del material (removido), motivo por el cual, actualmente se han construido andenes (banquetas) a fin de evitar derrumbes y caída de rocas. La residencial Marbella, que se extiende unos 400 m paralela al acantilado, presenta antiguas cárcavas rellenas y se ubican hacia el norte y sur de la residencial.
- La residencial Marbella, se extiende unos 400 m paralela al acantilado. Para su habilitación se ha realizado el corte a la mitad del acantilado y posteriormente el relleno de las dos cárcavas que lo limitan hacia el norte y sur.
- El parque Grau también se localiza sobre rellenos antrópicos, que se encuentran en el borde del acantilado. Se han observado grietas en viviendas cercanas al acantilado, el cual presenta en este sector una pendiente mayor a 75°.
- Se identificaron 29 zonas de derrumbes distribuidos en el acantilado con pendientes muy escarpadas, además de 12 escarpes activos con longitudes promedio de 22 m y agrietamientos.
- Se identificaron 8 potenciales deslizamientos de tipo rotacional mediante comparación de fotografías aéreas de 1943 y 1960, estas zonas abarcan un total de 0.78 ha. Además de, 8 zonas de potenciales deslizamiento-derrumbes que

se desarrollan entre el acantilado y las cárcavas generando zonas de debilidad donde se registran este tipo de caída por sismos o saturación de los materiales.

- Los hundimientos o subsidencias se desarrollan sobre antiguas cárcavas que fueron rellenadas sin ningún control geotécnico, el saturamiento de los materiales producto de la presencia de jardines y parques, así se identificaron 10 zonas con leves subsidencias.

Distrito San Isidro

- En la actualidad, el distrito de San Isidro tiene el registro más bajo de ocurrencia de derrumbes debido al banqueteo del acantilado con pendientes fuertes a muy fuertes, reduciendo el factor condicionante de pendiente ante movimientos en masa.
- Sin embargo, los rellenos antropogénicos están generando zonas de fallas en el subsuelo que se expresen en superficie a través de la formación de 02 escarpes de forma circular y agrietamientos sobre pistas y veredas con desplazamientos y aperturas leves.
- Se identificaron las zonas de depósitos antrópicos, que van desde el parque La Pera, malecón Godofredo García, parques Mahatma Gandhi, Grecia, plaza Guilde hasta el parque Bicentenario; sobre estas zonas se han inferido 05 potenciales zonas de deslizamiento rotacional proyectando un total de 10 ha donde pueden ocurrir daños a viviendas e infraestructura ante sismos de gran magnitud.
- Se han delimitado 10 zonas de potenciales hundimientos como la plaza Guilde donde el terreno podría desplazarse en dirección hacia el borde del acantilado, lo que probablemente corresponde a un deslizamiento de suelos tipo rotacional.

Distrito Miraflores

- En el distrito de Miraflores, se ha cartografiado rellenos antrópicos antiguos desde el estadio Manuel Bonilla, complejo deportivo Manuel Bonilla, estatua Carlos Alberto Izaguirre Alzamora, parque malecón de La Marina, complejo deportivo Chino Vásquez, malecón de La Marina, parque María Reiche, Skatepark Miraflores, parque Grau, Parque del Libro, Parque Itzhak Rabin, de los Niños, Canil de Miraflores, centro promotor de Tenis (Roland Parks Perú), faro de La Marina, parques Antonio Raimondiy del Amor, San Marcelino Champagnat, Letonia, Salazar y Domodossola. En todos estos sectores se observan muros inclinados, grietas en muros de ladrillo y concreto, grietas en veredas cercanas al acantilado, hundimientos en pistas y veredas. Todas asociadas al relleno antrópico, que se encuentra esparcido sobre el borde del acantilado.
- Se ha identificado un agrietamiento en forma de herradura (20 a 25 m), lo cual se infiere corresponde a la zona de arranque de un deslizamiento rotacional activo, desarrollado sobre relleno antrópico. La zona de arranque se ubica en la parte posterior del complejo deportivo Manuel Bonilla. Se ha observado también un hundimiento de la masa inestable, por lo que califica como una zona de alto peligro. Finalmente, se identificó un derrumbe en la intersección del malecón de La Reserva y calle Porta, motivo por lo cual se ha habilitado un pase aéreo.

Distrito Barranco

- En el distrito de Barranco, se ha cartografiado rellenos antrópicos antiguos desde el flanco izquierdo de la bajada de Armendáriz, lo que corresponde al malecón Paul Harris y que se extiende hasta el parque Diez Canseco. Este tramo es ocupado por parques y jardines, siendo visibles asentamientos del terreno por sectores, grietas en veredas que están asociadas al relleno antrópico.
- Desde el mirador Sáenz Peña hasta el malecón Souza se han observado también la presencia de rellenos antrópicos antiguos, que se encuentran cubiertos por jardines y que conforman la cresta del acantilado, con evidencias de grietas abiertas en las veredas y muros.
- Hacia el sur, el malecón de Los Ingleses también se compone de relleno antrópico, el cual se muestra colgado sobre el terreno natural, formando un borde circular en el límite del acantilado. Se han observado grietas en el terreno, perpendiculares a la pendiente.
- En el sector conocido como puente de Los Suspiros, en el flanco izquierdo extendiéndose hasta el malecón Ramón Castilla, se cartografiaron rellenos antrópicos sobre los cuales se han cimentado los muros superiores del talud, los cuales presentan hundimientos de hasta 10 cm, con presencia de grietas en veredas y muros.
- Siguiendo hacia el sur, en el malecón De Osma, también se reconocieron rellenos antrópicos que se encuentran colgados, producto de la pérdida de terreno de la parte media y baja del acantilado por la recurrencia de derrumbes

Distrito Chorrillos

- En Chorrillos se han identificado tramos con presencia de rellenos antrópicos en los malecones Costa Sur y Chorrillos. De estos se puede indicar que presentan un espesor que de entre 1.0 a 5.00 m de profundidad. En el malecón Costa Sur se evidencian agrietamientos en la vía y muros de ladrillo, producto del asentamiento del relleno. En el malecón Chorrillos se observa la presencia de una zona crítica, por derrumbe del talud, donde se ha construido un pase aéreo. Los rellenos en este sector son superficiales y se encuentran cubiertos por geomalla.
- El distrito de Chorrillos es el que presenta menor cantidad de afloramientos de rellenos antrópicos, siendo predominantes únicamente en el malecón Costa Sur, limitando con el distrito de Barranco.

7 RECOMENDACIONES

Las recomendaciones generales van en el sentido de incorporar mayor información sobre la hidrogeología, puesto que se requieren datos permanentes obtenidos en periodos de tiempo más amplios. Estas son las siguientes:

- Implementación de la red piezométrica.
- Realizar perforaciones que permitan determinar columnas litológicas detalladas.
- Realizar pruebas de bombeo con la finalidad de determinar la permeabilidad y/o transmisividad de los estratos existentes.
- Se recomienda hacer estudios isotópicos para determinar de manera eficiente el origen de las aguas que surgen a lo largo de la CV. así como estudios con trazadores químicos para conocer el origen de dichas aguas. Se debe complementar dichos trabajos con estudios de índices de calidad ambiental (ICAs).
- Realizar muestreos anuales de las zonas de recarga en la parte intermedia y alta de la cuenca del río Rímac.
- Realizar análisis del material relacionado a zonas donde se visualiza humedad para determinar la cantidad de sales, sulfatos y otros elementos nocivos para la infraestructura y ambiente.
- Realizar ensayos de bombeo a lo largo de la Costa Verde y en consecuencia perforaciones hidrogeológicas para ejecutar ensayos de Lugeon-Lefranc y muestreo hidroquímico.

Las recomendaciones ingenieriles finales deben ser propuestas en base a estudios geotécnicos e ingeniería civil de mayor detalle que tengan en cuenta los datos descritos este informe; sin embargo, de forma general, se proponen las siguientes recomendaciones:

- Considerar el mapeo de peligros geológicos y demás características descritas en este informe, para replantear nuevos límites de ocupación urbana donde se consideren los daños que pueden tener las estructuras ubicadas sobre las zonas indicadas.
- Restringir la construcción, ampliación y modificación de las estructuras actuales o futuras ubicadas en zonas de deslizamiento-derrumbes, potenciales deslizamientos y subsidencias.
- En función al uso paisajístico que se determine para las zonas y/o al resultado de modelos geotécnicos de estabilidad de taludes, en los distritos de Miraflores, Barranco y Chorrillos se podría realizar el banqueteo de los acantilados de pendientes muy escarpadas, teniendo en cuenta los mapas proporcionados. Debe tenerse en cuenta que, de realizarse la estabilización total de los acantilados, podría perderse la geoforma de acantilado como tal, al generar terrazas mediante banqueteo u otras propuestas de ingeniería adecuadas según los estudios geotécnicos y de ingeniería civil.
- De escogerse preservar los acantilados, se recomienda avanzar la autopista ganándole más terreno al mar, teniendo en cuenta la distancia máxima de derrumbes o caída de rocas que se obtengan del modelamiento de estabilidad, puesto que la geoforma de los acantilados de la Costa Verde, por su fuerte

pendiente y litología local característica del aluvial de Lima, es susceptible a erosión y la generación de movimientos en masa.

- Las zonas con potenciales deslizamientos-derrumbes, deslizamientos y hundimientos deben ser correctamente delimitadas en el terreno e identificables a través de fichas informativas, carteles y/o mapas a lo largo del acantilado, para evitar la presencia de personas en zonas de alto peligro. Además, se debe considerar las vías de acceso que podrían verse afectadas y que comunican la parte baja de la costanera con la planicie aluvial como vías de escape ante la ocurrencia de sismos o tsunamis.
- Los agrietamientos y escarpes proyectados en base al traslape de información multitemporal antigua y reciente, deben considerar como el límite superior de las zonas de arranque de los deslizamientos-derrumbes y caídas.
- Los potenciales hundimientos se basan en zonas mapeadas como rellenos antropogénicos donde se depositaron gran cantidad de materiales de diverso origen y procedencia, donde el control geotécnico fue escaso o nulo, considerándolos como terrenos no naturales y por ende con mayor susceptibilidad a verse afectada por sismos.
- Debe considerarse la protección de la base de los acantilados para prevenir un escenario de erosión por retroceso de marea post tsunami, en base al modelamiento de escenario de tsunami realizado por las instituciones competentes, puesto que el impacto de la ola y retroceso de las aguas podría generar socavación y derrumbes a lo largo del acantilado.



Segundo A. Núñez Juárez
Jefe de Proyecto-Act. 11



Ing. LIONEL V. FIDEL SMOLL
Director
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

8 BIBLIOGRAFÍA

- Alejandro, G. (2018). *Determinación de la distribución de la porosidad en rocas mediante resistividad eléctrica*. Tesis, Universidad Nacional de Cuyo, Instituto Balseiro.
- ALSHUD. (2020). *Revista Latino - Americana de Hidrogeología*. 2, 1-183.
- Alva, J. (2020). *Análisis de estabilidad de taludes y levantamiento topográfico para el proyecto: "Edificio multifamiliar malecón 120"*. Informe Técnico.
- Aramburu, A. (XX). *Foro Costa Verde visión del arquitecto Ernesto Aramburu Menchaca*. Ponencia.
- Cañari, M. y Alva, J. (2001). *Análisis de la estabilidad de taludes de la Costa Verde*. Artículo, Universidad Nacional de Ingeniería.
- Carrillo Gill A., (1984). *Estabilidad Estática Dinámica de los Acantilados de Lima, Memorias del V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Lima-Perú*
- Casareto, D. et al., (2016). *Rímac: Historia del Rio Hablador*. Libro (Catalogo), Autoridad Nacional Del Agua (ANA).
- Coll, J. (2017). *Investigación geotécnica para la red del metro de Lima*. Artículo, Universidad Ricardo Palma - Perfiles de Ingeniería.
- Copello, V. (2015). *Propuesta de remediación del talud de la Costa Verde, (Tramo Barranco) mediante la técnica de hidrosiembra*. Tesis, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Custodio, E., & Llamas, R. (2014). *Hidrología Subterránea, Tomo II*. En *Fing Uach* (Pmega). Universidad Politécnica de Barcelona.
- Díaz, A. (2008). *Estabilización del talud de la Costa Verde en la zona del distrito de Magdalena*. Tesis, Pontificia Universidad Católica del Percollú.
- Driscoll, F.G. (1986) *Groundwater and Wells*. 2nd Edition, Johnson Division, St Paul, 1089.
- Farfán, J., Pari, W., Renou, F., Condori, E., & Quispe, B. (2015). *Estudio hidrogeológico y geofísico del parque ecológico nacional Antonio Raimondi - Penar*. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/1309>
- Gómez, D., & Tobón, D. (2017). *Correlaciones entre algunas variables geotécnicas y velocidades de onda compresiva (Vp) y corte (Vs)* [Universidad EAFIT, Medellín - Colombia]. <https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/12408>
- Gomez, J. (1985) *Influencia de los sismos en zonas de Lima con nivel freático superficial*.
- Granados, A. (2006). *Estabilización del talud de la Costa Verde en la zona del distrito de Barranco*. Tesis, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Guzmán, A., Zavala, B., & Valenzuela, G. (1997). *Estudio de la seguridad física de los acantilados de la Costa Verde* (INGEMMET). <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/240>

- IGP. (2019). *Evaluación de peligros geofísicos en el distrito de Miraflores*.
- IGP. (2020). *Estudio geofísico de los acantilados de la Costa Verde en el distrito de Magdalena del Mar*.
- INDECI (2008). *Vulnerabilidad de edificaciones adyacentes a la bajada Marbella - Costa Verde de Lima*. Informe Técnico.
- INDECI, (2008) *Vulnerabilidad de edificaciones adyacentes a la bajada marbella – Costa Verde de Lima*.
- INDECI, (2014) *Mapas de peligros, vulnerabilidad y riesgos, plan de usos del suelo ante desastres, proyectos y medidas de mitigación de la Costa Verde*.
- Jurado, A., & Pérez, R. (2019). *Análisis comparativo de métodos destructivos y no destructivos en la determinación de parámetros geotécnicos para estabilización de un talud en la Costa Verde - Miraflores*. Universidad Ricardo Palma - Lima.
- León, W. et al., (2015). *Geología y evaluación de peligros geológicos en la Costa Verde*. Guía de Excursión, Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) y Sociedad Geológica del Perú (SGP).
- Macedo, J. (2018). *Análisis de productividad de la línea de refracción sísmica para la optimización del estudio de mecánica de suelos en Villa El Salvador, Lima – 2018* [Universidad Cesar Vallejo - Lima]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/26682>
- Martinez, A. (2003). *Estabilidad de los acantilados de la Costa Verde*. Artículo, Universidad Nacional de Ingeniería - Boletín del Instituto de Investigación.
- Martinez, A. (2004). *Estabilidad de los acantilados de la Costa Verde*. Artículo, Universidad Nacional de Ingeniería - Boletín del Instituto de Investigación.
- Menchaca, A, & Corpei (1972). *Defensas del litoral y habilitación de nuevas playas de Lima metropolitana*.
- Mendoza, J. (2016). *Estabilidad del talud María Reiche del acantilado Costa Verde, distrito de Miraflores, Lima - Perú*. 10.
- Pacheco, A. (2006). *Estabilización del talud de la Costa Verde en la zona de distrito de San Isidro*. tesis, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Palacios, O., Caldas, J., & Vela, C. (1992). *Geología de los Cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica*. 173. https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/163/67/A-043-Boletin_Lima_Lurin_Chancay_Chosica_25i-25j-24i-24j.pdf
- Raygada, L. (2011). *Análisis de estabilidad y deformaciones en el acantilado de la Costa Verde*. [Universidad Nacional de Ingeniería, Lima- Perú.] <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/3480>

- Rivera, M. et al., (2016). *Ensayos Geofísicos de Refracción Sísmica y de Medición de Ondas de Corte (MASW y MAM) para usos de cimentación en obras de edificaciones*. Artículo, Revista CIVILIZATE.
- Rodríguez, E., & Cuellar, M. (2012). *Hidrogeología aplicada en la zonificación de amenazas por movimientos en masa*. 15.
- Rojas, R., Montoya, M., Mamani, E., Maguiña, J., Montoya, E., Baltauno, O., Bedregal, P., Coria, L., Guerra, A., Justo, S., & Churasacari, T. (2013). *Origen de los manantiales de la Costa Verde*. Revista ECIPerú, 9, 22-26.
<https://doi.org/https://doi.org/10.33017/RevECIPeru2012.0016/>
- Rozas, R. (2002). *Permeabilidad de Medios Porosos: Experimentos Numéricos y Teoría*. Tesis, Universidad de Concepción - Chile.
- Sánchez, S., Rodríguez, J., López, J., Aina, C., & Jiménez, Á. (2016). *Caracterización de suelos granulares gruesos. El caso de la grava de Lima*. 305-313.
- Sierra, J. (2018). *Entre la acción y la imaginación: la disputa en la gestión del frente marítimo de Miraflores*. Tesis, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Sotelo & Asociados S.A.C. (2017). *Estabilidad de talud de la costa verde para el proyecto "malecón Cisneros 1380-1384 Miraflores"*. Informe Técnico.
- Sotelo & Asociados S.A.C. (2017). *Estudio geotécnico para el proyecto "malecón Cisneros 1380-1384 Miraflores" - rev C*. Informe Técnico.
- Sotelo & Asociados S.A.C. (2017). *Evaluación geotécnica para estabilidad de taludes - proyecto: vía expresa línea amarilla - "Km 2+960 al Km 3+160"*. Informe Técnico.
- Sotelo & Asociados S.A.C. (2017). *Evaluación geotécnica para estabilidad del "km 2+000 al km 3+045" - proyecto: vía expresa línea amarilla*. Informe Técnico.
- Sotelo & Asociados S.A.C. (2017). *Evaluación geotécnica para la estabilidad del "km 2+160 al km 2+280" - proyecto: vía expresa línea amarilla*. Informe Técnico.
- Sotelo & Asociados S.A.C. (2017). *Evaluación geotécnica para la estabilidad del "km 4+580 al km 4+720" - proyecto: vía expresa línea amarilla*. Informe Técnico.
- Sotelo & Asociados S.A.C. (2018). *Análisis de estabilidad del talud de la costa verde y su influencia con el proyecto malecón Cisneros 1140 - 1150 / Miraflores*. Informe Técnico.
- Sotelo & Asociados S.A.C. (2018). *Estudio geotécnico con fines de cimentación: Ignacio Merino N°771*. Informe Técnico.
- Sotelo & Asociados S.A.C. (2018). *Estudio geotécnico para el proyecto: malecón Cisneros 1140 - 1150, Miraflores*. Informe Técnico.
- Villacorta, S. (2012) "El mapa geomorfológico de Lima Metropolitana y sus cuencas hidrográficas, una herramienta para la gestión sostenible del territorio".
- Villacorta, S.; De Torres, T.; Llorente, M.; Ayala, L.; Pérez- Puig, C., et al. (2015). *Datos preliminares sobre la evolución geomorfológica del abanico aluvial de Lima, y sus*

implicaciones en el análisis de los riesgos asociados al cambio climático. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, 110: 209-213.

Zenteno, E., Salinas, J., & Carrillo, L. (2019). *Evaluación hidrogeológica sobre el estado situacional de los acuíferos Chillón y Rímac*. Autoridad Nacional del Agua - ANA.