

# **ANEXO**

## **ANTECEDENTES GEOTÉCNICOS- GEOMECÁNICOS EMBALSE DE RELAVES**

---



## COMPAÑÍA MINERA FLORIDA S.A.

### ACTUALIZACIÓN DE LA ESTABILIDAD FÍSICA DE LA INSTALACIÓN EMBALSE DE RELAVES

**N°5070-GE-INF-003\_4**

### ACTUALIZACIÓN DE LA CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE MATERIALES Y ESTABILIDAD FÍSICA DEL EMBALSE DE RELAVES

Preparado por

**ÁREA DE PROYECTOS**

Aprobado por

Rev.	Por	Emitido para	Fecha	Fecha de Revisión	Aprobado
4	JRR	Revisión Interna	14-04-2022		
Comentarios: Resumen de Caracterización Geotécnica Materiales.					

# ACTUALIZACIÓN DE LA ESTABILIDAD FÍSICA DE LA INSTALACIÓN EMBALSE DE RELAVES

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>ANTECEDENTES GEOTÉCNICOS</b> .....	<b>4</b>
1.1	CALICATAS EN SUELO DE FUNDACIÓN.....	4
1.2	ANTECEDENTES PARA MURO DE EMBALSE DE RELAVES .....	8
1.3	RESULTADOS ENSAYOS DE LABORATORIO PARA MUESTRAS DE RELAVES INTEGRAL .....	11
1.4	RESUMEN DE LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS OBTENIDAS .....	12
<b>2</b>	<b>ACTUALIZACIÓN DE LA ESTABILIDAD FÍSICA DEL EMBALSE DE RELAVES</b> .....	<b>12</b>

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1:	Disposición de calicatas en suelo de fundación.....	5
Figura 2:	Comparación de color entre Horizontes H1 y H2, Calicata C-4. ....	6
Figura 3:	Puntos de realización de ensayo CPT.....	8
Figura 4:	Ejecución de ensayos de penetración tipo “CPT” por parte de DPI Ingenieros.....	9
Figura 5:	Resultados gráficos para CPT en punto Z-6.....	10
Figura 6:	Resultados gráficos para CPT en punto Z-7.....	10
Figura 7:	Perfiles considerados para el análisis de estabilidad física del embalse de relaves....	13
Figura 8:	Registro del terremoto de Illapel el año 2015.....	14
Figura 9:	Registro del terremoto de Coquimbo el año 2019.....	15

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1:	Calicatas ejecutadas en suelo de fundación. ....	4
Tabla 2:	Muestreos y ensayos realizados a cada Calicata en suelo de fundación. ....	5
Tabla 3:	Presión axial máxima.....	7
Tabla 4:	Ensaye de corte directo en Calicata C-1.....	7
Tabla 5:	Compresión triaxial en Calicata C-4.....	8
Tabla 6:	Resultados tabulados para CPT en punto Z-6. ....	9



Tabla 7: Resultados tabulados para CPT en punto Z-7. ....	10
Tabla 8: Correlación número de golpes y ángulo de fricción interna.....	11
Tabla 9: Resumen de parámetros geotécnicos de los relaves integrales M1 y M3. ....	11
Tabla 10: Resumen de los parámetros geotécnicos obtenidos en la campaña geotécnica actual. .....	12
Tabla 11: Resumen de los factores de seguridad obtenidos en la actualización del análisis de estabilidad física del embalse de relaves.....	13

## 1 ANTECEDENTES GEOTÉCNICOS

Durante julio/2020 se desarrolló la campaña de prospección geotécnica en el embalse de relaves desarrollada por la empresa DPI Ingenieros, la cual que comprendió:

- Muestreo de calicatas con caracterización geotécnica del suelo de fundación.
- Recopilación de antecedentes de los relaves integrales almacenados en el embalse de relaves el año 2018.
- Ensayos de penetración estándar (SPT) en muro del embalse de relaves, construido con material empréstito.

### 1.1 CALICATAS EN SUELO DE FUNDACIÓN

En la campaña de prospección geotécnica realizada en julio del año 2020, se ejecutaron 7 calicatas distribuidas según la Tabla 1 y Figura 1. Éstas alcanzaron una profundidad aproximada de 5,00 m y en ellas se realizó una identificación visual y toma de muestras al fondo para ensayos de laboratorio.

**Tabla 1: Calicatas ejecutadas en suelo de fundación.**

Calicata	UTM Este WGS 84 [m]	UTM Norte WGS 84 [m]	Cota [m.s.n.m.]	Profundidad [m]
<b>C-1</b>	283.896	6.657.287	202	5,00
<b>C-2</b>	284.328	6.657.297	208	3,50
<b>C-3</b>	283.760	6.656.914	199	5,00
<b>C-4</b>	283.990	6.656.917	199	5,00
<b>C-5</b>	284.371	6.656.852	213	5,00
<b>C-6</b>	283.760	6.656.748	199	3,50
<b>C-7</b>	284.401	6.656.723	211	5,00



**Figura 1: Disposición de calicatas en suelo de fundación.**

Los muestreos y ensayos practicados a cada calicata ejecutada se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2: Muestreos y ensayos realizados a cada Calicata en suelo de fundación.**

Ensayo	Calicata C-1	Calicata C-2	Calicata C-3	Calicata C-4	Calicata C-5	Calicata C-6	Calicata C-7	Total
Granulometría								3
Humedad Natural								3
Proctor Normal								3
CBR								3
Peso Específico								3
Límites Atterberg								3
Clasificación de Suelos								3
Compresión No Confinada								3
Corte Directo								3
Triaxial								1

La caracterización estratigráfica del suelo de fundación dejó establecida que el embalse de relaves se soporta sobre los estratos H-1 y H-2, los cuales se describieron como Gravas Limosas de la Formación Confluencia (Horizontes H1 y H2).

El Horizonte H1 corresponde a gravas limosas de color café claro y origen aluvial, oligomícticas con clastos subangulosos a angulosos. El espesor mínimo es de 0,50 [m], con un máximo observado de 5,00 [m]. Granulométricamente presenta porcentajes promedio de 60% de gravas, 25% de arena y 15% de finos, con variaciones que no superan el 5%.

El Horizonte H2, indicado en la Figura 2, presenta un espesor observado máximo observado de 4,10 [m] y se identifican las mismas características que en Horizonte H1, con excepción del color, el cual corresponde a un café rojizo.



**Figura 2: Comparación de color entre Horizontes H1 y H2, Calicata C-4.**



Para el suelo de fundación del embalse de relaves interesa los resultados obtenidos de las calicatas C-1, C-2 y C-4, los cuales se presentan en las Tablas 3, 4 y 5, respectivamente.

**Tabla 3: Presión axial máxima.**

Muestra	Calicata C-2	Calicata C-6	Calicata C-7
Presión Axial Máxima [kg/cm <sup>2</sup> ]	1,09	1,12	1,14
Consistencia del Suelo	Firme	Firme	Firme
Deformación Unitaria [%]	1,51	1,60	1,12

**Tabla 4: Ensayo de corte directo en Calicata C-1.**

Antecedentes	
Calicata	C-1
Diámetro Probeta [cm]	5,00
Altura Probeta [c/m]	2,54
Humedad [%]	10,60
Resultados (Probeta 1)	
Esfuerzo Normal [kg/cm <sup>2</sup> ]	0,50
Esfuerzo de Corte [kg/cm <sup>2</sup> ]	1,68
Esfuerzo de Corte Residual [kg/cm <sup>2</sup> ]	1,51
Velocidad Ensayo [mm/min]	8,00
Resultados (Probeta 2)	
Esfuerzo Normal [kg/cm <sup>2</sup> ]	1,00
Esfuerzo de Corte [kg/cm <sup>2</sup> ]	1,81
Esfuerzo de Corte Residual [kg/cm <sup>2</sup> ]	1,65
Velocidad Ensayo [mm/min]	8,20
Resultados (Probeta 3)	
Esfuerzo Normal [kg/cm <sup>2</sup> ]	2,00
Esfuerzo de Corte [kg/cm <sup>2</sup> ]	1,94
Esfuerzo de Corte Residual [kg/cm <sup>2</sup> ]	1,70
Velocidad Ensayo [mm/min]	8,10
Resultados Finales	
Ángulo de Fricción Interna	30,1°
Cohesión [kg/cm <sup>2</sup> ]	0,021



**Tabla 5: Compresión triaxial en Calicata C-4.**

Tabla 15: Compresión Triaxial	
Antecedentes	
Calicata	C-4
Tipo de Muestra	Perturbada
Preparación de Muestra	Remoldeada
Resultados (Probeta 1)	
q [kgf/cm <sup>2</sup> ]	0,459
p' [kgf/cm <sup>2</sup> ]	0,661
Resultados (Probeta 2)	
q [kgf/cm <sup>2</sup> ]	1,081
p' [kgf/cm <sup>2</sup> ]	1,416
Resultados (Probeta 3)	
q [kgf/cm <sup>2</sup> ]	1,814
p' [kgf/cm <sup>2</sup> ]	2,497
Resultados Finales	
Ángulo de Fricción Interna	36,2°
Cohesión [kgf/cm <sup>2</sup> ]	0,00

## 1.2 ANTECEDENTES PARA MURO DE EMBALSE DE RELAVES

Para la caracterización del muro de empréstito que contiene el relave integral en el embalse, se consideró la información proveniente de los ensayos de penetración de cono ó “CPT” realizados sobre este material. Las ubicaciones de estos ensayos se muestran en la Figura 3, donde los puntos indicados Z-6 y Z-7 son relevantes para esta caracterización.



**Figura 3: Puntos de realización de ensayo CPT.**

Adicionalmente, la Figura 4 muestra la ejecución de los ensayos de penetración tipo “CPT” en la corona del muro de empréstito del embalse de relaves por parte de la empresa DPI Ingenieros.

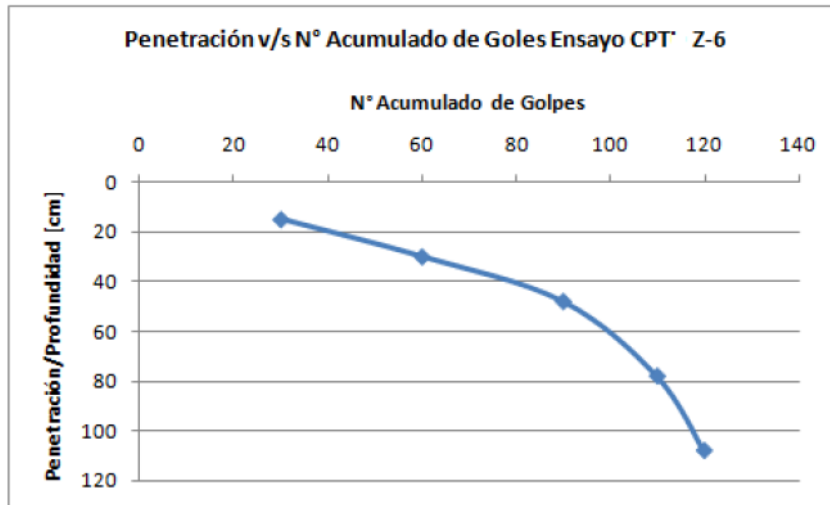


**Figura 4: Ejecución de ensayos de penetración tipo “CPT” por parte de DPI Ingenieros.**

Los resultados obtenidos para los ensayos CPT mencionados anteriormente fueron los siguientes:

**Tabla 6: Resultados tabulados para CPT en punto Z-6.**

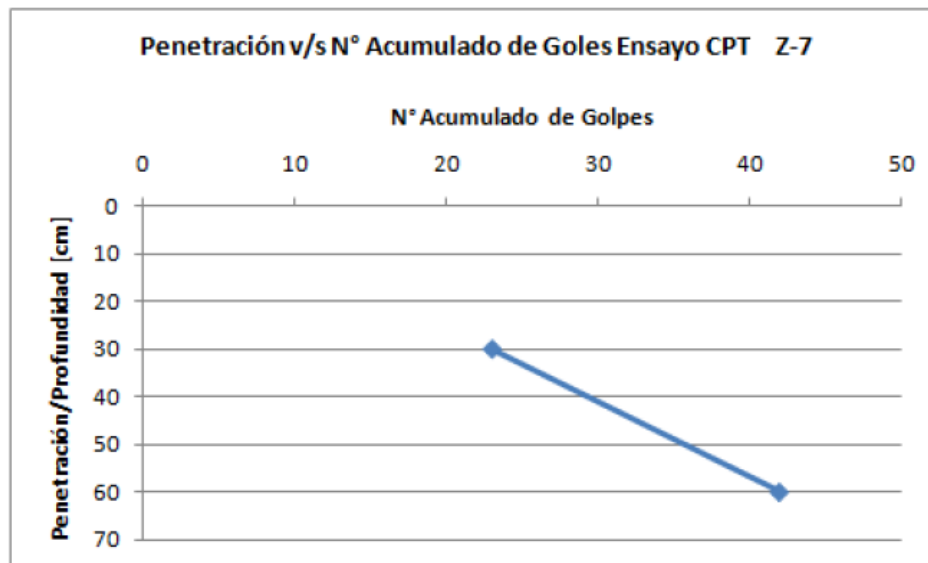
Fecha de Ejecución		UTM Este	UTM Norte
16-04-2020		284.158	6.656.897
Resultados			
Profundidad [cm]		Número de Golpes	Torque [N/m]
Desde	Hasta		
0	30	15	30
30	60	15	40
60	90	18	40
90	110	30 (Rechazo)	50
110	120	30 (Rechazo)	55



**Figura 5: Resultados gráficos para CPT en punto Z-6.**

**Tabla 7: Resultados tabulados para CPT en punto Z-7.**

Fecha de Ejecución		UTM Este	UTM Norte
16-04-2020		284.143	6.657.369
Resultados			
Profundidad [cm]		Número de Golpes	Torque [N/m]
Desde	Hasta		
0	23	30 (Rechazo)	10
23	42	30 (Rechazo)	30



**Figura 6: Resultados gráficos para CPT en punto Z-7.**

Luego, se correlaciona la cantidad de golpes del ensayo de penetración con el ángulo de fricción interna del material mediante el criterio de correlación de Bowles y el criterio de Peck, Hanson & Thorburn, respectivamente. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 8.

**Tabla 8: Correlación número de golpes y ángulo de fricción interna.**

<b>CÁLCULO DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA, POR MEDIO DE LA PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)</b>	
<b>Número de golpes (SPT) =30</b>	f= ángulo de fricción interna
<b>Criterio N<sub>17</sub> (Bowles)</b>	<b>36</b>
<b>Criterio correlación Peck, Hanson, Thorburn</b>	<b>36,00</b>

### 1.3 RESULTADOS ENSAYOS DE LABORATORIO PARA MUESTRAS DE RELAVES INTEGRAL

Para el caso de los relaves integrales almacenados en el embalse de relaves, el año 2018 se efectuó su caracterización geotécnica mediante ensayos triaxiales, obteniéndose los resultados de la Tabla 9.

**Tabla 9: Resumen de parámetros geotécnicos de los relaves integrales M1 y M3.**

<b>Parámetro Geotécnico</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado M1</b>	<b>Resultado M3</b>
<b>Ángulo de Fricción Interna</b>	°	28	28
<b>Cohesión</b>	kPa	0	0
<b>Peso</b>	kN/m <sup>3</sup>	19,1	19,1

#### 1.4 RESUMEN DE LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS OBTENIDAS

El resumen de los valores obtenidos en las últimas campañas de prospecciones de Compañía Minera Florida S.A se muestra en la Tabla 10.

**Tabla 10: Resumen de los parámetros geotécnicos obtenidos en la campaña geotécnica actual.**

Material	Parámetro	Campañas Geotécnicas 2018 - 2021
Suelo de fundación	Ángulo de fricción [grados]	36,20
	Cohesión [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00
	Peso específico [kN/m <sup>3</sup> ]	26,00
Muro de empréstito	Ángulo de fricción [grados]	36,00
	Cohesión [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00
	Peso específico [kN/m <sup>3</sup> ]	23,30
Relave integral	Ángulo de fricción [grados]	28,00
	Cohesión [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00
	Peso específico [kN/m <sup>3</sup> ]	19,10

Los valores obtenidos en las más recientes campañas geotécnicas se encuentran dentro del rango normal esperado para este tipo de materiales.

## 2 ACTUALIZACIÓN DE LA ESTABILIDAD FÍSICA DEL EMBALSE DE RELAVES

Con los parámetros geotécnicos descritos en la Tabla 10, se realizó la actualización del análisis de estabilidad física del embalse de relaves en fase de cierre bajo condición estática y pseudo-estática, respectivamente. Esto recordando que esta instalación cesó sus operaciones en febrero del año 2019, teniendo en la actualidad una cubeta totalmente seca y bajo un estado de consolidación física.

**El resultado del análisis de estabilidad física indicó que dicha instalación es estable físicamente durante la fase de cierre, bajo una condición estática (sin sismo) y pseudo-estática (sísmica), respectivamente.**

Los perfiles considerados para el análisis de estabilidad y los factores de seguridad obtenidos se muestran en la Figura 7 y Tabla 11, respectivamente.



**Figura 7: Perfiles considerados para el análisis de estabilidad física del embalse de relaves.**

**Tabla 11: Resumen de los factores de seguridad obtenidos en la actualización del análisis de estabilidad física del embalse de relaves.**

Fase del Proyecto/Instalación	Condición del análisis	Sección A	Sección B	Factor de Seguridad requerido	Cumplimiento
Cierre	Estático	1,6	1,5	≥1,5	SI
	Pseudo-estático	1,1	1,0	≥1,0	SI

Operacionalmente, esta última condición física (cierre) ha sido probada y corroborada mediante los últimos grandes terremotos que han afectado la zona en los años 2015, (Terremoto de Illapel, 16 de septiembre de 2015, Magnitud 8.3Mw, Intensidad VIII, Figura 7); y 2019 (Terremoto de



Coquimbo, 19 enero de 2019, Magnitud 6.7Mw, Intensidad VIII, Figura 8), en donde el embalse de relaves ha resistido sin fallas en su estructura, fundación y muros, respectivamente.

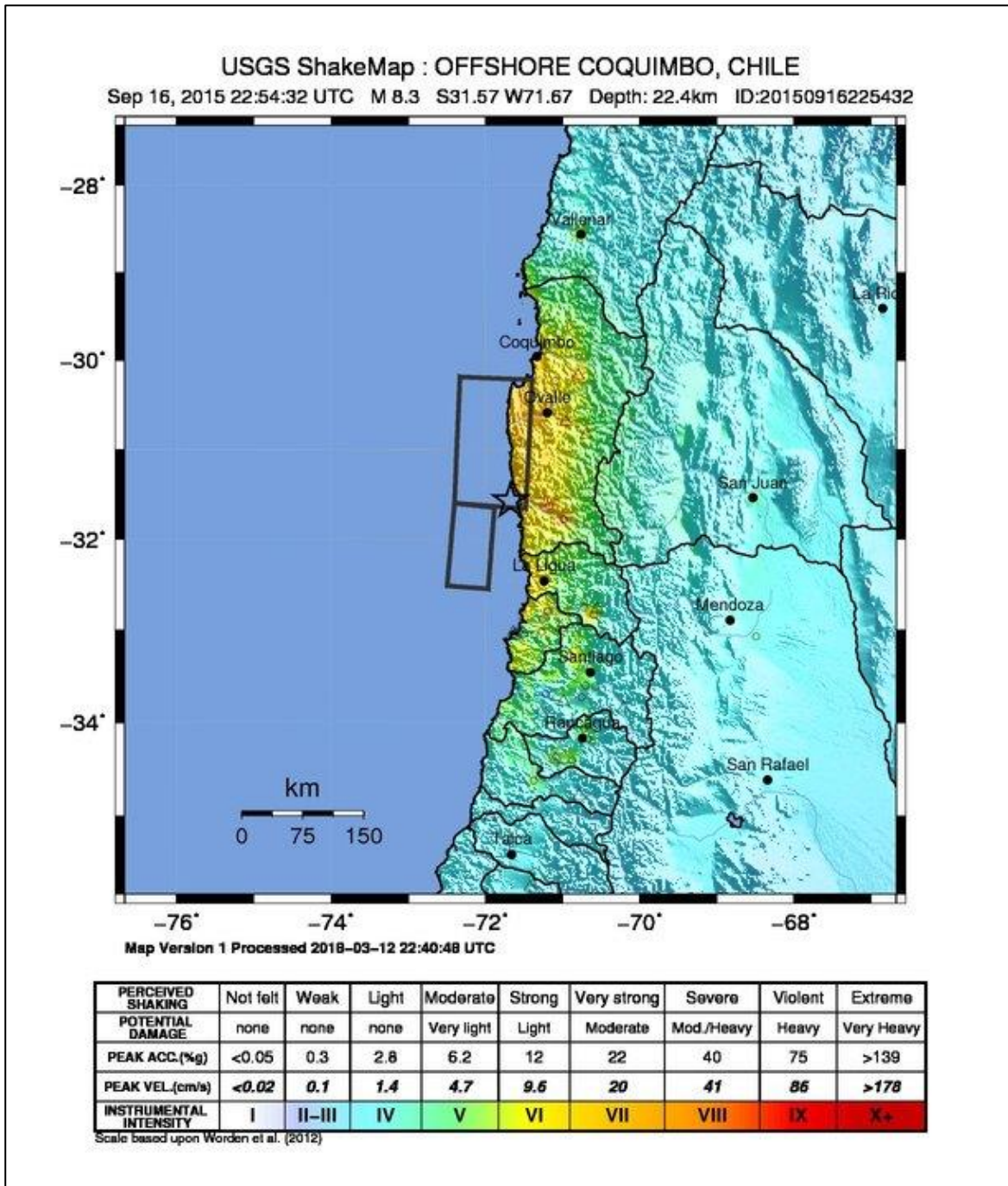
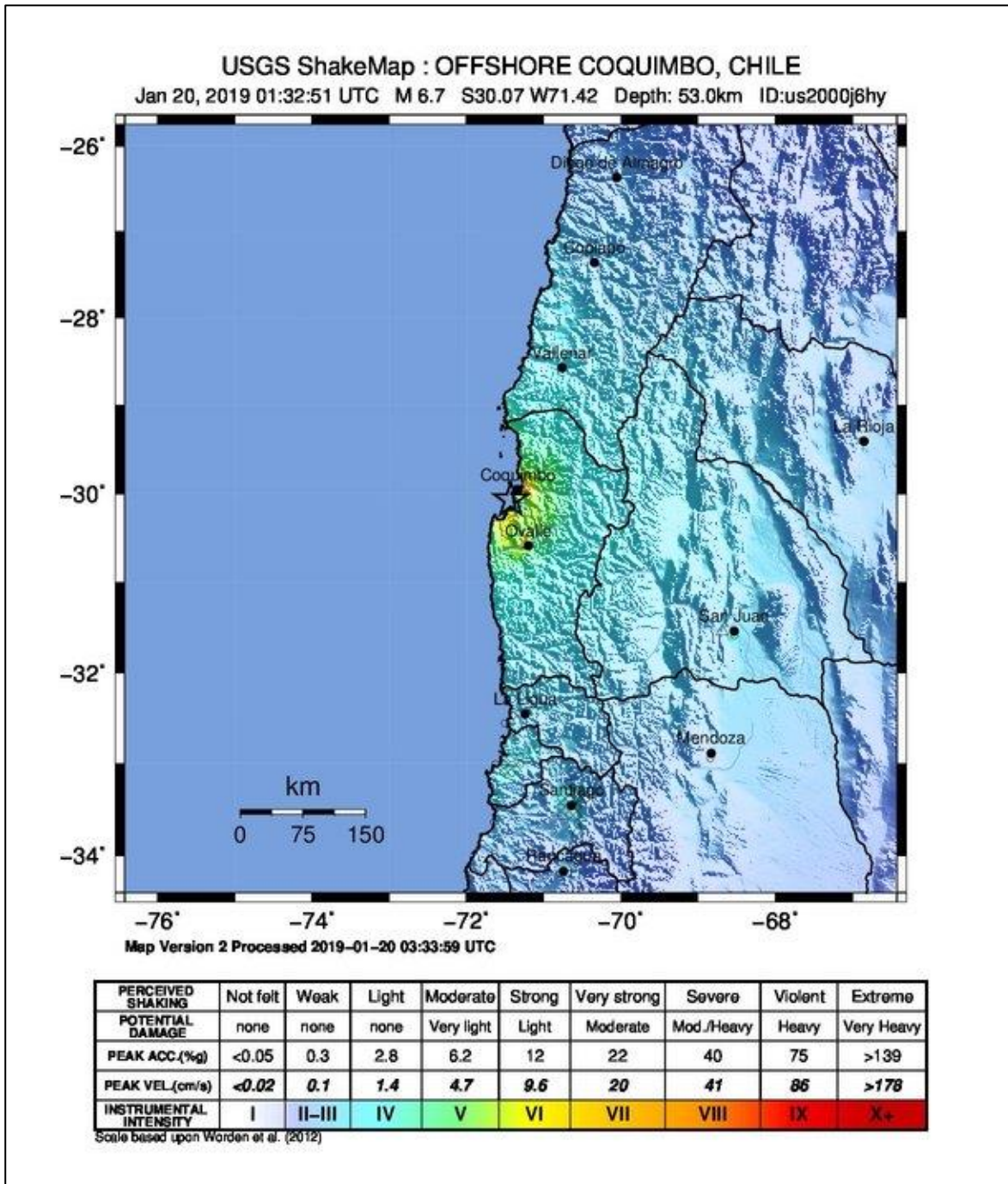


Figura 8: Registro del terremoto de Illapel el año 2015.





**Figura 9: Registro del terremoto de Coquimbo el año 2019.**