



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

**FACULTAD TECNOLÓGICA
ÁREA DE GEOMINERÍA**

RIESGOS SÍSMICOS EN VALLENAR Y SUS ALREDEDORES.

**TRABAJO DE TITULACION PRESENTADO EN CONFORMIDAD A LOS
REQUISITOS PARA OBTENER EL TÍTULO DE TÉCNICO
UNIVERSITARIO DE ASISTENTE DE GEOLOGÍA**

Profesor Guía: Felipe Pizarro Barraza

Matías Rodrigo José Nuñez Aguilera

Matías Ignacio Tapia Pizarro

Bastían Cristóbal Esquivel

Jorge Isaías Martín Guzmán

Vallenar Chile, 2024



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

**FACULTAD TECNOLÓGICA
ÁREA DE GEOMINERÍA**

RIESGOS SÍSMICOS EN VALLENAR Y SUS ALREDEDORES.

**TRABAJO DE TITULACION PRESENTADO EN CONFORMIDAD A LOS
REQUISITOS PARA OBTENER EL TÍTULO DE TÉCNICO
UNIVERSITARIO DE ASISTENTE DE GEOLOGÍA**

Profesor Guía. Felipe Pizarro

Matías Rodrigo José Nuñez Aguilera

Matías Ignacio Tapia Pizarro

Bastián Cristóbal Esquivel

Jorge Isaías Martín Guzmán

Vallenar Chile, 2024

DEDICATORIA

Primeramente, dedicarle este título a Dios que me ayudo en este camino y sin él no podría haber llegado a ningún lado ya que me dio una fuerza y esperanza gigante en mis momentos más bajos.

Este gran paso también se lo quiero dedicar a mi familia que fue un pilar fundamental en mi camino y su apoyo fue inmenso y sin ellos no podría haber tenido la fuerza necesaria para lograr mi título universitario.

Además, dedicarle mi título a mis amigos que también son mis compañeros de tesis por haberme acompañado en este proceso de titulación ya que estuvieron en los altos y bajos y sin ellos no hubiese logrado mi meta.

Agradecimiento

Esta dedicatoria la hago espacialmente para mi familia y gente que estuvo presente en este proceso de estudio universitario que me brindó su apoyo, cariño y que confiaron en mis capacidades, además de que fueron un soporte importante para mí en este proceso ya que es importante para mí y mi futuro laboral.

También quiero agradecerle a cada uno de los profesores que me acompañaron y me brindaron su apoyo en estos 2 años de estudio, ya que fueron un pilar fundamental en este proceso ya que me dieron nuevos conocimientos que me ayudaron a cumplir mi meta.

Quiero hacer una mención a mis compañeros de tesis que me acompañaron en este camino de principio a fin fueron fundamental en mi proceso de titulación y darles mi humilde agradecimiento por su apoyo incondicional.

Jorge Isaías Martínez Guzmán.

Dedicatoria

El presente trabajo es dedicado a mis padres, Marcelo Esquivel, Cristina Ardiles quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido cumplir unos de mis sueños, gracias por inculcar en mí el ejemplo de no rendirme y esforzarme. A mi profesor quien siempre estuvo ahí ante cualquier duda que tenía y tuvo la paciencia de enseñarme. A mis compañeros de tesis agradecerles por haber hecho un mui buen trabajo en conjunto. A todos ellos agradecerles ya que a ellos se pudo lograr esta etapa de mi vida tan importante.

Agradecimiento

Quiero agradecer a todas las personas que estuvieron en este proceso de mi vida tan difícil e importante. En primer lugar, agradezco a mi profesor y compañeros de tesis por acompañarme en esta etapa con su apoyo incondicional. También deseo expresar mi agradecimiento a mi familia que me brindaron amor, comprensión y motivación a lo largo de este camino. Finalmente agradecer a la universidad Atacama (sede Vallenar) por brindarme los recursos y herramientas necesarias para ejercer mi profesión, a todos ustedes muchas gracias.

Bastían Cristóbal Esquivel Ardiles.

Este proyecto va dedicado a todas las personas que, con su amor, apoyo y confianza, han sido mi fuente de inspiración y fortaleza a lo largo de este camino. A mis padres y abuelos por darme el apoyo y comprensión que necesitaba; a mis amigos, por su apoyo incondicional y acompañarme en el proceso; y a mis profesores, por guiarme y motivarme a lo largo de la formación académica. Este logro es el resultado de todo el esfuerzo y dedicación. A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento.

Agradecimiento

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que fueron parte de este importante proceso y que, de una u otra forma, contribuyeron a la realización de este proyecto. En primer lugar, agradezco al profesor Felipe Pizarro, por su apoyo, orientación, paciencia y por brindarme los conocimientos y herramientas necesarias en estos 2 años de carrera, para llevar a cabo este proyecto. Sus consejos y apoyo fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo. Agradezco profundamente a mi familia, por su comprensión y apoyo constante durante todo este tiempo. A mis padres, por ser siempre mi fuente de inspiración. También deseo agradecer a mis compañeros por ser parte de este proceso tan importante. Finalmente, a todas las personas que, con su trabajo y compromiso, hicieron posible que esta investigación se completara correctamente, ya sea proporcionando información, recursos o simplemente brindando su confianza.

Matías Ignacio Tapia Pizarro.

Dedicatoria

Esta dedicatoria es para mi familia especialmente a mis abuelos, ya que gracias a ellos que me han apoyado en este largo camino de dos años de carrera, también a mi tía y a mis seres queridos más cercanos por haber confiado en mis capacidades y por último agradecer a mi profesor guía por la paciencia en estos dos años.

Agradecimiento

A mis Abuelos, gracias por ser mis pilares. Su amor incondicional y su apoyo constante me han dado la confianza para perseguir mis sueños. Cada sacrificio que han hecho, cada consejo que me han brindado y cada momento que han dedicado a mí han dejado una huella imborrable en mi corazón. Ustedes me han enseñado la importancia de la perseverancia y el valor de la familia. No hay palabras suficientes para expresar cuánto los valoro y cuánto los amo. Y a mi querida tía, gracias por ser cada momento que hemos compartido, cada risa y cada conversación. Su apoyo y su amor han sido un gran aliento para mí, y me siento afortunado de tenerla en mi vida. En conjunto, ustedes son mi refugio, mi inspiración y mi motivación. Cada uno de ustedes ha contribuido de manera única a la persona que soy hoy, y por eso les estoy eternamente agradecido.

RESUMEN

La provincia del Huasco se ha visto afectada numerosas veces por desastres naturales, estos sucesos afectan a miles de personas como a distintas floras y faunas de la provincia, causan destrucción en las ciudades y medio ambiente, el principal objetivo de este proyecto es localizar y descifrar cuales son los sucesos que provocan los sismos en la región y obtener una solución para disminuir los daños provocados. Definiendo conceptos relacionados con estos eventos. Se utilizaron varias fuentes de información ya sea visitando el área de estudio como diferentes documentos vía internet. En el área se identificaron algunas unidades estratigráficas como el grupo chañarcillo, Formación cerrillos y viñetas, con 2 fallas importantes de deslizamiento inverso como la de las cañas y aguas de los burros; Se investigó sobre la estructura del embalse santa Juana dando como resultado que compuesto de un muro de 100 metros de altura sobre el lecho original del río Huasco con una pantalla de hormigón armado, pantalla que empalma en su parte inferior con la pared moldeada, la pared cumple el objetivo de evitar las filtraciones del relleno ya que está conformado principalmente por material grueso de origen fluvial es decir sedimentos, se encontraron riesgos como daños a la estructura del embalse, daños en las carreteras y vías turísticas.

Se discutió sobre los análisis, resultados y definiciones de los distintos puntos hablados en la investigación en la cual se plantearon los puntos que analizar y definen cuales son los procesos que originan los sismos en la zona, se analizó las características y propiedades del área de estudio, se caracterizó y señaló los riesgos y daños ocasionados por estos desastres y cómo estos influyen en el área de estudio. Por último se propuso soluciones para reducir y prevenir la cantidad de daños ocasionados por estos sucesos, en base a todo lo visto se elaboraron mapas utilizando programas como Google Earth y QGIS, estos mapas cumplen la función de mostrar a las personas diferentes puntos, ya sea las zonas afectadas o las zonas que se recomienda reforzar, con todo los puntos señalados se llegó a la conclusión que, la zona está construida con materiales sólidos y resistentes, sin embargo siguen habiendo zonas que serían sumamente afectadas en caso de un gran evento, afectando zonas urbanas como agrícolas, infraestructura e estructuras importantes como puentes o postes de luz, dando la posibilidad de que las recomendaciones dadas puedan ser tomadas en cuenta para reforzar el área, todo esto para tratar de evitar lo ocurrido con el terremoto ocurrido en 1920 en Vallenar, el cual dejó muchos fallecidos y la mayor parte de la ciudad destruida.

Abstract

The province of Huasco has been affected numerous times by natural disasters, these events affect thousands of people as well as different flora and fauna of the province, causing destruction in the cities and environment, the main objective of this project is to locate and decipher . which are the events that cause earthquakes in the region and obtain a solution to reduce the damage caused. Defining concepts related to these events. Various sources of information were used, either by visiting the study area or different documents via the Internet. In the area, some stratigraphic units are identified such as the chañarcillo group, Cerrillos and Viñetas Formation, with 2 important gradually inverse faults such as that of the reeds and waters of the burros; The structure of the Santa Juana reservoir was investigated, resulting in it being composed of a 100-meter-high wall on the original bed of the Huasco River with a reinforced concrete screen, a screen that connects at the bottom with the molded wall, the wall It meets the objective of avoiding leaks from the fill since it is mainly made up of thick material of river origin, that is, sediments. Risks were found such as damage to the structure of the reservoir, damage to roads and tourist routes. The analysis, results and definitions of the different points discussed in the investigation were discussed in which the points to analyze and define the processes that cause earthquakes in the area were raised, the characteristics and properties of the study area were analyzed. Finally, solutions were proposed to reduce and prevent the amount of damage caused by these events. Based on everything seen, maps were created using programs such as Google Earth and QGIS. These maps serve the function of showing people different points, whether the affected areas or the areas that are recommended to be reinforced, with all the points indicated, it was concluded that the area is built with solid and resistant materials, however there are still areas that would be extremely affected in the event of a major event, affecting urban and agricultural areas, infrastructure and important structures such as bridges or light poles, giving the possibility that the recommendations given can be taken into account to reinforce the area, all of this to try to avoid what happened with the earthquake that occurred in 1920 in Vallenar, which left many dead and the majority part of the city destroyed.

Tabla de contenido

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	12
1.1. Problema de investigación	12
1.2 Hipótesis	13
1.3. Objetivos	14
1.3.1. Objetivo general	14
1.3.2. Objetivos específicos	14
1.4. Ubicación y acceso del área de estudio.....	15
1.5. Trabajos previos	16
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	17
2.1. ¿Qué es un sismo y cómo se produce?.....	17
2.1.1. Tipos de ondas sísmicas y sus características	18
2.1.2. Intensidad y magnitud de los sismos.....	19
2.1.3. ¿Qué es una falla geológica, y cómo se forman?	20
2.1.5 ¿Qué es una cuenca hidrográfica?.....	25
2.2. Marco geológico	26
2.3. Contexto geotectónico global.....	26
2.4. Marco geológico Regional	28
2.5. Geomorfología y clima	30
2.6. Hidrogeología e Hidrografía	32
2.7. Unidades Litoestratigráficas	33
2.7.1. Unidades litoestratigráficas del paleozoico.....	33
2.7.2. Unidades litoestratigráficas del Mesozoico	34
2.7.3 Unidades litoestratigráficas del Cenozoico.....	35
2.8 Uso agrícola	35
2.9 Uso urbano	36
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA	37
3.1. Diseño de Investigación	37
3.2. Población y Muestra	37
.....	¡Error! Marcador no definido.
3.3. Instrumentos de Recolección de Datos	38

3.4. Procedimiento	40
3.5. Análisis de Datos	40
3.6. Trabajo en gabinete	40
Capítulo 4: RESULTADOS	41
4.1. Geología del área de estudio	41
4.2. Rocas y minerales predominantes	42
4.3. Estructura del embalse	43
4.4. Probables riesgos	44
4.4.1. Daño a la estructura del embalse.....	44
4.4.2. Daños en las carreteras y vías turísticas.....	44
4.5. Zonas afectadas	45
4.6.3. Anchura de Vallenar.	49
4.7. Registros sísmicos.....	51
CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN y CONCLUSIÓN.....	52
5.1. Discusión:	52
5.1.2. Analizar y definir cuáles son los procesos que originan los sismos en la provincia	52
5.1.3. Analizar las características y propiedades del área de estudio.....	53
5.1.4. Caracterizar y señalar los riesgos y daños ocasionados por estos desastres y cómo estos influyen en el área de estudio.....	54
5.2. Conclusión	55
CAPÍTULO 6: RECOMENDACIONES	56
Bibliografía	58

Índice de ilustración

Figura 1	escala de richter (Seismicknowledge, 2017)	13
Figura 2	ruta de acceso (elaboración propia)	15
Figura 3	¿qué es un sismo? (Slidesshare, 2017)	18
Figura 4	ondas sísmicas (ResearchGate, 1993)	19
Figura 5	Ilustración 5 escala de Mercalli (Seismicknowledge, 2017)	20
Figura 6	Fallas Geológicas (Facil, 2020)	21
Figura 7	Falla Normal (Argentina.gob.ar, 2020)	22
Figura 8	Diferentes Fallas Normales (Flickriver, 2007)	22
Figura 9	Falla Inversa (Argentina.gob.ar, 2020)	23
Figura 10	Diferentes Fallas Inversas (Argentina.gob.ar, 2020)	23
Figura 11	Fallas de Desplazamiento (Argentina.gob.ar, 2020)	24
Figura 12	Diferentes Fallas de Desplazamiento (Argentina.gob.ar, 2020)	24
Figura 13	Parte de una cuenca (HidroSM, 2018)	25
Figura 14	Cinturón de fuego del Pacífico (Caracolradio, 2023)	26
Figura 15	Subducción placa tectónica (Blogspot, 2010)	27
Figura 16	Marco geológico regional (EcuRed, 2018)	28
Figura 17	Quebrada de San Antonio (Makila, 2019)	29
Figura 18	quebrada camarones (google Maps)	29
Figura 19	Subcuenta Río Huasco (Carmen, 2018)	30
Figura 20	muestras tomadas del área de estudio (elaboración propia)	38
Figura 21	Rocas y minerales predominantes (elaboración propia)	42
Figura 22	Estructura del Embalse	43
Figura 23	Zonas Afectadas (elaboración propia)	46
Figura 24	Anchura embalse Santa Juana (elaboración propia)	47
Figura 25	Anchura de Verbena (elaboración propia)	48
Figura 26	Anchura de Vallenar (elaboración propia)	49

Índice Tabla

Tabla 1	Instrumentos de recolección de datos	39
Tabla 2	Registro de Sismos	51

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de investigación

La provincia del Huasco se ha visto afectada numerosas veces por desastres naturales a través del tiempo.

Algunas ciudades como Vallenar, Huasco, etc. han sido dañadas por desastres naturales a lo largo del tiempo, en estos últimos años también han habido sucesos que lograron ser catastróficos para la provincia, y siendo afectadas por diversos sismos superiores a al grado 7.0 en la escala de Richter, que podrían considerarse terremotos.

Estos sucesos afectan a miles de personas, como a distintas floras y faunas de la provincia, logran causar destrucción en las ciudades y medio ambientes en los que se origina, sin embargo los más habituales son los sismos, los cuales al obtener un grado superior a 7.0 en la escala de Richter son considerados terremotos, estos sucesos suelen ocurrir por un rompimiento repentino en las rocas en el interior de la Tierra, esta liberación repentina de energía se propaga en forma de ondas que provocan el movimiento del terreno, uno de los principales problemas es la falta de un plan de riesgo adecuado que indique cómo actuar ante estas situaciones, y lograr que los daños sean lo más mínimo posible, este problema afecta varias infraestructuras importantes en la localidad de Vallenar y sus alrededores, puentes, carreteras, viviendas, pero lo que provocaría más riesgos serían los daños que podrían ocasionar estos sucesos en el embalse santa Juana, cuenca del río Huasco, Vallenar.

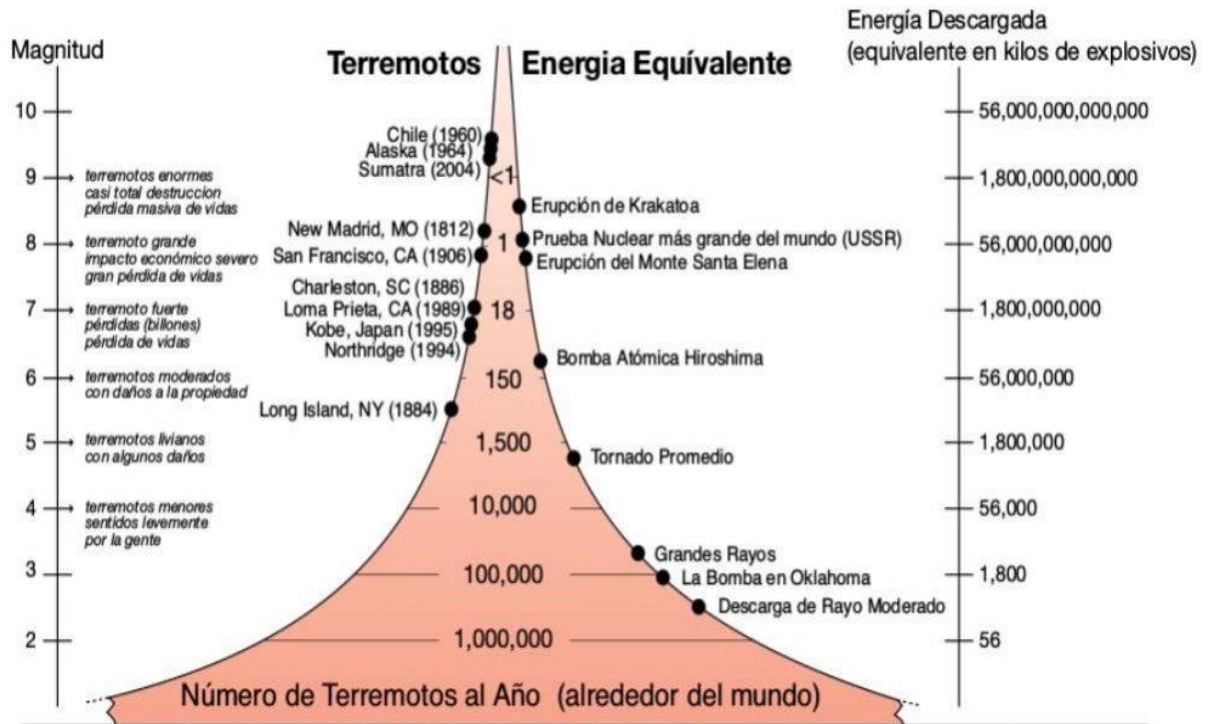


Figura 1 escala de richter (Seismicknowledge, 2017)

1.2 Hipótesis

El embalse Santa Juana, debido a fallas geológicas que han ocurrido frecuentemente en la región de Huasco al momento de un sismo de gran magnitud, está expuesto a sufrir una catástrofe lo que puede generar una pérdida de agua importante además de una destrucción en la infraestructura local.

El embalse Santa Juana es muy importante para la región y la provincia del Huasco, es un recurso vital que nos abastece, y al momento de un terremoto puede generar un colapso de la zona, porque es una infraestructura vulnerable a sismos de gran magnitud ya que está en un sector geológicamente inestable además de que está en un sector activo de fallas sísmicas. El colapso del embalse podría generar posibles daños en la comunidad cercana, este podría arrasarse con todo a su paso con el desbordamiento de agua así también perdiendo el abastecimiento de ella, incluso podría generar pérdida de vidas y daños materiales importantes en el sector del embalse y de Vallenar. Además, Vallenar y la ciudad de Huasco son vulnerables a sismos de gran magnitud

por su ubicación geográfica lo que puede generar un daño importante en lo económico y social por estos desastres naturales, por eso un posible colapso del embalse Santa Juana a causa de un sismo de gran magnitud sería catastrófico para gran parte de la región y significa un desastre histórico.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- El objetivo general de este proyecto es localizar y descifrar cuáles son los sucesos que provocan los desastres naturales en la región, y obtener una solución o plan de riesgo para disminuir los daños provocados.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar y definir cuáles son los procesos que originan los sismos en la zona.
- Analizar las características y propiedades del área de estudio.
- Caracterizar y señalar los riesgos y daños ocasionados por estos desastres y cómo estos influyen en el área de estudio.
- Proponer soluciones para reducir y prevenir la cantidad de daños ocasionados por estos sucesos.

1.4. Ubicación y acceso del área de estudio

El área de estudio, se encuentra en la Cuenca del río Huasco a 20 kilómetros al interior de la ciudad de Vallenar, en el camino que une a esta ciudad con la localidad de alto del Carmen, se encuentra entre las coordenadas $28^{\circ}40'38''$ S, $70^{\circ}38'33''$ W.

El acceso al área de estudio es a través de la carretera por la ruta C-485

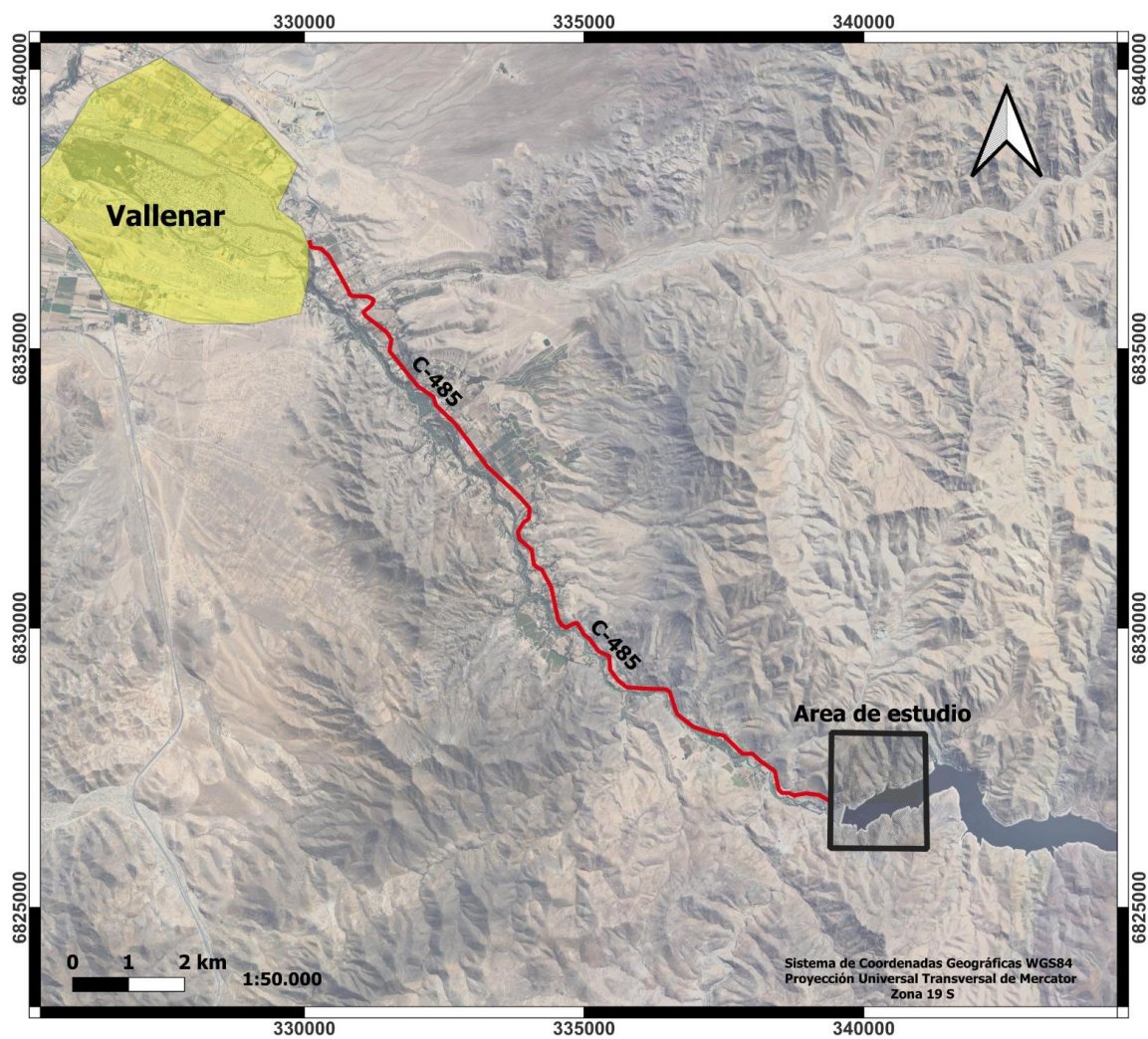


Figura 2 ruta de acceso (elaboración propia)

1.5. Trabajos previos

Hasta el día de hoy no hay trabajos que hablen específicamente sobre cómo los sismos pueden afectar la infraestructura y continuidad del funcionamiento del embalse Santa Juana. Sin embargo, se han hecho estudios y evaluaciones sobre el embalse y sus alrededores, estos estudios hablan sobre sus costos administrativos, su agricultura, caracterización hidroquímica, etc.

En el año 2009, el departamento de ciencias geológicas y SERNAGEOMIN, hicieron un análisis hidrogeoquímico, en el cual se centraron en la caracterización hidroquímica de las aguas superficiales del Río Huasco.

En el año 2002, 2 ingenieros, Jorge Soto Cifuentes Y Jorge Romero Nevea, hicieron un estudio en el cual hablaron sobre el costo medio anual de la administración del embalse Santa Juana.

En el año 2009, Alejandro Pardo hizo un trabajo el cual se habló sobre cómo el llenado del embalse logró diversificar la agricultura del Valle del Huasco.

En el año 2009, Herrera, S, Verdejo, J, Riquelme, R, Jensen, A., hicieron un proyecto sobre la Evolución geológica neógena-cuaternaria del curso inferior y medio del valle del Huasco

En 2009, Ávalos, P., Fernández, H., Retamal, R., Herrera, C., Bembow, M., Troncoso, R., Custodio, E., hicieron un proyecto sobre la Hidrogeología de la Cuenca del Río Huasco

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. ¿Qué es un sismo y cómo se produce?

Sismo es una palabra de origen griego que abarca otros vocablos dentro de su contexto como son: terremoto o temblor, usadas estas generalmente en dado que las dos últimas difieren de acuerdo a su intensidad y magnitud; sismo es un movimiento originado por fenómenos geológicos o causas artificiales, en un punto de la corteza terrestre, que se propaga en forma de ondas concéntricas a dicho punto, haciendo oscilar la superficie de la tierra en diferentes direcciones. en general cuando los sismos sobrepasan un determinado nivel de intensidad y ocasionan daños reciben el nombre de terremotos y cuando sólo alcanzan a ser percibidos toman la denominación de temblores, como es obvio los estudios orientados a este aspecto tienden a hacer énfasis en el análisis de los terremotos por ser éstos los movimientos sísmicos que mayor relación y repercusión presentan sobre los asentamientos humanos. (Moreno, J. 2013. Sismos.)

Los sismos no se pueden predecir ni con los desarrollos científicos más actuales

Los sismos son las vibraciones de la tierra ocasionadas por la propagación en el interior o en la superficie de ésta, de varios tipos de ondas. Terremoto o temblor son sinónimos de la palabra sismo.

Los sismos ocurren porque la tierra está cubierta por una capa rocosa conocida como litosfera, con espesor hasta de 100 km, la cual está fragmentada en grandes porciones llamadas placas tectónicas. La movilidad de éstas ocasiona que, en los bordes, donde las placas hacen contacto, se generen esfuerzos de fricción que impiden el desplazamiento de una respecto a la otra. Si dichos esfuerzos sobrepasan la resistencia de las rocas, o se vencen las fuerzas friccionalaste, ocurre una ruptura violenta y la liberación repentina de la energía acumulada.

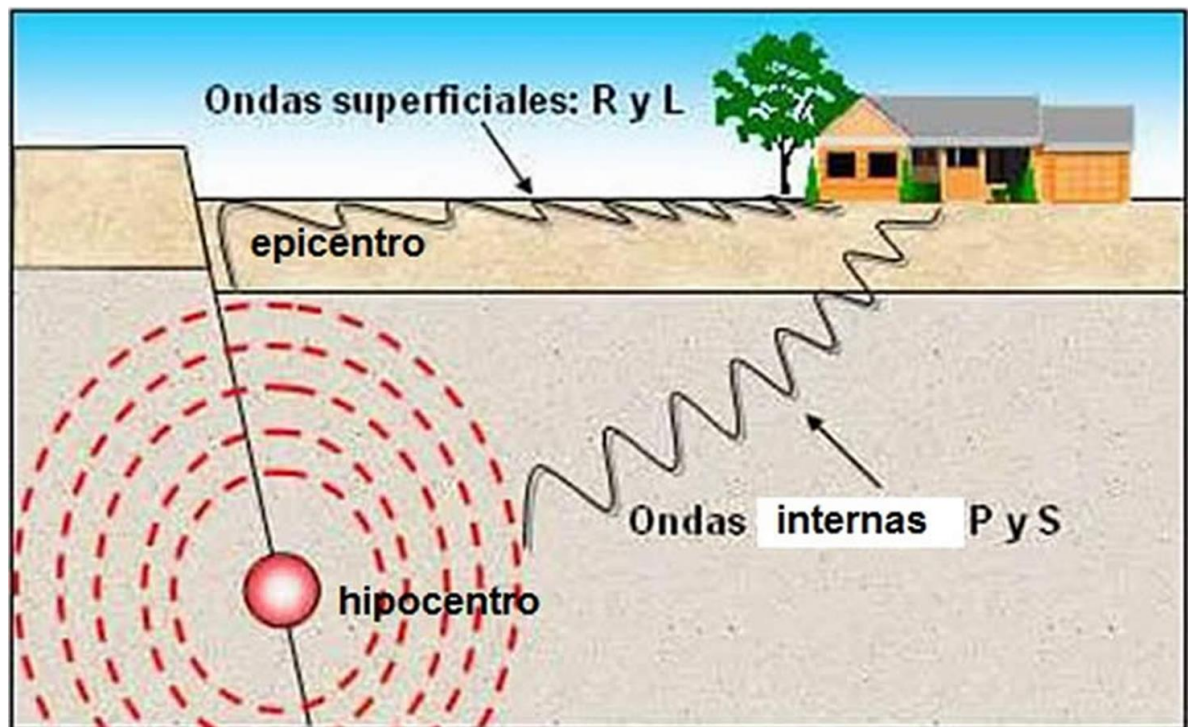


Figura 3 ¿qué es un sismo? (Slidesshare, 2017)

2.1.1. Tipos de ondas sísmicas y sus características

Las ondas P (ondas primarias) se denominan así porque son las primeras en llegar a la superficie de la tierra. Las ondas p son ondas longitudinales que se propagan produciendo oscilaciones del material con el que se encuentran en el mismo sentido en el cual se propagan.

Las ondas S (Ondas secundarias) son ondas de superficie después de ondas P. Las ondas S tiene una velocidad de 4,2 Kilómetros por segundo, aunque igual que la P varían del material dependiendo el material de propagación. Las ondas S, son ondas transversales que se producen con movimiento perpendicular a la dirección que se propaga.

Onda superficial, Ondas love, las ondas de love son ondas superficiales que producen un movimiento horizontal de corte en la superficie. La velocidad de las ondas love es un 90% de la velocidad de las ondas S y es ligeramente superior a las ondas Rayleigh.

Las ondas rayleigh o también ground roll son ondas superficiales que producen un movimiento elíptico retrógrado del suelo. Se identificaron en el año 1885. Estas ondas son lentas y su velocidad para propagarse es de un 90%, (Zafra, D. 2018).

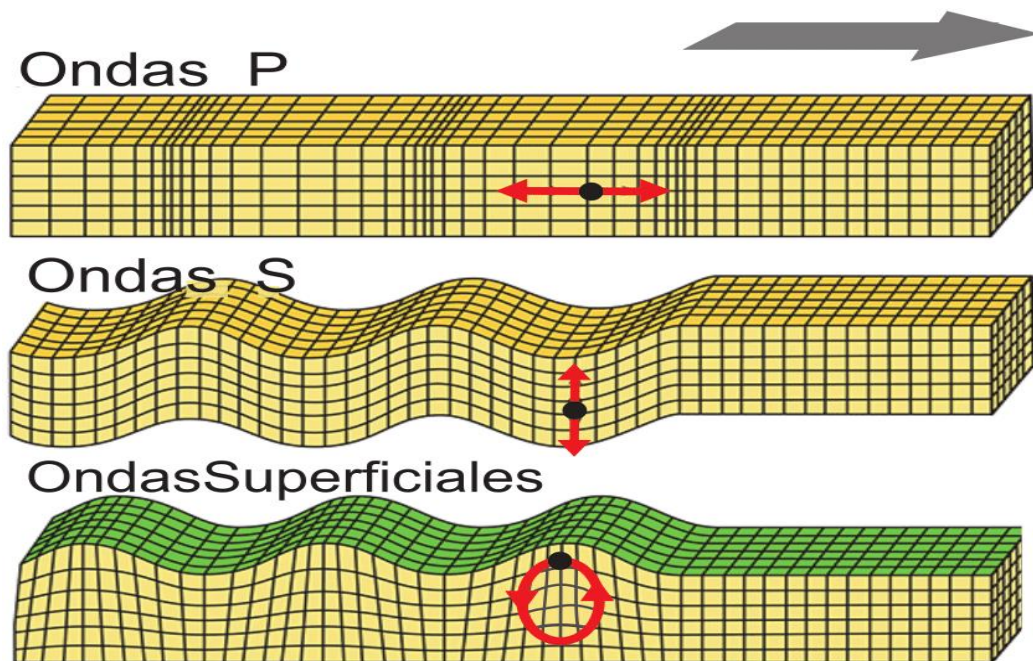


Figura 4 ondas sísmicas (ResearchGate, 1993)

2.1.2. Intensidad y magnitud de los sismos

La intensidad es un parámetro que indica el grado en que un terremoto afecta a un lugar específico, ya sea en los efectos percibidos por las personas, los efectos sobre los objetos y el entorno, o en los daños en las construcciones. La magnitud es una medida del tamaño del terremoto es una indicación entre la magnitud y la intensidad epicentral. Éstas permiten a su vez estimar la magnitud probable de los sismos.

Por otra parte, la “Magnitud” es una medida instrumental relacionada con la energía elástica liberada por el sismo, y propagada como ondas sísmicas en el interior y en la superficie de la tierra. Es independiente de la distancia entre el hipocentro y el sitio de observación, y resulta en un valor único, que se obtiene matemáticamente del análisis de los sismogramas. Existen diferentes escalas para medir la Magnitud, aunque la más difundida es la de Richter

Existen diferentes escalas para medir la intensidad de los sismos. La escala Modificada de Mercalli, creada en 1902 por Giuseppe Mercalli y reelaborada en 1931 por H. Wood y F. Neumann. La escala de Mercalli se emplea sobre todo en Sudamérica Todas ellas

están divididas en 12 grados. (Macau, A., & Figueras, S. 2011. La intensidad, una herramienta para medir los terremotos a partir de sus efectos.)

Escala Sísmica Modificada de Mercalli	
I. Imperceptible	Microsismo, detectado por instrumentos
II. Muy Leve	Sentido por algunas personas (generalmente en reposo)
III. Leve	Sentido por algunas personas dentro de edificios
IV. Moderado	Sentido por algunas personas fuera de edificios
V. Poco Fuerte	Sentido por casi todos
VI. Fuerte	Sentido por todos
VII. Muy Fuerte	Las construcciones sufren daño moderado
VIII. Destructivo	Daños considerables en estructuras
IX. Muy Destructivo	Daños graves y pánico general.
X. Desastroso	Destrucción en edificios bien contruidos
XI. Muy Desastroso	Casi nada queda en pie
XII. Catastrófico	Destrucción total

Figura 5 Ilustración 5 escala de Mercalli (Seismicknowledge, 2017)

2.1.3. ¿Qué es una falla geológica, y cómo se forman?

Las fallas geológicas son fracturas que ocurren en la corteza de la tierra a lo largo de las cuales se ha producido un desplazamiento apreciable de las rocas o suelos, estas estructuras geológicas suelen incluso alcanzar hasta los 15 km de profundidad. Aunque generalmente a una falla geológica se la representa como un plano único, la verdad es que esta estructura geológica es un conjunto de fracturas que afecta a las rocas o suelos, por lo tanto, en conjunto pueden tener varios kilómetros de largo y de ancho.

Para que se forme una falla geológica es necesario que la corteza terrestre se fracture y ocurra movimiento relativo de los bloques o masas de roca (macizos rocosos) que componen la corteza.

Por tal razón, las fallas geológicas se forman cuando la corteza terrestre es afectada por esfuerzos de extensión (tensión), esfuerzos de compresión y por esfuerzos de

cizalla, que causan la fractura miento de la corteza y hacen que las rocas se muevan a través de un plano de falla, (Maldonado, Y. 2018).

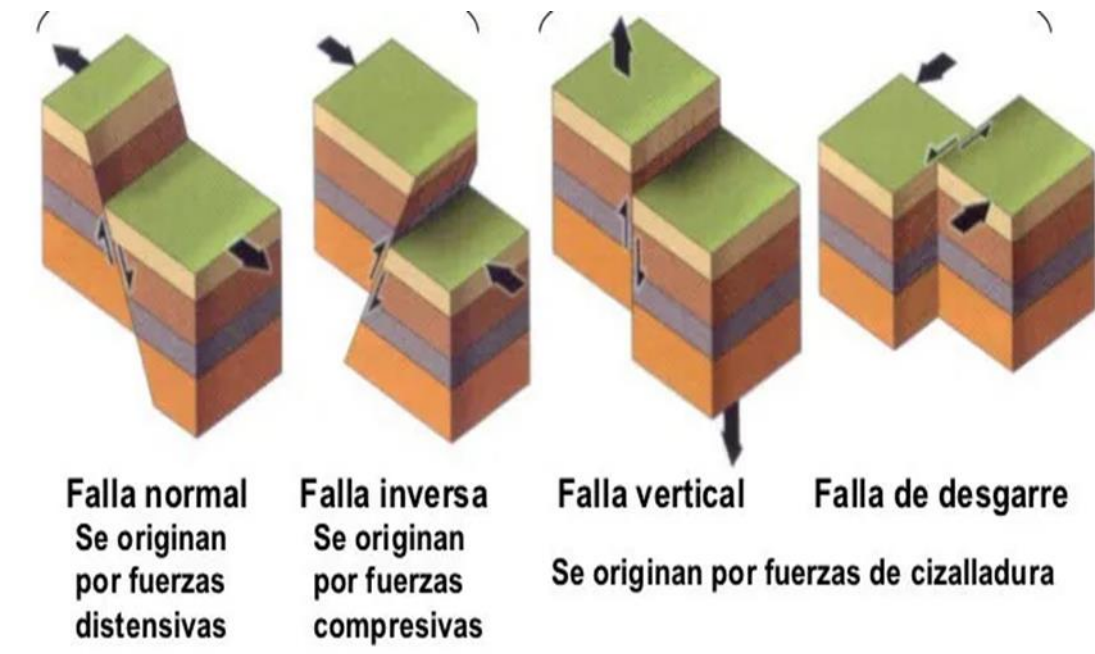


Figura 6 Fallas Geológicas (Facil, 2020)

2.1.4 Tipos de fallas geológicas

Falla normal: Este tipo de fallas se generan por tensión horizontal. Las fuerzas inducidas en la roca son perpendiculares al acimut de la falla (línea de ruptura superficial), y el movimiento es predominantemente vertical respecto al plano de falla, el cual típicamente tiene un ángulo de 60 grados respecto a la horizontal. El bloque que se encuentra por encima del plano de la falla se denomina techo, y se desliza hacia abajo; mientras que el bloque que se encuentra por debajo del plano de la falla se denomina piso, y asciende.

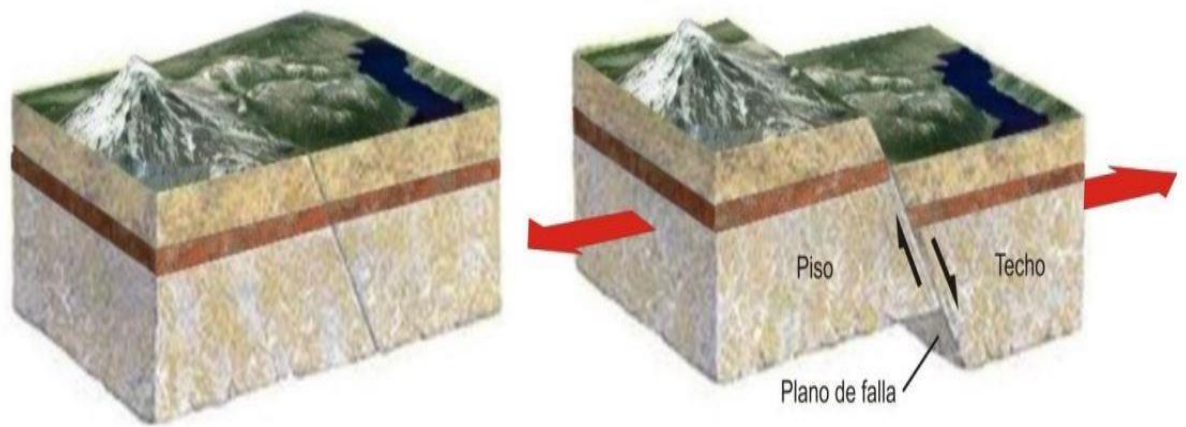


Figura 7 Falla Normal (Argentina.gob.ar, 2020)



Figura 8 Diferentes Fallas Normales (Flickrriver, 2007)

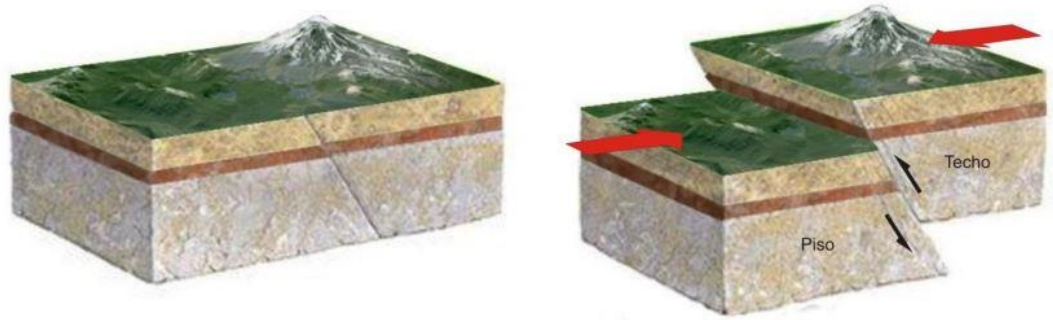


Figura 9 Falla Inversa (Argentina.gob.ar, 2020)

Falla inversa: Este tipo de fallas se genera por compresión horizontal. El movimiento es preferentemente horizontal y el plano de falla tiene típicamente un ángulo de 30 grados respecto a la horizontal. El bloque de techo se encuentra sobre el bloque de piso. Cuando las fallas inversas presentan un buzamiento (inclinación) inferior a 45°, éstas también toman el nombre de cabalgamiento.

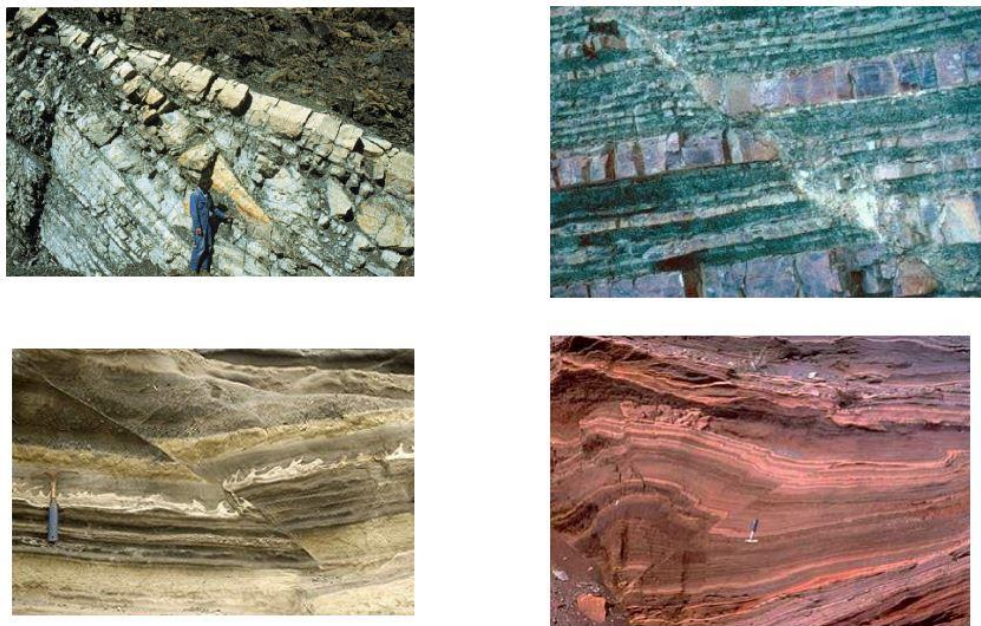


Figura 10 Diferentes Fallas Inversas (Argentina.gob.ar, 2020)

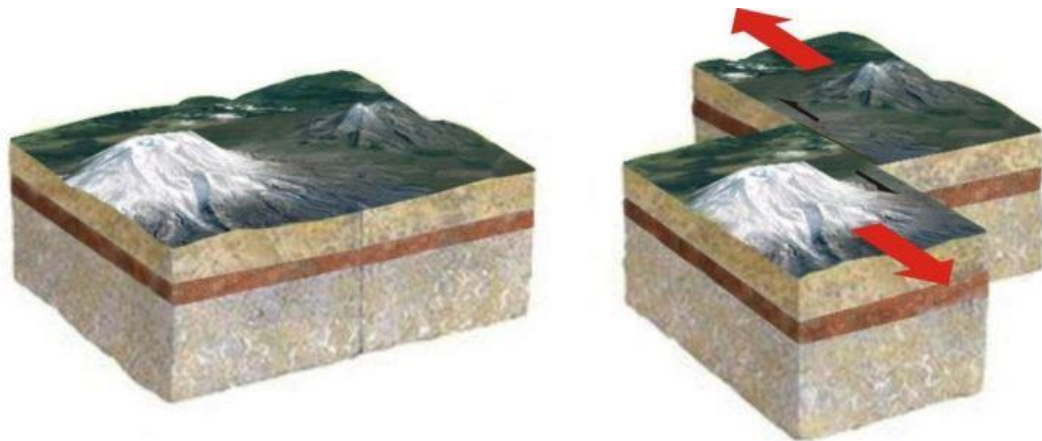


Figura 11 Fallas de Desplazamiento (Argentina.gob.ar, 2020)

Falla de desgarre o de desplazamiento de rumbo: Estas fallas se desarrollan a lo largo de planos verticales y el movimiento de los bloques es horizontal, son típicas de límites transformantes de placas tectónicas. Se distinguen dos tipos de fallas de desgarre: laterales derechas y laterales izquierdas. Laterales derechas o dextrales, son aquellas en donde el movimiento relativo de los bloques es hacia la derecha; mientras que en las laterales izquierdas o sinestrales, el movimiento es opuesto a las anteriores. También se las conoce como fallas transversales. (INPRES, 2018)



Figura 12 Diferentes Fallas de Desplazamiento (Argentina.gob.ar, 2020)

2.1.5 ¿Qué es una cuenca hidrográfica?

La cuenca hidrográfica es una zona de tierra que es drenada por un único sistema de drenaje natural, lo que significa que drena sus aguas al mar utilizando únicamente un **río**, o, que vierte sus aguas a un único lago endorreico. Una cuenca hidrográfica es delimitada por las líneas divisorias de aguas. El uso de los recursos naturales se regula administrativamente separando el territorio mediante cuencas hidrográficas. La cuenca hidrográfica también se conoce con el nombre de hoya hidrográfica, cuenca de drenaje y cuenca imbrífera.

Partes de una cuenca

- Cuenca alta: es la zona donde nace el río, el cual se desplaza por pendiente de gran tamaño.
- Cuenca media: es en donde hay un equilibrio entre el material sólido que llega traído por la corriente y el material que sale. No se observa erosión a simple vista.
- Cuenca baja: es donde el material extraído de la parte alta se deposita en lo que se llama cono de deyección.

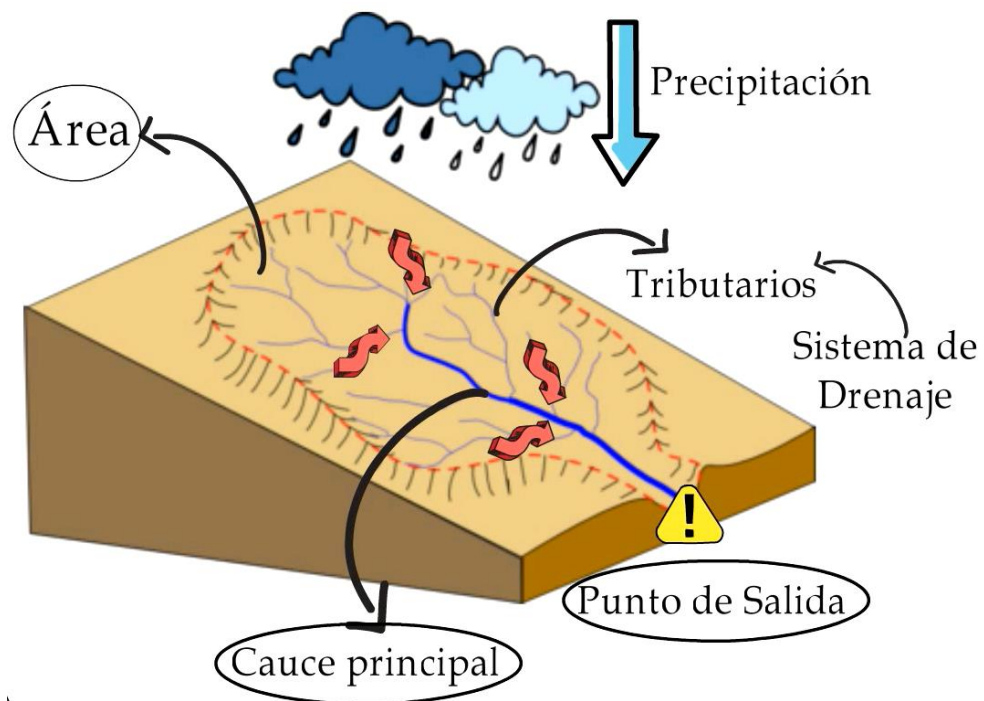


Figura 13 Parte de una cuenca (HidroSM, 2018)

2.2. Marco geológico

En esta etapa se describirá el contexto o conjunto de las distintas características geológicas, evaluando distintas características como geomorfología, clima, hidrogeología, y unidades litoestratigráficas de distintas épocas. Esta etapa es importante para comprender la formación, evolución, y procesos actuales de la tierra, proporcionando un contexto para cada punto.

2.3. Contexto geotectónico global

Los eventos sísmicos ocurridos tanto en Chile como en la región de Atacama y en la provincia del Huasco, es debido a la particular ubicación del territorio chileno en el denominado cinturón de fuego del Pacífico lugar donde se concentran algunas de las zonas de subducción más activas e importantes del planeta, lo cual ha convertido a Chile en el lugar más sísmico del mundo, (Pais vulnerable. 2017).

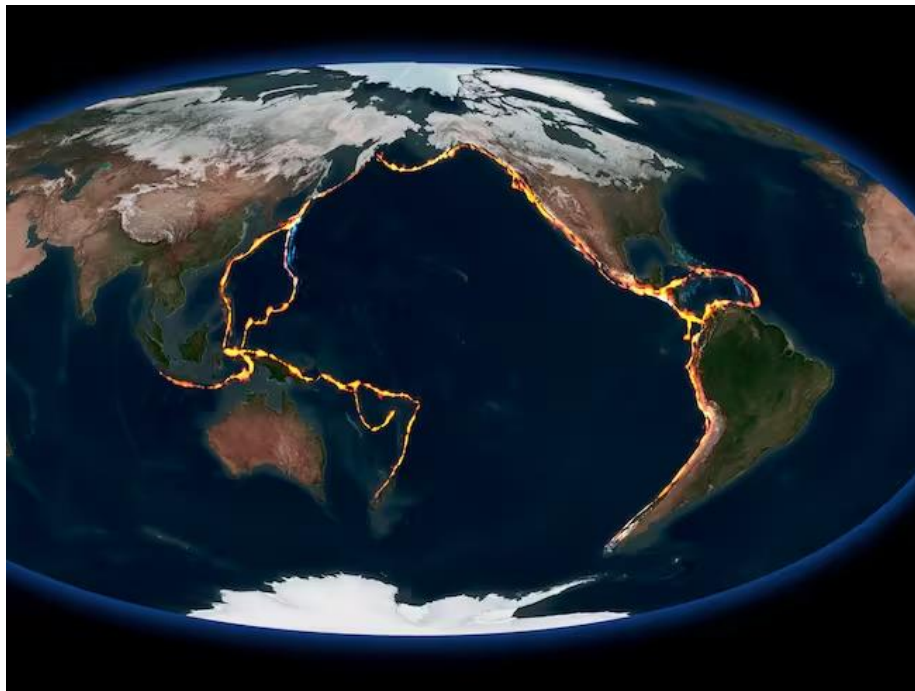


Figura 14 Cinturón de fuego del Pacífico (Caracolradio, 2023)

La geología de Chile está dominada por la interacción entre la placa de Nazca y la placa sudamericana. La placa de nazca se está subduciendo bajo la placa sudamericana a una velocidad de 6.6cm por año. Este proceso de subducción es el principal responsable de la alta frecuencia y magnitud de los sismos en el país.

En términos geológicos, la subducción es un proceso en el cual una placa tectónica se desliza por debajo de otra. En el caso de Chile, la placa de Nazca se hunde bajo la placa Sudamericana, creando una zona de subducción conocida como la fosa de Perú-Chile. Esta interacción no sólo da origen a sismos, sino que también da origen a volcanes y cordilleras montañosas, (Arfaquinta. 2024).



Figura 15 Subducción placa tectónica (Blogspot, 2010)

2.4. Marco geológico Regional

En este punto se abarcará principalmente descripciones detalladas de las características geológicas de la ruta C-485 y cuenca del Río Huasco. Este marco se utiliza para comprender la relación de los distintos elementos geológicos del área de estudio, este proporcionara una visión sobre las distintas características geológicas del sector.



Figura 16 Marco geológico regional (EcuRed, 2018)

La cuenca del río Huasco se ubica en la región de Atacama, posee una longitud de 88 km hasta que desemboca en el mar al norte de la ciudad del Huasco, su hoya hidrográfica es de 9.850 km², este se forma en junta del Carmen, a 90km de su desembocadura en el mar, por la confluencia de los ríos del Tránsito que viene del NE y del Carmen del SE.

Todos los cauces de la cuenca del río Huasco se encuentran sobre formaciones geológicas constituidas por depósitos no consolidados y rellenos de depósitos fluviales; gravas, arenas y limos del curso actual de los ríos mayores o de sus terrazas subactuales y llanuras de inundación. Los alrededores de los cauces presentan variedades de formaciones geológicas siendo las más importantes:

- Quebrada san Antonio: rocas de tipo volcánicas del jurásico superior-cretácico inferior, secuencias volcánicas, lavas, basálticas a riolíticos. domos brechas y aglomerados andesíticos a dacíticos.



Figura 17 Quebrada de San Antonio (Makila, 2019)

- Quebrada camarones: rocas de tipo intrusivas del cretácico inferior bajo, monzodioritas y dioritas de piroxeno, hornblenda y biotita, granodioritas y tonalitas, mineralizaciones de Fe.

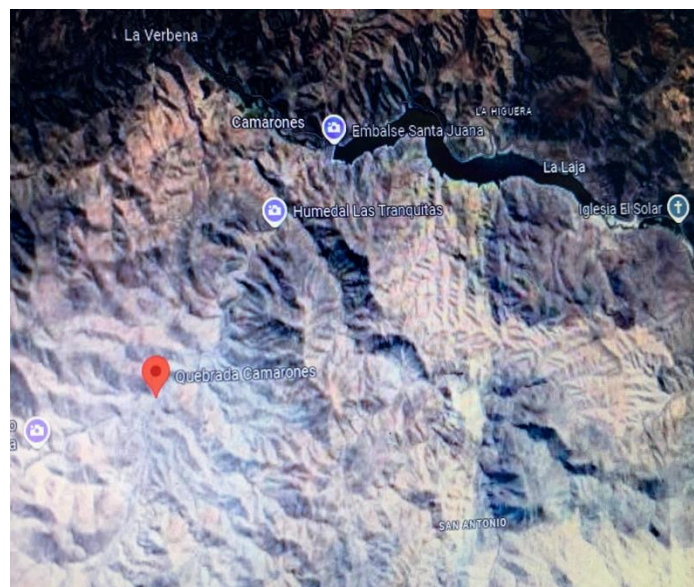


Figura 18 quebrada camarones (google Maps)

- Subcuenca del río del Carmen: rocas de tipo sedimentarias del cretácico inferior. Secuencias sedimentarias marinas litorales, calizas, calcarenitas, areniscas, margas y coquinas



Figura 19 Subcuenta Rio Huasco (Carmen, 2018)

- Quebrada del río grande y quebrada Cantarito: rocas de tipo intrusivas del paleoceno- eoceno, monzodioritas de piroxeno y biotita, granodioritas y monzodioritas de hornblenda y biotita, dioritas, gabros y pórfidos riolíticos y dacíticos, asociados a mineralización de Cu- Au. (Dirección general de aguas. 2004).
-

2.5. Geomorfología y clima

La cuenca del río Huasco se caracteriza por la alternancia sucesiva de cordones montañosos y valles de sentido transversales, valles característicos de la zona denominada norte chico, estos valles se extienden desde la cordillera de la costa a la cordillera de los andes.

El clima es mediterráneo desértico- oceánico y la variabilidad está dada por cambios en el origen y montos de precipitaciones desde la costa hacia la cordillera y por la variación térmica que se produce en el mismo sentido.

En la cuenca del Río Huasco se presentan dos climas: el clima desértico con nublados, de Vallenar a la costa, y el clima desértico normal, de Vallenar hacia el interior. El clima desértico con nublados tiene por características principales variaciones térmicas muy moderadas, precipitaciones escasas y solamente en el periodo invernal, alta humedad relativa y nubosidad abundante aún en los meses de verano. La influencia marina se ve a través de neblinas o camanchacas, especialmente en las mañanas y hasta la Junta del Carmen, en forma excepcional.

Las precipitaciones aumentan de acuerdo al gradiente altitudinal en dirección a la cordillera andina, estas se originan en los frentes polares provenientes desde el sudoeste y la barrera climática de los Andes produce su acumulación en los sectores altos de la cordillera, De Vallenar hacia la costa, las condiciones semiáridas son atenuadas por la influencia del aire húmedo costero. (Mosjos, S. 2017).

De acuerdo a lo señalado en Vallenar el promedio anual de precipitaciones es de 23 mm. Las temperaturas y la oscilación térmica disminuyen hacia el este, debido a la combinación del efecto de la altitud y del incremento de la distancia al mar. Las características principales de los valles de los Ríos Huasco, Tránsito y del Carmen están dadas por un período libre de heladas de 11 meses, de agosto a junio. (Dirección general de aguas,2004).

2.6. Hidrogeología e Hidrografía

El drenaje del río Huasco está controlado por dos brazos principales. El brazo norte tiene por curso al río del Tránsito y el brazo sur al río del Carmen.

La cuenca hidrogeológica del río Huasco se extiende desde la latitud 28°34' hasta la latitud 29°39' Sur.

En la parte alta del lugar destaca la existencia de permeabilidad muy baja, esto debido a la existencia de rocas plutónicas e hipabisales del paleozoico formado por intrusivos graníticos y basamentos impermeables junto con rocas volcánicas, coladas y depósitos piroclásticos riolíticos, dacíticos, andesíticos y basálticos del período jurásico de muy baja permeabilidad.

A partir de Vallenar existen recargas del río Huasco por afloramientos, los cuales continúan hasta su desembocadura. (Aguilar & Constantino, 2017)

El régimen hidrológico ha sido descrito como inestable, presentándose nival algunos años, con crecidas en los meses de verano (noviembre a enero) de acuerdo a lo señalado por Algoritmos (2013). En años más secos, presenta crecidas provenientes de precipitaciones directas en los meses de invierno. Sin embargo, en varios años ha presentado comportamiento bimodal, con un máximo en invierno y otro en primavera. Así mismo, el régimen promedio es nivo-pluvial, sin embargo, se han datado años con patrones de descarga netamente pluvial y/o nivales. (CENMA, 2016)

2.7. Unidades Litoestratigráficas

La geología de la zona de estudio se puede hallar en la hoja Vallenar y parte norte de la Serena (Moscoso, R. 1982), hoja el Tránsito (Moscoso, R. 2010), hoja Guanta (Nasi. 1990), y en la carta geológica del área Vallenar-Domeyko (Arevalo, C. 2009). Se presentará una versión simplificada de la litoestratigráfica según las 3 hojas mencionadas.

A continuación, se describen las diferentes unidades litoestratigráficas que afloran en el área del estudio.

Los depósitos fluviales del río Huasco, se hallan encajonados en las Gravas de Atacama, grupo Bandurrias, grupo Chañarcillo, formación Cerrillos.

El río del Carmen se emplaza sobre la formación Algarrobal, estratos del Verraco, unidad Chollay, formación Pastos Blancos y unidad Guanta.

A continuación, se describirán las unidades litoestratigráficas mencionadas anteriormente y otras que también son relevantes en la geología de la zona.

2.7.1. Unidades litoestratigráficas del paleozoico

Metamorfitas de la costa Pz: conjunto de rocas de mediano a bajo grado de metamorfismo (esquistos, filitas y cuarcitas), intensamente deformadas, que afloran en el flanco occidental de la cordillera de la Costa. Los esquistos predominan sobre el resto, ocupando la mayor distribución areal. (Moscoso, R. 1979a).

Complejo metamórfico el Tránsito (Paleozoico inferior): conjunto de rocas metamórficas formados por metabasitas, esquistos de cuarzo y moscovita, esquistos nodulares de albita, cuarcitas y mármoles de mediano grado metamórfico y que afloran principalmente en el valle del río Tránsito. En la hoja Guanta, esta unidad forma una pequeña cuña, instruida por tonalitas de la Superunidad Elqui. (Ribba, L. 1988).

Formación Pastos Blancos (Paleozoico superior- Triásico inferior): se denomina Formación Pastos Blancos a una potente secuencia volcánica formada por lavas y brechas piroclásticas de composición riolítica y dacítica, a las cuales se asocian pórfidos riolíticos, lavas andesíticas y rocas sedimentarias continentales, su afloramiento se distribuye entre los ríos Chollay y Turbio, formando franjas de afloramientos continuos y de ancho variable. (Thiele Cartagena, R. 1963).

Unidad Guanta (Pérmico- Triásico): conjunto de plutones, formado por rocas leucocráticas de grano medio a grueso, y color verdoso a gris blanquecino, que corresponden principalmente a tonalitas y granodioritas de hornblenda y biotita y, en forma subordinada, a dioritas, dioritas cuarcíferas y gabros. Estas rocas presentan una notoria foliación, marcada por la orientación subparalela de los minerales ferromagnesianos, la cual, es interpretada como de origen sinmagmático. (Mpodozis, C., & Cornejo, P. 1988).

Unidad Chollay (Pérmico- Triásico): conjunto de plutones formados por rocas de grano grueso a muy grueso, equigranulares, de característico color rosado y de composición monzogranítica, con facies granodioríticas y sienograníticas subordinadas, los afloramientos más típicos se encuentran a lo largo del río Chollay. Los plutones de la unidad Chollay están instruidos por por sienogranitos y pórfidos graníticos rojos de la Unidad Colorado y se encuentran cubiertos, en discordancia, por secuencias volcánicas y sedimentarias meso-cenozoicas. (Nasi. 1990).

2.7.2. Unidades litoestratigráficas del Mesozoico

Grupo Bandurrias (Neocomiano): conjunto de rocas, predominante volcánicas, con intercalaciones sedimentarias, clásticas, y calcáreas marinas, que presenta una relación de engrane lateral de facies con calizas del grupo Chañarcillo. El grupo Bandurrias representa un arco de islas volcánicas que se desarrolló durante el neocomiano desde Copiapó al sur. (Abad Escobar, E. 1977.)

Grupo Chañarcillo (Neocomiano): secuencia de rocas sedimentarias, marinas, constituidas principalmente por calizas fosilíferas, calcarenitas y niveles margosos, portadora de fauna neocomiana que, por sus características litológicas, contenido faunístico y continuidad areal, fue asignada al grupo Chañarcillo. (Abad, E. 1976).

Formación Cerrillos (Cretácico- Superior): conjunto de rocas, predominantemente epiclasticas en su sector inferior (conglomerados, brechas y areniscas), y volcánico epi- piroclásticas en su sector superior (andesitas, brechas, conglomerados, con interacciones calcáreas finas), por sus características litoestratigráficas, ha sido reconocido como Formación Cerrillos. (Reutter, K. 1974).

Estratos del Verraco (Triásico superior- Jurásico inferior): secuencia de rocas volcánicas, principalmente andesíticas, de aspecto macizo y color verde oscuro, en la

que se intercalan brechas, conglomerados, areniscas y calizas marinas fosilíferas. (Nasi. 1990).

Formación Algarrobal (Jurásico medio-superior): aflora una secuencia continental formada por lavas y brechas, andesíticas, conglomerados y areniscas, con intercalaciones de rocas piroclásticas. (Nasi. 1990).

2.7.3 Unidades litoestratigráficas del Cenozoico

Gravas de Atacama (Mioceno medio a superior): conjunto de sedimentos, poco a medianamente consolidados, de origen aluvial, que incluye conglomerados de bolones, gravas, arenas y ripios, con intercalaciones limosas, acumulados sobre las unidades de roca preexistentes en la zona y disecados por las quebradas modernas. Esta unidad, en el interior, se dispone horizontalmente como una carpeta, sellando las estructuras y unidades más antiguas. (Conn, H. 1974).

2.8 Uso agrícola

El uso del suelo de tipo agrícola en la cuenca comprende 30.194 Ha equivalentes al 3% de la superficie total. Los terrenos agrícolas se presentan principalmente a lo largo del valle del río Huasco aguas abajo de la localidad de Vallenar hasta la desembocadura. Estos terrenos se presentan únicamente en áreas aledañas a las terrazas fluviales de este cauce. En el sector alto del río (nacimiento en la confluencia de los ríos del Tránsito y del Carmen) la superficie de terrenos de agrícolas es muy reducida, sin embargo, se logra desarrollar una pequeña superficie en algunos sectores del río del Tránsito y río Conay, afluente de este último.

Los frutales ocupan la mayor parte de la superficie sembrada de la región. En esta actividad destaca la provincia de Huasco, que posee un 40% del suelo de especies frutales. La mayor superficie la ocupa la uva de mesa, la cual ha experimentado fuertes incrementos en su tecnología y capital.

El olivo es la segunda especie con mayor participación, teniendo gran proyección en la región, dado que las condiciones climáticas permiten una excelente calidad y, por

otro lado, la demanda mundial de aceite de oliva ha sido creciente. Las plantaciones de olivos se concentran en la provincia de Huasco, específicamente en las comunas de Huasco Freirina.

(Dirección general de aguas, 2004)

2.9 Uso urbano

El uso del suelo de tipo urbano en la cuenca, alcanza las 321 Ha equivalentes al 0,03% de la superficie total. La población urbana total al año 2002 es de 53.664 habitantes.

El sector urbano más importante de la cuenca, lo constituye la ciudad de Vallenar, capital provincial, donde se concentra el mayor número de población urbana. La ciudad de Huasco y la localidad de Freirina también poseen un importante número de población urbana. El sector de Alto del Carmen sólo presenta población rural (4.840 habitantes).

La cuenca del río Huasco, incluye en su territorio además de los antiguos asentamientos de Freirina y Huasco, el área denominada sector minero Los Cristales, ubicado en la parte norte de la comuna de La Higuera. El sector minero de la cuenca se emplaza preferentemente en los alrededores de la ciudad de Vallenar, Quebrada Honda y localidad de Domeyko donde se han identificado un total de 34 faenas mineras que extraen principalmente cobre y en menor proporción oro y carbonato. También destaca la comuna de Freirina con un total de 19 faenas mineras siendo el único mineral explotado el cobre. (Dirección general de aguas, 2004)

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

3.1. Diseño de Investigación

Se utilizó un tipo de estudio cualitativo, se buscó y encontró objetos, es decir muestras, las cuales dieron información aproximada de un área o del sector estudiado alrededor del embalse Santa Juana.

Se utilizó un enfoque Experimental, exploratorio, descriptivo recopilando información de los sectores hasta encontrar el embalse Santa Juana, hipotetizando los riesgos sísmicos y posibles daños que sufra el embalse Santa Juana. También un estudio exploratorio de investigación preliminar para aclarar la naturaleza exacta del problema. Los problemas a resolver, daños por movimientos sísmicos de gran magnitud, experimentalmente lo utilizamos en campo para ver la geología que aflora con mayor frecuencia en los cerros alrededor del embalse a través de sustancias como el ácido, que reaccionan a minerales de carbonato.

3.2. Población y Muestra

Los tipos de rocas y minerales que se encuentran superficialmente en el sector del embalse Santa Juana son mayormente tipos de rocas como la microdiorita con leve magnetismo, y en otras muestras se encontró epidota con vetillas de calcita y hematita. Este estudio ayudará a saber, si en un futuro, debido a los sismos haya más riesgos en el sector, como derrumbes en los cerros, provocando daños en las carreteras o inclusive que ocurran fallas muy cerca del embalse, provocando daños estructurales internos y externos del embalse y sus alrededores, este estudio también sirve para conocer la estructura geológica y la geología estructural del sector.



Figura 20 muestras tomada del área de estudio (elaboración propia)

3.3. Instrumentos de Recolección de Datos

Recopilación de datos por vías como la observación, revisión de registros existentes, observaciones tomadas vía internet, toma de muestras y observaciones alrededor del área de estudio, identificando las distintas estructuras geológicas y riesgos que se pueden encontrar y provocar. De igual manera se obtuvo la recolección de datos en el interior de las oficinas del embalse.

Los materiales que se utilizaron fueron los siguientes:

Instrumento	Descripción	Imagen
Rayador	se utilizó para identificar la dureza y color de raya de las rocas y minerales	
Martillo Geológico	se usó para romper y analizar rocas y minerales	
Ácido clorhídrico	se utilizó para identificar reacciones químicas en minerales	
Lupa	sirve para mostrar a detalle las características de los minerales y rocas	
Libreta	se usó para tomar apuntes y puntos importantes	
Lapicera	se utilizó para escribir datos en la libreta	

Tabla 1 Instrumentos de recolección de datos

3.4. Procedimiento

Los pasos que se siguieron para llevar a cabo esta investigación, fueron ir reiteradamente al embalse Santa Juana, analizando y observando sus alrededores, hallando los posibles riesgos que puedan ocurrir, y verificando si se encuentran otros tipos de rocas y minerales a sus alrededores, se obtuvo datos e información sobre la estructura del embalse y las posibles medidas de riesgos que se pueden tomar, se utilizaron programas como Google Earth y Qgis para realizar mapas del área de estudio.

3.5. Análisis de Datos

Se utilizó un método analítico recopilando datos de distintos sitios, datos sobre el embalse y la geología de los alrededores, teniendo en cuenta que en ciertos puntos de las formaciones hay pequeñas minerías que se expanden por los cerros alrededor del sector, se aplicó conocimientos de mineralogía en el sector, para localizar yacimientos minerales en el sector, se puede encontrar por vista satélite las quebradas del lugar, para tener en cuenta precauciones y riesgos, se utilizó todos los datos recolectados para armar un mapa en el cual se mostró las zonas de riesgos, zonas afectadas, y sectores que deben ser tomados en cuenta para alguna medida de riesgo.

3.6. Trabajo en gabinete

En esta sección se analizaron y procesaron los datos obtenidos a través del proceso de investigación, este se realizará con la información ya obtenida, a través de la realización de mapas que abarcaran distintos puntos importantes observados en el campo, ayudando a la hora de generar conclusiones y apoyando en la toma de decisiones.

3.6.1. Objetivo y realización de mapas

El objetivo de la creación de mapas fue para poder mostrar a mayor escala la zona de estudio de las cuales se realizó toma de muestras, toma de información y las salidas a terreno durante las salidas a terreno se fueron tomando apuntes sobre los distintos tipos de mapas y sus características que llevaría cada mapa por ejemplo el primer mapa muestra el comienzo desde la localidad de Vallenar y la ruta hacia el embalse, luego vendría el segundo mapa que llevaría las características de las zonas afectadas que se verían afectadas con un derrumbe del embalse Santa Juana, le seguiría un mapa que muestra a una mayor escala marcadas las zonas como Vallenar, Las Verbenas y la zona de estudio es decir el embalse Santa Juana el cual vendría mostrando las zonas y sus respectivas anchuras del río del huaco ya que este varía durante su trayecto y para finalizar se creó un cuarto mapa para ver las zonas de recomendación para en caso de un sismo de gran magnitud tomar medidas en la zona de estudio como la prevención de caída de rocas y la no construcción en zonas de derrumbes.

Capítulo 4: RESULTADOS

4.1. Geología del área de estudio

El área de estudio está caracterizada principalmente por las unidades estratigráficas, Grupo Chañarcillo, Formación Cerrillos y Viñitas, entre estos se hallan 2 fallas mayores las cuales se denominan como Falla Las Cañas, la cual se define como una estructura de deslizamiento inverso (Creixell, c. 2013), esta pone en contacto al grupo Chañarcillo sobre las rocas volcánicas de la formación Cerrillos, la otra está denominada como Falla Agua De Los Burros, varios autores han relacionado esta estructura como la continuación sur de la falla Elisa De Bordes, (Moscoso, R., & Mpodozis, C. 1988), (Arevalo, C., & Mpodozis, C. 1992), la cual el sistema estructural corresponde a una falla de comportamiento inverso.

En la Geología del área de estudio podemos encontrar pequeñas Minas que se extienden en los alrededores de los cerros y a lo largo del embalse (MAYLI TWO, MAYLI) las cuales extraen con frecuencia (Cobre) de tener en cuenta que en vista de donde se encuentran las minas podemos encontrar rodados de Epidota.

Correspondiente al área de Vallenar la geología del lugar corresponde mayormente a la cordillera de la costa y la depresión central los depósitos modernos están conformados por gravas, arenas, ripios aluviales y arenas eólicas, aproximadamente un 40% del área sería ocupado por rocas intrusivas, desde granitos a gabros.

4.2. Rocas y minerales predominantes

En los alrededores del embalse Santa Juana existe una sedimentología la cual tiene afloramientos pertenecientes a litofacies de alternancia de areniscas finas y limolitas, con llanura deltaica, conformada por areniscas heterolíticas, alternancia de areniscas y limolitas, lutitas negras, y carbón.



Figura 21 Rocas y minerales predominantes (elaboración propia)

4.3. Estructura del embalse

La presa consiste en un muro de 100 metros de altura sobre el lecho original del río Huasco, de tipo CFGD, es decir, formado por gravas con una pantalla de hormigón armado en el talud aguas arriba. Finalmente, el muro termina en un parapeto de coronamiento en hormigón armado de una altura de 5 metros el sello que forma esta estructura entre la pantalla de hormigón armado y la roca natural.

La pantalla de hormigón armado cumple el objetivo de impermeabilizar el muro de la presa. La pantalla de hormigón tiene un espesor que varía de 31 centímetros en la parte superior a 50 centímetros en la parte inferior, pantalla que empalma en su parte inferior con la pared moldeada la pared cumple el objetivo de evitar las filtraciones del relleno que se encuentra bajo el muro de gravas y bajo la pantalla de hormigón y que está conformado principalmente por material grueso de origen fluvial, es decir sedimentos.



Figura 22 Estructura del Embalse

4.4. Probables riesgos

Estos son algunos de los posibles riesgos que se observaron en el área de estudio. Estos son algunos de los posibles riesgos que se observaron en el área de estudio. Es importante detallar cada uno de ellos, vinculado cada uno de estos en el contexto ambiental, social y estructural de la zona de estudio.

4.4.1. Daño a la estructura del embalse

Uno de los riesgos, es el daño a la estructura del embalse, estos serían ocasionados por sismos de grandes magnitudes, así generando daños internos y externos en este mismo, a causa de un gran evento la estructura se debilitaría, ya provocando daños externos como daños a la pantalla de hormigón con la cual está construida, como también daños internos ya sea en el mecanismo del embalse, todos estos sucesos pueden provocar su colapso, el cual provocaría grandes daños en el entorno hasta la comuna de Vallenar, provocando inundaciones, derrumbes y dañando infraestructura y estructuras importantes de todo el sector dañado.

4.4.2. Daños en las carreteras y vías turísticas

Los daños en las carreteras del embalse Santa Juana serían generados por el derrumbe de laderas por influencia de los sismos, como también grietas formadas por los movimientos sísmicos del sector, este desprendimiento haría daños en las partes turísticas del sector, se vería afectado el espacio turístico visual y estructural, haría un bloqueo en el paso vehicular, el transporte público, el comercio se vería afectado por esto, impidiendo el sustento de varios negocios, también ocasionando grietas en el camino, las que podrían provocar el desprendimiento de este.

4.5. Zonas afectadas

En el sector del embalse Santa Juana las zonas afectadas por un sismo que ocasione alguna falla o ruptura en el embalse ocasionaría daños críticos no solo por la parte de la infraestructura del embalse sino también la gran pérdida de agua almacenada en el sector.

Daños para la urbanización más cercana al embalse eso incluye a los trabajadores y oficinas de operaciones del embalse por lo que sería repentino no tendrán idea de lo que deberían hacer en caso de un sismo de gran magnitud y más si el embalse llegase a colisionar por estos movimientos repentinos.

Daños a las zonas agrícolas se perdería gran parte de productos de comercialización por la falta de agua que reciben por parte del embalse. Es la represa de agua que brinda agua a la urbanización al igual que la gente que vive en la localidad de Vallenar se perdería la fuente de agua más grande del sector.

A continuación, se presenta un mapa el cual muestra:

- zona amarilla: ruta hacia la localidad de Vallenar.
- zona azul: ruta hacia la localidad de alto del Carmen.
- zona roja: zonas urbanas
- zona verde: zona agrícola

Como se puede observar en el mapa de las zonas afectadas:

En caso que ocurra un temblor o un terremoto de gran magnitud que provoque que el embalse Santa Juana colapse, las primeras zonas afectadas serían las zonas de color rojo las cuales indican las zonas de urbanización que principalmente se constituyen por los trabajadores del mismo embalse, de igual manera se encuentra urbanización cerca del embalse de agricultores del sector, la segunda zona afectada

sería la zona verde la cual representa la zona agrícola, principalmente se perdería las cosechas de los sectores.

La principal zona de evacuación sería la ruta naranja que indica la ruta C-485 yendo hacia la localidad de Vallenar y la segunda ruta de evacuación sería la ruta azul C-485 yendo hacia la localidad del Alto del Carmen.

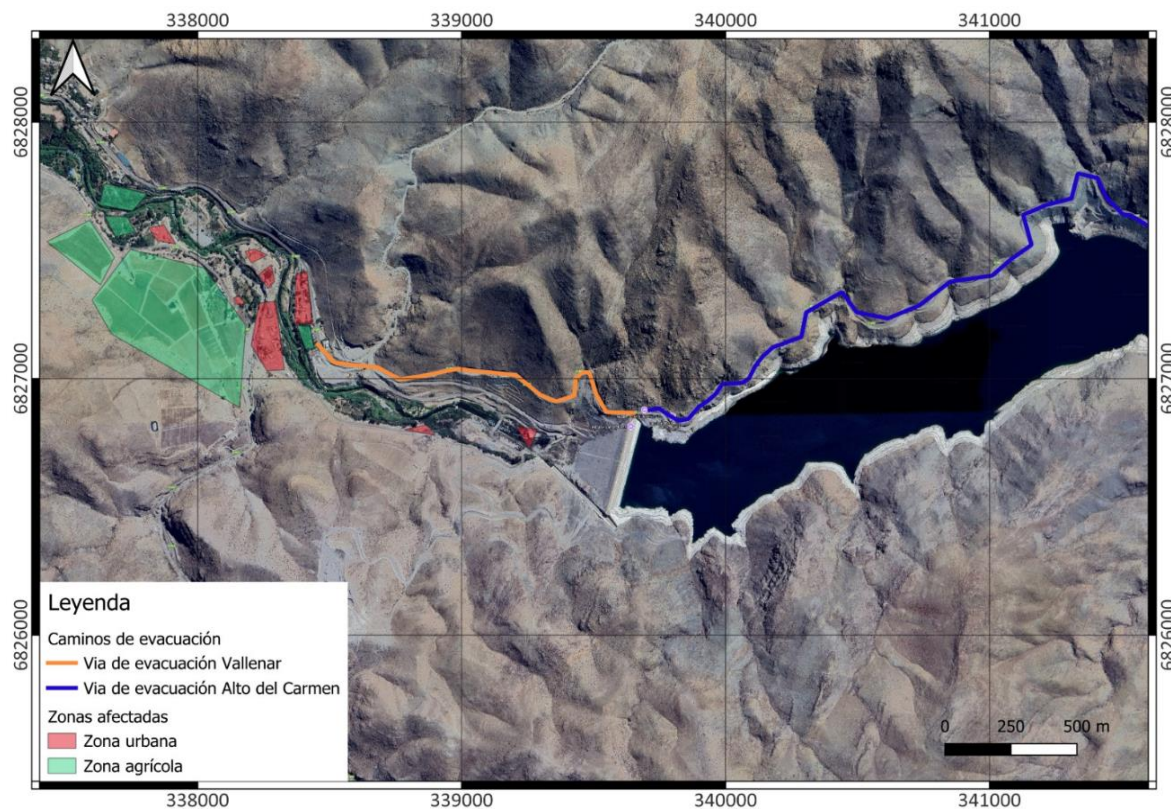


Figura 23 Zonas Afectadas (elaboración propia)

4.6.1 Anchura embalse santa Juana.

En el sector cercano al área de estudio se encuentra el rio del Huasco el cual se ubica precisamente a las afueras de las oficinas de los trabajadores del embalse la cual cuenta con una anchura promedio de 19,16 metros

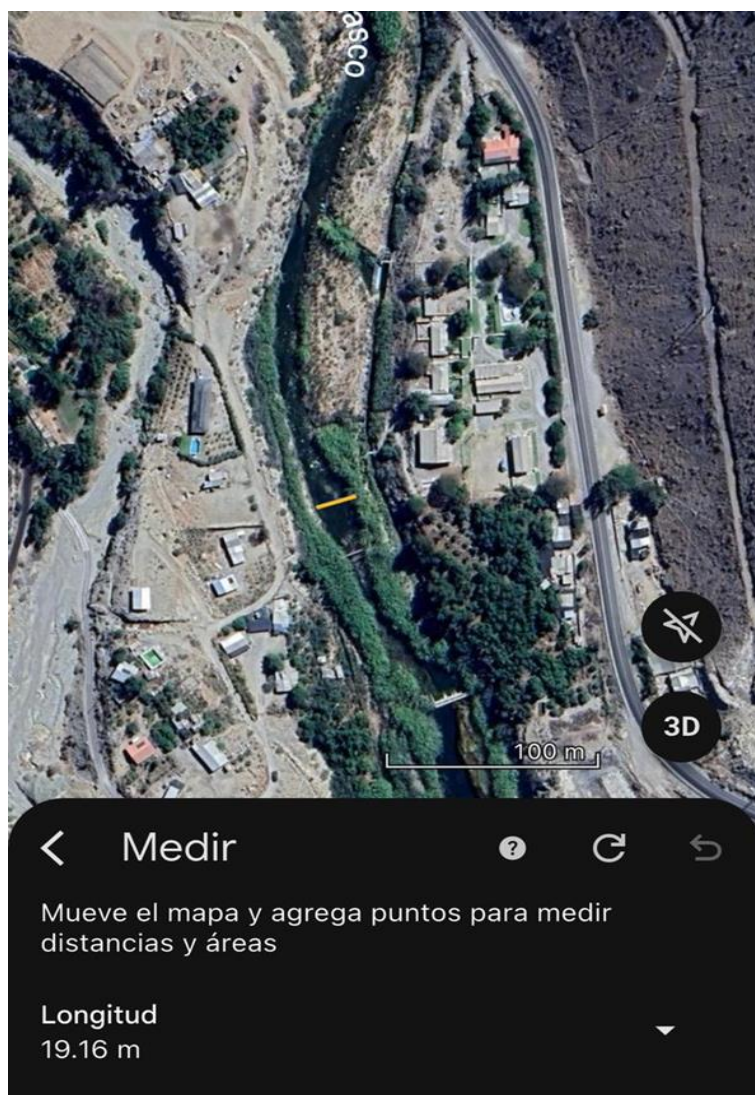


Figura 24 Anchura embalse Santa Juana (elaboración propia)

4.6.2. Anchura de la Verbena.

La anchura de la Verbena se encuentra entre Vallenar y el embalse Santa Juana exactamente en el kilómetro 17 cuenta con una anchura de 15,67 metros

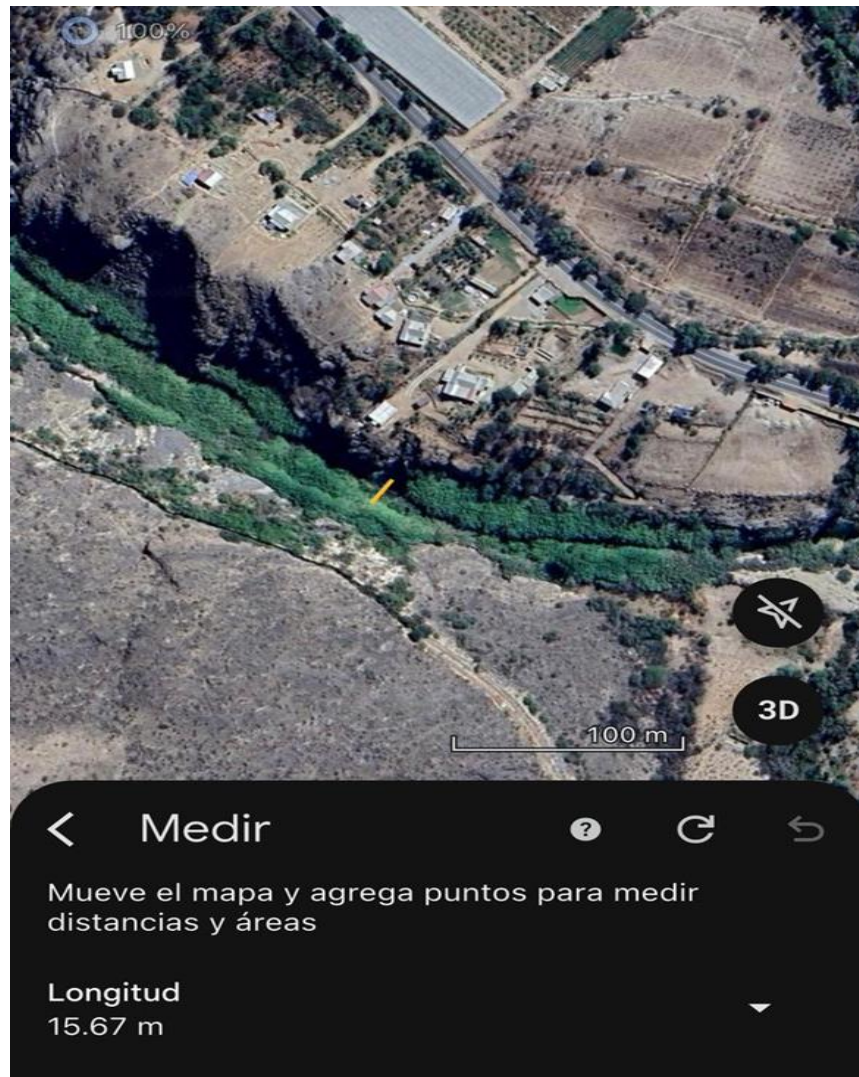


Figura 25 Anchura de Verbena (elaboración propia)

4.6.3. Anchura de Vallenar.

La anchura del río de Vallenar específicamente de las afueras de la Universidad tiene una anchura de 12,49 metros

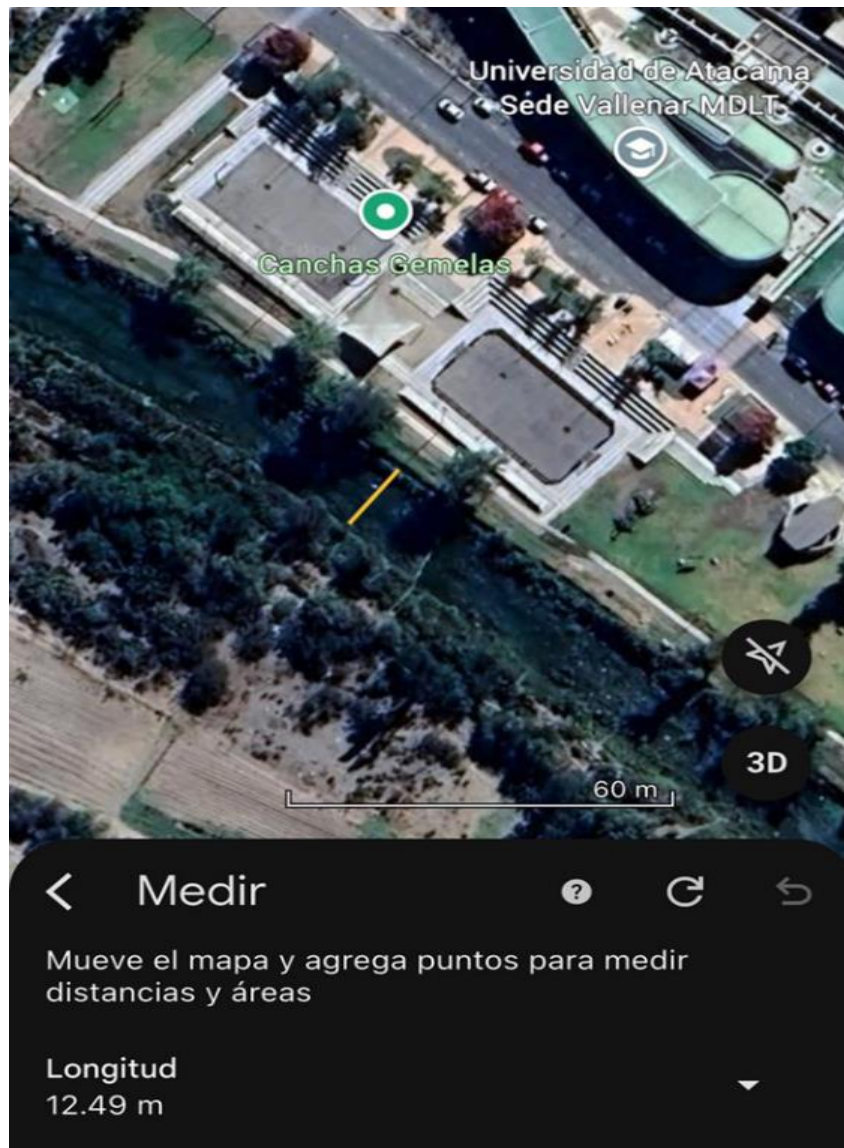


Figura 26 Anchura de Vallenar (elaboración propia)

En este mapa se puede observar a una mayor escala las zonas en las cuales se trazó los metros de las laderas a lo largo del Río del Huasco, que varían a lo largo de la localidad de Vallenar y el embalse Santa Juana.

A si mismo de marco en el mapa una zona azul que mostraría a mayor escala a Vallenar, por otro lado, la zona verde mostraría a la Verbena, y por último la zona roja la más pequeña mostraría la anchura de afueras de las oficinas del embalse santa Juana.

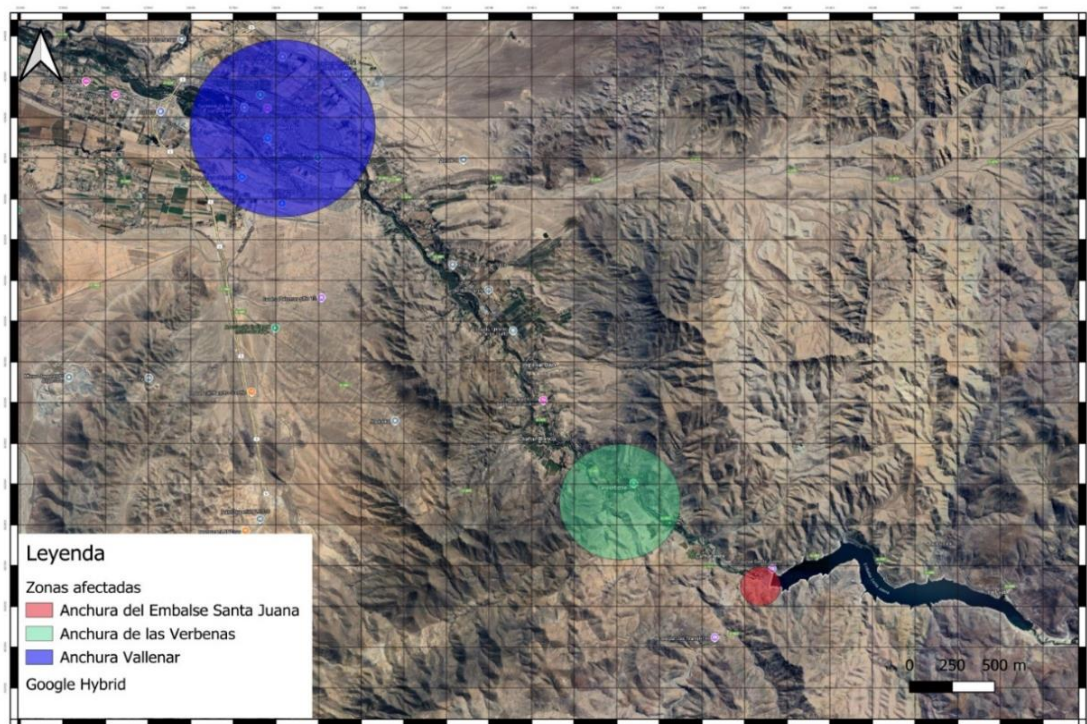


Figura 27 sector entre Vallenar y área de estudio (elaboración propia)

4.7. Registros sísmicos

Desde la construcción del embalse santa Juana en 1995, se han registrado una cantidad de más de 12 sismos superior a la magnitud de 6.0 en la escala de Richter, teniendo réplicas de alta magnitud en la región de Atacama, estos teniendo epicentro en distintas localidades de la región, sin embargo estos afectaron la localidad de Vallenar ya sea de manera directa (siendo la zona de epicentro la localidad de Vallenar y sectores cercanos) o también de manera indirecta (en otras localidades de la región), siendo el año 2006 el año con mayor cantidad de sismos superior a 6.0 de magnitud en la región, de tal manera el mayor fue el más reciente, de magnitud 7.0 cerca de la localidad de Huasco, comprobando la superioridad numérica en cuanto a cantidad de sismos en Chile respecto a otros sectores

del mundo.

EPICENTRO	MAGNITUD	FECHA
54 kms NW HUASCO	6.3	27.06.2002
19 kms W VALLENAR	6.0	16.07.2006
166 kms E VALLENAR	6.0	12.09.2006
50 kms NE HUASCO	6.2	26.03.2010
72 kms N HUASCO	6.1	07.12.2011
72 kms N HUASCO	6.8	30.01.2013
55 kms NORTE HUASCO	7.0	01.09.2020

Tabla 2 Registro de Sismos (sismo24.cl, 2024)

El terremoto de 1920 ocurrido en la ciudad de Vallenar es un gran ejemplo de los daños que puede provocar un sismo de alta magnitud si no se tiene una preparación previa, el evento dejó un total de 840 fallecidos, dejando la localidad de Vallenar destruida casi en su totalidad. (Pais vulnerable. 2018).

CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN y CONCLUSIÓN

5.1. Discusión:

5.1.2. Analizar y definir cuáles son los procesos que originan los sismos en la provincia

Se plantea que los sismos ocurridos tanto en Chile como en la región de Atacama han sido provocados mediante el proceso de subducción ocurridos por la placa de nazca y la placa sudamericana, esto al estar ubicados en la zona del cinturón de fuego, la cual concentra el 90% de los terremotos del mundo y la cual se encuentra el 75% de volcanes activos del planeta (Ecología verde.2021).

Esto explicaría por qué la zona siempre se encuentra en riesgo ante un evento de tal magnitud, provocando que se tomen medidas de precaución en los sectores más vulnerables y importantes del sector, llevando la atención al embalse santa Juana y sus alrededores, los cuales serían uno de los lugares más afectados por un evento de gran intensidad, llevando a la elaboración de distintos mapas en los cuales se tomaron en cuenta los puntos más importantes y las precauciones más accesibles de acuerdo a la estructura del sector.

5.1.3. Analizar las características y propiedades del área de estudio

Una de la característica del área de estudio se encuentra en el capítulo 4.1, la cual nos habla que en el sector del embalse de Santa Juana se encuentran dos fallas mayores que se denomina falla de las cañas, la cual se define como una estructura de deslizamiento inverso, al igual que la falla de los Burros denominada igualmente como una estructura de deslizamiento inverso.

En gran parte del embalse de Santa Juana predomina una sedimentología que se puede observar en el capítulo 4.2 de minerales y rocas tales como la lutita negra, limolitas, carbón, areniscas y areniscas finas.

En los alrededores del embalse Santa Juana se pueden observar por los mapas representativos las formaciones de los alrededores del embalse los cuales se encuentran como segunda característica las minas que normalmente se encuentran extrayendo cobre llamadas (MAYLI TWO, MAYLI), así mismo cerca de las minas se encuentran rodados de epidota.

5.1.4. Caracterizar y señalar los riesgos y daños ocasionados por estos desastres y cómo estos influyen en el área de estudio.

El área de estudio puede sufrir desastres naturales tales como los sísmicos, que ocasionan riesgos de derrumbes y daños en la carretera que se encuentran establecidas cerca del embalse Santa Juana, daños a las vías turísticas del sector, el movimiento sísmico pueden ocasionar daños en la estructura del embalse, tanto por la parte externa e interna, ocasionando inundaciones y la gran pérdida de agua del embalse que se encuentra almacenada en el sector, al igual que daños a la agricultura del sector, a las oficinas de operaciones, a las urbanizaciones cercanas al área de estudio, son riesgos que pueden ocurrir repentinamente, a sí mismo las personas más cercanas al embalse no tendrán en cuenta que hacer frente a los daños ocasionados por un terremoto de gran intensidad (Se puede observar los riesgos en el capítulo 4.4 y daños ocasionados en el capítulo 4.6). En caso que ocurra un terremoto de gran intensidad en el área de estudio los daños serían alarmantes en caso que la intensidad del terremoto fuera de grado 10 (Desastroso) en la escala de Mercalli ocasiona una destrucción de edificios bien contruidos como el embalse Santa Juana (esto se puede reflejar en el capítulo 2.1.2.) y en la imagen (Ilustración 5 escala de marcelli).

5.2. Conclusión

Ya terminada la investigación, se logró cumplir con los objetivos asignados, utilizando distintas fuentes de información, ya sea vía internet visitando varios documentos geológicos que abarcan el área, como también visitas al área de estudio, observando y analizando a simple vista el lugar y sus características como también los posibles futuros riesgos que podrían ocurrir, una vez obtenido los resultados se utilizaron programas de información geológica para realizar un mapa, el cual abarca los distintos puntos hablados, como las zonas de que se verían afectadas, vías de escape del lugar y zonas de riesgos, concluyendo en que a pesar de que el área está construida con material sólido y resistente, sigue teniendo zonas en las cuales el daño puede ser de suma gravedad ocasionando peligros en distintas áreas ya sean urbanas o agrícolas, como también afectando infraestructuras y estructuras importantes ya sea puentes, postes de luz y carreteras; afectando a un gran número de personas, en base a esto se realizó un mapa que ayudaría a mostrar a la gente las zonas que estarían en riesgo y serían afectadas; elaborando recomendaciones para prevenir y disminuir los efectos provocados, haciendo recomendaciones tanto en las zonas cercanas como en el área de estudio, las cuales se pueden tomar en cuenta a la hora de reforzar el sector, esto realizado para reducir los daños provocados, tratando de minimizar los riesgos respecto a lo ocurrido con el terremoto de Vallenar en 1920.

CAPÍTULO 6: RECOMENDACIONES

En el caso de algún desastre las posibles soluciones para reducir los riesgos serían, reforzar tanto estructuras y viviendas cercanas, evitando construcciones de cualquier tipo en laderas para evitar derrumbes, evitando construir con materiales poco resistentes, mitigando el riesgo y fatalidad.

En los sectores cercanos al embalse, una de las posibles medidas para evitar derrumbes por sismos, son las mallas de protección contra desprendimiento de rocas, poner señaléticas de posible desprendimiento, informando a las personas sobre el riesgo, haciendo que tomen precauciones.

Para prevenir los daños en la estructura del embalse santa Juana se podría reforzar la estructura interior y la exterior del embalse, reorganizar un mantenimiento y un seguimiento mensual para poder prevenir posibles derrumbes del interior del embalse. Para evitar desastres como inundaciones por alguna fractura o grieta en la estructura que afecte los alrededores, la agricultura y las viviendas del sector por inundaciones. Plantear maneras de reportar a las autoridades de la localidad grietas en los suelos, paredes y rupturas en las tuberías.

Se recomienda hacer un análisis en profundidad sobre el suelo del área de estudio, identificando minerales y rocas detalladamente, este sería de suma utilidad a la hora armar estructuras en el sector como también a la hora de estudiar estructuras geológicas cercanas al sector.

Se recomienda el estudio frecuente de las fallas geológicas de las aguas de los Burros y la falla de las Cañas que se encuentran a lo largo del embalse Santa Juana para prevenir los daños que a largo del embalse se encuentran localidades cercanas a ellas por la razón del gran tamaño que estas poseen.

Se recomienda algún tipo de aviso de emergencia, en caso de que la estructura del embalse se vea afectada por sismos de gran magnitud, provocando daños catastróficos en la comunidad de Vallenar

Planificación ante Emergencias: Desarrollar planes de emergencia detallados que incluyan la evacuación de personas y animales en caso de falla de la presa. Es importante realizar simulacros periódicos y garantizar la disponibilidad de rutas de evacuación.

Accesos y Rutas de Transporte: Mejorar la conectividad con las ciudades cercanas y los centros turísticos a través de carreteras bien construidas y accesibles, que faciliten el transporte tanto para la población local como para los visitantes. Asegurar que estas rutas no interfieran con los ecosistemas naturales del área.

Uso de Tecnologías Avanzadas: Implementar tecnologías como drones, inteligencia artificial y big data para mejorar el monitoreo de la infraestructura y los recursos naturales. Estas tecnologías pueden ayudar en la gestión de los flujos de agua, la prevención de desastres y la evaluación del impacto ambiental.

Este mapa se puede observar lo siguiente:

Zonas azules: zonas de derrumbes, en caso de un sismo de gran magnitud e intensidad podría haber caída de

Ruta de color negro: zona donde no se debe construir casas o infraestructuras, se denomina la ruta negra como zona de no construcción.

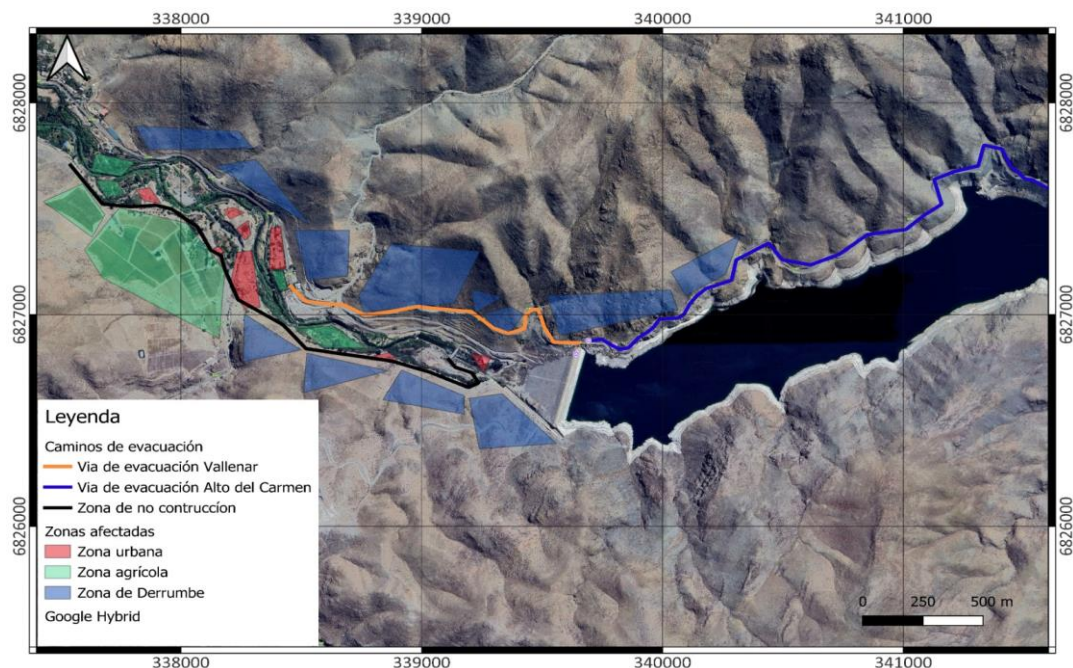


Figura 28 Mapa de Recomendaciones (elaboración propia)

Bibliografía

Abad, E. (1976). *Geología de la precordillera al noroeste de Vallenar, entre latitudes 28 y 28 30S, provincia de Atacama.*

Abad Escobar, E. (1977). *ACERCA DE LA PALEOGEOGRAFIA NEOCOMIANA EN LA REGION AL SUR DE COPIAPO.*

Arevalo, C. (2009). *GEOLOGIA DEL AREA VALLENAR-DOMEYKO.*

Arevalo, C., & Mpodozis, C. (1992). *Tectónica del grupo Chañarcillo : una franja de cabalgamientos con vergencia al oeste en el Valle del Río Copiapó, región de Atacama, Chile.*

Arfaquinta. (2024). *porque chile es un pais altamente sismico: razones geologicas.*

(CENMA, 2016)

Conn, H. (1974). *Geología de la hoja Chacritas, Provincia de Atacama, Chile.*

creixell, c. (2013). *Marco tectónico de los depósitos de pórfidos cupríferos cretácicos del norte de Chile (28°-30° S) y sus vínculos con la evolución magmática y la metalogénesis.*

Dirección general de aguas. (2004). *DIAGNOSTICO Y CLASIFICACION DE LOS CURSOS Y CUERPOS DE AGUA SEGUN OBJETIVOS DE CALIDAD*.

Ecología verde. (2021). *Cinturón de fuego del pacífico*.

(INPRES, 2018)

Macau, A., & Figueras, S. (2011). La intensidad, una herramienta para medir los terremotos a partir de sus efectos.

Maldonado, Y. (2018, March 16). ▷ *Fallas geológicas [Tipos] Características y Ejemplos*. geologiaweb. Retrieved June 26, 2024, from

Moreno, J. (2013). Sismos.

Moscoso, R. (1979a). *Geología de una franja transversal a la cordillera de la costa y cordillera de los Andes a la latitud de Domeyko 29°S, región de Atacama*.

Moscoso, R. (1982). *HOJA VALLENAR Y PARTE NORTE DE LA SERENA*.

Moscoso, R. (2010). *Geología de la hoja El Tránsito, Región de Atacama*.

Moscoso, R., & Mpodozis, C. (1988). *ESTILOS ESTRUCTURALES EN EL NORTE CHICO DE CHILE (28-31 OS), REGIONES DE ATACAMA y COQUIMBO*.

Mosjos, S. (2017). *ESTUDIO GEOQUÍMICO AMBIENTAL Y MAPA DE RIESGOS DE LA CUENCA DEL RÍO HUASCO, III REGIÓN DE ATACAMA, CHILE*.

Mpodozis, C., & Cornejo, P. (1988). *HOJA PISCO ELQUI*.

Nasi. (1990). *Hoja Guanta, Regiones de Atacama y Coquimbo*.

Paisvulnerable. (2017). *chile un país sísmico*.

Pais vulnerable. (2018). *El gran terremoto de Vallenar*.

Reutter, K. (1974). *Entwicklung und Bauplan der chilenischen Hochkordillere im Bereich 29° südlicher Breite. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, vol. 146(2), 153-178.

Ribba, L., Mpodozis, C., Herve, F., Nasi, C., & Moscoso, R. (1988). *El basamento del Valle del Tránsito, cordillera de Vallenar: eventos magmáticos y metamórficos y su relación con la evolución de los Andes chileno-argentinos*.

sismo24,cl. (2024). *Historia sismica region de Atacama*.

Thiele Cartagena, R. (1963). *.Reconocimiento geologico de la alta cordillera del Elqui*.

Zafra, D. (2018). ONDAS SISMICAS, su i

