



## **Resiliencia arquitectónica de los Establecimientos Públicos de Salud, ante la remoción en masa de flujos de detritos y de barro, en la ciudad de Copiapó**

Seminario de Investigación: Tecnología

**Alumna:** Martina Herrera Velásquez

**Profesor Guía:** Jaime Díaz Bonilla

Semestre Primavera 2021

## **1- Resumen**

La investigación aborda la problemática de la vulnerabilidad ante la remoción en masa de flujos de detritos y de barro de los establecimientos de salud públicos presentes en la ciudad de Copiapó, su objetivo es identificar y generar recomendaciones por medio de características de diseño resiliente en sus elementos y sistemas vulnerables ante aluviones. Para esto se utilizaron diversas técnicas y formas de recopilación de información, las cuales permitieron generar tipologías de estos establecimientos, conocer, analizar y catastrar su nivel de vulnerabilidad física en los elementos y sistemas y conocer la ausencia de algunos de estos sistemas, para posteriormente generar recomendaciones en aquellos sistemas que estaban ausentes y en los elementos y sistemas que presentaron un alto nivel de vulnerabilidad ante estos eventos.

Algunas de las recomendaciones propuestas son el cambio de cerramiento del predio, la elevación de la edificación por medio de pilotes o zócalos, la incorporación de reservas de agua, entre otros, para que estas tipologías sean resilientes ante eventos de remoción en masa de flujos de detritos y de barro.

**Palabras Claves:** Riesgo de aluvión; Infraestructura Crítica; Resiliencia; Copiapó.

## 2- Introducción

Diversos eventos de remoción en masa de flujos de detritos y de barro -conocidos comúnmente como aluviones- han ocurrido a lo largo de los años en el Norte Chico de Chile, los cuales, han afectado tanto a la población como han generado daños a la infraestructura presente en la zona urbana.

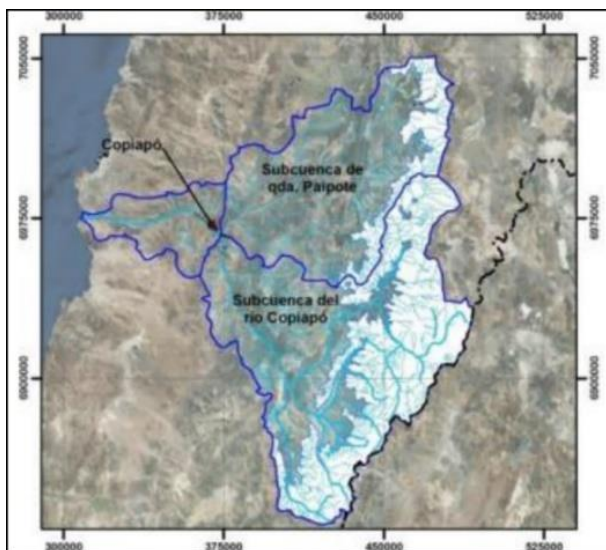
A este antecedente, se le añade el factor del cambio climático, el cual va a provocar un incremento en el número y severidad de los eventos climáticos extremos (ECHO *et al.*, 2012) y también un aumento de la temperatura máxima en esta zona del país, por lo que esta se puede ver expuesta a más eventos aluvionales de los que ya se han producido por siglo, ya que, este fenómeno es originado principalmente por precipitaciones intensas o situaciones de lluvias sostenidas en sectores cordilleranos por un periodo de tiempo determinado y con isoterma cero más alta de lo normal, en zonas de altas pendientes y quebradas (ONEMI, s.f.).

Es por esto, y sumado a los antecedentes de los daños provocados en la zona urbana por los aluviones del siglo XX y XXI en la ciudad de Copiapó, ubicada en la comuna y Provincia homónima, Región de Atacama, tanto en la infraestructura pública, en la privada, como en la infraestructura crítica -como son los establecimientos de salud, los establecimientos educacionales, las comunicaciones, la electricidad, y el agua-, es que esta será el área de estudio.



**Fotografía 1.** Trayectoria de los flujos de detritos y de barro por calles, predios y edificaciones en la ciudad de Copiapó por el aluvión de 2015. Elaboración propia en base a Saenz, R. (2015) y *Las impresionantes imágenes aéreas de Copiapó* (2015).

Cabe mencionar, que debido a la geomorfología de la provincia de Copiapó -con laderas y quebradas que “rodean” al valle en donde se emplaza la ciudad-, y también a la intersección de las dos subcuencas -Quebrada Paipote y la zona media del Río Copiapó (Figura 1)- de la Cuenca hidrográfica Río Copiapó en el lado Este de la ciudad, se ve favorecido el paso del aluvión por esta zona. Como se pudo observar que ocurrió el año 2015, en donde producto de inusuales precipitaciones extremas en la zona cordillerana de esta cuenca, generó un aumento brusco en los caudales de las dos subcuencas, arrastrando todo lo que encontraban en su paso dando origen al aluvión, encontrándose estos flujos principalmente en la parte Este de la ciudad, y sumado a los desbordes del río, fue el causante de que este fenómeno sea el que haya generado hasta la fecha los mayores daños en infraestructura, ya que los flujos de detritos y barro ingresaron a la zona poblada de la ciudad de Copiapó.



**Figura 1.** Ubicación de la ciudad de Copiapó, en la cuenca hidrográfica Río Copiapó y sus dos principales subcuencas. Tomado de (SERNAGEOMIN, 2015a).

### 3- Problematicación

Si bien, se han realizado estudios sobre las causas de los aluviones, no se ha ahondado en las características de resiliencia de las estructuras que presentan las infraestructuras críticas de esta zona, especialmente de las características de resiliencia de las estructuras de los establecimientos de salud públicos presentes en la ciudad de Copiapó -los que serán el caso de estudio-, los cuales al ser una infraestructura crítica, es decir, servicios vitales para el funcionamiento de la población, no deberían presentar ninguna interrupción en el servicio que prestan regularmente a la población por los daños que estos puedan presentar en sus estructuras y en sus sistemas por el paso del aluvión.

Los establecimientos de salud son los que ayudan a combatir o a responder ante una población damnificada -que presenta lesiones, heridas, entre otras- por un evento -aluvión en este caso- y también deben continuar atendiendo a los pacientes que ya se encontraban en el establecimiento al momento del evento, aunque estos establecimientos se han visto afectados por el mismo fenómeno no pudiendo seguir atendiendo a la población con normalidad ante la emergencia o desastre. Por esto, se hace primordial buscar una manera para poder disminuir los daños y la vulnerabilidad que han presentado y presentan estos establecimientos por el paso de este fenómeno, conociendo la vulnerabilidad que presentan las estructuras y sus sistemas ante este fenómeno, para que estas sean estructuras resilientes ante aluviones.

Los establecimientos que serán el caso de estudio son los Centros de Salud Familiar (CESFAM) - atención primaria-, siendo estos el CESFAM Juan Martínez, CESFAM Manuel Rodríguez, CESFAM Paipote, CESFAM Santa Elvira, CESFAM Pedro León Gallo, CESFAM Rosario-Palomar, CESFAM Candelaria Rosario, y el CESFAM Dr. Bernardo Mellibovsky; y también el Hospital Regional San José del Carmen (Copiapó)-atención terciaria-.



Cabe señalar, que por ejemplo en el aluvión del año 2015, algunos de los CESFAM de la ciudad de Copiapó -como el CESFAM Juan Martínez- tuvieron que paralizar su funcionamiento por el ingreso agua y barro al establecimiento -el que provocó daños en algunos de los equipos-, o porque presentaron daños en algunos de sus elementos o incluso por presentar problemas en alguno de sus sistemas; a los que se le suman los daños al Hospital Regional de Copiapó (Fotografías 2, 3 y 4) provocados por el ingreso de agua y barro al establecimiento.



**Fotografía 2.** Daños y altura de los flujos de detritos y de barro, impiden el acceso al Hospital de Copiapó tras el aluvión de 2015. Tomado de Departamento de Gestión de Riesgos en Emergencias y Desastres, 2016.



**Fotografía 3.** Nivel de inundación en los pasillos del Hospital de Copiapó tras el aluvión de 2015. Tomado de 24Horas, s.f. a.



**Fotografía 4.** Nivel de inundación y pérdida de utilidad de ascensores en el Hospital de Copiapó tras aluvión de 2015. Tomado de 24Horas, s.f. b.

Con este estudio se pretende responder a las siguientes preguntas de investigación, siendo la primera ¿Cuáles son los daños que puede provocar un aluvión en las estructuras y sistemas vitales de los establecimientos de salud públicos de la ciudad de Copiapó?, ¿Cuál es la vulnerabilidad que tienen los establecimientos de salud públicos ante aluviones en la ciudad de Copiapó?, y por último ¿Cómo por medio del diseño arquitectónico y la tecnología constructiva, se pueden establecer características de resiliencia en los elementos o sistemas afectados, en este tipo de establecimientos ante aluviones, particularmente en los de la ciudad de Copiapó?.

Debido a esto, es que surge la siguiente hipótesis de investigación, **el diseño arquitectónico de los establecimientos de salud públicos de la ciudad de Copiapó no consideró la amenaza de aluvión, por lo que, los elementos y los sistemas vulnerables de estos establecimientos no presentan características de resiliencia ante esta amenaza.**

El objetivo general del presente estudio es proponer identificar y características de resiliencia por medio del diseño arquitectónico y la tecnología constructiva, en los elementos o sistemas vulnerables de los establecimientos de salud pública en la ciudad de Copiapó ante aluviones.

Para lograr este objetivo, se plantean los siguientes objetivos específicos I) Caracterizar el fenómeno de aluvión en la provincia de Copiapó. II) Caracterizar los tipos o modelos arquitectónicos de los de establecimientos de salud públicos de la ciudad de Copiapó. III) Identificar las vulnerabilidades físicas ante aluviones en las tipologías de los establecimientos de salud públicos en la ciudad de Copiapó. IV) Analizar los diseños arquitectónicos y la tecnología constructiva para arquitectura resiliente en los elementos o sistemas vulnerables de las tipologías en estudio, que se puedan usar ante aluviones. V) Generar recomendaciones para una arquitectura resiliente en los elementos o sistemas vulnerables de los establecimientos de salud pública ante aluviones en la ciudad de Copiapó.

#### 4- Marco Teórico

##### a) Reducción del Riesgo de Desastres

Chile históricamente es un país que ha tenido que enfrentar diferentes tipos de amenazas de origen natural, las que han provocado, los más variados desastres socio-naturales -como son los terremotos, maremotos, inundaciones, remociones en masa, erupciones volcánicas, entre otros- estos han tenido como consecuencias, graves daños tanto para las personas, las edificaciones, como también para la economía, y el medio ambiente (SUBDERE, 2011).

Dentro de este contexto y a nivel mundial, la Reducción del Riesgo de Desastres (RRD) paso a ser un tema de debate y acción, en donde, paso el enfoque de análisis desde el desastre en sí mismo, es decir, el daño y la pérdida generada, hacia la gestión del riesgo de desastres, que es la potencialidad de daño y pérdida, y algo que se puede evitar (ECHO *et al.*, 2012). Siendo esta, como su nombre lo dice, una *“actividad orientada a la prevención de nuevos riesgos de desastres, la reducción de los riesgos de desastres existentes y a la gestión del riesgo residual, todo lo cual contribuyen al desarrollo sostenible del país”* (Congreso Nacional, 2021. Como se cita en ONEMI,2021).

Chile en materia de Reducción de Riesgo de Desastres -RRD en adelante-, cuenta con diversas iniciativas tanto internacionales como nacionales. Entre las más relevantes, se puede nombrar a nivel internacional, el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, al cual Chile como país miembro de la Organización de las Naciones Unidas, el año 2015 en el contexto de la Tercera Conferencia Mundial de las Naciones Unidas sobre la RRD, se adhiere a este marco, el cual da continuidad y actualiza al Marco de Acción Hyogo 2005-2015.

El Marco Sendai busca *“prevenir la aparición de nuevos riesgos de desastres y reducir los existentes implementando medidas integradas e inclusivas de índole económica, estructural, jurídica, social, sanitaria, cultural, educativa, ambiental, tecnológica, política e institucional que prevengan y reduzcan la exposición a las amenazas y la vulnerabilidad a los desastres, aumenten la preparación para la respuesta y la recuperación, y de ese modo refuercen la resiliencia”* (ONU, U., 2015, P.12). Esto lo hace por medio de 7 metas globales, 38 indicadores, 13 principios rectores y 4 prioridades de acción.

A nivel nacional, Chile cuenta con la Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres 2020-2030, elaborada por la Plataforma Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres coordinada por la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior (ONEMI), la que también contó con el apoyo técnico de la Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR). Esta está alineada a 5 acuerdos internacionales a los cuales el Estado de Chile se ha adherido, siendo estos la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, Agenda Humanitaria, Acuerdo de París y su respectiva Contribución Nacional Tentativa, Nueva Agenda Urbana Hábitat III, y el Marco de Sendai 2015-2030- el cual es el acuerdo más relevante para la RRD-.

Esta Política cuenta con 6 principios rectores, 7 enfoques transversales, 5 ejes prioritarios, y 25 objetivos estratégicos, y es implementada a través del Plan Estratégico Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres 2020-2030 (PENRRD), ambos constituyen *“los instrumentos rectores en el país en materias de Gestión de Riesgos de Desastres (GRD), definiendo objetivos, acciones, metas, plazos y actores nacionales involucrados, mediante los cuales se diseñarán y ejecutarán las iniciativas tendientes a la Reducción del Riesgo de Desastres (RRD) en el marco del desarrollo sostenible al que Chile aspira”* (ONEMI, 2020, P.9).

Cabe mencionar que los ejes prioritarios de la Política son inspirados en el Marco de Sendai, donde, el primer eje prioritario es comprender el riesgo de desastres, el segundo es fortalecer

la gobernanza de la gestión del riesgo de desastres, el tercer eje prioritario es planificar e invertir en la RRD para la resiliencia, el penúltimo es proporcionar una respuesta eficiente y eficaz, y el último eje prioritario es fomentar la recuperación sostenible.

Para poder entender los ámbitos de acción que consideran estas iniciativas para la RRD y la relación entre ellas, es esencial comprender que es el riesgo, y también las variables que lo conforman.

Primero que todo, el **riesgo** es definido por la ONEMI como *“la probabilidad de exceder un valor específico de daños sociales, ambientales y económicos en un lugar dado y durante un tiempo de exposición determinado. El valor específico de daños se refiere a las pérdidas que la comunidad está dispuesta a asumir, y se conoce como riesgo aceptable. El Riesgo se configura por la relación entre factores de amenaza y factores de vulnerabilidad, y son interdependientes y directamente proporcionales”* (ONEMI, 2016. Como se cita en Candia, J. & Herrera, F., 2017).

En cambio según el “Libro de la Reconstrucción, Chile un país que se reconstruye”, este concepto se conforma por tres variables, en donde el riesgo es definido como *“la composición entre la probabilidad que ocurra alguna amenaza natural y la vulnerabilidad de la población a alguna consecuencia negativa, por sobre la capacidad que posee la comunidad ante esta amenaza, expresado en la siguiente fórmula:  $Riesgo = ((Amenaza \times Vulnerabilidad)) / Capacidad$ ”* (Ministerio del interior y seguridad pública, 2018, P.26). Es decir, el riesgo es la probabilidad de que ocurra un evento y sus consecuencias negativas o pérdidas potenciales, producto del resultado entre las interacciones de las variables de: las amenazas, las vulnerabilidades, y la capacidad que se tiene de recuperación.

La primera variable que conforma el riesgo, son las **amenazas** que son definidas como un *“fenómeno de origen natural, biológico o antrópico, que puede ocasionar pérdidas, daños o trastornos a las personas, infraestructura, servicios, modos de vida o medio ambiente”* (ONEMI, 2020, P. 135). En otras palabras, las amenazas son la probabilidad de que un fenómeno natural, biológico o antrópico al cual se ven enfrentadas las personas, las infraestructuras, los servicios, que puede causar daños en estos. Estas amenazas naturales se pueden clasificar por su origen en geológicas, hidrometeorológicas o biológicas (SUBDERE, 2011).

Se abordará a continuación la amenaza producto del fenómeno hidrometeorológico por remoción en masa de flujos de detritos y de barro en la zona urbana -conocidos comúnmente como aluvión- en Chile, el cual ha sido estudiado en menor medida que otros eventos como terremotos o tsunamis, pero que ha tenido un importante número de víctimas fatales.

La segunda variable que conforma el riesgo es la **vulnerabilidad**, que es definida como *“aquellas condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, institucionales, económicos y o ambientales que aumentan la susceptibilidad de una persona, una comunidad, los bienes, infraestructuras o servicios o los sistemas a los efectos de las amenazas”* (ONEMI, 2020, p. 139).

Es decir, la vulnerabilidad son los factores que aumentan la posibilidad de susceptibilidad de las personas, o las infraestructuras o servicios a los impactos de las amenazas, como pueden ser los factores de exposición a la amenaza por el emplazamiento o por el ordenamiento territorial, las condiciones en las que se encuentran las personas -tanto su edad, su estado de salud, sus capacidades de movilidad, sus capacidades de visión, entre otras-, la geomorfología del lugar, las condiciones en que se encuentran las infraestructuras o los servicios. En este sentido la vulnerabilidad va a variar dependiendo de múltiples factores.

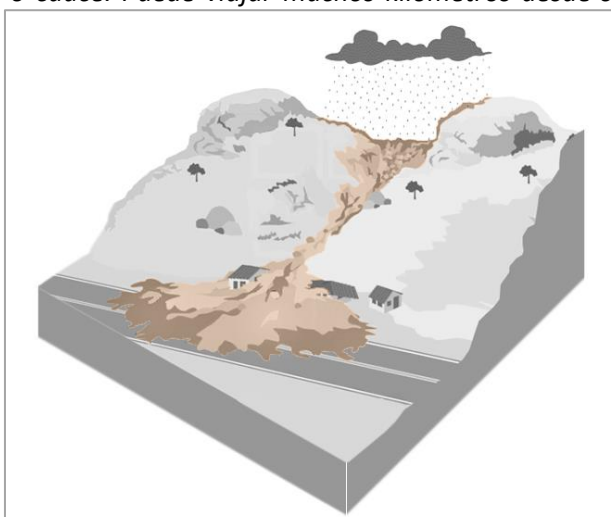
También se entiende por vulnerabilidad como *“la medida de propensión al cambio que tiene el sistema respecto de una amenaza y de la capacidad de respuesta del sistema ante la misma amenaza, por lo tanto, la vulnerabilidad dependerá de la resistencia del sistema para*

*mantenerse, adaptarse o desaparecer en el tiempo y espacio en que se ve afectado”* (SUBDERE, 2011, P.103).

En relación con esto, la capacidad de recuperación o **resiliencia**, -que es la última variable que conforma el riesgo- *“da cuenta de un proceso dinámico asociado a la capacidad de un sistema y de sus componentes, tales como población, infraestructura, servicios, medios de vida o medio ambiente entre otros, para anticipar, resistir, absorber, adaptar y recuperarse de los efectos de un evento, de manera integral, oportuna y eficaz, incluso garantizando la preservación, restauración o mejora de sus estructuras y funciones básicas”* (ONEMI, 2020, p. 138). En este sentido, la resiliencia son las capacidades que tienen las personas, las infraestructuras o los servicios, de responder -ya sea anticipándose, resistiendo, adaptándose, o recuperándose de manera íntegra, oportuna y eficaz- a la amenaza a la que están expuestos, en este caso las capacidades que tienen para responder a la amenaza de **aluvión**- o remoción en masa de flujos de detritos y de barro- en la zona urbana.

## **b) Aluvión**

Este es definido por la ONEMI como *“un flujo de barro donde el agua arrastra el material suelto(detritos) por una ladera, quebrada o cauce. Puede viajar muchos kilómetros desde su origen, aumentando de tamaño a medida que avanza pendiente abajo transportando rocas, hojas, ramas, árboles y otros elementos, alcanzando gran velocidad”*. El aluvión técnicamente puede ser clasificado como *“flujos de lodo o barro, crecidas de detritos (flujos hiperconcentrados) y flujos de detritos”* (ONEMI, 2021, p. 55). Es decir, el aluvión es un tipo de remoción en masa que se comporta muy similar a un fluido, el cual va arrastrando material de flujos de barro y de detritos, además de arrastrar otros elementos como ramas, arboles, autos, entre otros, por una ladera, quebrada o cauce producto de precipitaciones sostenidas y con isoterma cero más alta (Figura 2).



**Figura 2.** Esquema formación del fenómeno de remoción en masa de flujos de detritos y de barro. Elaboración propia en base a Almazán, S., 2017.

Los flujos de barro o lodo son un *“fluido compuesto por materiales de grano fino y homogéneo, se consideran arcillas y limos. Posee una cantidad de agua media (30%) y escurren a una velocidad promedio de 3 m/seg.”* (Contreras, K., 2020, p. 40) y los flujos de detritos son un *“fluido compuesto de material no cohesivo como arenas, gravas y bolones. Posee baja cantidad de agua, por lo que genera un torrente espeso. Puede generar desbordes de quebradas y cauces ya previstos si sobrepasa el caudal de los canales de escurrimiento”* (Contreras, K., 2020, p. 40). Estos flujos son los que provocan el mayor desastre en la zona urbana para la población que se ve afectada por este tipo de amenaza -aluvión- ya que la población se encuentra expuesta o vulnerable al paso de este, contrario a lo que pasa con los aluviones en las zonas cordilleranas, en donde al no haber presente una población que pudiera ser vulnerable a la amenaza, el riesgo de desastres no existe para esta.

En relación con esto, los desastres son definidos como una *“situación de alcance regional o mayor, con un nivel de afectación e impacto que no permite ser gestionada con capacidades regionales, requiriendo de refuerzos o apoyos desde otras zonas del país, bajo una coordinación de nivel nacional”* (ONEMI, 2020, p. 135), es decir, los desastres son la parte visible de los efectos



o consecuencias que genera el fenómeno en una comunidad, ante las cuales, debido a su alcance territorial e impacto, no pueden hacer frente a la situación con sus propios recursos. Es importante entender que los desastres son socio-natural, y no naturales, debido a que si bien tiene una componente que es el fenómeno de origen natural, este por sí mismo no implica una acción de amenaza, ya que para que se concrete este fenómeno como un desastre, requiere de la componente de la intervención humana -a gran escala- en los ecosistemas y ambientes naturales (Lavell, A., 2000).

Cabe mencionar que el riesgo de desastres por aluvión, se producen por una serie de factores que son de tipo condicionantes y desencadenantes. Los primeros son factores estables y que son parte del propio medio, incluyendo también las modificaciones hechas por el ser humano, en cambio el segundo tipo son factores variables, externos y que se asocian a acciones que se producen en el medio como el clima o incluso las modificaciones hechas por el hombre de forma indirecta que podrían desencadenar este tipo de procesos (ONEMI, 2017).

Los factores condicionantes, se refiere tanto a las acciones antrópicas que activan los procesos de remoción en masa, como a la geología y geomorfología del lugar, o el crecimiento urbano con una urbanización sin una adecuada o nula planificación; y los factores desencadenantes, se refiere en cambio a aquellos factores que dan origen al proceso de remoción en masa o aluvión, estos son en primer lugar las precipitaciones, que son el factor más común para la generación de este proceso, aunque también se puede originar por el derretimiento de nieve (ONEMI, 2017), la variabilidad de la isoterma 0°C-la cual está más alta de lo normal-, el evento de El Niño, los eventos sísmicos y el cambio climático, el cual se ha sido agregado en el último tiempo.

Este último es definido como un *“cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”* (ONEMI, 2020, p. 135), este si bien es un fenómeno mundial, hay cambios proyectados para Chile, en donde de acuerdo al IV Reporte del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, se *“predice para Chile el aumento en el número y la severidad de fenómenos climáticos extremos”* (ECHO et al., 2012, p. 54), como precipitaciones o sequías intensas, el aumento de la temperatura máxima lo que va de la mano de la disminución de la capacidad de la Cordillera de Los Andes de almacenar nieve debido al aumento de la isoterma 0°C, lo que generará un aumento de las crecidas invernales de los ríos, o la generación de aluviones, lo cual habla de que este es un nuevo factor de vulnerabilidad, asociado a los riesgos de desastre que pueden generar en la población esta variable, ya que los eventos de aluviones se va a ver aumentada por este.

En Chile existe registro de aluviones en las Zonas Norte, Centro y Sur del país, sobre todo de los aluviones en zonas urbanas que son los que han afectado a la población y son el tema de interés. De los registros obtenidos del texto Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile (2018), se obtiene que entre el siglo XX y el siglo XXI, la Zona Norte ha tenido 60 casos de aluviones, la Zona Central 23 casos, y la Zona Sur 16 casos de aluviones.

### **c) Antecedentes de aluviones en Atacama**

Como se puede rescatar de los aluviones ocurridos durante el siglo XX y el siglo XXI, los daños por aluviones en zonas urbanas son tanto humanos como son las personas heridas, fallecidas o desaparecidos, como materiales como son los daños a la infraestructura lo que ha dejado un número alto de viviendas damnificada por el paso del aluvión, además de que en general la infraestructura crítica como establecimientos de salud, establecimientos educacionales, comunicaciones, electricidad, agua; como los lugares de abastecimiento, y la infraestructura vial son los que se ha visto más afectada por cortes o por daños en estos.

De acuerdo con los registros obtenidos del texto Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile (2018), se puede concluir que la Zona Norte del país ha sido la zona en donde se producen con mayor frecuencia en la zona urbana y se ha visto más veces afectada la población y su infraestructura. También esta zona se ha visto más afectada que las otras zonas por sus condiciones geomorfológicas de fuertes pendientes y la presencia de quebradas, las condiciones del terreno al ser un terreno que en general no es absorbente y permite el escurrimiento del agua, la poca cobertura de suelo, además del crecimiento urbano sin la planificación adecuada, el cual toma una gran relevancia ya que la población se encuentra vulnerable al riesgo de aluvión por su ubicación bajo quebradas, en laderas, ejes o riberas cercanas a los ríos por donde ha pasado o podría un aluvión pasar. Además, hay que considerar que esta zona por el cambio climático va a empezar a tener temperaturas cada vez más altas, variando la isoterma 0°C lo que va a favorecer las precipitaciones líquidas en zonas en que antes eran precipitaciones sólidas, por lo que se podrían generar aluviones de forma más frecuente, a lo que se le suma el evento de El Niño el cual ha estado presente en casi todos los casos de aluviones en la Zona Norte del país.

Es por esto, que el área de análisis del presente estudio será la Zona del Norte Chico, situándose en la Región de Atacama -la cual ha presentado desde el siglo XX al XXI 18 casos de aluviones-, específicamente en la ciudad de Copiapó, ubicada en la comuna homónima, Provincia de Copiapó.

La ciudad de Copiapó (175.162 habitantes) es la capital administrativa de la Región de Atacama -fundada oficialmente en 1744-, la cual se localiza en la llanura aluvial desarrollada en la intersección de las dos subcuencas en el curso medio de la Cuenca hidrográfica del Río Copiapó, siendo estas la quebrada Paipote y el Río Copiapó medio. Debido a su localización geomorfológica, es que esta área frecuentemente experimenta inundaciones por flujos de fangos o lodo, como se señala en numerosos relatos de la ciudad y se puede observar en el registro geológico cuaternario sobre la que está construida (Vargas Easton, G. *et al.*, 2018).

Esta ciudad ha sido afectada, como se mencionó, por el fenómeno del aluvión a lo largo de los años, donde se pueden destacar en el último tiempo los eventos aluvionales de los años 1985, 1987 y 1991, años en los cuales se produjo un gran nivel de afectación -influenciado por el invierno altiplánico-; además el aluvión del año 1997 -asociado al fenómeno del niño- el cual fue considerado como una de las más grandes inundaciones que ha tenido la ciudad, ya que las precipitaciones fueron las más altas registradas de los últimos años en ese entonces, a lo que se le sumó la bajada por prácticamente todas las quebradas de alrededor de la ciudad, dejando a localidades aisladas y grandes anegamientos, además del fallecimiento de 7 personas y severos daños en la zona urbana de la ciudad (Ortiz, J., 2019).

Cabe destacar también el aluvión del año 2015 -asociado a precipitaciones de gran intensidad, y larga duración temporal anómalo para la zona-, evento el cual fue de *“gran extensión territorial, con gran impacto regional y local no encuentra antecedentes similares en las áreas afectadas”* (Comité Científico Técnico ONEMI, 2015, p.6), el cual generó aluviones de forma simultánea en las partes bajas de los valles de Copiapó, Huasco y El Salado, siendo una de las zonas más afectadas la ciudad de Copiapó.

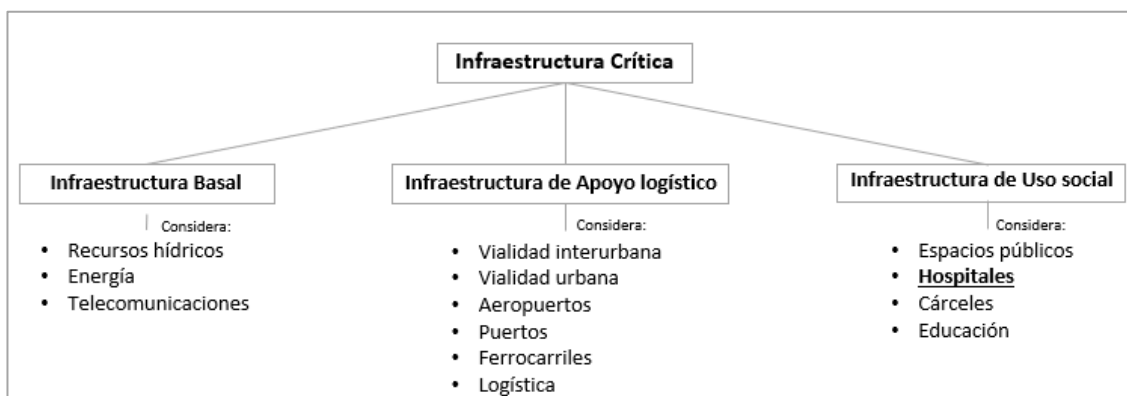
Así como existe un registro de los años en que han ocurrido los eventos en la zona, también existen estudios que se han hecho en el área con respecto al tema de los aluviones, los que han sido estudiados de diversas áreas, como se puede extraer del texto Atacama y Resiliencia (2015), en donde, en un capítulo de este por ejemplo el aluvión es estudiado desde el área de la salud, donde se realiza un estudio del nivel de exposición de las personas a metales y metaloides luego de ocurrido el fenómeno; o en otro capítulo por ejemplo son estudiados los factores gatillantes oceánicos y atmosféricos del fenómeno de 2015; también en otros informes se ha estudiado a este fenómeno en la ciudad de Copiapó, como por ejemplo en el informe Efectos geológicos del

evento meteorológico del 24 y 25 de Marzo de 2015, el cual fue elaborado por el SERNAGEOMIN, en donde se analizan las zonas de desbordes y su origen, además de que en este informe proponen posibles zonas de evacuación, campamentos y acopio de material. También en este se señala la trayectoria del flujo del aluvión en la ciudad de Copiapó, del cual se extraer que este paso por gran parte de esta.

Además, según diversos relatos de locatarios y también registros, como son por ejemplo los hechos por la ONEMI, se puede extraer que por el paso de este se vieron afectados tanto las personas, como la infraestructura pública, privada y la infraestructura crítica, presentando la última un vacío disciplinario en cuanto a su estudio de la resiliencia que presentan estas estructuras ante este fenómeno, las cuales no deberían presentar una interrupción en su servicio que prestan a la población por los posibles daños que pudieran presentar estas estructuras.

#### d) Infraestructura crítica

En Chile las **infraestructuras críticas** son definidas como el “conjunto de estructuras físicas, instalaciones, redes y otros activos que proporcionan servicios indispensables para el funcionamiento social y económico de una comunidad o sociedad” (ONEMI, 2021, p.22). Esta infraestructura se puede agrupar en tres ejes estratégicos -como se puede extraer del informe Infraestructura Crítica para el Desarrollo 2018-2027-, siendo el primer eje la infraestructura basal, el segundo eje es la infraestructura de apoyo logístico, y el último eje es la infraestructura de uso social. Cada uno de estos ejes estratégicos considera a distintas infraestructuras críticas según el eje al que corresponda (Figura 3).



**Figura 3.** Infraestructura correspondiente a cada uno de los tres ejes estratégicos de infraestructura crítica. Elaboración propia en base a Cámara Chilena de la Construcción, 2018.

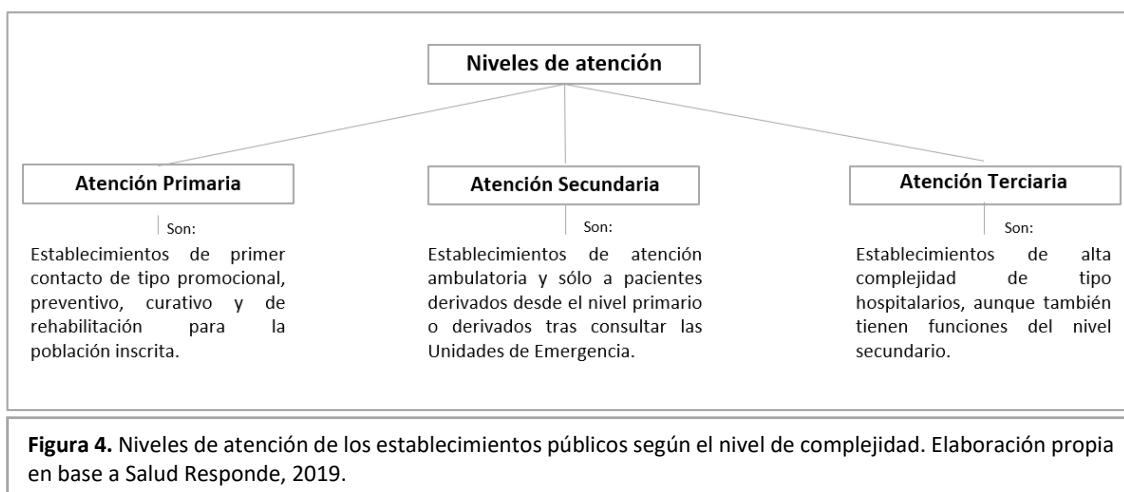
Sumado a esto, existe la Norma Técnica MINVU 003, en donde se definen las edificaciones que son consideradas como estratégicas -las cuales son infraestructuras críticas-, como “aquella edificación donde funcionan y operan instalaciones de utilidad pública necesarias en la recuperación de la normalidad posterior a un sismo o evento de gran magnitud, y que deben permanecer en funcionamiento durante y después de dicho evento” (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2013, p.12). Específicamente en el numeral 4 de esta norma, se hace un listado de las edificaciones que son consideradas como estratégicas o críticas, siendo estas, por ejemplo, la red hospitalaria pública; las edificaciones en el área de la conectividad y las comunicaciones; los cuarteles y recintos de control y seguridad; los edificios con capacidad de reconversión en albergues; entre otras.

Para este estudio la infraestructura crítica que se estudiará serán los establecimientos de salud públicos presentes en la ciudad de Copiapó. Estos desempeñan un papel importante en la atención de las personas heridas o lesionadas luego de ocurrido un aluvión, y también de los

pacientes que ya se encontraban en el interior del establecimiento al momento del evento; es por esto que estos establecimientos requieren consideraciones especiales desde su planificación y posterior construcción en relación a la reducción del riesgo de desastres, debido a la complejidad y las características de ocupación que presentan estos establecimientos, y también -como se mencionaba anteriormente- el papel que desempeñan estos durante situaciones de desastres, en relación con la preservación de la vida y la salud, especialmente en el diagnóstico y tratamiento de lesiones y enfermedades (OPS/OMS, 2004).

En Chile los **establecimientos de salud** se dividen de acuerdo al tipo de atención en abierta -atención de tipo ambulatoria, sin pernoctación de pacientes- y atención cerrada -atención integral, general o especializada, y que están habilitados para la internación de pacientes con ocupación de una cama, es decir, atención hospitalaria-, estos pueden ser establecimientos de salud públicos o privados, siendo los primeros los establecimientos en estudio.

Los establecimientos públicos se dividen en tres niveles de atención, los cuales dependen de la complejidad de la atención que requieran las personas. Estos niveles en orden ascendente en el nivel de complejidad de la atención son en primer lugar la atención primaria complejidad baja-, en segundo lugar, la atención secundaria -complejidad intermedia-, y por último la atención terciaria -complejidad alta- (Figura 4). Los establecimientos de salud públicos que están presentes en la ciudad de Copiapó son de nivel primario -siendo nueve Centros de Salud Familiar (CESFAM) y de nivel terciario -siendo un Hospital Regional-.



Cabe mencionar que existe en Chile el Departamento de Gestión de Riesgos de Emergencias y Desastres (DEGREYD) del Ministerio de Salud, el cual tiene como misión *“impulsar la gestión integral del riesgo en emergencias y desastres en el sector salud, considerando los lineamientos del Sistema Nacional de Protección Civil y los acuerdos sectoriales en el marco internacional de la reducción de riesgo de desastres”* (Departamento de Gestión del Riesgo en Emergencias y Desastres del Ministerio de Salud, 2021a), en esta línea es que elaboraron el documento *“Orientaciones Técnicas: Establecimientos seguros frente a desastres”* en donde el propósito de este es *“contar con Establecimientos de salud seguros frente a desastres, que permitan dar continuidad a la labor de la red asistencial, resguardando la seguridad y la calidad en la atención de salud”* (Ministerio de Salud, 2019b, P.4)-que es el objetivo del presente estudio-. En este se aplicaron los conceptos y los criterios de las estrategias de Hospital Seguro, Inclusión para la Gestión del Riesgo de Desastres (INGRIDH) y Smart Hospitales a todos los establecimientos de salud.

El hospital o recinto seguro frente a desastres es definido por la Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud (OPS/OMS) como un establecimiento de salud cuyos

“servicios permanecen accesibles y funcionando a su máxima capacidad y en su misma infraestructura inmediatamente después de que ocurre un desastre natural” (OPS/OMS). En este sentido, existe un índice que evalúa la probabilidad de que un hospital siga funcionando en caso de emergencias o desastres, este es el Índice de Seguridad Hospitalaria (ISH) -que es una herramienta del Programa de hospitales seguros de la OPS/OMS- el cual permite obtener una fotografía o “imagen borrosa” de los establecimientos en estudio en un determinado momento, permitiendo conocer los principales problemas relacionados con la vulnerabilidad estructural, no estructural y funcional -referida a la gestión de emergencias y desastres- de dichas instituciones, que permite trabajar en su solución o disminución (Departamento de Gestión del Riesgo en Emergencias y Desastres del Ministerio de Salud, 2021b).

La OPS/OMS en su libro “Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud” menciona que hay tres principales motivos para que estos establecimientos dentro de su planificación consideren la preparación ante posibles desastres, el primero es que el tratamiento de los pacientes debe continuar durante y después de la ocurrencia de una emergencia o desastre; el segundo es que la protección de todos los ocupantes debe estar asegurada, por lo que se debe hacer un análisis de vulnerabilidad de las instalaciones y, si es necesario, la instalación debe ser reforzada de acuerdo con los requisitos actuales de diseño y construcción; y el último motivo es que puede ser necesario, en algún momento durante la emergencia o desastre, evacuar pacientes ambulatorios y no ambulatorios. Estos motivos, sobre todo los dos primeros, van de la mano con el objetivo principal del presente estudio que es que estos establecimientos sean resilientes ante aluviones para que puedan atender a la población con normalidad y sin ver interrumpido su funcionamiento por presentar daños.

## 5- Metodología

A partir de un enfoque cualitativo y mixto -en algunos casos-, y diversas técnicas y formas de recopilación de información, las cuales se desarrollan en el siguiente cuadro, se busca llegar a elaborar los resultados esperados.

Objetivo específico	Enfoque	Técnica	¿Cómo se recolecta?	Resultados esperados
1. Caracterizar el fenómeno de aluvión en la provincia de Copiapó.	Mixto	Análisis cartográfico y documental.	Recopilación de cartografía y fotografías vía web; análisis de planos de la ciudad de Copiapó y de documentos vía web.	Mapa de la provincia de Copiapó que contenga la trayectoria de los flujos. Gráfico con la periodicidad de los eventos la Provincia de Copiapó. Esquema con la descripción del fenómeno en la provincia de Copiapó. Fotografías que muestren los daños generales en la ciudad de Copiapó. Mapa con la altura de los sedimentos, el trazado urbano, y localización de los

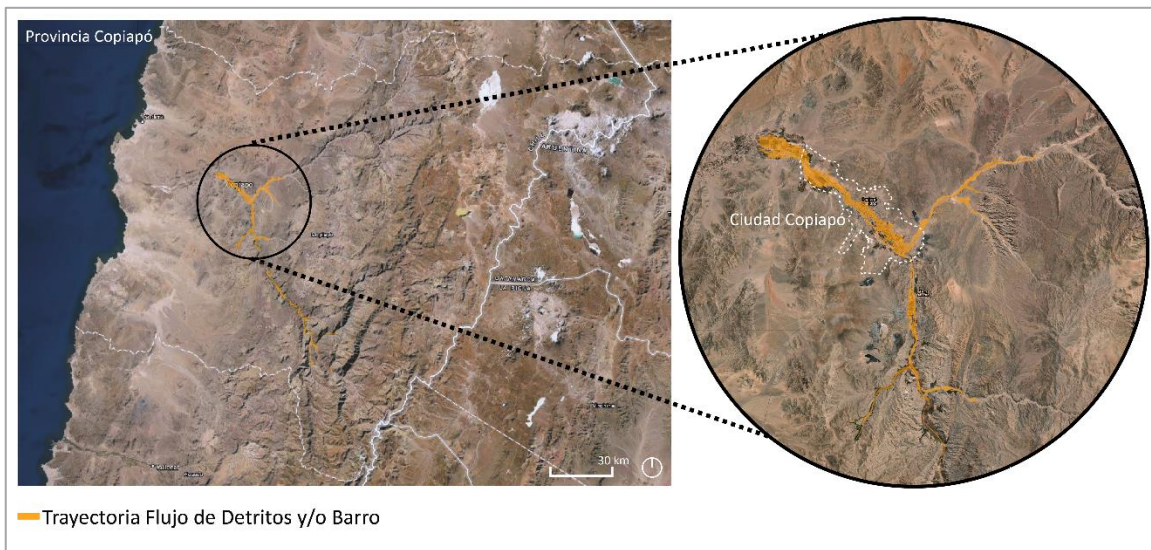


				establecimientos en estudio en la ciudad de Copiapó.
2. Caracterizar los tipos o modelos arquitectónicos de los establecimientos de salud públicos de la ciudad de Copiapó.	Cualitativo	Elaboración de tipología a partir de planimetría arquitectónica de los casos de estudio.	Levantamiento o vía Google Earth y fotografías.	Caracterización material, constructiva y volumétrica de los tipos o modelos arquitectónicos de los establecimientos de salud públicos de la ciudad de Copiapó.
3. Identificar la vulnerabilidad física ante aluviones en las tipologías de los establecimientos de salud públicos en la ciudad de Copiapó.	Mixto	Catastro de los daños y altura del nivel de inundación ante aluviones, que presentaron en los últimos eventos cada tipo o modelo de establecimiento o en estudio. Análisis del nivel de vulnerabilidad de cada elemento o sistema ante aluviones.	Resultados obtenidos del objetivo específico 2; análisis de documentos y relatos de daños; y evaluación de los daños por medio del ISH para atención 1ra y 3ra. Levantamiento o vía Google Earth y fotografías.	Ficha para cada tipo o modelo de cada uno de los establecimientos en estudio, que contenga los daños observados y el análisis planimétrico del fenómeno que presentaron los establecimientos en estudio, por cada elemento o sistema afectado. Altura de inundación promedio en cada tipo o modelo de estos establecimientos. Además de una tabla tipo semáforo que compare el nivel de vulnerabilidad de cada tipo o modelo de los establecimientos en estudio, categorizando - en bajo, medio y alto- el nivel de seguridad de los elementos o sistemas ante la amenaza de aluvión.
4. Analizar los diseños arquitectónicos y la tecnología constructiva para arquitectura resiliente en los elementos o sistemas vulnerables de las tipologías en estudio, que se puedan usar ante aluviones.	Cualitativo	Catastro de los elementos utilizados en los diseños arquitectónicos y la tecnología constructiva para arquitectura resiliente.	Recopilación de información vía web; revisión bibliográfica actualizada. Resultados obtenidos del objetivo específico 3.	Esquemas para cada elemento o sistema de los diseños arquitectónicos y la tecnología constructiva, que se pueda usar ante aluviones en los establecimientos de salud.

<p>5. Generar recomendaciones para una arquitectura resiliente en los elementos o sistemas vulnerables de los establecimientos de salud pública ante aluviones en la ciudad de Copiapó.</p>	<p>Cualitativo</p>	<p>Aplicar las características resilientes identificadas a los elementos o sistemas vulnerables de cada tipo o modelo de los establecimientos en estudio.</p>	<p>Se basará en los resultados obtenidos del objetivo específico 2, 3 y 4.</p>	<p>Ficha con esquemas con características de diseño resiliente para los elementos o sistemas vulnerables, para cada tipo o modelo de los establecimientos en estudio.</p>
---	--------------------	---	--	---

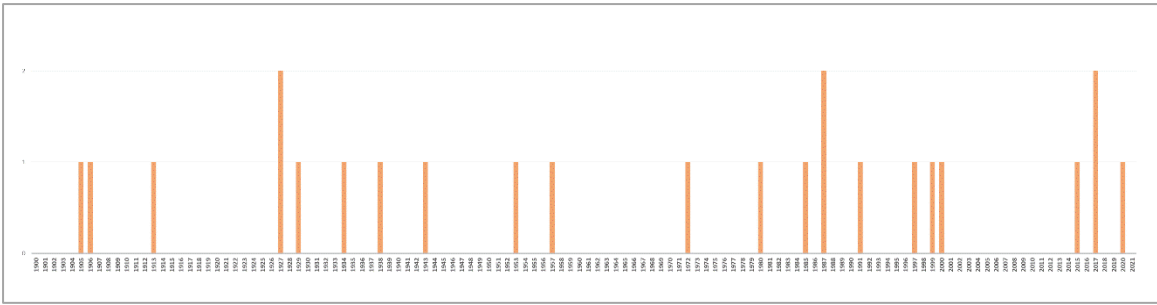
## 6- Resultados

A continuación, se presenta la caracterización del fenómeno del aluvión en la provincia de Copiapó, partiendo con un mapa de emplazamiento en la provincia y ciudad de Copiapó (Figura 5), la cual contiene la trayectoria de los flujos de detritos y de barro, en base a las cartografías recopiladas de los planos de evacuación por remoción en masa, disponibles de la región de Atacama, elaborados por el Comité Comunal de Protección Civil y Emergencia, SEREMI MINVU Atacama, SERNAGEOMIN y ONEMI.



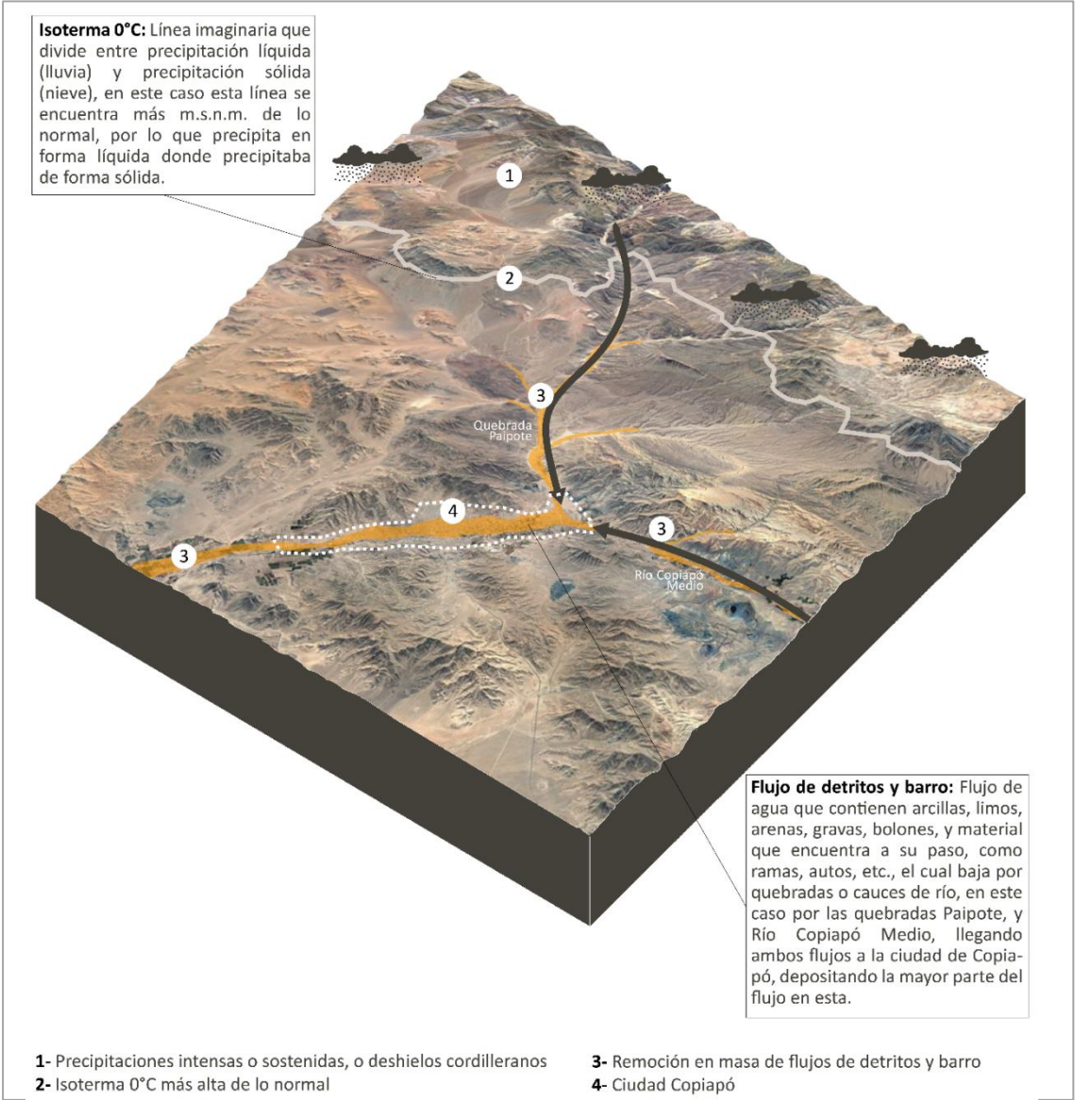
**Figura 5.** Mapa de la provincia y ciudad de Copiapó con la trayectoria de los flujos de detritos y barro. Elaboración propia en base a Google Earth

Complementando a este mapa, se graficó (Gráfico 1) la periodicidad de los eventos que han sucedido en esta provincia entre 1900-2021, en este se puede observar que estos han ido presentando un alza en cuando al número de eventos y la cercanía entre estos, lo cual se puede atribuir al cambio climático, el cual estaría afectando a que este tipo de fenómeno se presente con mayor frecuencia en esta zona del país.



**Gráfico 1.** Periodicidad de los eventos aluvionales en la Provincia de Copiapó (1900-2021). Elaboración propia en base a Griem, W. (2017); Fernández, J. & Espinoza, L. (2020); Soto, P. (2019); Naveas, V. (2016) y Urrutia de Hazbún, R. & Lanza, C. (1993).

Para poder entender con mayor detalle cómo se desarrolla este fenómeno en la provincia de Copiapó, en la Figura 6 se explica este.



**Figura 6.** Esquema de la formación y descripción de los aluviones en la provincia de Copiapó. Elaboración propia en base a Google Earth



Adicionalmente por medio de un registro fotográfico (Fotografía 5, 6 y 7), se muestran los daños que se produjeron en general en la ciudad de Copiapó con el aluvión ocurrido el año 2015 en esta, mostrando así un acercamiento a las consecuencias que se han producido en la ciudad por este tipo de eventos.



**Fotografía 5.** Daños y altura de flujos de detritos y de barro en las calles de la ciudad de Copiapó por el aluvión de 2015. Elaboración propia en base a Espinoza, S., 2015.





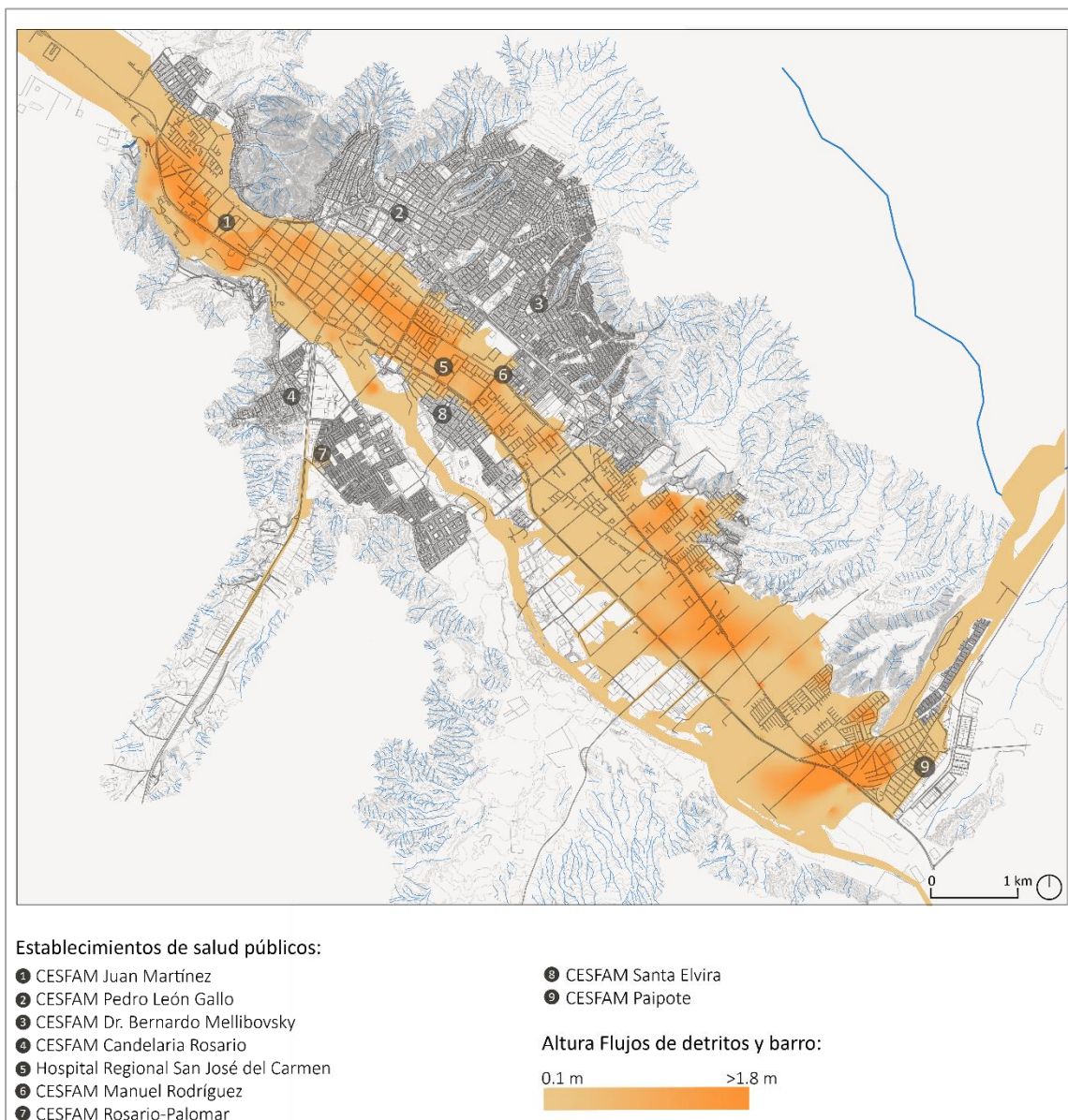
**Fotografía 6.** Daños y altura de flujos de detritos y de barro en edificaciones de la ciudad de Copiapó por el aluvión de 2015. Elaboración propia en base a Atacama Viva TV (2015); *Devastador amanecer en Copiapó Paipote tras fuertes lluvias y aluviones* (2015); *Reconstruyamos Paipote* (s. f.); y Radio Duna (2015).



**Fotografía 7.** Daños y altura de flujos de detritos y de barro en equipamientos de la ciudad de Copiapó por el aluvión de 2015. Elaboración propia en base a Radio Agricultura (2017) y *Devastador amanecer en Copiapó Paipote tras fuertes lluvias y aluviones* (2015).

Pasando a la caracterización de este fenómeno relacionado con los establecimientos de salud públicos en estudio, se elaboró un mapa (Figura 7) en donde se localizan a estos establecimientos en la ciudad de Copiapó junto con la altura de los flujos de detritos y de barro que fueron alcanzados con el aluvión del año 2015, realizados en base al levantamiento realizado por Izquierdo, T.; et al (2016), el cual fue rectificado en base Google Earth.





**Figura 7.** Mapa de Copiapó con la altura de los flujos de detritos y barro alcanzados en el evento del año 2015, y la localización de los establecimientos de salud públicos en estudio. Elaboración propia en base a Izquierdo, T. et al (2016) y Google Earth.

En la Figura 7 se puede observar el nivel de altura máxima alcanzado en el entorno próximo de cada uno de los establecimientos de salud públicos, siendo varios de estos afectados por el paso del aluvión o con zonas próximas a estos las que han sido afectadas por el aluvión, lo que muestra que posiblemente no se consideró la variable del aluvión para la ubicación de estos, ya que como se puede observar la mayoría se ubica justo por el centro de la ciudad que es la zona más afectada de Copiapó.

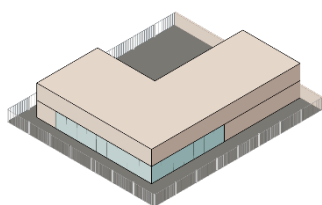
Debido a la altura de inundación que presentaron estos establecimientos y relacionándolos con las Fotografías 5, 6 y 7, se puede inferir que el acceso a estos establecimientos de salud se vio afectado, incluso pudiendo llegar a un punto en donde estos pudieran quedar sin funcionamiento por algún tiempo o inutilizables debido a los daños que estos podrían presentar. Cabe señalar que otros establecimientos no fueron afectados directamente por el flujo de detritos y barro, en donde sí se puede haber incluido la variable del aluvión para decidir su

ubicación, sin embargo, estos sí podrían haber presentado daños por las lluvias que son anteriores a la bajada del flujo de detritos y de barro por las laderas y quebradas.

Además, los establecimientos que no fueron afectados directamente por el aluvión deberán también prestar atención a la población afectada que era atendida por los otros establecimientos, al mismo tiempo de atender a las personas que regularmente se atienden en todos estos establecimientos día a día.

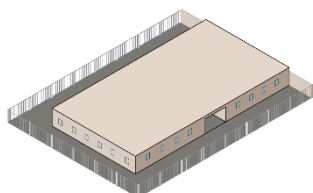
En cuanto a la caracterización material, constructiva y volumétrica de los tipos o modelos arquitectónicos de los de establecimientos en estudio, esta se realizó a partir de material fotográfico y Google Earth, obteniendo así cinco tipologías arquitectónicas como se muestran a continuación (Figura 8).

### Tipología A



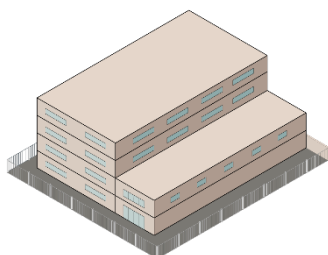
- Número de pisos:** 2 pisos
- Sistema constructivo:** Muros de Albañilería Confinada
- Materialidad predominante:** Albañilería de ladrillo y vidrio
- Cerramientos predio:** Reja de acero / Muro de hormigón en pandereta tipo bulldog
- Categoría establecimiento de salud:** Atención primaria
- Nombre de establecimiento:** CESFAM Rosario-Palomar

### Tipología B



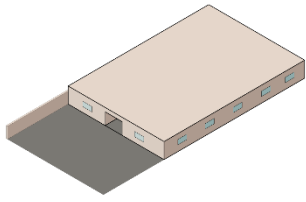
- Número de pisos:** 1 piso
- Sistema constructivo:** Muros de Albañilería confinada
- Materialidad predominante:** Albañilería de ladrillo
- Cerramientos predio:** Reja de acero / Muro de albañilería de ladrillo en pandereta (Pandereta)
- Categoría establecimiento de salud:** Atención primaria
- Nombre de establecimiento(s):** CESFAM Santa Elvira; CESFAM Manuel Rodríguez; CESFAM Dr. Bernardo Mellibovsky; CESFAM Juan Martínez; CESFAM Paipote

### Tipología C



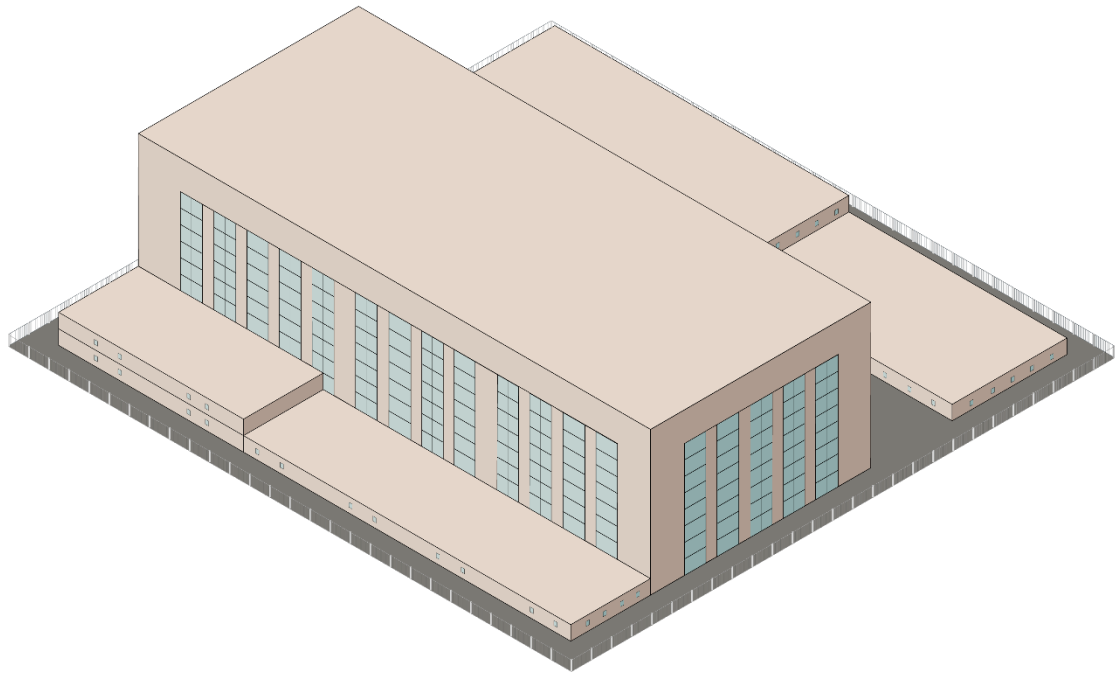
- Número de pisos:** 4 pisos
- Sistema constructivo:** Muros y losas de Hormigón armado
- Materialidad predominante:** Hormigón armado y vidrio
- Cerramientos predio:** Reja de acero / Muro de hormigón en pandereta tipo bulldog
- Categoría establecimiento de salud:** Atención primaria
- Nombre de establecimiento:** CESFAM Pedro León Gallo

### Tipología D



- Número de pisos:** 1 piso
- Sistema constructivo:** Muros de albañilería confinada
- Materialidad predominante:** Albañilería de ladrillo
- Cerramientos predio:** N/A (Muro fachada establecimiento) / Muro de hormigón en pandereta tipo bulldog
- Categoría establecimiento de salud:** Atención primaria
- Nombre de establecimiento:** CESFAM Candelaria-Rosario

### Tipología E



- Número de pisos:** 8 pisos
- Sistema constructivo:** Muros y losas de Hormigón armado
- Materialidad predominante:** Hormigón armado / Vidrio
- Cerramientos predio:** Reja de acero
- Categoría establecimiento de salud:** Atención terciaria
- Nombre de establecimiento(s):** Hospital Regional de Copiapó San José del Carmen

**Figura 8.** Caracterización material, constructiva y volumétrica de cada tipología de los establecimientos de salud pública.

En estas cinco tipologías, también se identifica y analiza su vulnerabilidad física ante aluviones, por medio de una ficha para cada una de estas (Figura 9, 10, 11, 12 y 13), las que contiene los daños observados por cada elemento o sistema afectado y el análisis planimétrico del fenómeno que presentaron los establecimientos en estudio posterior al evento del año 2015, en donde se analiza tanto la dirección de los flujos de detritos y barro y la relación de estos con su geometría en planta, para analizar el impacto de estos flujos con la edificación y su emplazamiento, como también la altura máxima de inundación que presentaron estos y su relación con sus elementos de cierre perimetral y una de sus fachadas.

### Catastro de daños observados y análisis planimétrico del fenómeno en los establecimientos de la Tipología A

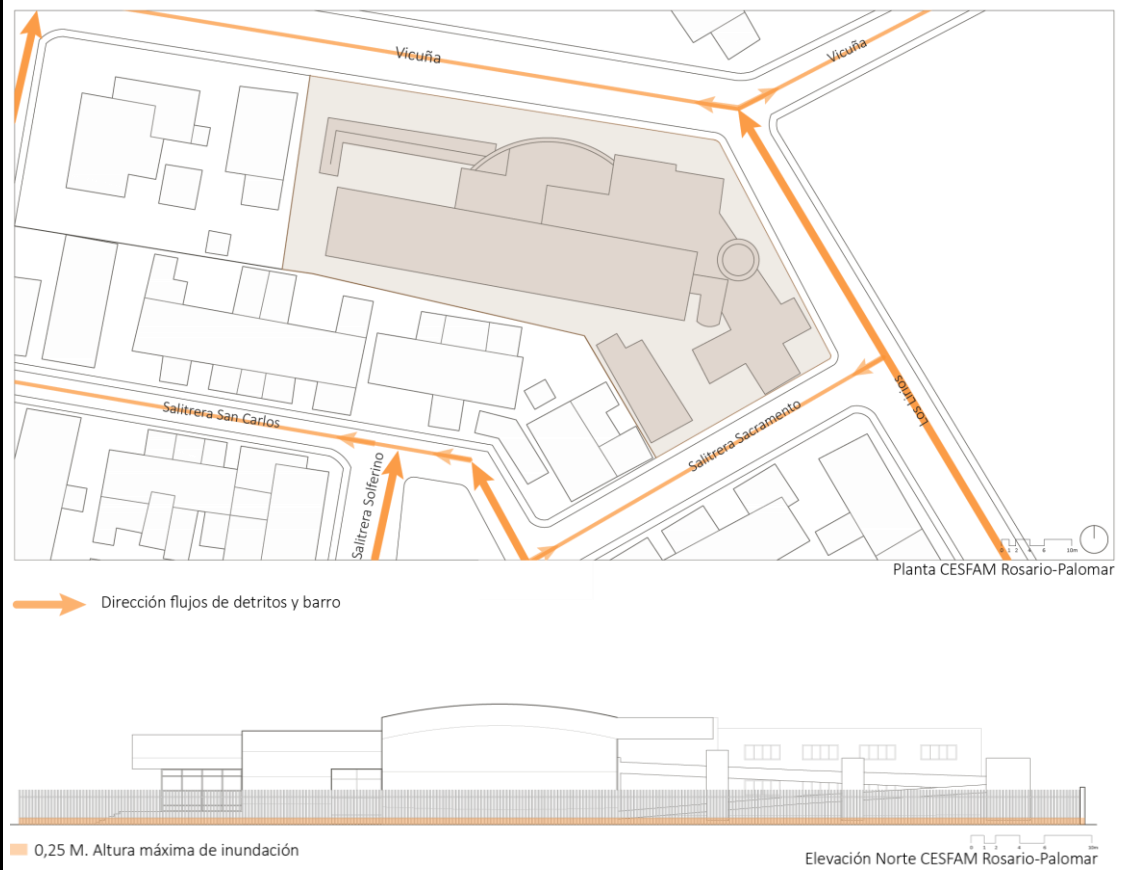
#### Catastro de daños observados:

-Se detectan filtraciones puntuales, las cuales son anteriores al evento, sin embargo, se requiere revisar la cubierta de techumbre en los lugares de filtración y reponer hojalaterías correspondientes.

-Se debe reparar el cielo con empaste y pintura.

-Sin funcionamiento (27/03/2015) y luego funcionamiento parcial (06/04/2015) del establecimiento los días posteriores al evento.

#### Análisis planimétrico del fenómeno:



**Figura 9.** Catastro de daños observados y análisis planimétrico del fenómeno en los establecimientos de la tipología A.

### Catastro de daños observados y análisis planimétrico del fenómeno en los establecimientos de la Tipología B

#### Catastro de daños observados:

-Se requiere de regularización del sistema eléctrico, en sala ancestral y bodega (CESFAM Juan Martínez)



- Falta de reserva de agua potable, por lo cual estuvo sin funcionamiento por varios días posterior al evento (CESFAM Juan Martínez)
- Suministro de agua estaba cortado en el sector (26/03/2015), cabe señalar que este establecimiento se encontraba fuera de funcionamiento debido a esto, por lo cual se presume que no cuenta con reserva de agua (CESFAM Dr. Bernardo Mellibovsky)
- Fotografía estado de las protecciones de las ventanas (CESFAM Manuel Rodríguez)



**Fotografía 8.** Estado de las protecciones de las ventanas. Tomado de (Gobierno de Chile, 2015a).

- Daño en techumbres, en sala ancestral y bodega (CESFAM Juan Martínez)
- Hubo filtraciones producto de falta de techumbre en áreas y la no existencia de canaletas. (CESFAM Manuel Rodríguez)



**Fotografía 9.** Daños en la cubierta del CESFAM Manuel Rodríguez. Tomado de (Gobierno de Chile, 2015a).

- Se detectan filtraciones de aguas lluvia por la techumbre, debido a grietas existentes previo al evento, sin embargo, se requiere revisar la cubierta de techumbre en los lugares de filtración y reponer hojalaterías correspondientes (CESFAM Santa Elvira)
- Daños en cielos y desprendimiento de pintura y cornisas (CESFAM Santa Elvira)
- Se requiere de cambio de planchas interiores y exteriores, pintura interior y exterior, en sala ancestral y bodega (CESFAM Juan Martínez)
- En el ala norte del recinto (ampliación) hubo una rotura de cañería agua y afectó los tabiques colindantes con patio trasero (CESFAM Manuel Rodríguez)
- Daños en cielos y desprendimiento de pintura y cornisas. Se debe reparar el cielo, con empaste y pintura (CESFAM Santa Elvira)





**Fotografía 10.** Daños en el cielo del Cesfam Santa Elvira. Tomado de (Gobierno de Chile, 2015a).

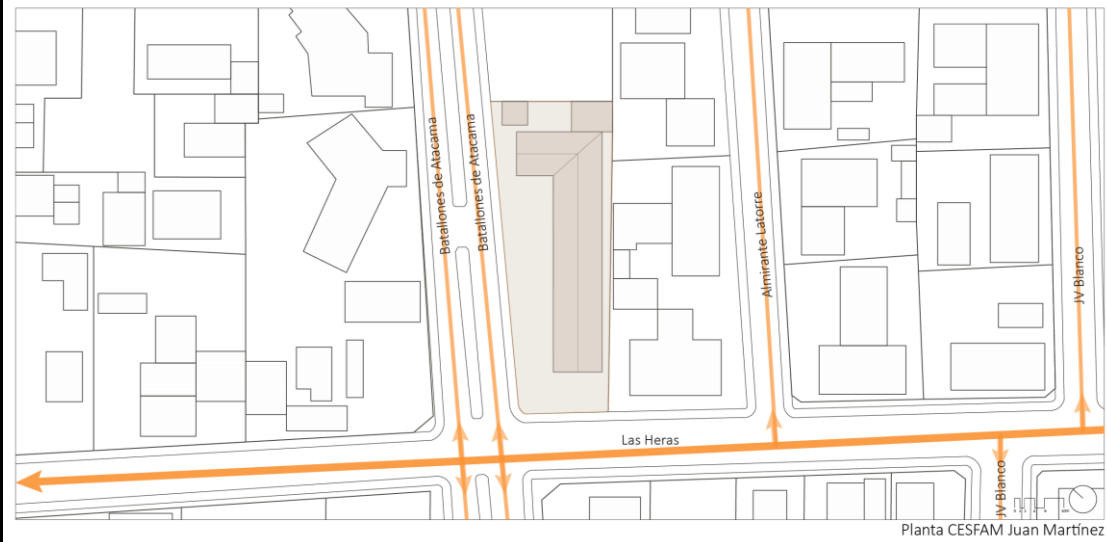
- Se requiere de recambio de pisos, en sala ancestral y bodega (CESFAM Juan Martínez)
- Revestimiento piso y estructura dañada (CESFAM Manuel Rodríguez)



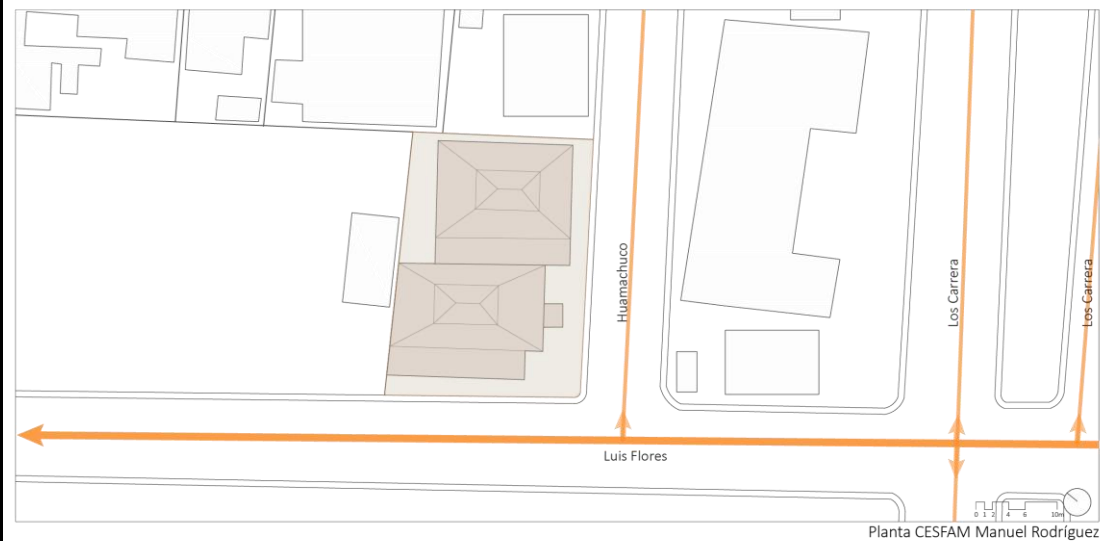
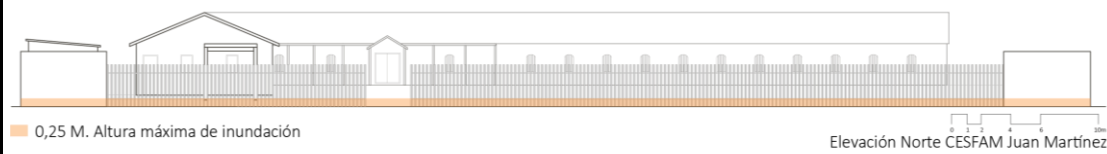
**Fotografía 11.** Daños en los pisos del CESFAM Manuel Rodríguez. Tomado de (Gobierno de Chile, 2015a).

- Sin funcionamiento (31/03/2015) (CESFAM Dr. Luis Herrera, Chañaral)
- Sin funcionamiento (31/03/2015) (CESFAM Salvador Allende Gossens, Tierra Amarilla)
- Sin funcionamiento (27/03/2015) (CESFAM Juan Martínez)
- Sin funcionamiento (27/03/2015) (CESFAM Manuel Rodríguez)
- Sin funcionamiento (27/03/2015) (CESFAM Dr. Bernardo Mellibovsky)
- Sin funcionamiento (27/03/2015) (CESFAM Paipote)
- Sin funcionamiento (31/03/2015) (CESFAM Santa Elvira)

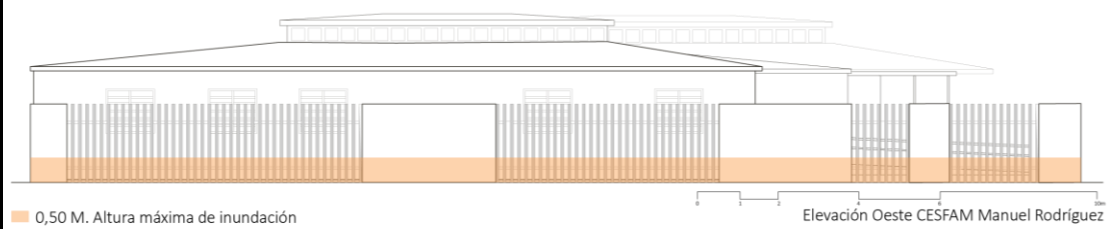
## Análisis planimétrico del fenómeno:



➔ Dirección flujos de detritos y barro

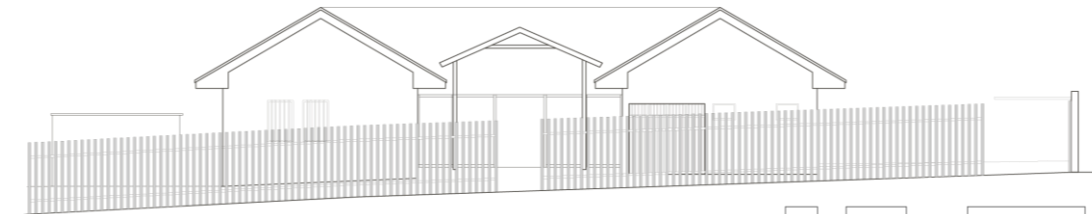


➔ Dirección flujos de detritos y barro



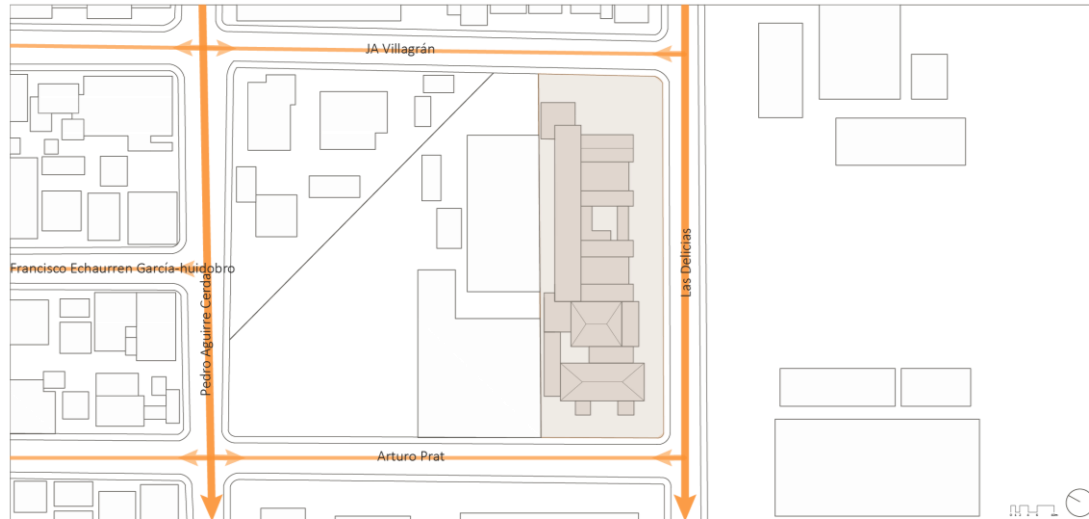


Planta CESFAM Dr. Bernardo Mellibovsky



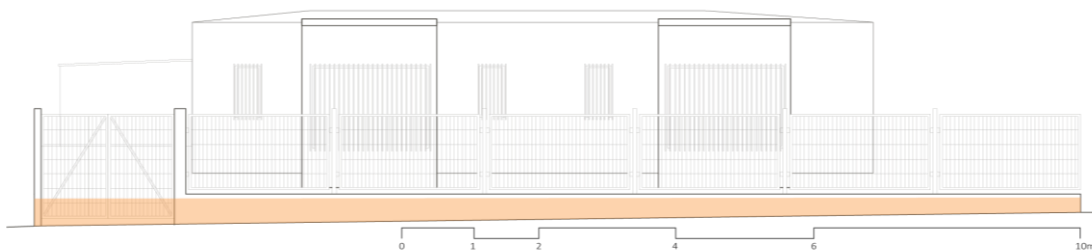
Elevación Sur CESFAM Dr. Bernardo Mellibovsky

\*0,00 M. Altura máxima de inundación



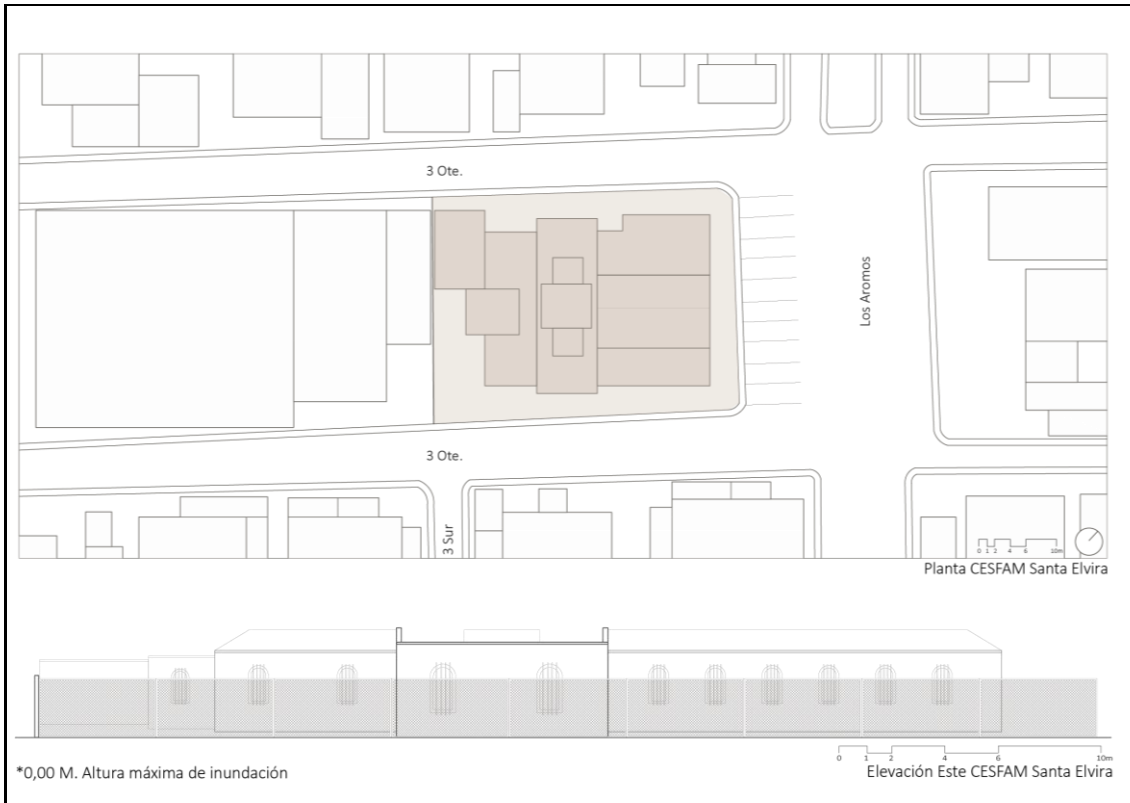
Planta CESFAM Paipote

➔ Dirección flujos de detritos y barro



Elevación Oeste CESFAM Paipote

0,25 M. Altura máxima de inundación



**Figura 10.** Catastro de daños observados y análisis planimétrico del fenómeno en los establecimientos de la tipología B.

### Catastro de daños observados y análisis planimétrico del fenómeno en los establecimientos de la Tipología C

#### Catastro de daños observados:

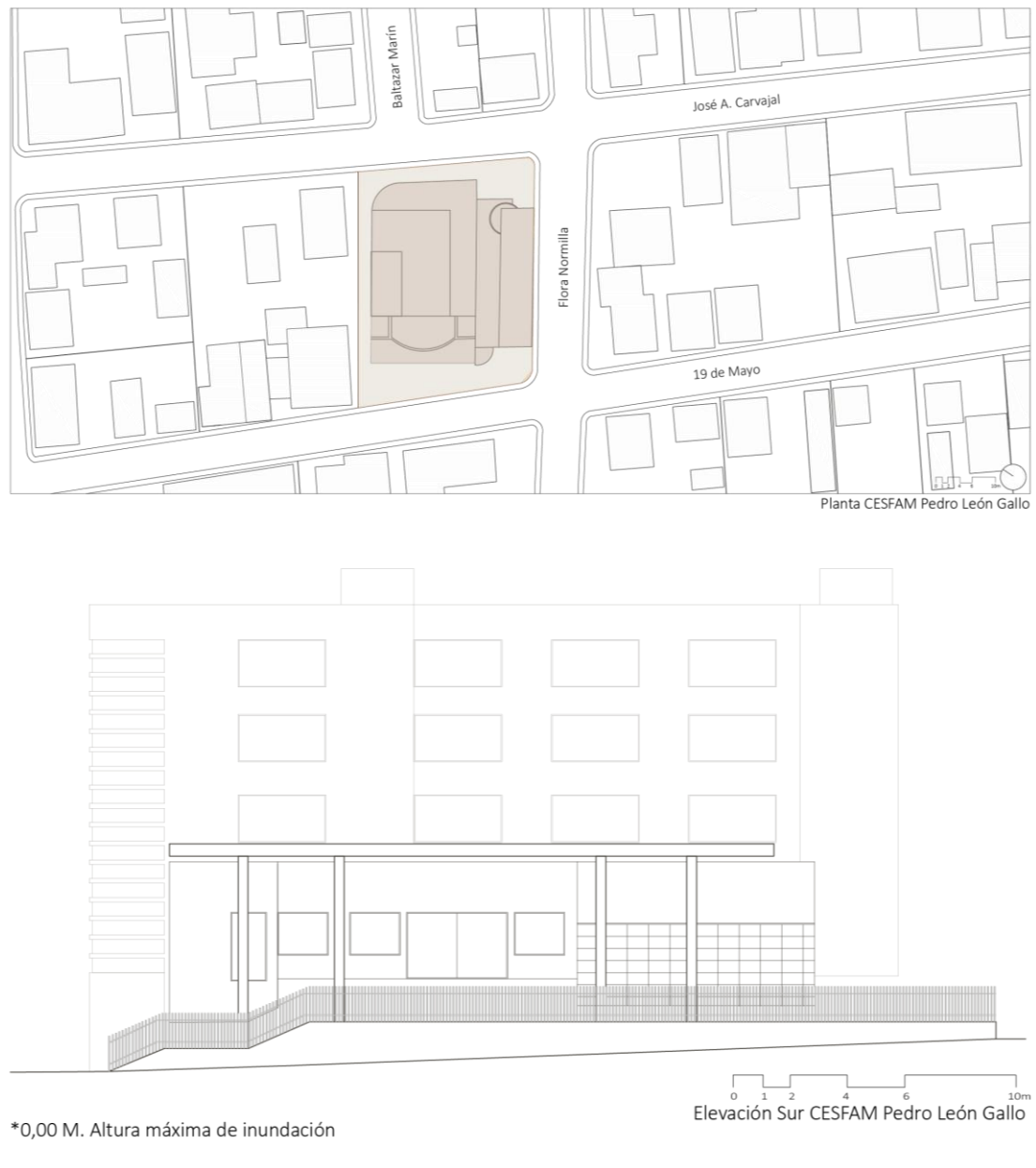
- Se encuentran en regulares condiciones algunos de los elementos constructivos que forman parte de la estructura de techo, producto de filtraciones de aguas lluvia a través de esta, y la no existencia de canaletas.
- Desprendimiento de cielos por filtración de aguas lluvia a través de la techumbre.



**Fotografía 12.** Daños en los cielos en el CESFAM Pedro León Gallo. Tomado de (Gobierno de Chile, 2015a).

-Sin funcionamiento (31/03/2015)

**Análisis planimétrico del fenómeno:**



**Figura 11.** Catastro de daños observados y análisis planimétrico del fenómeno en los establecimientos de la tipología C.

**Catastro de daños observados y análisis planimétrico del fenómeno en los establecimientos de la Tipología D**

**Catastro de daños observados:**

- Falta de suministro de agua potable por varios días posterior al evento, por lo que se presume que no cuenta con reserva de agua
- Sin funcionamiento (31/03/2015)

### Análisis planimétrico del fenómeno:



**Figura 12.** Catastro de daños observados y análisis planimétrico del fenómeno en los establecimientos de la tipología D.

### Catastro de daños observados y análisis planimétrico del fenómeno en los establecimientos de la Tipología E

#### Catastro de daños observados:

- El sistema de iluminación se ha mantenido en forma normal, siendo afectado los tableros eléctricos en el nivel -2 de la torre y el -1 del edificio
- Contaminación de los estanques de agua con la presencia de coliformes fecales
- En cuanto al gas combustible la empresa Gasco inspeccionó sus instalaciones que suministran gas a la central de alimentación, las que no presentan ningún daño.
- Los dos grupos generadores principales no se encuentran afectados, manteniéndose el nivel de petróleo de reserva controlado. Dado que los estanques principales sufrieron el daño parcial en sus bombas de impulsión
- En cuanto al gas combustible la empresa Gasco inspeccionó sus instalaciones que suministran gas a la central de alimentación, las que no presentan ningún daño.
- Una vez despejada la calle de servicio permitió que se efectuarán la carga del oxígeno líquido para mantener un abastecimiento adecuado
- En cuanto al sistema de alcantarillado que proviene de la Torre principal se adoptó una solución transitoria hasta que se regularice el sistema habitual. Esta consiste en contener todas



las aguas a través de un ducto conducido a un estanque de almacenamiento y luego es impulsado a una cámara de alcantarillado público

-Fotografía pasillos al interior edificio y estado escaleras



**Fotografía 13.** Flujo de detritos y de barro en los pasillos del Hospital. Tomado de (Gobierno de Chile, 2015b).

**Fotografía 14.** Flujos de detritos y de barro en las escaleras del Hospital. Tomado de (Gobierno de Chile, 2015b).

-Los seis ascensores con los cuales cuenta la torre de hospitalización quedaron inutilizados por la presencia de agua en los fosos

-Fotografía estado ascensores



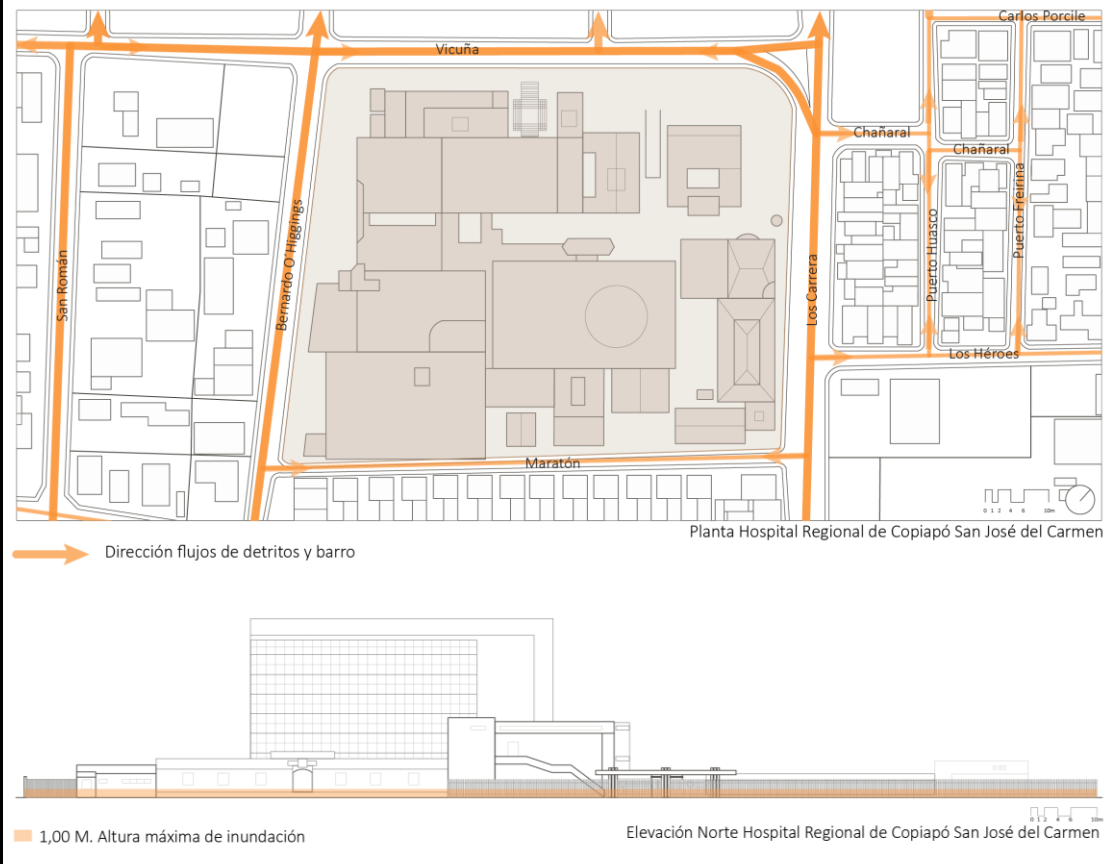
**Fotografía 15.** Flujo de detritos y de barro que impiden el funcionamiento de los ascensores. Tomado de (Gobierno de Chile, 2015b).

-Debido a la inundación del servicio de urgencia, se habilita el hall del CDT como lugar provisorio para dicho servicio, cuyo acceso queda determinado por calle Vicuña

-Inundación de las siguientes áreas del hospital: boulevard de acceso principal, calle de servicio, niveles -2, parte del -1 y nivel 1. A ello, debemos sumar la placa noble compuesta por las unidades de abastecimiento, central de alimentación, anatomía patológica, pabellón, neonatología, parto y preparto, servicios generales y lavandería. Por su parte, en la Torre de Hospitalización se vieron afectados los servicios de esterilización, farmacia, oficinas del voluntariado, salón de eventos, cafetería y la totalidad de las instalaciones provisorias del Servicio de Urgencia y su área de estacionamiento. A lo anterior, también debemos mencionar la inundación del pasillo de conexión desde la Urgencia Provisoria a las demás dependencias del recinto hospitalario. Situación que provocó el ingreso de flujos de detritos y barro a las unidades de medicina nuclear, policlínico de dermatología y el pasillo de ingreso interno a los policlínicos de atención del Centro de Diagnóstico Terapéutico

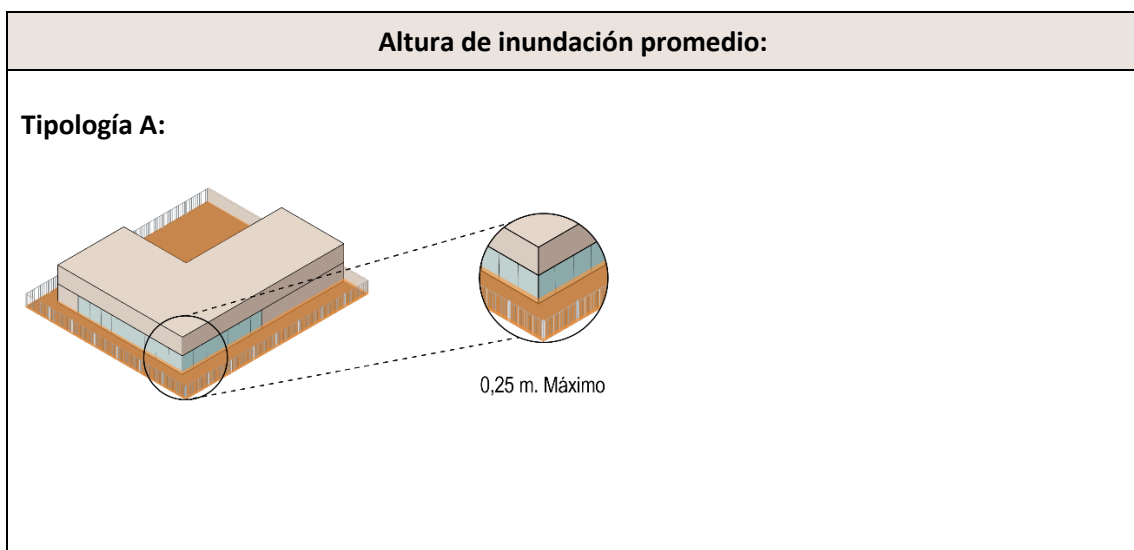
-Funcionamiento parcial (31/03/2015)

### Análisis planimétrico del fenómeno:

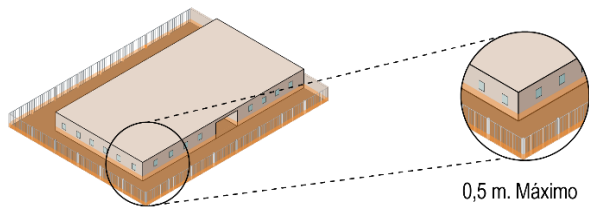


**Figura 13.** Catastro de daños observados y análisis planimétrico del fenómeno en los establecimientos de la tipología E.

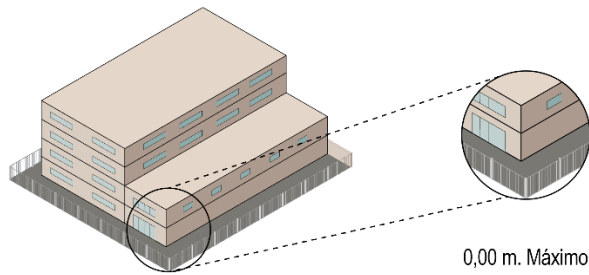
A continuación, en base a lo anterior, se aplicó a cada una de las tipologías de los establecimientos de salud la altura de inundación promedio máxima alcanzada (Figura 14).



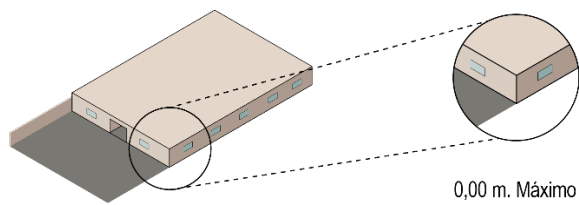
**Tipología B:**



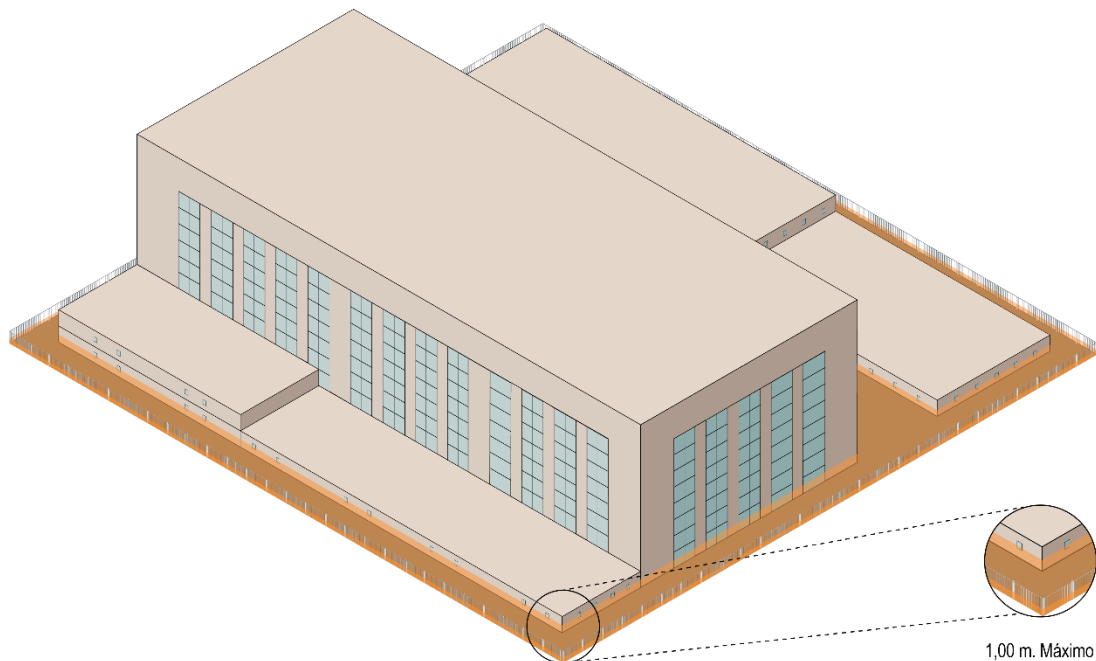
**Tipología C:**



**Tipología D:**







**Tipología E:**



**Figura 14.** Altura de inundación promedio en cada tipología de los establecimientos.

Complementando a lo anterior, y en base a la aplicación del Índice de Seguridad Hospitalaria (ISH) para establecimientos de alta, mediana y baja complejidad -el cual es utilizado para conocer el nivel de seguridad de los establecimientos de salud-, es que se elaboró una tabla tipo semáforo (Tabla 1), la cual compara el nivel de vulnerabilidad de cada una de las cinco tipologías, y dentro de cada una de ellas se detalla por establecimiento su respectivo nivel de vulnerabilidad, en donde se categoriza en bajo, medio y alto el nivel de vulnerabilidad de los elementos o sistemas ante la amenaza de aluvión.

Nivel de vulnerabilidad de los elementos o sistemas ante la amenaza de aluvión en los Establecimientos de Salud										
Tipología Establecimientos:	A	B					C	D	E	
Nombre establecimiento:	CESFAM Rosario - Palomar	CESFAM Santa elvira	CESFAM Manuel Rodríguez	CESFAM Dr. Bernardo Mellibovsky	CESFAM Juan Martínez	CESFAM Paipote	CESFAM Pedro león gallo	CESFAM Candelaria - Rosario	Hospital Regional Copiapó San José del Carmen	
<b>1- Susceptibilidad de daños estructurales</b>										
-Estado de deterioro en que se encuentra la edificación										
-Estado en que se encuentran los materiales de construcción	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O	
-Estado en que se encuentran las juntas constructivas										
-Estado en que se encuentran los cimientos	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O	
-Geometría irregular en planta										
-Irregularidades en la elevación										
<b>2.- Líneas Vitales de funcionamiento</b>										
<b>2.1- Sistema eléctrico</b>										
¿Se dispone de una fuente alternativa capaz de suministrar energía eléctrica de forma permanente por un período de 72 horas en las áreas críticas de la instalación de salud?	N/O	N/O	N/O	N/O		N/O	N/O			
<b>2.2- Sistema de telecomunicaciones</b>										
¿Se cuenta con un sistema alternativo de comunicación?	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O	
<b>2.3- Sistema de suministro de agua</b>										
Reservas de agua para los servicios y funciones del hospital	N/O	N/O	N/O			N/O				
¿Los depósitos de agua se encuentran protegidos?	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O			
<b>2.4- Sistemas de almacenamiento de combustibles (por ejemplo, gas, gasolina y diesel)</b>										
Reservas de combustible	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O			
Estado y seguridad de los depósitos (tanques o cilindros) de combustible situados sobre la cota 0,0 del terreno	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O		N/O	

2.5- Sistemas de gases medicinales (Si en los protocolos de atención del establecimiento lo incluye)										
¿Se dispone de almacenaje suficiente de gases medicinales para 3 días como mínimo?	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O		
¿El almacenamiento de los gases se encuentra en una zona segura?	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O		
2.6- Sistema de saneamiento										
¿El establecimiento de salud tiene antecedentes de anegamientos por inadecuada evacuación de las aguas servidas?	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O		
<b>3- Daños en elementos no estructurales</b>										
Estado y seguridad de puertas y accesos										
Estado y seguridad de ventanas y persianas										
Estado y seguridad de techos y cubiertas										
Estado y seguridad de barandillas y pretilas										
Estado y seguridad de los cerramientos perimetrales										
Estado y seguridad de otros elementos (por ejemplo, cornisas, ornamentos, chimeneas, letreros)										
Condiciones seguras en las de circulaciones externas										
Condiciones seguras en las circulaciones internas										
Estado y seguridad de los muros y tabiques										
Estado y seguridad de los cielos										
Estado y seguridad de los ascensores		N/O	N/O	N/O	N/O	N/O		N/O		
Estado y seguridad de escaleras y rampas										
Estado y seguridad del revestimiento de los pisos										
<b>4- Funcionamiento / Gestión de emergencias y desastres</b>										
4.1- Continuidad de servicios										
Continuidad de los servicios de urgencia y de asistencia crítica										
Continuidad de los servicios esenciales de apoyo clínico										
Ampliación del espacio utilizable para incidentes que generan arribo masivo de afectados al establecimiento	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O	N/O		
<b>Leyenda:</b>										
Nivel de vulnerabilidad de los elementos o sistemas ante la amenaza de aluvión										
	Bajo		Medio		Alto		N/O	No Observado		

**Tabla 1.** Nivel de vulnerabilidad de los elementos o sistemas ante la amenaza de aluvión en los Establecimientos de Salud. Elaboración propia en base a OPS/OMS (2010) y OPS/OMS (2018).

Como se puede rescatar de la Tabla 1, los elementos o sistemas que presentaron un nivel de vulnerabilidad alto ante la amenaza de aluvión son: las reservas de agua potable y la protección de los depósitos de esta; las puertas y los accesos; las ventanas y persianas; techos y cubierta; los muros y tabiques; cielos; escaleras y rampas; el revestimiento de los pisos; los ascensores; las circulaciones externas e internas; y la continuidad de los servicios de urgencia y de asistencia crítica, además de la continuidad de los servicios esenciales de apoyo clínico. Es decir, la



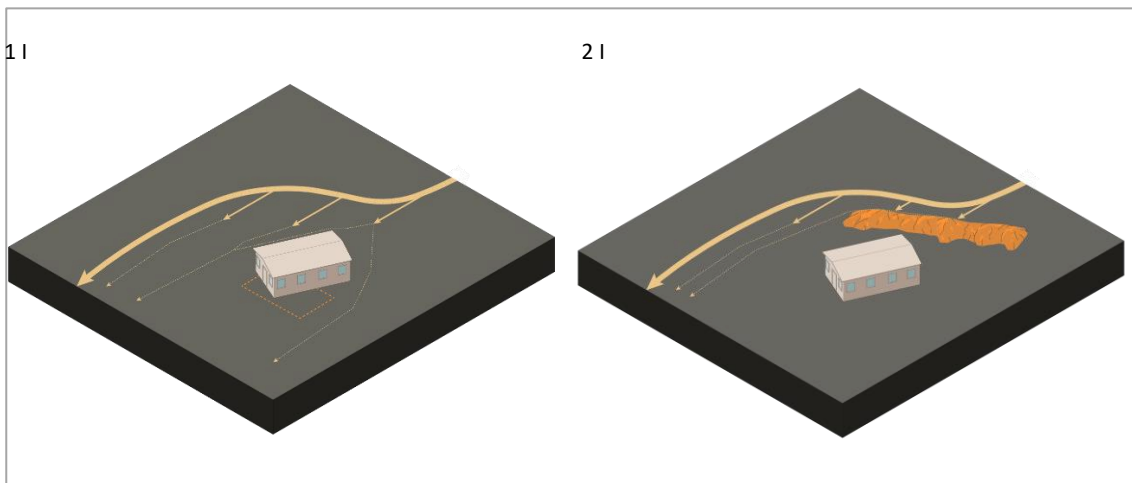
vulnerabilidad se presenta tanto en los elementos externos e internos de las edificaciones, como en sus ascensores, en los accesos y circulaciones tanto interior como exterior, en sus sistemas de agua potable y también en la continuidad del funcionamiento de los establecimientos. Esto se debe en su mayoría al nivel de inundación que presentaron cada una de las tipologías o debido a la ausencia de algunos de estos sistemas.

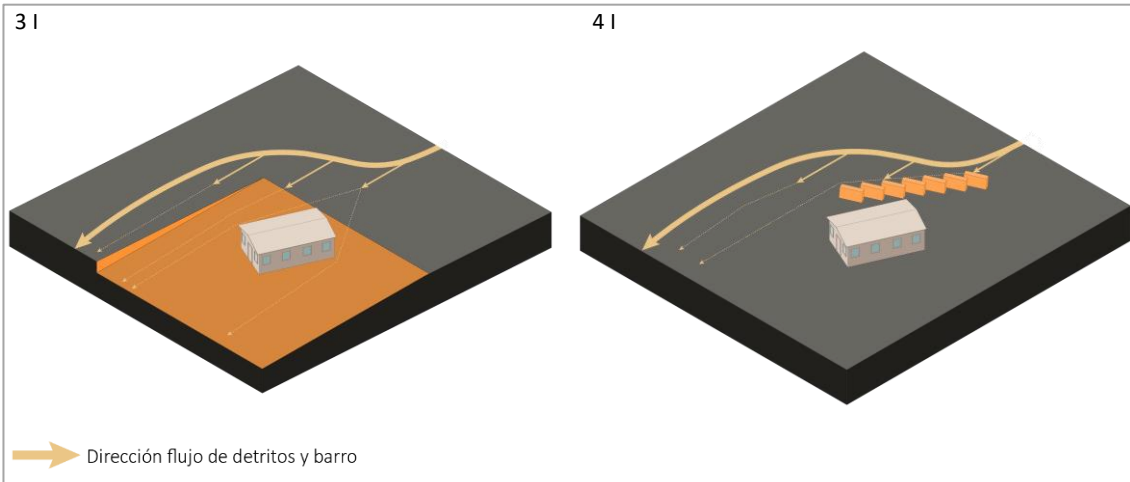
A partir de esto, es que se buscaron y analizaron diseños arquitectónicos y tecnología constructiva para arquitectura resiliente en los elementos o sistemas vulnerables que presentaron un nivel de vulnerabilidad alto - señalados anteriormente- además de incluir la búsqueda y análisis de elementos o sistemas en otros diseños arquitectónicos y tecnología constructiva que pudieran ser resiliente ante aluviones que se puedan usar en establecimientos de salud, los cuales se presentan a continuación.

Primero que todo, cabe señalar que se pueden realizar medidas de mitigación de la edificación que eviten que el flujo llegue al predio o al edificio, las cuales se deben considerar en la etapa de planificación de un proyecto en general para establecimientos y sobre todo para establecimientos de salud, los cuales al ser infraestructura crítica deben estar siempre operativos.

Dentro de estas se encuentran como se puede observar en la Figura 15, el trabajo del terreno el cual se puede realizar de las siguientes maneras: 1) Geometría regular en planta y alineación de la edificación con el flujo de detritos y barro, para que esta no actúe como una barrera lo que podría generar mayores daños en la edificación 2) Uso de taludes alineados al flujo de detritos y barro 3) Generación de una pendiente en el terreno que descienda en sentido de la dirección del flujo de detritos y barro. También se pueden realizar medidas por medio de barreras arquitectónicas como se observa en el número 4 con el uso de barreras temporales o barreras permanentes, como diques o muros estancos alineados con el flujo de detritos y barro, ambas por sobre la cota de inundación. Si bien estas medidas pueden ayudar a mitigar inundaciones por flujos de detritos y barro en las edificaciones, estas medidas pueden generar mayores problemas en su entorno próximo, debido a las modificaciones que se realizan para que el flujo no llegue a las edificaciones.

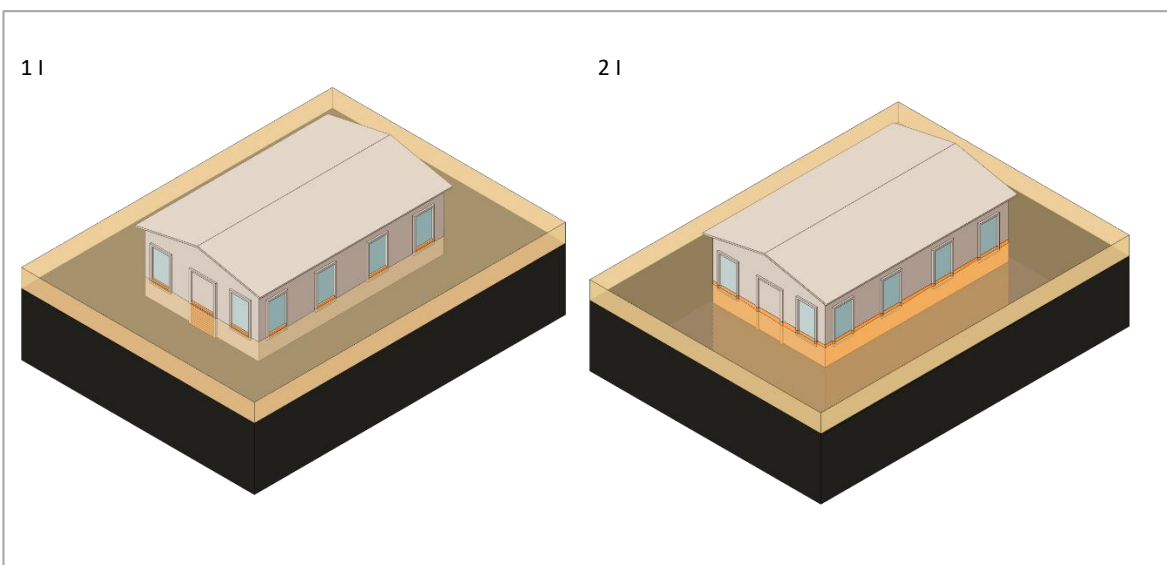
Cabe mencionar que para que estas medidas puedan ayudar a mitigar los daños en las edificaciones por el flujo de detritos y barro, estas se deben alinear al flujo y no oponerse a este para que estas sean efectivas.

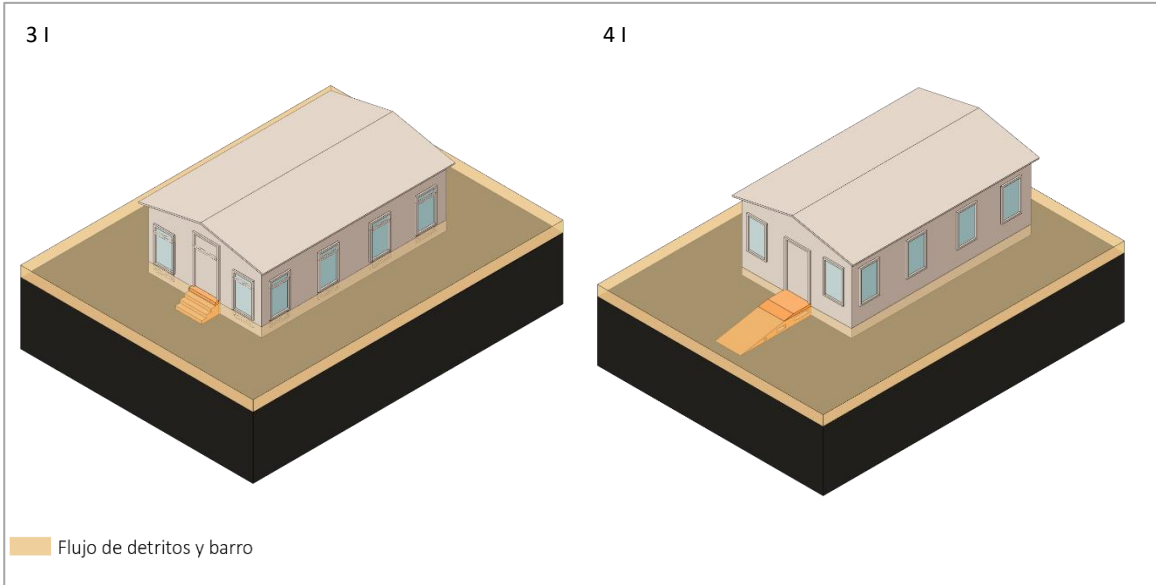




**Figura 15:** Medidas de mitigación para evitar que el flujo de detritos y barro ingrese al predio o al edificio.

También existen medidas para que las edificaciones resistan a que el flujo ingrese al edificio cuando este ya ingreso al predio, las cuales se pueden categorizar en dos, la primera es la protección por medio de 1) Uso de barreras temporales para ventanas, puertas o grandes áreas que sean de una altura superior a la cota de inundación 2) Impermeabilización o recubrimiento impermeable de fachadas, suelos, muros, tabiquerías, puertas, ventanas, y subterráneos por sobre la cota de inundación y usando sellos en las puertas y ventanas correspondientes 3) Elevación de los umbrales de las puertas y de las ventanas de forma permanente por sobre la cota de inundación 4) Uso de rampa contra inundaciones considerando la accesibilidad universal a los establecimientos, las cuales se puedan utilizar si se elevan los umbrales de las puertas de acceso al establecimiento (Figura 16). Cabe considerar que para poder aplicar este tipo de soluciones se debe considerar el nivel de inundación máximo alcanzado de los flujos de detritos y barro históricamente para que estas sean efectivas considerando que estas pueden ser complementarias entre sí, además de que se requiere de un tiempo de instalación de las barreras temporales y personal calificado, el cual en caso de un aluvión podría no poder instalarse a tiempo antes de que el flujo llegue al establecimiento, lo que se debe tener en consideración al momento de optar por una de estas medidas.

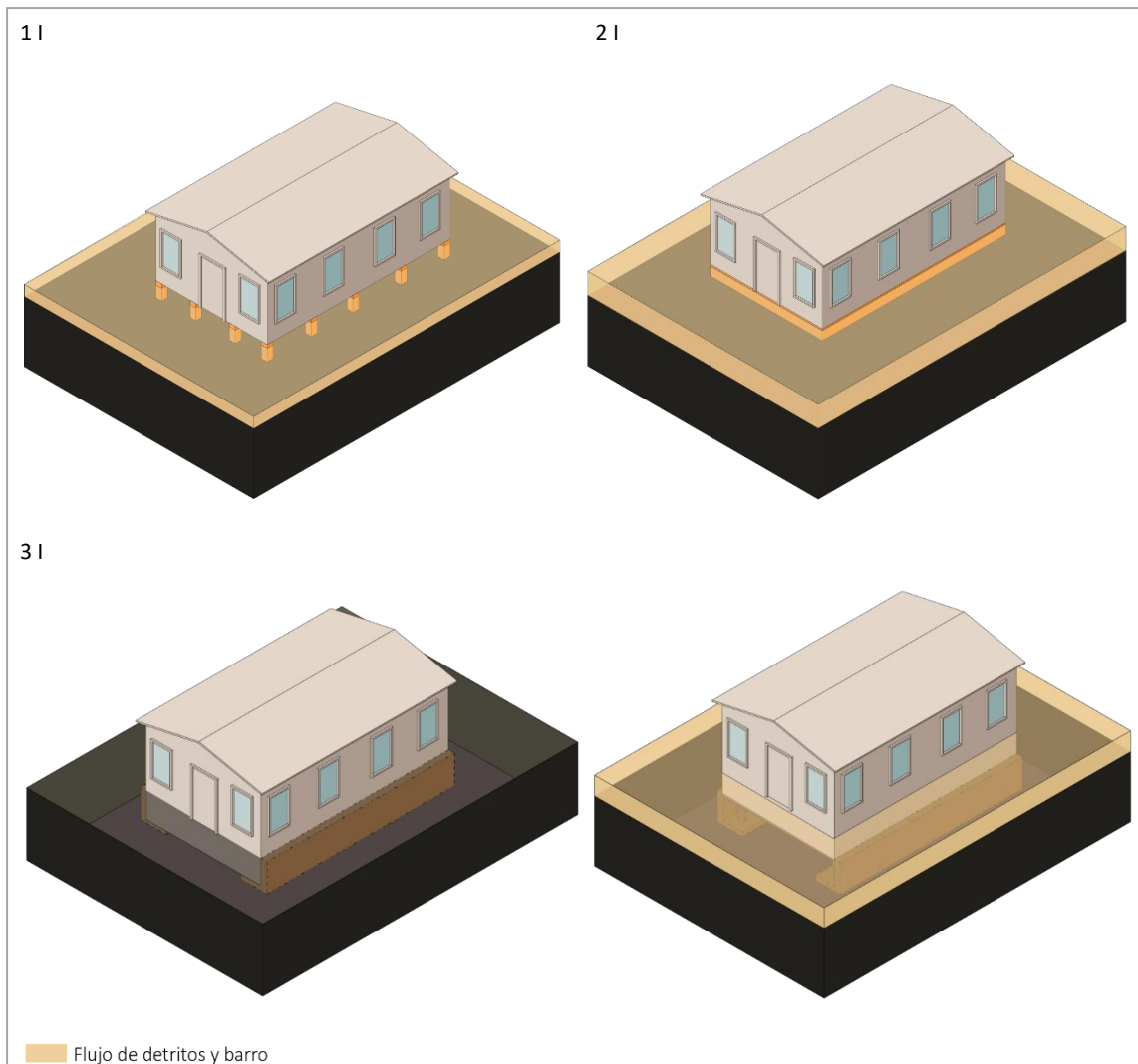




**Figura 16:** Medidas de protección de la edificación ante aluviones e inundaciones de flujos de detritos y barro.

Y la segunda categoría es la elevación de la edificación por sobre la cota de inundación (Figura 17), encontrándose dentro de esta categoría 1) Elevación por medio de pilotes de hormigón o de acero o madera protegiéndolos del agua y la humedad sobre la cota de inundación máxima alcanzada 2) Elevación por medio de la realización de un zócalo de hormigón armado o una fundación sólida que tengan una altura superior a la cota de inundación máxima alcanzada. En ambas soluciones se debe considerar la accesibilidad universal a las edificaciones, pudiendo usarse las rampas contra inundaciones mencionadas anteriormente o rampas construidas sobre pilotes.

También se incluyó la elevación por medio la casa flotante o casa anfibio (3) como es comúnmente conocida, la cual si bien está diseñada para las inundaciones por crecidas de ríos, se analizó si se podía utilizar para las inundaciones de flujos de detritos y barro, llegando a la conclusión de que, debido a su forma de funcionamiento, en donde esta casa se va elevando y quedando sobre la altura de inundación a medida que va ingresando el agua a la parte de “abajo” de la casa y esta descende a medida que el nivel de inundación también lo hace, esto hace que este tipo de solución no se pueda utilizar para las inundaciones de flujos de detritos y barro debido a que este tipo de flujo arrastra también con su paso materiales que se encuentra en su trayecto como ramas u objetos de mayores dimensiones, los cuales pueden generar que el funcionamiento de este sistema sea interferido por estos. Incluso se debe considerar que este tipo de flujos tras su paso deja sedimentos, los cuales serían difíciles de remover de “abajo” de la edificación, ya que esta debido a su forma de funcionar no se puede mantener elevada para poder realizar la limpieza correspondiente.

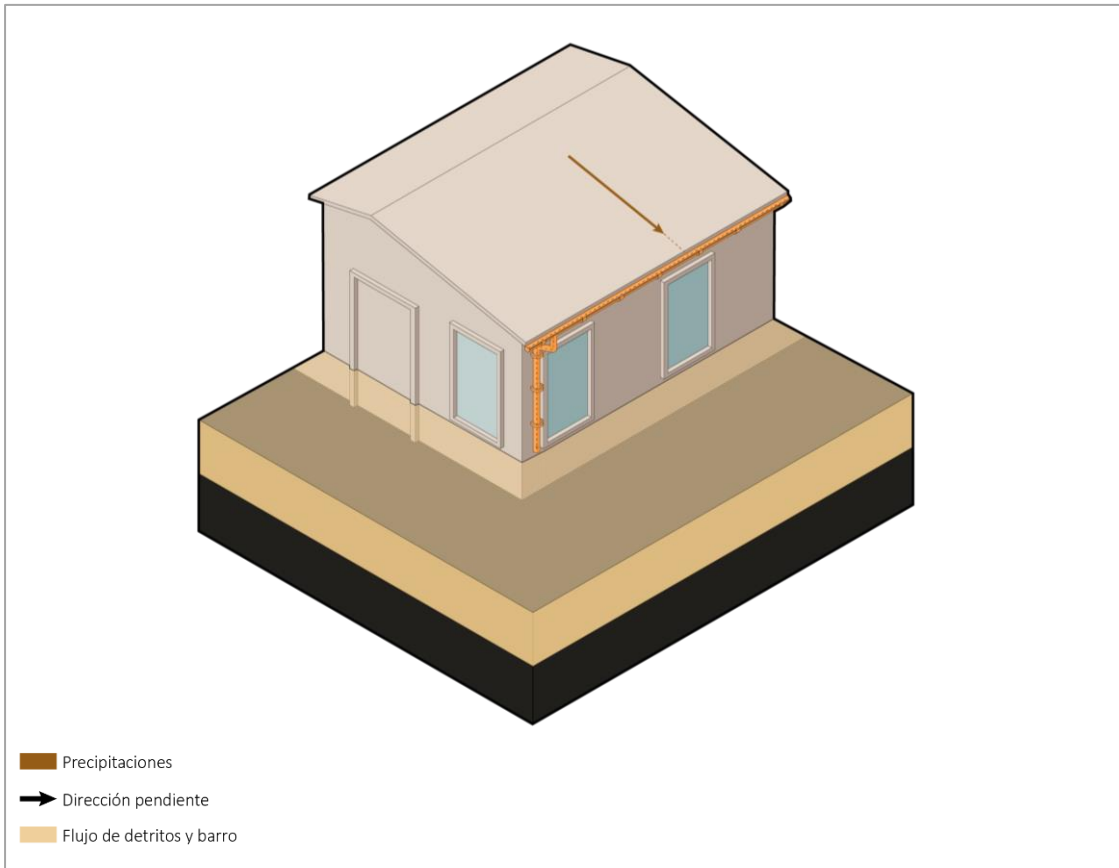


**Figura 17:** Medidas de elevación de la edificación ante aluviones e inundaciones de flujos de detritos y barro.

También dentro de la arquitectura resiliente se suele utilizar una organización espacial en donde la primera planta sea inundable, ubicando a los programas que no son esenciales para el funcionamiento, en este caso al ser un establecimiento de salud, por ejemplo, se ubicarían las cafeterías, recepciones, entre otras en la primer planta, y en las plantas superiores los programas más esenciales como serían en este caso los pabellones quirúrgicos, el área de hospitalización, entre otros. Aunque cabe mencionar que para el caso de recintos que cuentan unidad de emergencia esta debe ubicarse en *“área con acceso inmediato y directo desde el exterior del establecimiento de salud, de preferencia en relación con una vía de transporte vehicular, que facilite el ingreso y salida de vehículos de emergencia, así como de usuarios que lleguen en vehículos o a pie, así como también que preste las facilidades a las acciones de triage y derivación ante demandas masivas en casos de desastres”* (Ministerio de salud, 2019a, p.11). por lo que, si esta vía o acceso no se ubica por sobre la cota de inundación, esta solución no se podría aplicar en todas las áreas de los establecimientos de salud, quedando estas vulnerable al aluvión.

En cuanto a la vulnerabilidad que presentaron las cubiertas y los cielos de los establecimientos en estudio es que se analizó el uso de canaletas para la evacuación del agua lluvia donde el tubo de bajada de agua debe terminar por sobre la cota de inundación para que esta pueda evacuar

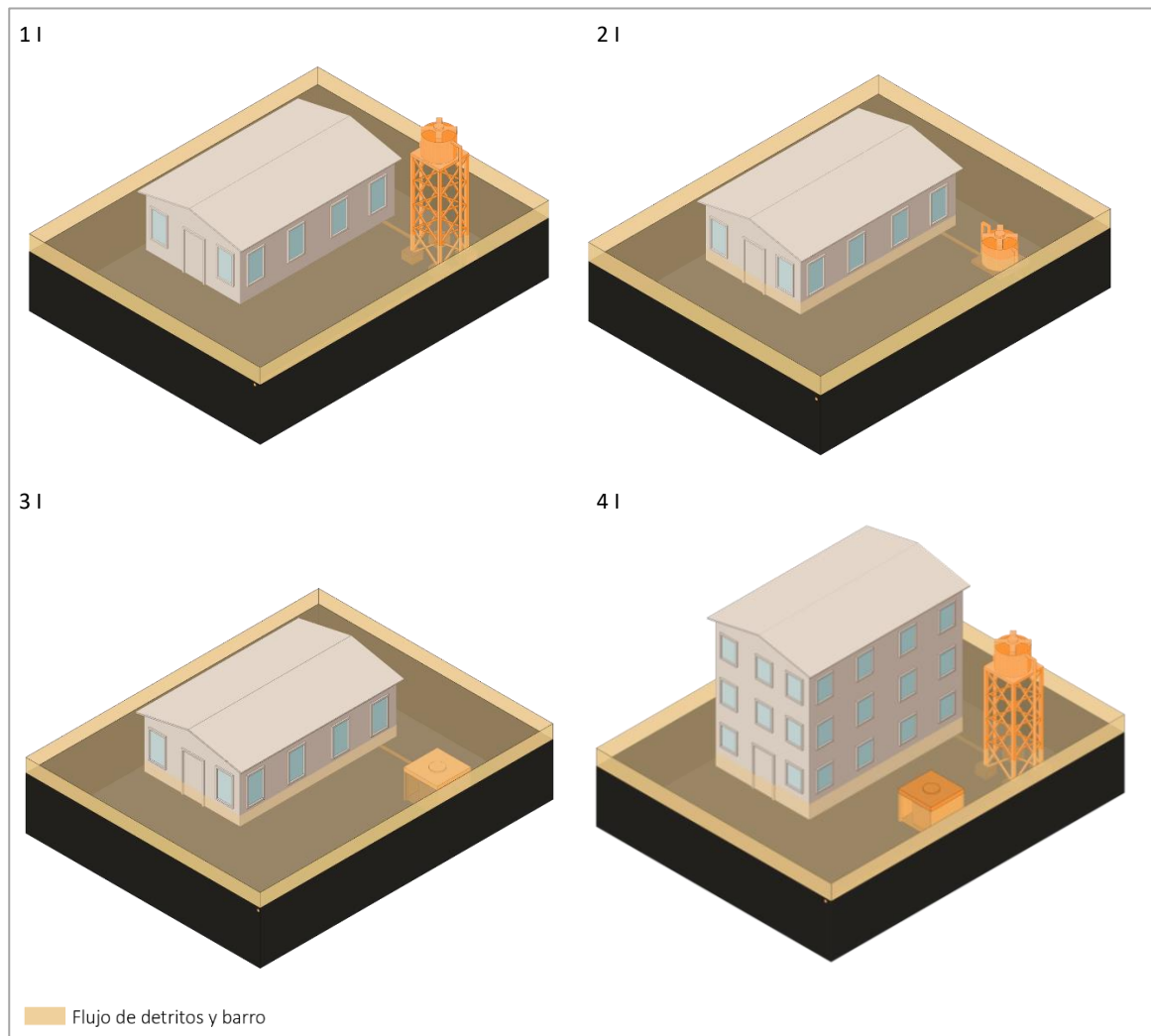
y no se rebalse (Figura 18), y también la impermeabilización las cubiertas con pinturas asfálticas, emulsiones asfálticas, membranas asfálticas, membranas líquidas acrílicas, membrana líquida de poliuretano, membrana de silicona, entre otras. Cabe mencionar que se debe consultar con un experto en el área para la elección del mejor impermeabilizante que se pudiera usar en la edificación.



**Figura 18:** Ubicación y pendiente de las canaletas en una edificación y su relación con la altura de inundación de los flujos de detritos y barro.

En cuanto a la vulnerabilidad de la reserva de agua ante aluviones, es que se buscaron y analizaron distintos sistemas de reserva de agua dentro de los cuales se presentan: 1) Tanque elevado a un costado de la edificación 2) Tanque elevado 3) Tanque apoyado a nivel de suelo 4) Cisterna o reserva de agua potable subterránea para edificaciones menores a 6 metros 5) Tanque elevado más una cisterna en el caso de edificaciones mayores a 6 metros (Figura 19). Al analizar estos sistemas con la variable del aluvión se pudo observar que el que se vio mayormente afectado es el número 3, ya que este si no se encuentra bien anclado en el terreno puede ser arrastrado por el aluvión.

En cuanto a los otros tipos de soluciones de estanques estos responden mejor a la amenaza de aluvión, aunque cabe mencionar que tanto en el número 4 como en el 5 se debe considerar que la tapa de acceso al estanque sea hermética para que no sucedan problemas de contaminación de estos, además de que este cuente con una losa de mayor espesor con relación a la cota de inundación.



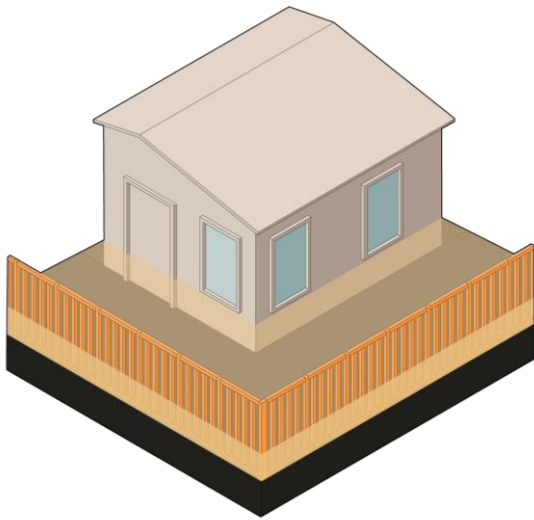
**Figura 19:** Sistemas de reserva de agua potable.

En cuanto a al nivel de vulnerabilidad que presentan los cerramientos del predio, la circulación externa e interna de las edificaciones es que se buscaron y analizaron diversos tipos de cerramientos perimetrales y su relación con los flujos de detritos y barro, los cuales se pueden clasificar en dos grupos, el primero son cerramientos que permiten el paso de los flujos de detritos y barro, y el segundo grupo no permiten el ingreso de los flujos de detritos y barro hacia el interior del predio y por consecuencia la edificación no se ve afectada por estos.

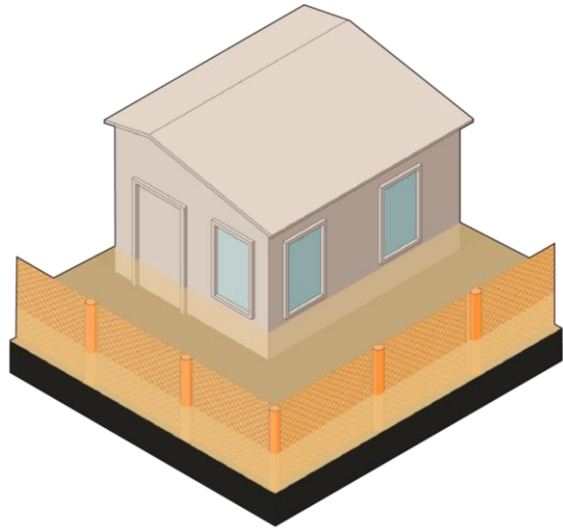
En el primer grupo se encuentran a modo de ejemplo: 1) Cerramiento de perfiles de acero 2) Cerramiento de pilares de madera y malla de acero 3) Cerramiento de listones de madera 4) Cerramiento de perfiles de acero y malla de acero, entre otros (Figura 20). Cabe mencionar que, si bien estos permiten el paso de los flujos de detritos y barro, estos cerramientos pueden funcionar como una barrera que “filtra” a los flujos de materiales que han sido arrastrados de mayores dimensiones, ingresando así solamente agua con detritos y barro.



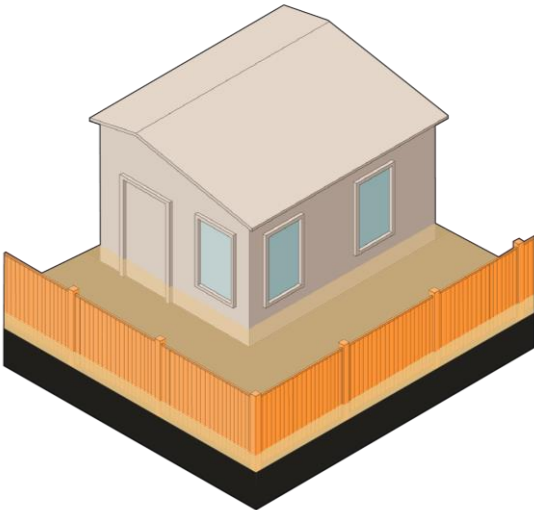
1 | Perfiles de acero



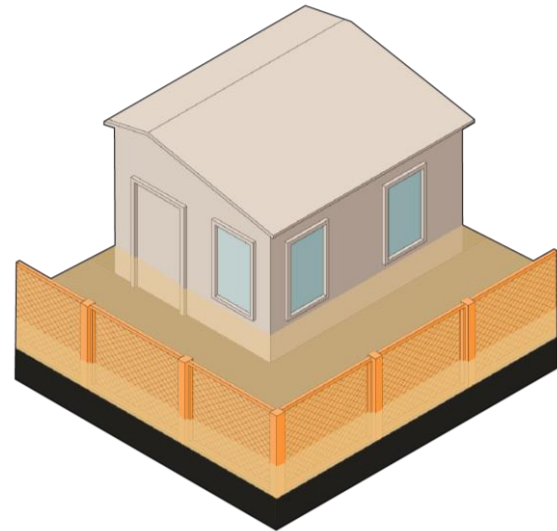
2 | Pilares de madera y malla de acero



3 | Listones de madera



4 | Perfiles de acero y malla de acero



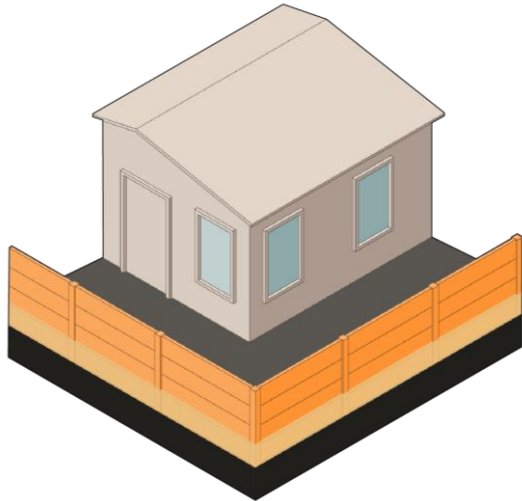
Flujo de detritos y barro

**Figura 20:** Secciones de cerramientos del predio que permiten el paso de los flujos de detritos y barro hacia el interior del predio.

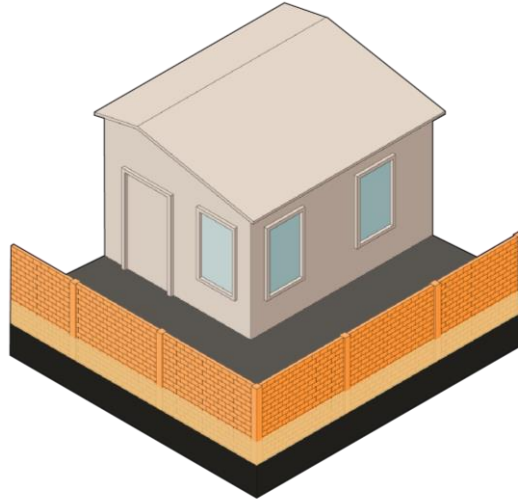
En el segundo grupo se encuentran, por ejemplo: 1) Muro de hormigón en pandereta tipo bulldog 2) Muro de albañilería de ladrillos 3) Cerramiento mixto con la parte inferior de muro de albañilería de ladrillo y la parte superior con perfiles de acero 4) Cerramiento de perfiles de acero con malla de acero la cual contiene a piedras en su interior 5) Cerramiento mixto de perfiles de acero con malla de acero y piedras y madera 6) Cerramiento con hormigón en su parte inferior y perfiles de acero y aluminio en la parte superior (Figura 21). Todos estos impiden el ingreso de los flujos de detritos y barro al predio y por ende al establecimiento, aunque debido a la fuerza con que viene este tipo de flujo estos se podrían ver afectados por este y generar un mayor desastre o una falsa sensación de seguridad, por lo que se recomienda que el tipo de cerramiento sea mixto en donde en su parte inferior sea capaz de no verse tan afectado con la fuerza del aluvión como podrían ser los muros de hormigón o los de albañilería de ladrillo, y en

la parte superior algún material que también sea capaz contener a materiales de mayores dimensiones que han sido arrastrados por los flujos, como perfiles de acero .

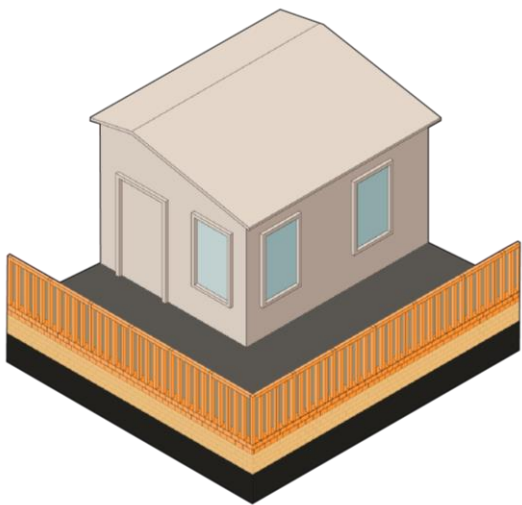
1 | Muro de hormigón en pandereta tipo bulldog



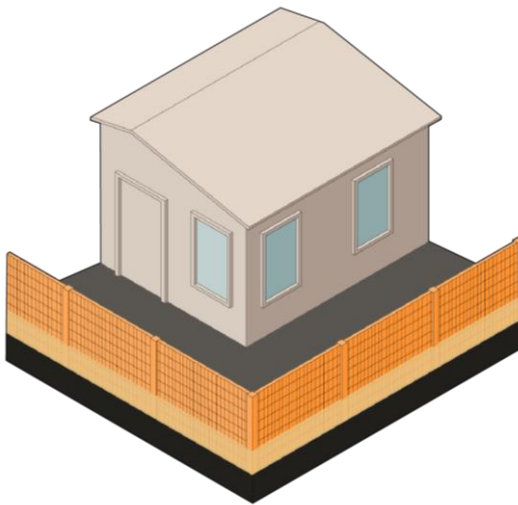
2 | Muro de albañilería de ladrillos

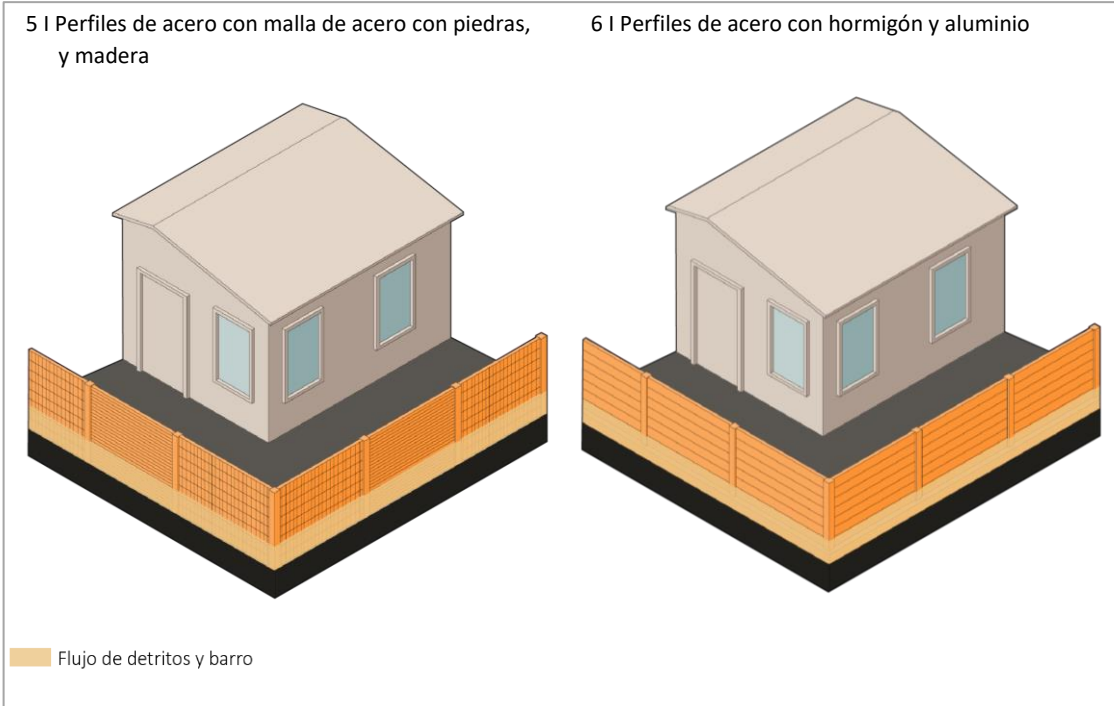


3 | Albañilería de ladrillo con perfiles de acero



4 | Perfiles de acero con malla de acero con piedras





**Figura 21:** Secciones cerramientos del predio que no permiten el paso de los flujos de detritos y barro hacia el interior del predio.

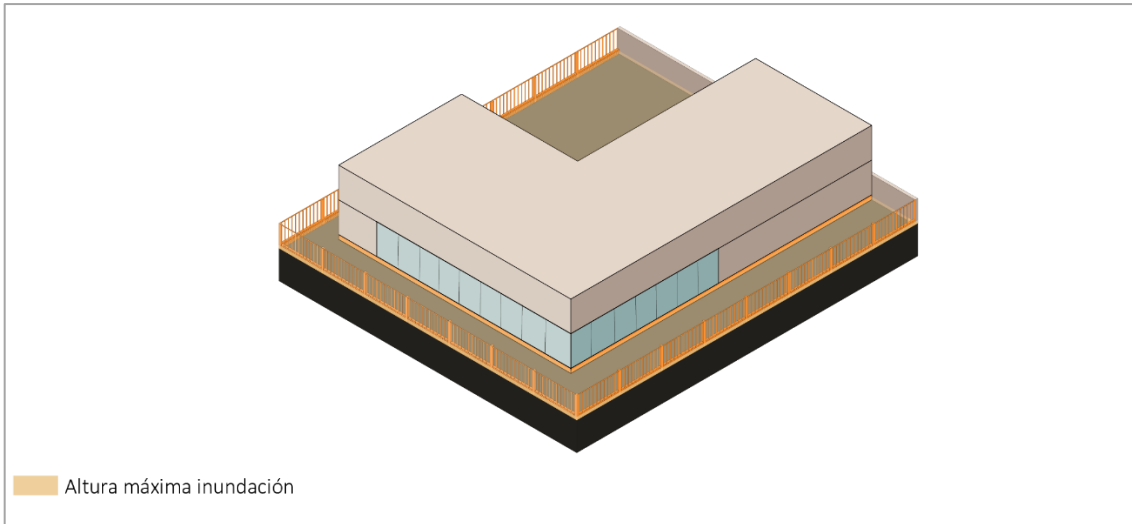
Igualmente cabe mencionar que algunos de estos cerramientos y sus respectivos materiales se deben impermeabilizar para que no se vean afectados por el agua y la humedad, como es el caso del muro de albañilería de ladrillo, por ejemplo.

Con respecto a la impermeabilización se pueden usar materiales resistentes al agua como láminas asfálticas o bituminosas, láminas poliméricas, productos de base cementosa como son los morteros hidrófugos impermeabilizantes, impermeabilizantes a base de resina epoxi, imprimación de pintura impermeabilizante, entre otros. Existen además dos productos en el mercado que son Powerpanel H2O y los revestimientos MC-Color Flair Vision los cuales son utilizados en el extranjero y podrían ser utilizados aquí si es que estos se certifican,

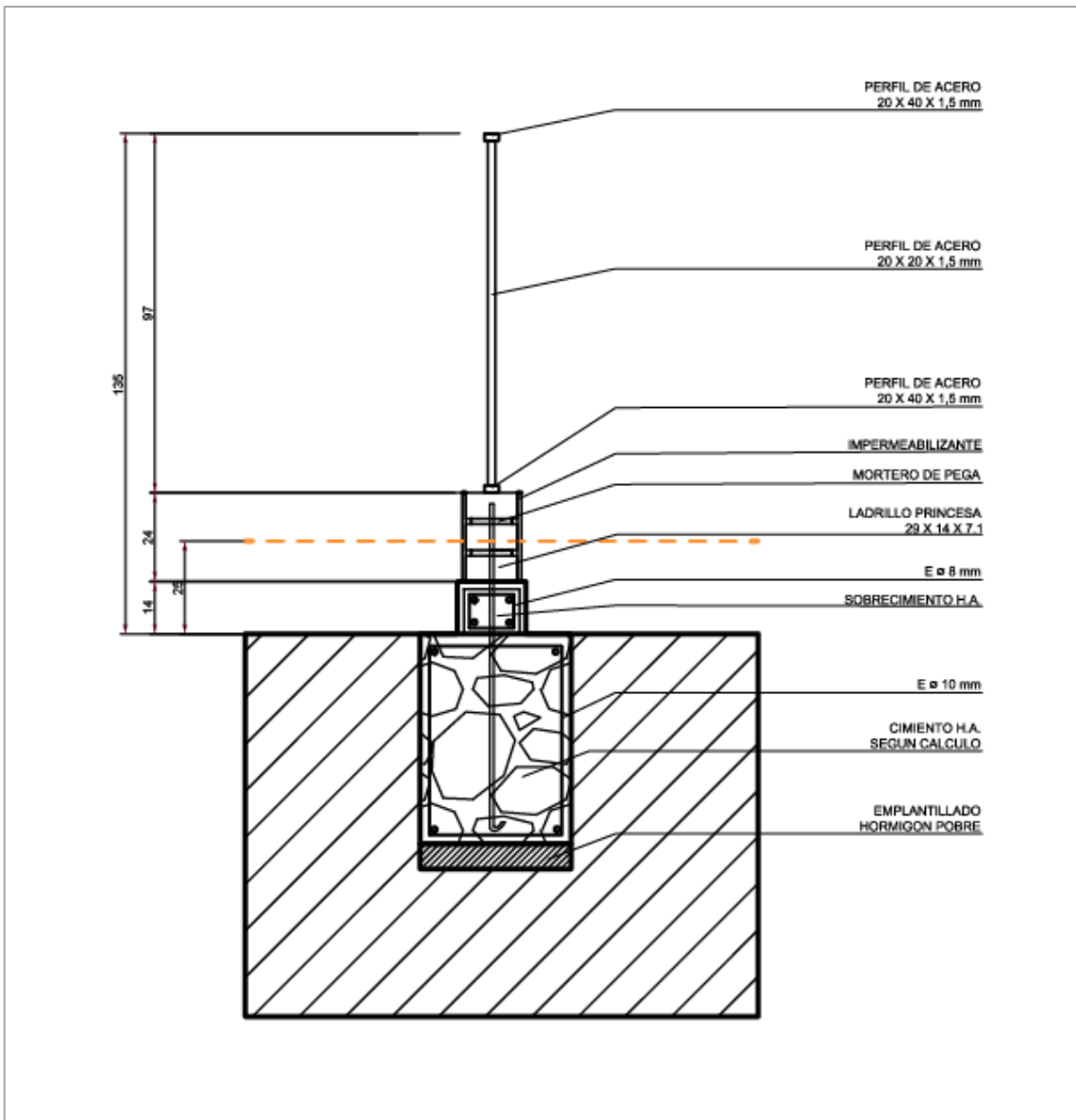
También se pueden usar tableros fenólicos, contrachapados o compactos como materiales resistentes al agua. Todos estos materiales se pueden usar en el interior de los establecimientos, en muros o tabiques o se pueden recubrir con materiales impermeables en los pisos o muros. La elección de alguno de estos va a depender de la superficie que se quiera impermeabilizar o recubrir, por lo que se recomienda consultar con un experto en el área.

El último elemento que se vio vulnerado fueron los ascensores. Estos se clasifican en tres tipos 1) Ascensor Eléctrico el cual tiene la sala de máquinas en su parte superior no viéndose afectada esta con el aluvión 2 Ascensor hidráulico el cual tiene la sala de máquinas en su parte inferior viéndose afectada por la inundación por flujos de detritos y barro 3) Ascensores Autoportantes los cuales no tienen una sala de máquina, ya que la máquina de tracción se va a ubicar dentro del mismo espacio del ascensor en la parte superior o cielo de la cabina, por lo que no se ve afectado por la inundación de flujos de detritos y barro(Figura 22).

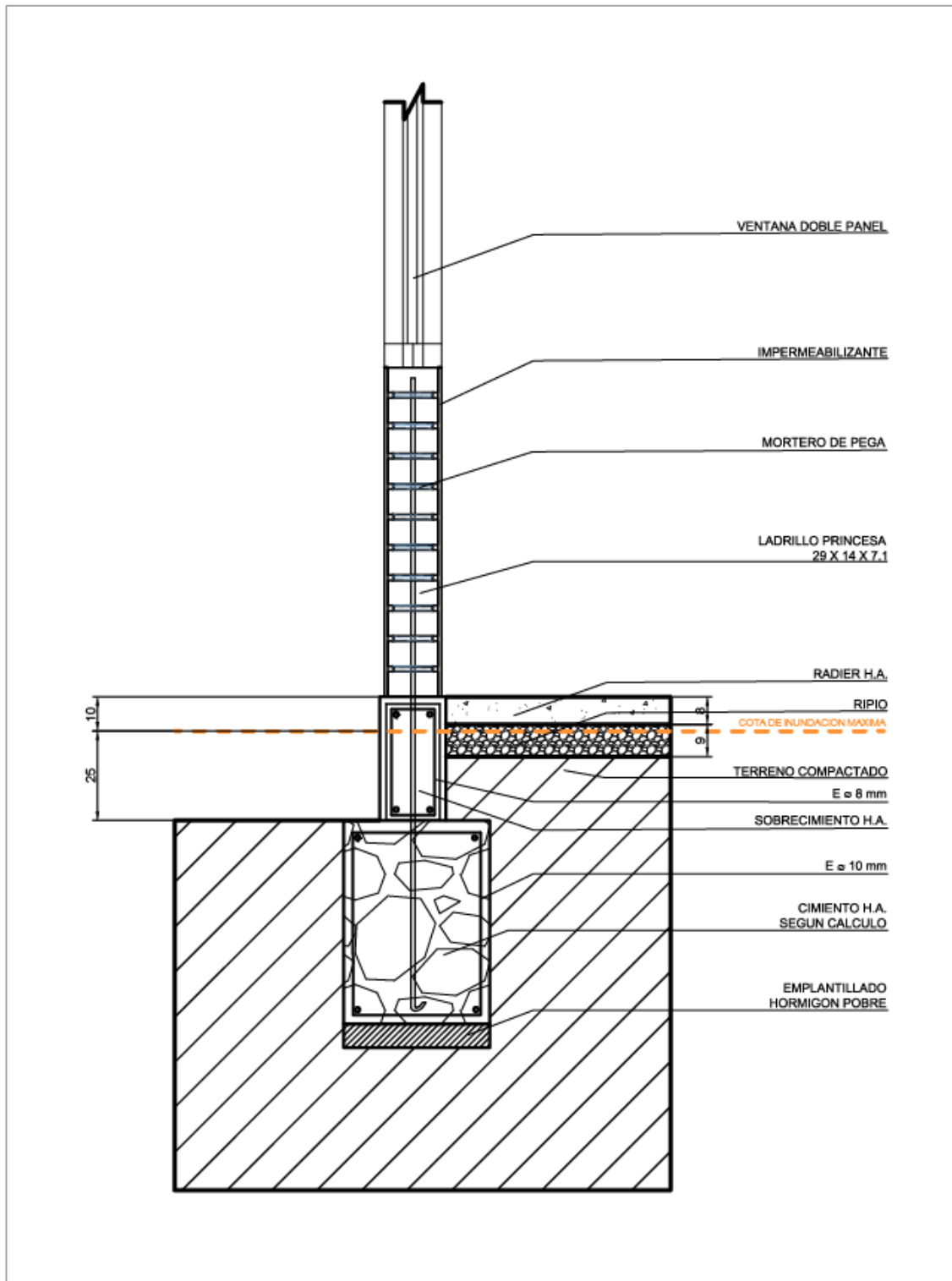




**Figura 23.** Recomendaciones con características de diseño resilientes aplicadas en la Tipología A.



**Figura 24.** Escantillón Cerramiento de muro de albañilería de ladrillo impermeabilizado sobre la cota de inundación con perfiles de acero para la Tipología A.



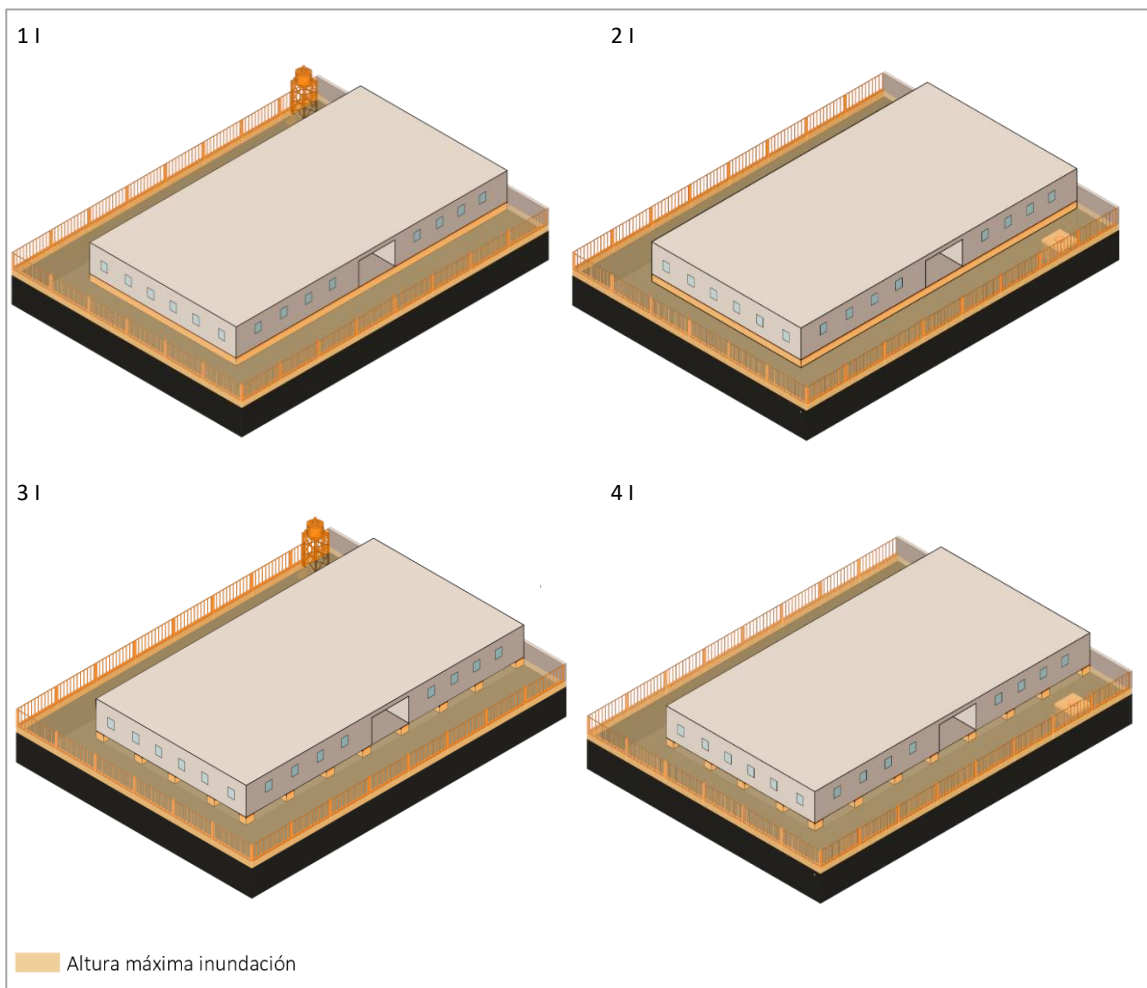
**Figura 25.** Escantillón Elevación del edificio por sobre la cota de inundación por medio de zócalo para la Tipología A.

Para la **Tipología B** (Figura 26) también se recomienda como una opción el uso de un cierre perimetral con el uso de un cerramiento de muro de albañilería de ladrillo impermeabilizado con una altura por sobre la cota de inundación con perfiles de acero en su parte superior (1, 2, 3 y 4) o se puede elevar la edificación por sobre la cota de inundación (0,50 m), la cual en este

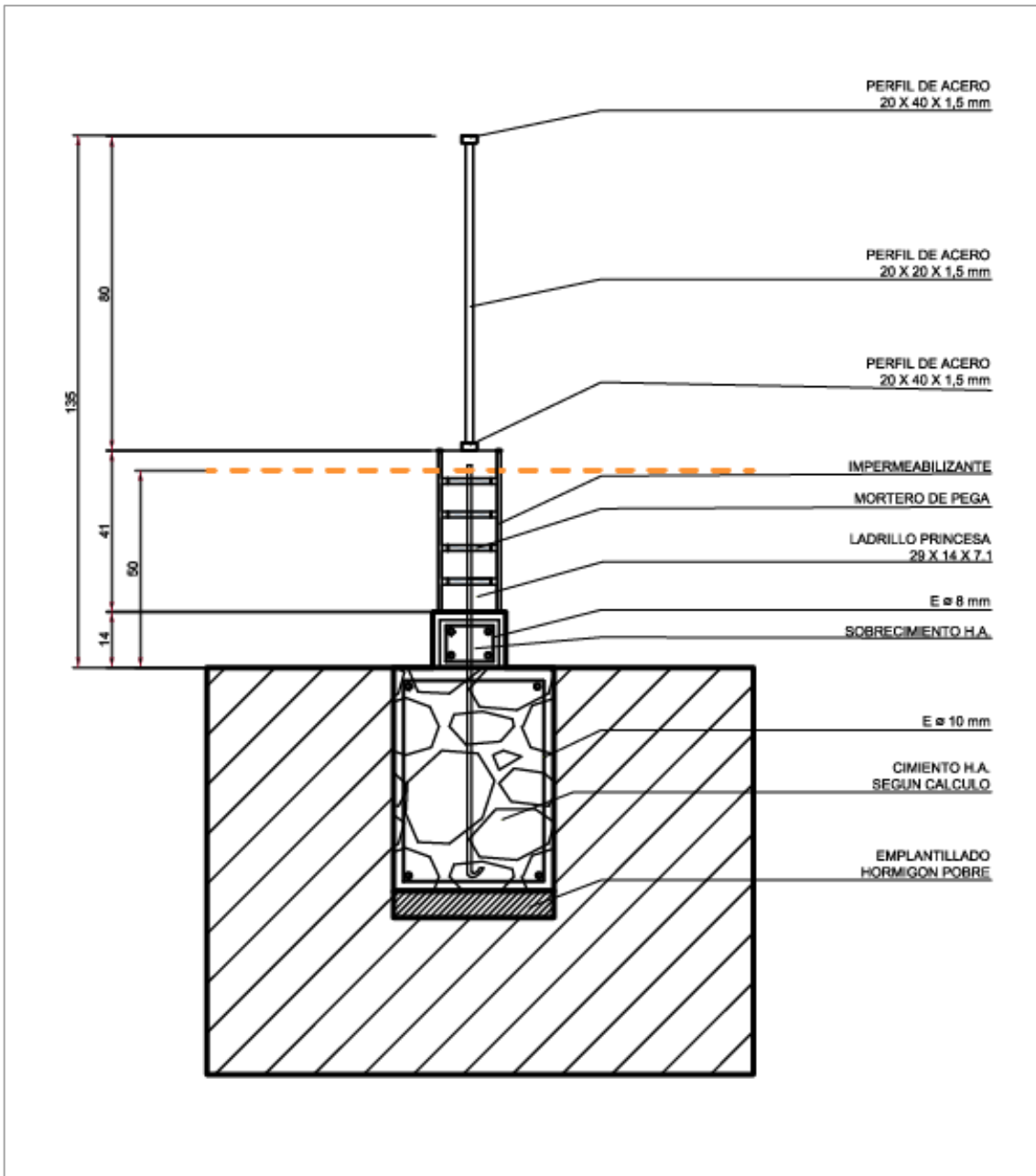


caso, se puede realizar por medio de un zócalo de hormigón armado (1 y 2) o por medio de pilotes de hormigón que estén impermeabilizados para el agua y la humedad (3 y 4), ambos deben ir acompañados de rampas contra inundaciones o construidas sobre pilotes considerando la accesibilidad universal, ubicándolas en zonas en donde estas estén protegidas en lo posible de los flujos de detritos y de barro o ubicadas en zonas en donde estas no estén perpendiculares a la dirección de los flujos.

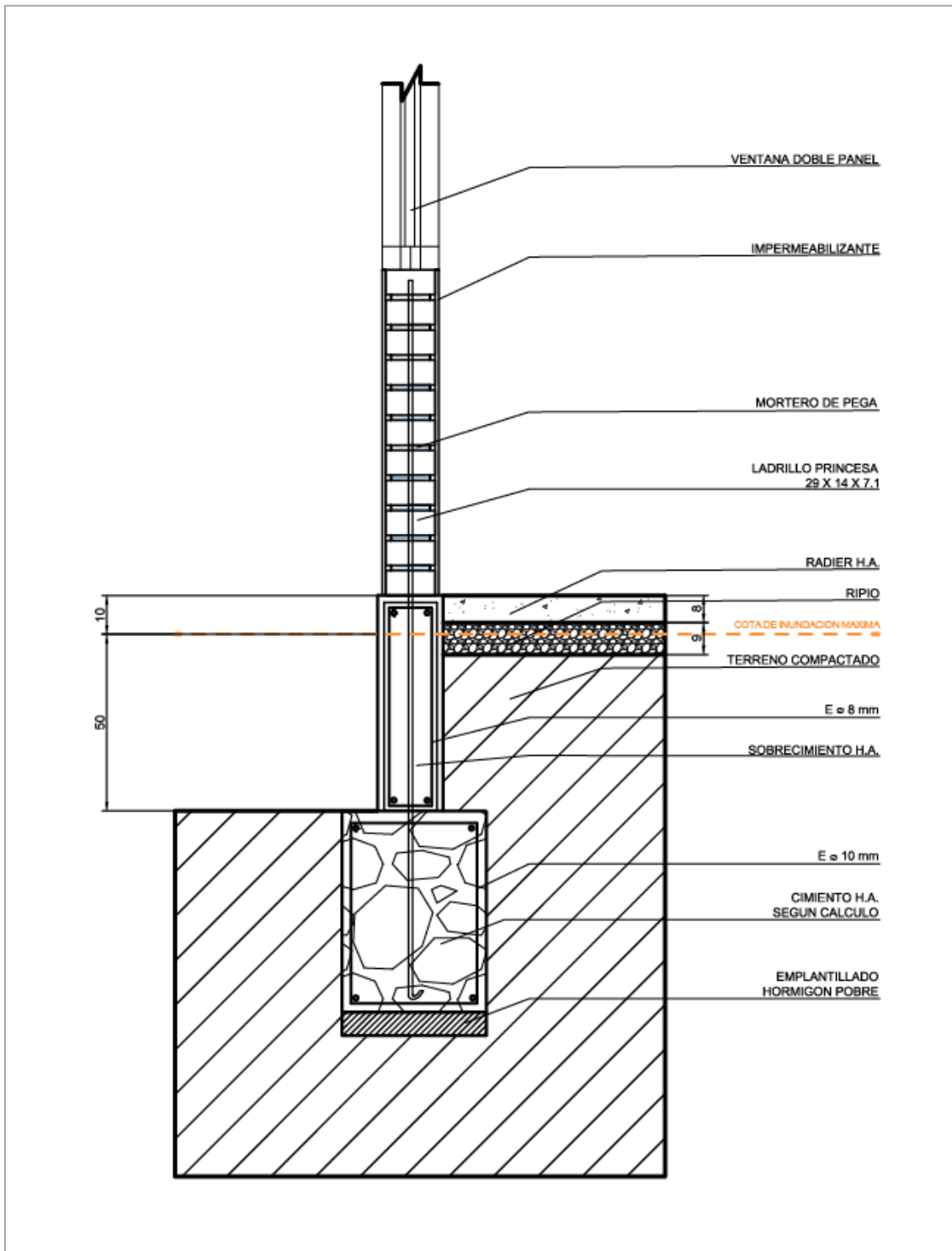
Complementando a estas tres recomendaciones se debe instalar un tanque de reserva de agua elevado (1 y 3) si es que esta lo permite o instalar una cisterna (2 y 4) con tapa hermética y una losa que sea más alta que la cota de inundación. Y también considerar en el interior tabiquería con materiales impermeables y recubrimiento impermeable en los pisos asesorándose con un experto en el área.



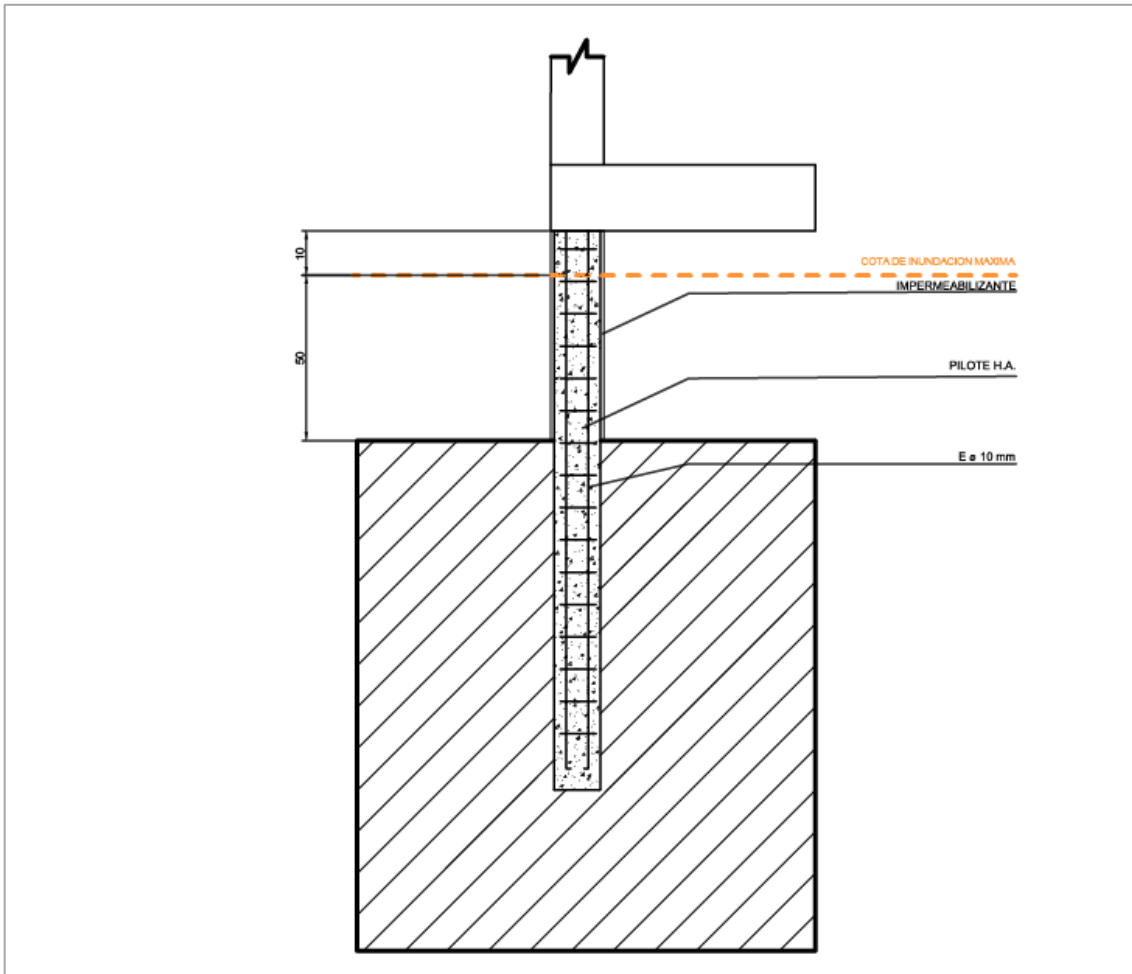
**Figura 26.** Recomendaciones con características de diseño resilientes aplicadas en la Tipología B.



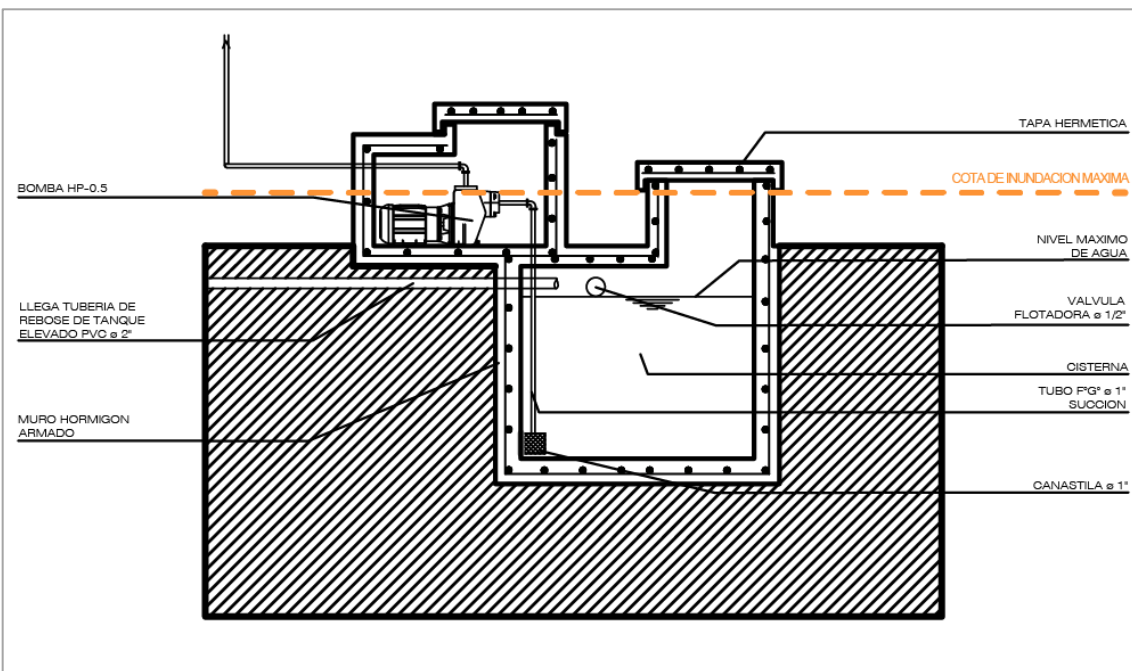
**Figura 27.** Escantillón Cerramiento de muro de albañilería de ladrillo impermeabilizado sobre la cota de inundación con perfiles de acero para la Tipología B.



**Figura 28.** Escantillón Elevación del edificio por sobre la cota de inundación por medio de zócalo para la Tipología B.



**Figura 29.** Escantillón Elevación del edificio por sobre la cota de inundación por medio de pilote de H.A. impermeabilizado para la Tipología B.



**Figura 30.** Escantillón Cisterna con tapa hermética por sobre la cota de inundación para la Tipología B.

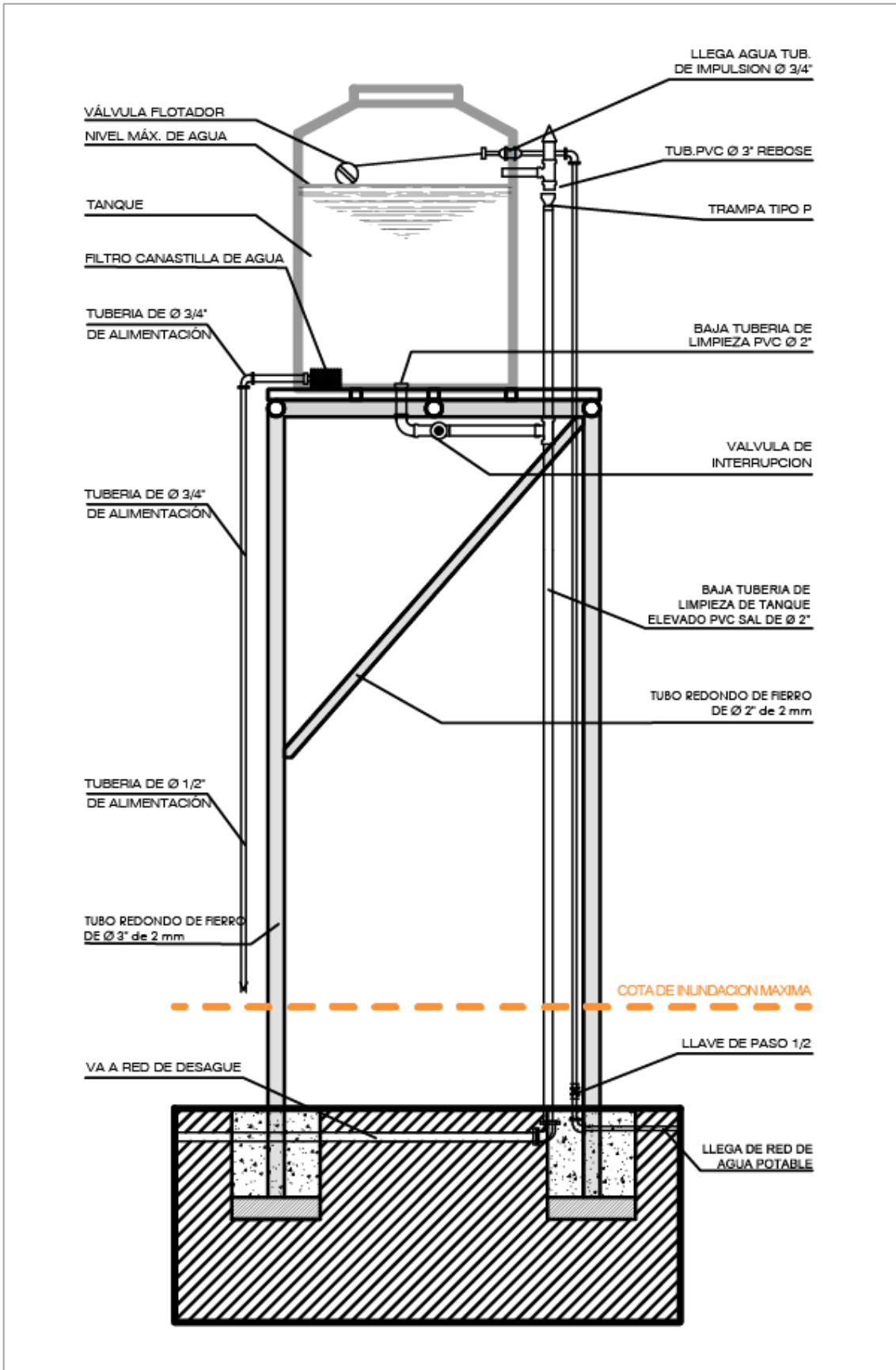
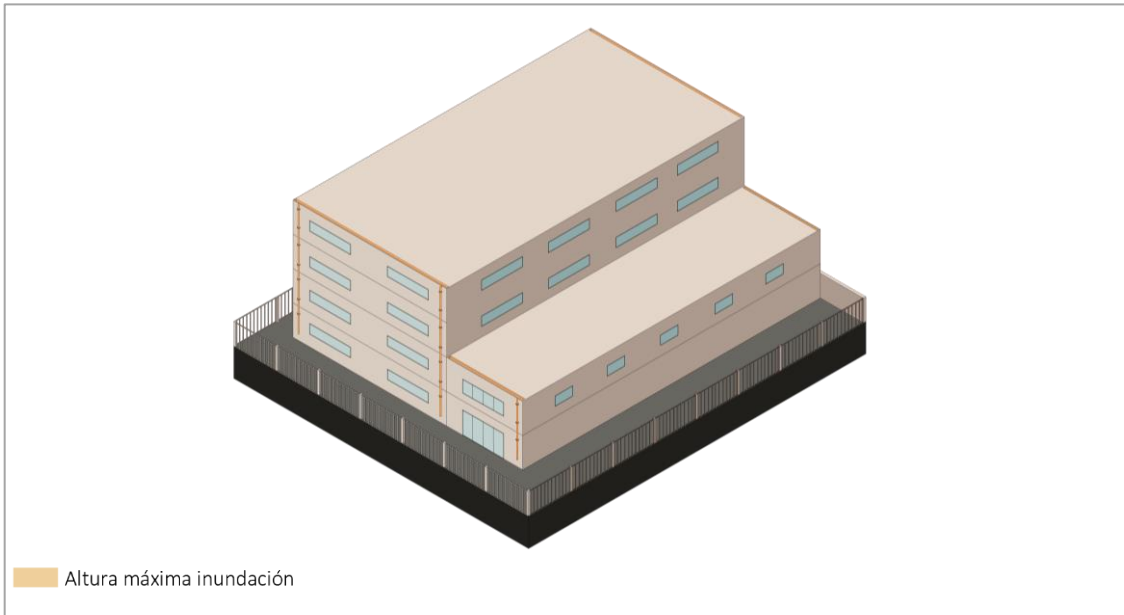
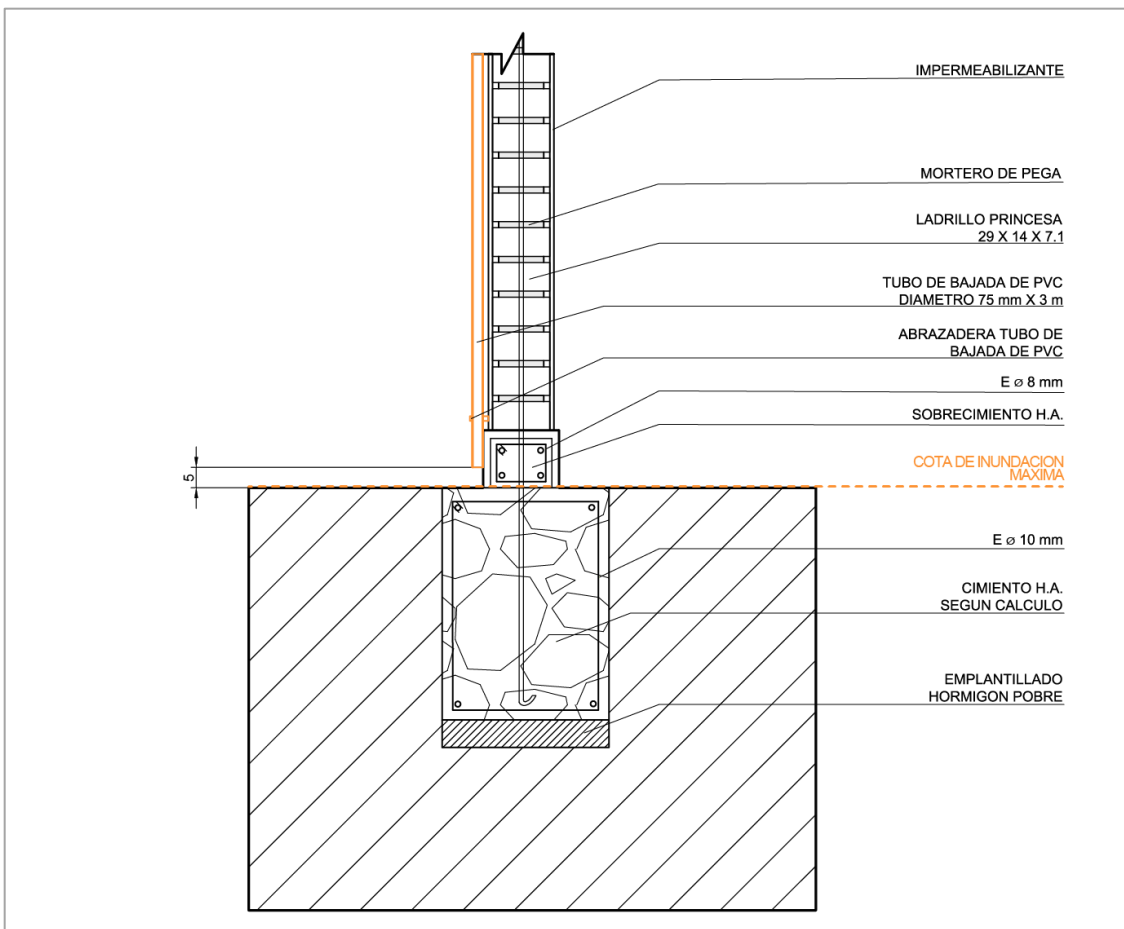


Figura 31. Escantillón Tanque elevado para la Tipología B.

Sobre la **Tipología C** (Figura 32) se proponen recomendaciones en la implementación de canaletas con una pendiente mínima de 1% de inclinación, donde el tubo de bajada de agua quede por sobre la cota de inundación, además de reparar las cubiertas con hojalatería.



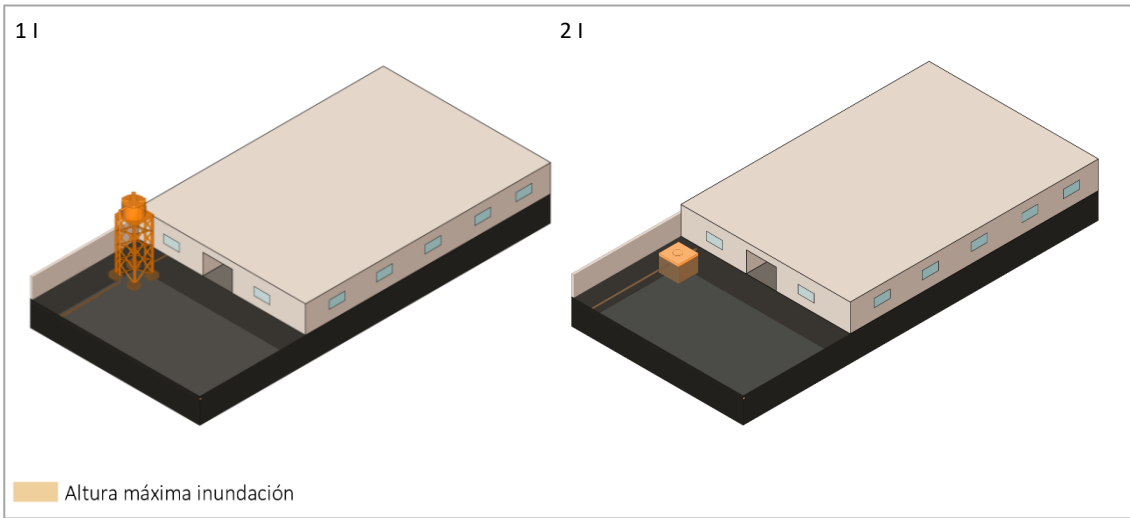
**Figura 32.** Recomendaciones con características de diseño resilientes aplicadas en la Tipología C.



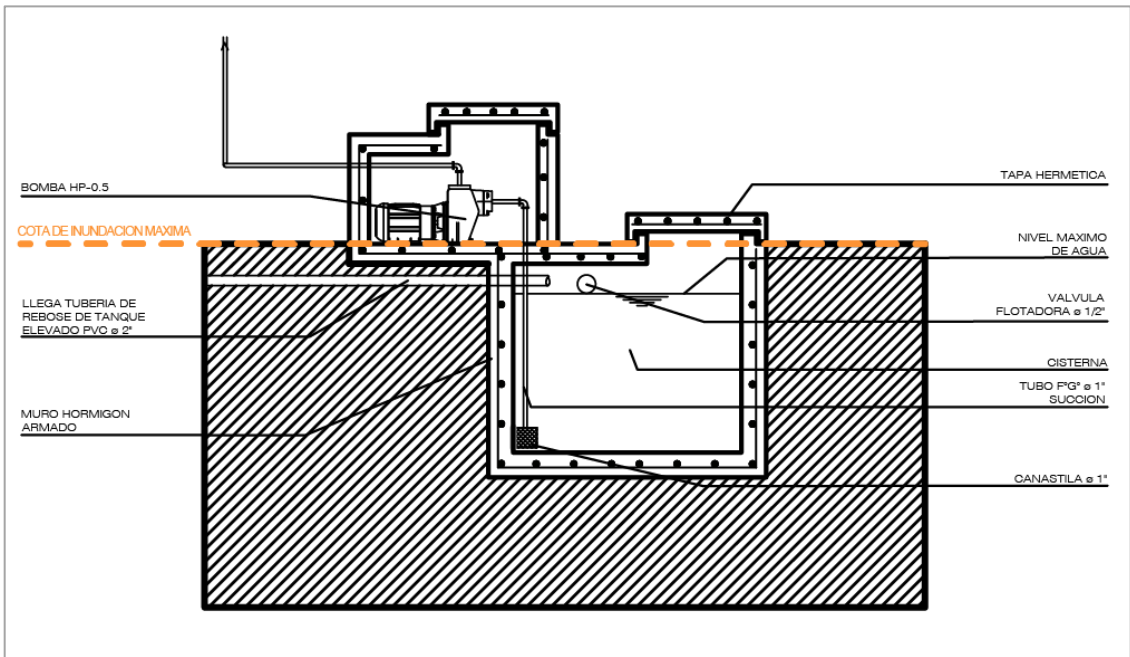
**Figura 33.** Escantillón Tubo de bajada de agua sobre la cota de inundación para la Tipología B.



Referente a la **Tipología D** (Figura 34) se recomienda instalar una cisterna (2) con tapa hermética y una losa que sea más alta que la cota de inundación o un tanque elevado (1).



**Figura 34.** Recomendaciones con características de diseño resilientes aplicadas en la Tipología D.



**Figura 35.** Escantillón Cisterna con tapa hermética por sobre la cota de inundación para la Tipología D.

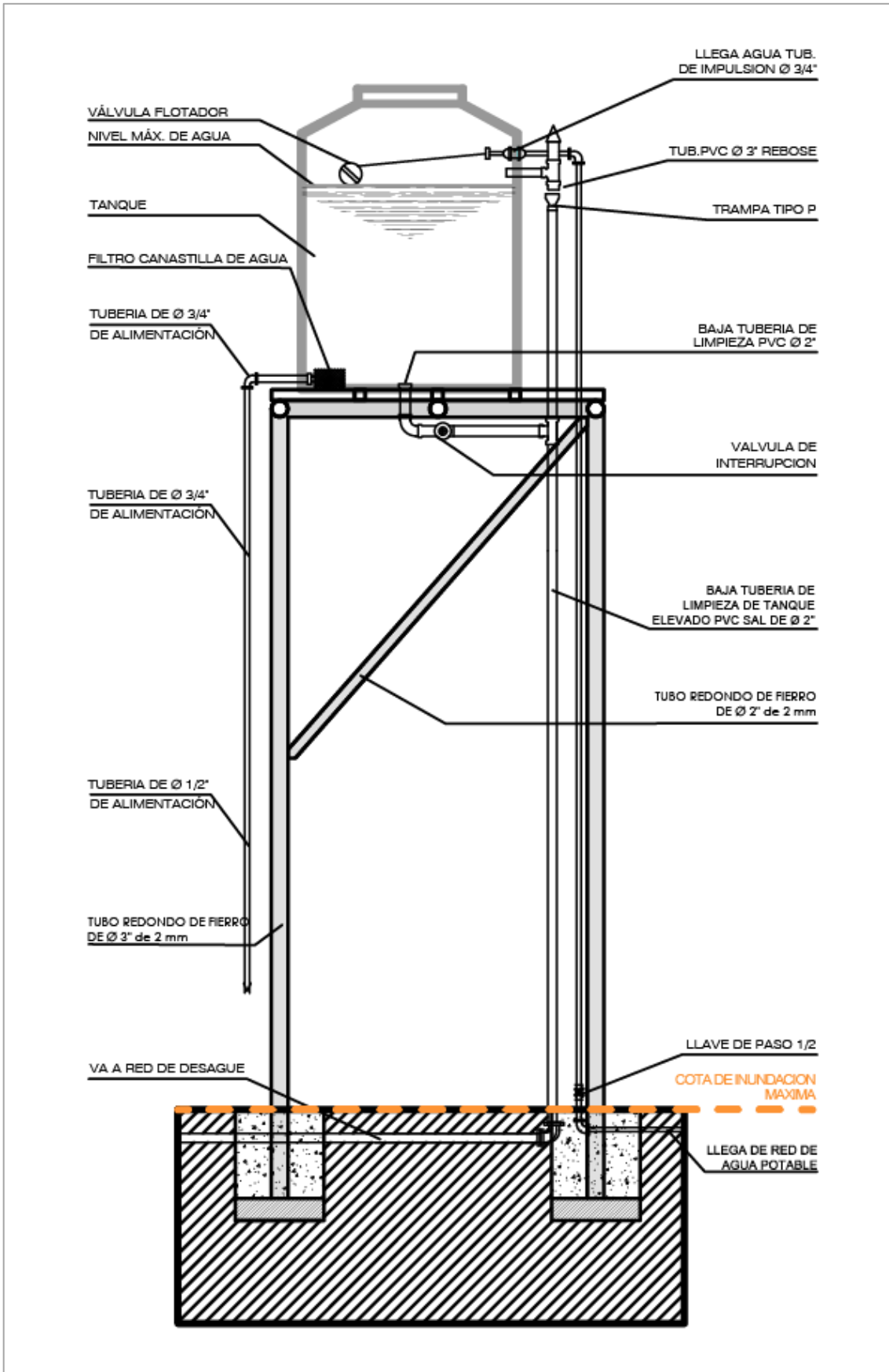
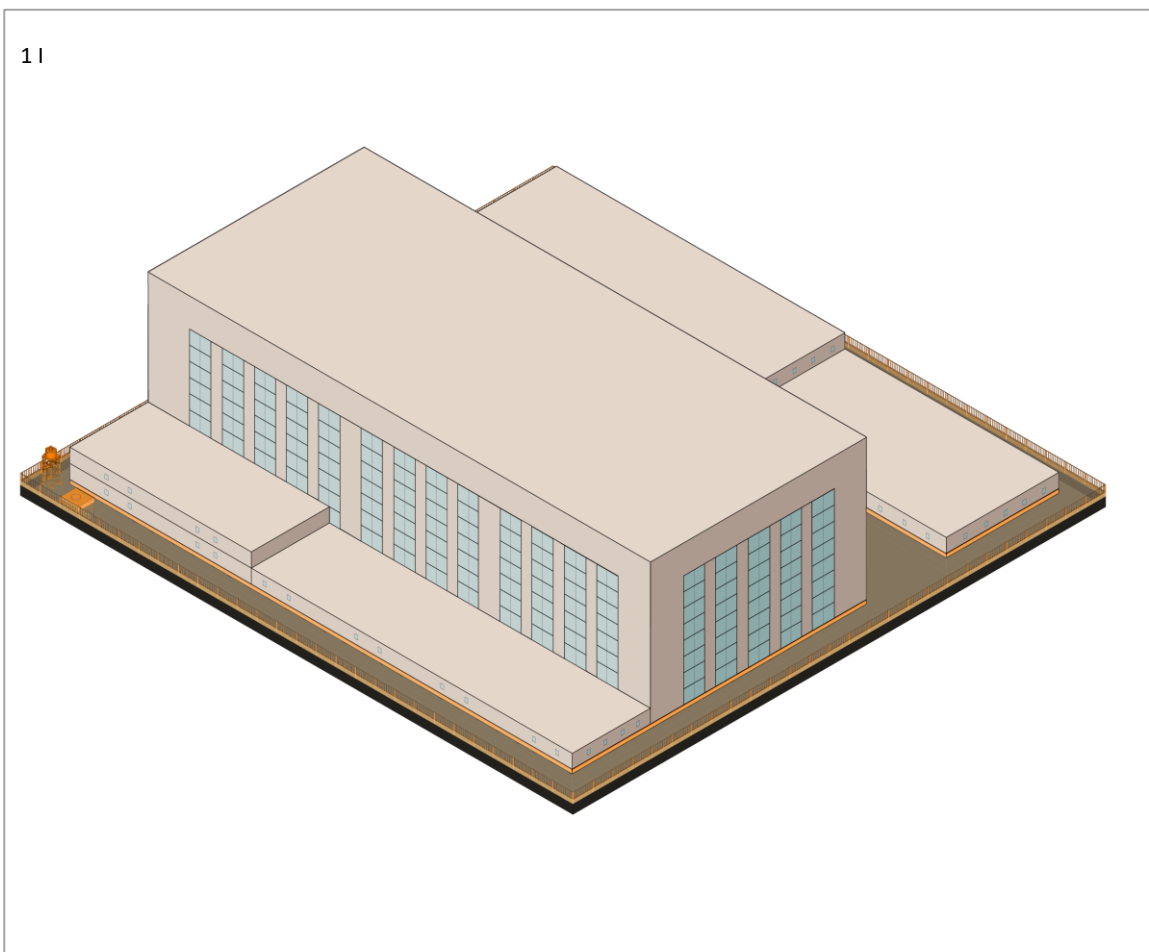
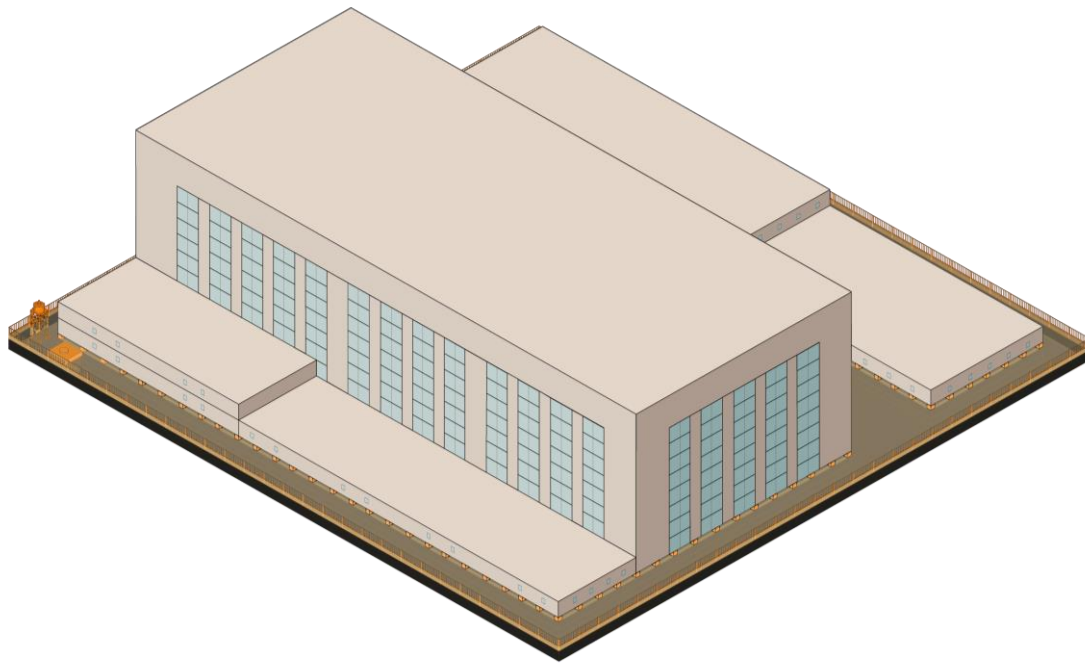


Figura 36. Escantillón Tanque elevado para la Tipología D.

Por último para la **Tipología E** (Figura 37) se recomienda utilizar para su cierre perimetral el uso de un cerramiento de muro de albañilería de ladrillo impermeabilizado con una altura por sobre la cota de inundación con perfiles de acero en su parte superior, o se puede elevar la edificación por sobre la cota de inundación (1,00 m), la cual en este caso, se puede realizar por medio de un zócalo de hormigón armado (1) o por medio de pilotes de hormigón que estén impermeabilizados para el agua y la humedad (2), ambos deben ir acompañados de rampas contra inundaciones o construidas sobre pilotes considerando la accesibilidad universal, ubicándolas en zonas en donde estas estén protegidas en lo posible de los flujos de detritos y de barro o ubicadas en zonas en donde estas no estén perpendiculares a la dirección de los flujos.

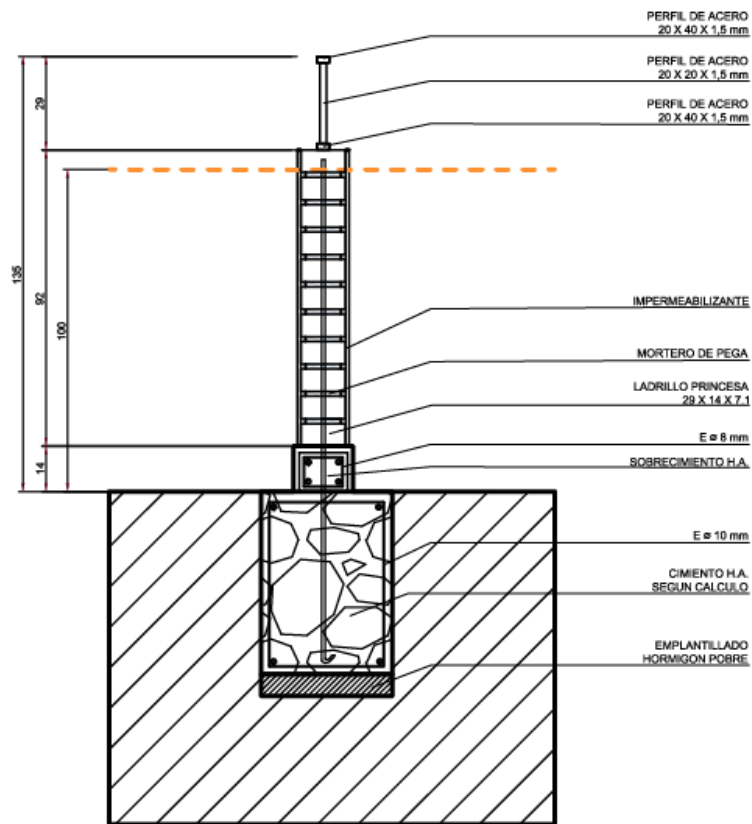
Adicionado a estas tres recomendaciones se debe instalar un tanque de reserva de agua elevado con una cisterna con tapa hermética (1 y 2) ya que en esta tipología se vieron contaminadas las reservas de agua potable que se encontraban bajo la cota de inundación. También se debe considerar el uso de ascensores eléctricos ya que estos tienen la sala de máquinas en su parte superior los que en caso de ingresar los flujos de detritos y barro hacia el interior del establecimiento estos no se verían tan afectados, ya que solo se requeriría de limpieza de la cabina del ascensor.



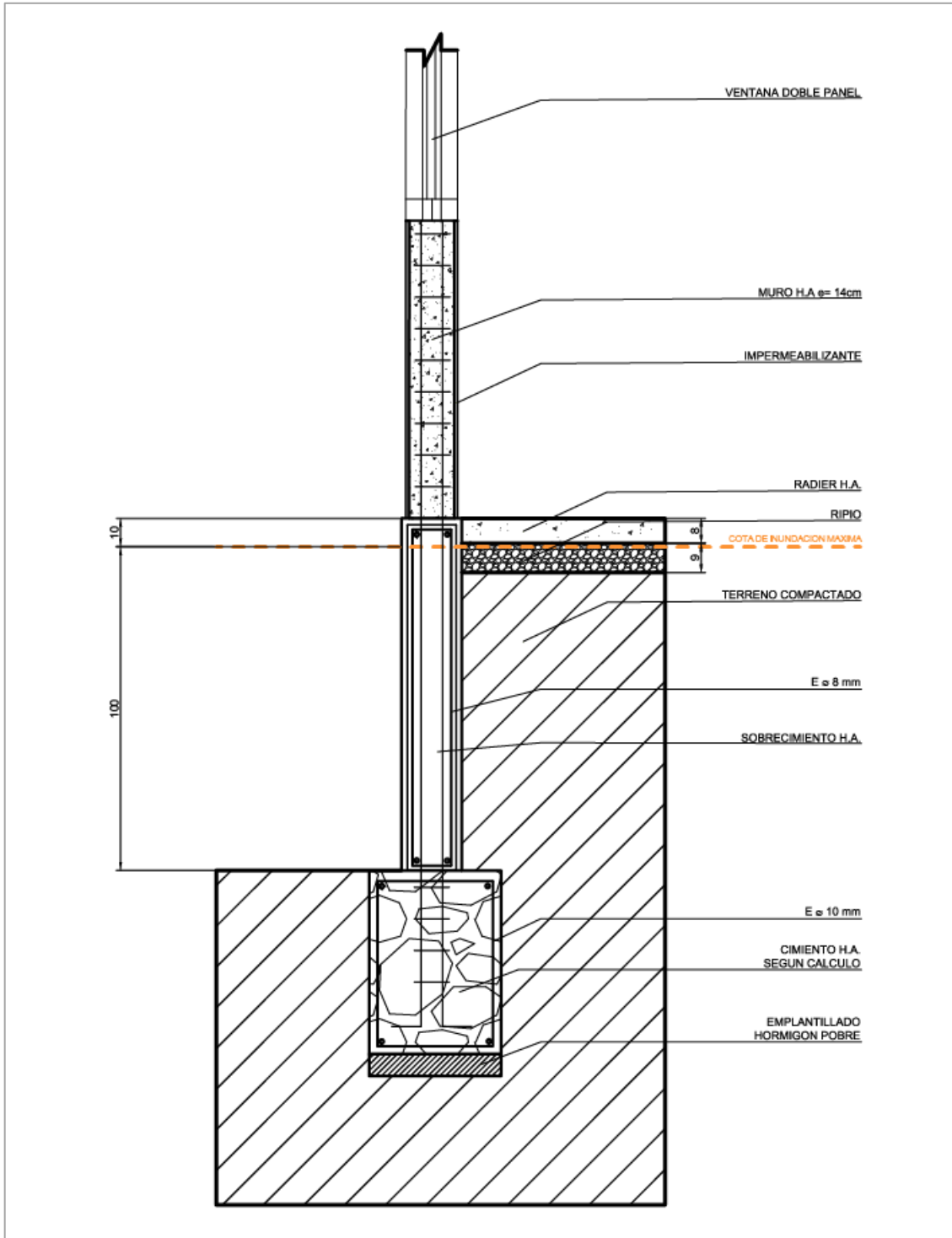


Altura máxima inundación

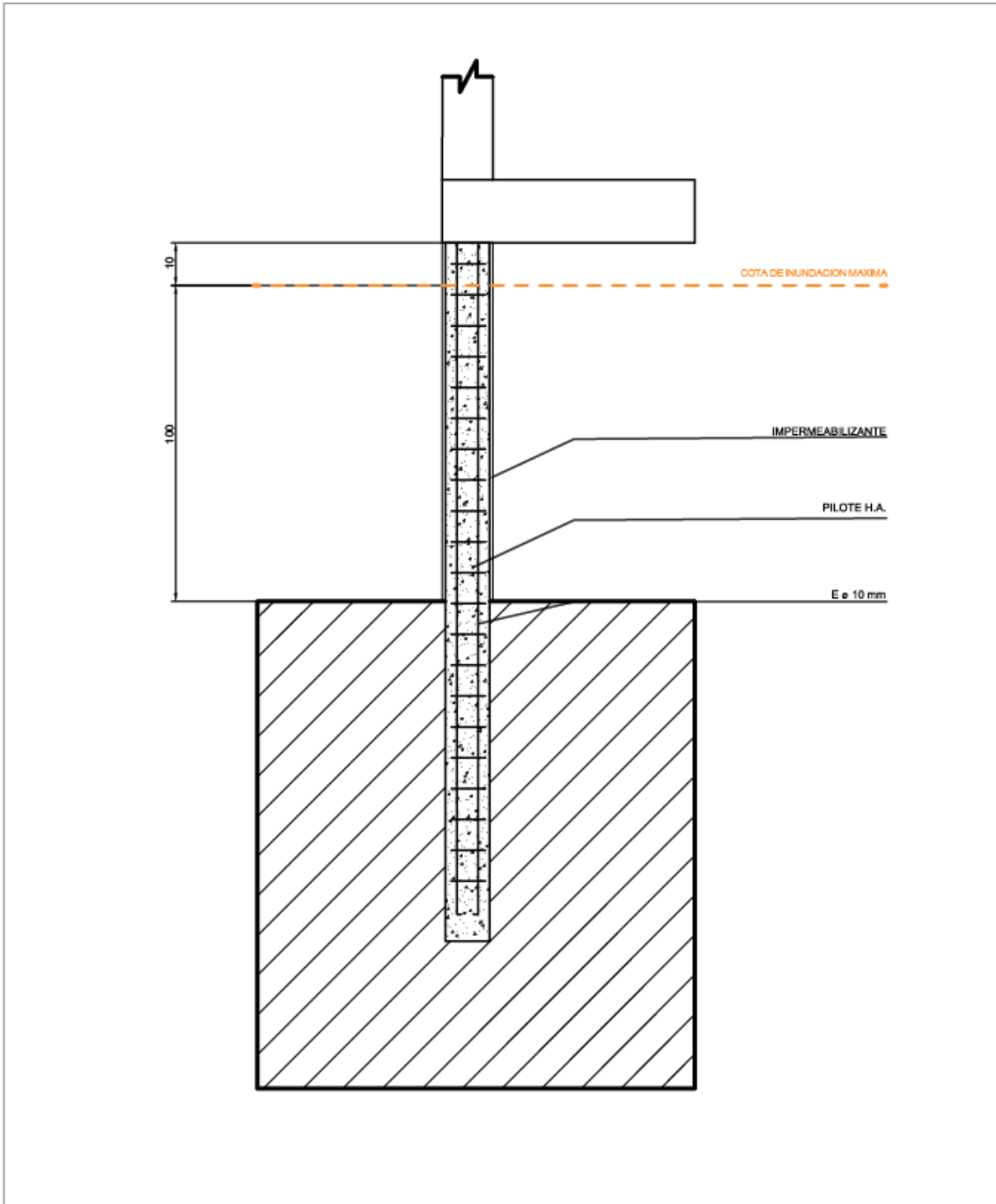
**Figura 37.** Recomendaciones con características de diseño resilientes aplicadas en la Tipología E.



**Figura 38.** Escantillón Cerramiento de muro de albañilería de ladrillo impermeabilizado sobre la cota de inundación con perfiles de acero para la Tipología E.

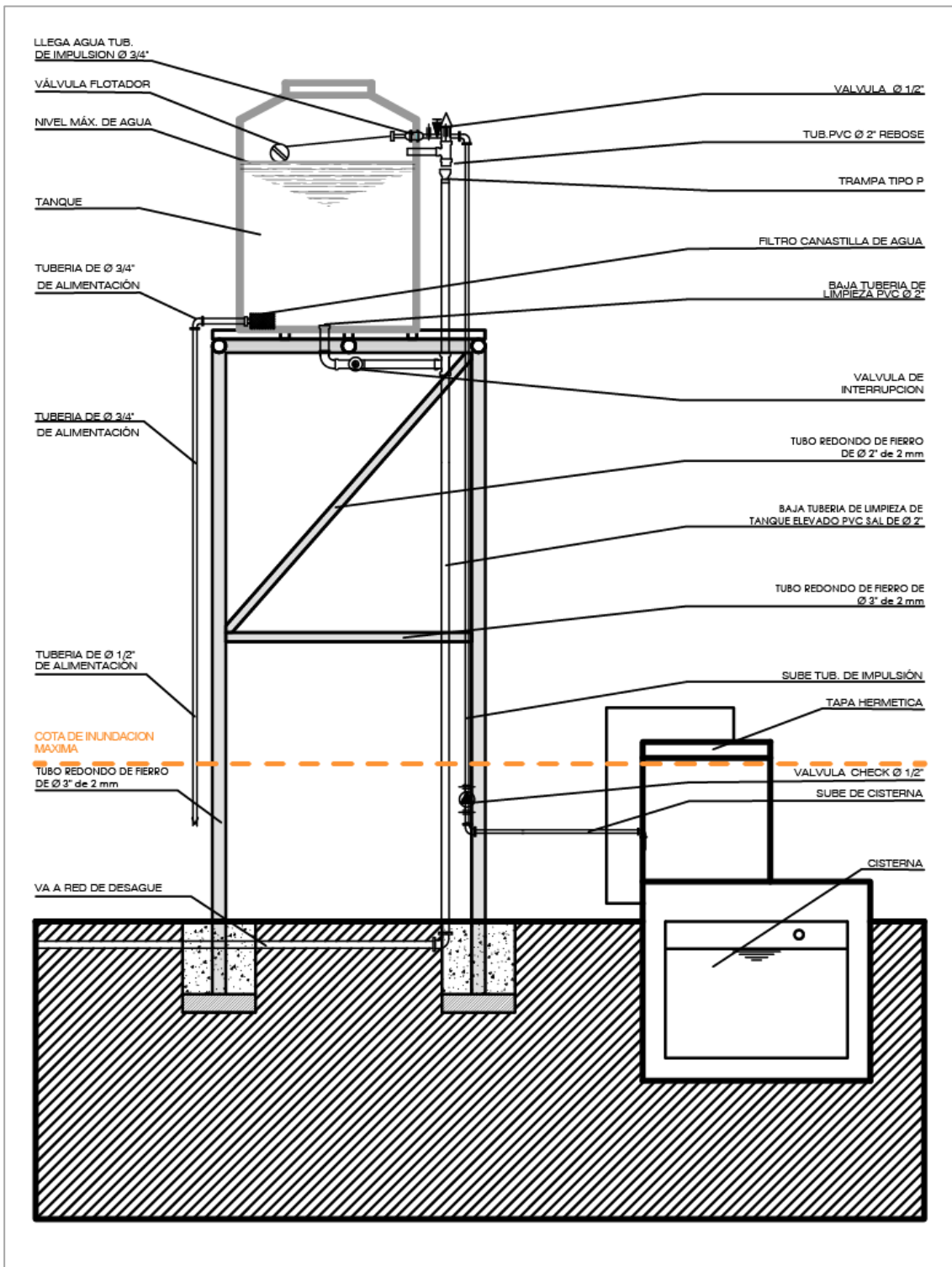


**Figura 39.** Escantillón Elevación del edificio por sobre la cota de inundación por medio de zócalo para la Tipología E.



**Figura 40.** Escantillón Elevación del edificio por sobre la cota de inundación por medio de pilote de H.A. impermeabilizado para la Tipología E.





**Figura 41.** Escantillón Tanque elevado con cisterna con tapa hermética para la Tipología E.

## 7- Conclusiones

Tras la presente investigación, se puede concluir que debido a la amenaza de aluvión presente en la ciudad de Copiapó que son eventos recurrentes en esta ciudad, se debería contar con un claro registro de los efectos de este fenómeno en la ciudad y en las edificaciones, el cual este disponible para todas las personas, para poder tener conocimiento tanto de por donde han pasado los flujos de detritos y barro, de su altura de inundación, los daños que han provocado en las distintas edificaciones tanto públicas como privadas y sobre todo en las críticas, las que deben continuar operando con normalidad luego de ocurrido un evento, y también las medidas que se han adoptado para mitigarlos, entre otros, con el fin de que no se vuelvan a repetir las mismas consecuencias ante estos eventos por falta de conocimiento e información.

En cuanto a los establecimientos de salud pública estudiados en esta ciudad se puede concluir primero, que estos estructuralmente no se vieron dañados o destruidos, por lo que su nivel de vulnerabilidad estructural es prácticamente nula ante aluviones, aunque no estructuralmente estos si presentan un nivel de vulnerabilidad mas alto ante aluviones, ya que estos establecimientos presentaron daños en sus elementos y sistemas ante los aluviones. Además, se pudo tomar conocimiento de la ausencia de algunos de estos sistemas, lo cual para ser edificaciones catalogadas como infraestructura crítica que son servicios vitales para el funcionamiento de la población, los cuales deben funcionar antes, durante y después de algún evento, son imprescindibles.

En cuanto a esto, la mayor vulnerabilidad que presentaron los establecimientos en estudio fue la continuidad de su función, ya que paralizaron su funcionamiento por varios días, lo cual para este tipo de establecimientos que son infraestructura crítica como se mencionó, no deberían paralizar su atención a la población en ningún momento.

Por todo esto, se puede deducir que se comprueba la hipótesis “el diseño arquitectónico de los establecimientos de salud públicos de la ciudad de Copiapó no consideró la amenaza de aluvión, por lo que, los elementos y los sistemas vulnerables de estos establecimientos no presentan características de resiliencia ante esta amenaza”, ya que los establecimientos si bien resistieron a los aluviones, no se anticiparon a estos, ni se adaptaron, y tampoco se recuperaron rápidamente como debería ser para infraestructuras críticas, por lo que, se puede concluir que no son resilientes ante aluviones, ya que no cumplen con la definición de resiliencia utilizada que implica; “anticiparse, resistir, adaptarse y recuperarse” de manera íntegra, oportuna y eficaz a la amenaza.

En base a lo anterior, es que se realizaron recomendaciones para cada una de las cinco tipologías de establecimientos realizadas, para que los elementos y sistemas que tienen un nivel de vulnerabilidad mas alto y los sistemas ausentes fueran resilientes a aluviones para poder garantizar la continuidad de su función hacia la población, por medio de características de diseño resiliente -como se ilustraron con anterioridad-, al aplicar las recomendaciones.

Cabe mencionar que se existen medidas que se pueden tomar en consideración mientras se planifica un proyecto, como son la ubicación del establecimiento en una zona por donde los flujos de detritos y barro no pasen por el establecimiento ni por su entorno próximo, o ubicar a la edificación de manera alineada con respecto a los flujos, aunque en este caso como ya las

edificaciones están construidas en su mayoría en zonas de riesgo de remoción en masa de flujos de detritos y barro y presentan elementos y sistemas vulnerables ante este, se deben realizar modificaciones a estos para que sean estas edificaciones resilientes a este fenómeno por medio de las recomendaciones realizadas en este informe.

## 8- Referencias:

- Almazán, S. [@chematierra]. (19 de marzo de 2017). #Aprendamos Así se forman los #Huaicos @Huaico = #ALUVION Violento flujo de escombros procedente de las altañas Vía @Alaudalng. [Tweet] [Imagen adjunta]. Twitter. [Figura]. <https://twitter.com/chematierra/status/843458863806537729?lang=he>.
- Atacama Viva TV. (2015, 22 abril). *Paipote Post Aluvión - Nota Periodística de Atacama Viva Tv* [Fotografía]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=rfFuhBeasqw>.
- Cámara Chilena de la Construcción. (2018). *Infraestructura Crítica para el Desarrollo 2018–2027*. [Figura].
- Candia, J. & Herrera, F. (2017). *Catastro remociones en masa a nivel nacional*.
- Comité Comunal de Protección Civil y Emergencia; SEREMI; MINVU Atacama; SERNAGEOMIN ONEMI. (2019, a.). *Plano de evacuación por remoción en masa. Región de Atacama. Comuna de Copiapó. Paipote*. [Cartografía]. ONEMI. <https://www.onemi.gov.cl/wp-content/uploads/2019/04/Paipote-remoci%C3%B3n-en-masa.pdf>.
- Comité Comunal de Protección Civil y Emergencia; SEREMI; MINVU Atacama; SERNAGEOMIN ONEMI. (2019, b.). *Plano de evacuación por remoción en masa. Región de Atacama. Comuna de Tierra Amarilla. Tierra Amarilla. Paipote*. [Cartografía]. ONEMI. <https://www.onemi.gov.cl/wp-content/uploads/2019/04/Tierra-Amarilla-remoci%C3%B3n-en-masa.pdf>
- Comité Científico Técnico ONEMI (2015). *Análisis multisectorial eventos 2015: Evento Hidrometeorológico Marzo – Terremoto/Tsunami Septiembre*.
- Contreras, K. (2020). *Proyecto Parque Renace: parque de mitigación para límite urbano-rural Valparaíso, Chile*.
- Departamento de Gestión de Riesgos en Emergencias y Desastres. (2016). *Emergencia hidrometeorológica Región de Atacama*.
- Departamento de Gestión del Riesgo en Emergencias y Desastres del Ministerio de Salud. (2021a). *Quiénes somos*. Recuperado el 01 de Julio de 2021 de <https://degreyd.minsal.cl/quienes-somos/>.
- Departamento de Gestión del Riesgo en Emergencias y Desastres del Ministerio de Salud. (2021b). *Establecimientos seguros ante emergencias y desastres*. Recuperado el 01 de Julio de 2021 de <https://degreyd.minsal.cl/establecimientos-seguros-ante-emergencias-y-desastres/>.
- Devastador amanecer en Copiapó Paipote tras fuertes lluvias y aluviones*. (26 de marzo de 2015). [Fotografía]. Publimetro. <https://www.publimetro.cl/cl/nacional/2015/03/26/devastador-amanecer-copiapo-paipote-fuertes-lluvias-aluviones.html>.
- ECHO, UNESCO, PNDU, Cruz Roja Chilena, & ONEMI. (2012) *Análisis de riesgos de desastres en Chile: VII Plan de acción DIPECHO en Sudamérica 2011-2012*.
- Escenarios Hídricos 2030. (2018). *Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile*. Fundación Chile, Santiago, Chile.
- Espinoza, S. (27 de marzo de 2015). *Así quedó Paipote, Copiapó luego del aluvión* [Fotografía]. Faro a las naciones. <https://www.faroalasnaciones.com/fotos-paipote/>.

- Fernández, J., & Espinoza, L. (2020). *Compilación y análisis del registro histórico de remociones en masa tipo flujo en la cuenca del río Copiapó, región de Atacama*. Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Registrado IR-20-83: 81 p.
- Gobierno de Chile. (2015, b.). *Informe Catastro de Establecimientos de Salud Provincia de Copiapó. Hospital Regional de Copiapó* [Fotografía].
- Gobierno de Chile. (2015, a.). *Informe Catastro de CESFAM Comuna de Copiapó*. [Fotografía].
- Griem, W. (2017). *Listado cronológico de los eventos climáticos en Atacama, Chile*. Geovirtual2. Recuperado 07 de septiembre de 2021, de <https://www.geovirtual2.cl/Clima/Histclima01.htm>.
- Izquierdo, T., Abad, M., Bernárdez, E., Cabezas, D., Calderón, N., Cornejo, Fuentes, F., Saavedra, S., Soto, S. & Torres, A. (2016). *Mapas de peligrosidad por inundaciones y flujos de fangos en zonas urbanas. El caso del 25 de marzo de 2015 de Copiapó (Desierto de Atacama, Chile)*. *Geotemas (Madrid)*, (16), 673-676.
- Ministerio del Interior y Seguridad Pública. (2018). *El libro de la Reconstrucción: Chile, un país que se reconstruye*.
- Las impresionantes imágenes aéreas de Copiapó*. (26 de marzo de 2015). [Fotografía]. Cooperativa. [https://www.cooperativa.cl/noticias/pais/desastres-naturales/inundaciones/las-impresionantes-imagenes-aereas-de-copiapo/2015-03-26/165658\\_10.html#foto-galeria](https://www.cooperativa.cl/noticias/pais/desastres-naturales/inundaciones/las-impresionantes-imagenes-aereas-de-copiapo/2015-03-26/165658_10.html#foto-galeria).
- Lavell, A. (2000). *Desastres y Desarrollo: Hacia un Entendimiento de las Formas de Construcción Social de un Desastre: El Caso del Huracán Mitch en Centroamérica*.
- Ministerio de Salud. (2019, a). *Guía de Diseño para Establecimientos Hospitalarios de Mediana Complejidad* (1.ª ed.).
- Ministerio de Salud. (2019, b). *Orientaciones Técnicas: "Establecimientos de Salud Seguros frente a desastres"*. Recuperado el 01 de Julio de 2021 de <https://degreyd.minsal.cl/wp-content/uploads/2019/01/Orientaciones-T%C3%A9cnicas-Establecimiento-Seguro-2019>.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2013). *Edificaciones estratégicas y de servicio comunitario: Norma Técnica NTM 003*.
- Naveas, V. (16 de septiembre de 2016). *La historia de los aluviones en el valle de Copiapó*. Historias y Relatos del Norte de Chile. Recuperado 07 de septiembre de 2021, de <https://historiasyrelatosdelnorte.wordpress.com/2016/09/16/la-historia-de-los-aluviones-en-el-valle-de-copiapo/>
- ONEMI. (s. f.). *Aluviones*. Recuperado el 16 de abril de 2021 de <https://www.onemi.gov.cl/aluviones/>.
- ONEMI. (2017) *Plan específico de emergencia por variable de riesgo: Remoción en Masa*.
- ONEMI. (2020). *Política nacional para la reducción del riesgo de desastres. Plan estratégico nacional 2020–2030*.
- ONEMI. (2021). *Glosario Gestión del Riesgo de Desastres*.
- ONU, U. (2015). *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030*.
- OPS/OMS. (s. f.). *Hospitales Seguros*. Recuperado el 12 de Julio de 2021 de <https://www.paho.org/es/emergencias-salud/hospitales-seguros>.
- OPS/OMS. (2004). *Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud*. (2a ed.). Washington, D.C.
- OPS/OMS. (2010). *Índice de seguridad hospitalaria. Guía para la evaluación de establecimientos de salud de mediana y baja complejidad*.
- OPS/OMS. (2018). *Índice de seguridad hospitalaria. Guía para evaluadores. Segunda edición* (2.ª ed.). <https://www.minsal.cl/wp-content/uploads/2021/01/Indice-de-Seguridad-Hospitalaria-Guia-de-evaluadores>.
- Ortiz, J. (2019). *Gestión del riesgo en Copiapó: hacia la construcción de una propuesta metodológica resiliente*.

- Radio Agricultura. (28 de julio de 2017). *Tras dos años del aluvión el estadio de Copiapó está casi listo para usarse* [Fotografía]. Radio Agricultura. <https://www.radioagricultura.cl/deportes/2017/07/28/cneira-video-estadio-luis-valenzuela-hermosilla-copiapo-aluvion.html>.
- Radio Duna. (15 de abril de 2015). *Gobernador de Copiapó dice que hay despreocupación desde el Gobierno para la reconstrucción de Atacama* [Fotografía]. Radio Duna. <https://www.duna.cl/noticias/2015/04/15/gobernador-de-copiapo-dice-que-hay-despreocupacion-desde-el-gobierno-para-la-reconstruccion-de-atacama/>.
- Reconstruyamos Paipote.* (s. f.). [Fotografía]. Desafía Levantemos Chile. <https://desafiolevantemoschile.org/reconstruyamos-paipote/>.
- Saenz, R. (30 de mayo de 2015). *Damnificados por aluviones en Copiapó están indignados por retraso en reconstrucción* [Fotografía]. Biobío Chile. <https://www.biobiochile.cl/noticias/2015/05/30/damnificados-por-aluviones-en-copiapo-estan-indignados-por-retraso-en-reconstruccion.shtml>.
- Salud Responde. (2019). *Establecimientos de Salud*. [Figura]. Recuperado el 01 de Julio de 2021 de <https://saludresponde.minsal.cl/establecimientos-de-salud/>.
- SERNAGEOMIN. (2015, a.). *Efectos geológicos del evento meteorológico del 24 y 25 de marzo de 2015*. [Figura].
- SERNAGEOMIN. (2015, b.). *Zonas afectadas por inundación y flujos de detritos (aluvión). Zonas propuestas para: evacuación, campamentos y acopio en Copiapó* [Cartografía]. Biblioteca SERNAGEOMIN. <https://biblioteca.sernageomin.cl/opac/datafiles/14932.pdf>.
- SERNAGEOMIN. (2015, c.). *Zonas afectadas por inundación y flujos de detritos (aluvión). Zonas propuestas para: evacuación, campamentos y acopio en Copiapó y Paipote* [Cartografía]. Biblioteca SERNAGEOMIN. <https://biblioteca.sernageomin.cl/opac/datafiles/14934.pdf>.
- Soto, P. (2019). *Gestión del riesgo en Copiapó: hacia la construcción de una propuesta metodológica resiliente*.
- SUBDERE. (2011). *Guía Análisis de riesgos naturales para el ordenamiento territorial* (1.ª ed.).
- UNISDR, E. (2009). *Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres*. Ginebra, Ginebra, Suiza.
- Urrutia De Hazbún, R., & Lanza, C. (1993). *Catástrofes en Chile: 1541–1992* (1.ª ed.). La Noria.
- Vargas Easton, G., Pérez Tello, S., & Aldunce Ide, P. (2018). *Aluviones y resiliencia en Atacama. Construyendo saberes sobre riesgos y desastres*. (1a ed.) Social-Ediciones.
- 24Horas. (s. f. a). *Así quedó el hospital de Copiapó tras inundaciones*. [Fotografía]. <https://www.24horas.cl/nacional/asi-queda-el-hospital-de-copiapo-tras-inundaciones-1618038>.
- 24Horas. (s. f. b). *Hospital de Copiapó resulta anegado tras desborde de río*. [Fotografía]. <https://www.24horas.cl/nacional/hospital-de-copiapo-resulta-anegado-tras-desborde-de-rio-por-sistema-frontal-1617854>.