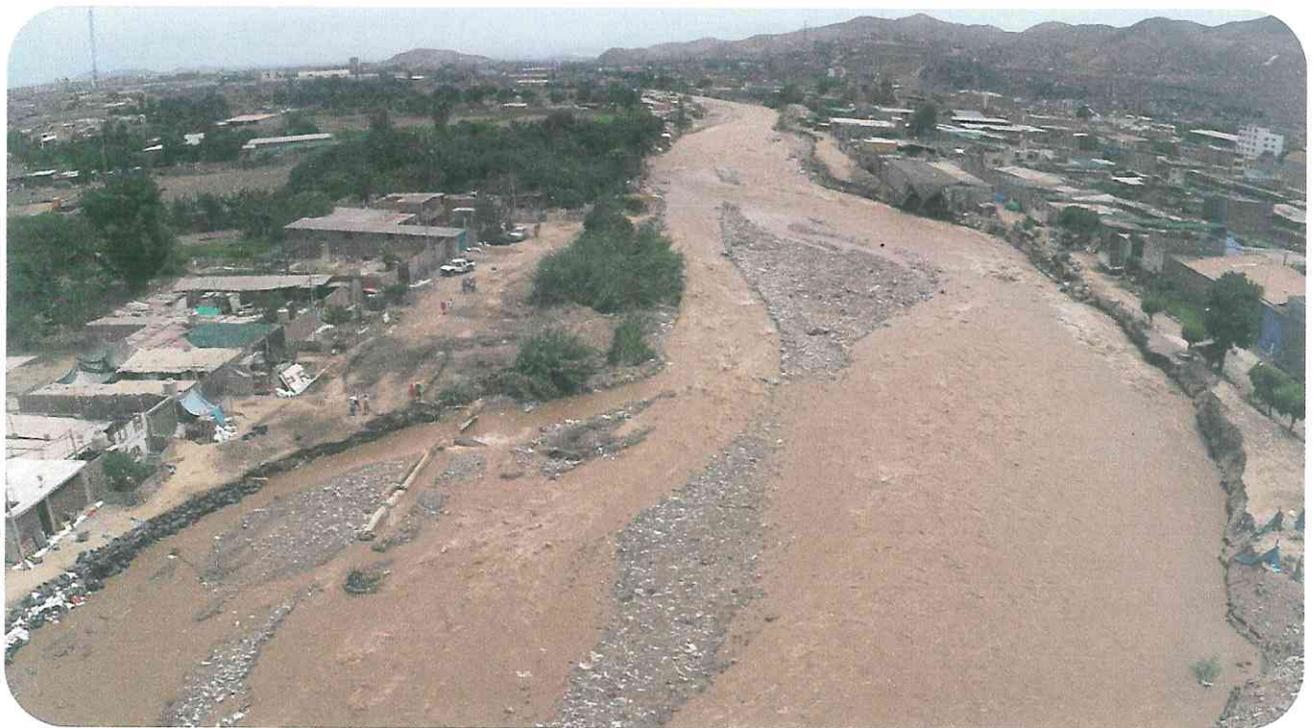


ESCENARIO DE RIESGO N° 02

ESCENARIO DE RIESGO POR INUNDACIONES EN LA CUENCA DEL RÍO CHILLÓN ASOCIADOS AL FENÓMENO “EL NIÑO” EN EL ÁMBITO DE LIMA METROPOLITANA



CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	3
1. OBJETIVO	4
2. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL ESCENARIO DE RIESGO	4
3. ANOMALIAS DE PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO CHILLÓN	5
4. ESCENARIO DE RIESGO POR INUNDACIONES FLUVIALES ANTE LLUVIAS ASOCIADAS AL FENÓMENO EL NIÑO	9
4.1. Variables de análisis	10
4.1.1. Pendientes.....	10
4.1.2. Acumulación de flujo.....	12
4.1.3. Densidad de drenaje.....	14
4.1.4. Índice Topográfico de Humedad – TWI.....	16
4.1.5. Escorrentía Superficial.....	16
4.1.6. Índice Diferencial de agua normalizado – NDWI.....	19
4.1.7. Pricipitaciones máximas en 24 horas para un TR de 50 años.....	21
4.2. Niveles de Peligro por Inundación	23
4.3. Identificación de elementos expuesto ante inundaciones fluviales	26
4.4. Determinación del escenario de riesgo por Inundaciones fluviales ante lluvias asociadas al Fenómeno El Niño	28
5. CONCLUSIONES	29
6. RECOMENDACIONES	29
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Anomalías de precipitación Marzo 2023.....	5
Imagen 2. Secuencia diaria de lluvias - percentiles marzo 2023.....	6
Imagen 3. Resumen de lluvia acumulada en la cuenca del Chillón, marzo 2023.....	6
Imagen 4. Anomalías de máximos acumulados de lluvias durante los veranos (enero – marzo) de los Niños Extraordinarios (1983 y 1998) y Niños Costeros (2017 y 2023).	8

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Riesgo Muy Alto y Alto ante inundaciones fluviales del Río Chillón.....	28
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Flujograma de la metodología para la elaboración del escenario de riesgo.....	4
Figura 2. Flujograma metodológico para el cálculo de peligro por inundación.....	9
Figura 3. Índice de Avenidas de la Cuenca del Río Chillón.....	21
Figura 4. Proceso Metodológico para el cálculo de los niveles de peligro de inundación TR 50 años.....	23
Figura 5. Procedimiento metodológico para el análisis de exposición.....	28



LISTA DE MAPAS

Mapa 1. Pendientes de la Cuenca Chillón.....	11
Mapa 2. Acumulación de flujo de la cuenca del Chillón.....	13
Mapa 3. Red de drenaje de la Cuenca del Chillón.....	14
Mapa 4. Densidad de Drenaje de la Cuenca del Chillón	15
Mapa 5. Índice Topográfico de Humedad de la cuenca del Chillón	16
Mapa 6. Cobertura de Suelos de la Cuenca Chillón	17
Mapa 7. Número de Curva (CN) de la Cuenca del Chillón	17
Mapa 8. Escorrentia Superficial de la Cuenca del Chillón	18
Mapa 9. Índice Diferencial de Agua Normalizada de la Cuenca del Chillón	20
Mapa 10. Precipitaciones Máximas 24H - TR 50 Años.....	22
Mapa 11. Mapa de Peligro por Inundación de la Cuenca del Río Chillón.....	24
Mapa 12. Mapa de Peligro por Inundación del Río Chillón en Lima Metropolitana	25
Mapa 13. Elementos Expuestos - Población y vivienda - INEI 2017	26
Mapa 14. Elementos Expuestos – Establecimientos de Salud	27
Mapa 15. Elementos Expuestos – Instituciones Educativas.....	27

40

INTRODUCCIÓN

El presente informe de Escenario de Riesgo por Inundaciones en la cuenca del Río Chillón ha sido elaborado por la Subgerencia de Defensa Civil, Prevención, Reducción y Reconstrucción - SDCPRR de la Gerencia de Gestión del Riesgo de Desastres de la Municipalidad Metropolitana de Lima, con la finalidad de identificar las zonas de mayor exposición ante inundaciones por desborde del río Chillón asociadas a la presencia de “El Niño” durante los meses de verano y de la misma forma cuantificar los elementos expuestos susceptibles en las dimensiones social, económica y ambiental.

En este sentido, teniendo en cuenta lo acontecido en marzo del 2023 en donde de acuerdo al SENAMHI¹ un sistema ciclónico anómalo se formó el 04 de marzo frente a las costas de Piura y se desplazó hacia el sur hasta el 15 de marzo, favoreciendo la ocurrencia de lluvias persistentes en todo su trayecto y en consecuencia activando quebradas y favoreciendo el incremento de caudal de los ríos, afectando importantemente a Lima Metropolitana ya que se registraron activaciones de quebradas e incremento de los caudales en las 3 cuencas de los ríos Chillón, Rímac y Lurín. En ese contexto de acuerdo a datos del SENAMHI² de septiembre de 2022 a marzo de 2023 en cuanto al acumulado de precipitación para la mayoría de estaciones de monitoreo en la cuencas del CHIRILU, estos superaron su normal climática del mismo periodo en un rango de +100% a +1000%.

Por otro lado, la Comisión Multisectorial del ENFEN mediante el Comunicado Oficial ENFEN N° 12-2023 publicado el 11 de agosto del 2023, mantiene el estado de “Alerta de El Niño Costero”, ya que se espera que El Niño costero (región Niño 1+2) continúe hasta el verano de 2024, como consecuencia de la alta probabilidad del desarrollo de El Niño en el Pacífico central. Es este contexto que el presente escenario de riesgo se constituye como una herramienta de vital importancia para la identificación y cuantificación de los elementos expuestos a las inundaciones en el tramo del Río Chillón correspondiente a Lima Metropolitana ante la probabilidad de ocurrencia de un evento El Niño para el verano del 2024.



¹ https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/2789/Evento-Extremo-cicl%C3%B3n-caracter%20adstica-tropical_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y

² https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/2738/Bolet%C3%ADn-monitoreo-de-lluvias-cuenca-Chill%C3%B3n-R%C3%ADmac-Lur%C3%ADn-mar_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y

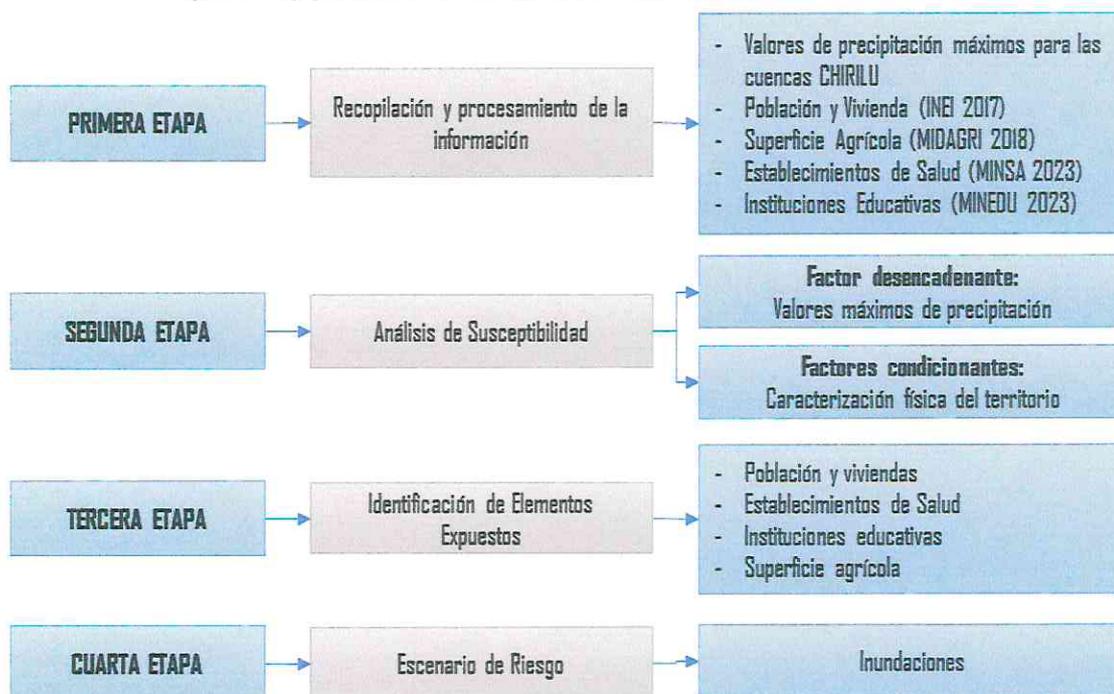
1. OBJETIVO

Identificar la posible afectación que puede sufrir la población y sus medios de vida ante posible ocurrencia de inundaciones en condiciones "El Niño", en el Río Chillón correspondiente al ámbito de Lima Metropolitana.

2. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL ESCENARIO DE RIESGO

La metodología utilizada para la elaboración del presente escenario de riesgo por asociados al Fenómeno El Niño ha considerado cuatro etapas correspondientes a la recopilación de la información y procesamiento de la información en primera instancia, el análisis de la susceptibilidad en segunda instancia que ha considerado factores condicionantes y un factor desencadenantes, en tercera instancia se ha realizado la identificación de los elementos expuestos para finalmente cuantificar el escenario de riesgo por inundaciones, tal como se detalla en la siguiente figura.

Figura 1. Flujograma de la metodología para la elaboración del escenario de riesgo



Fuente: Adaptado de CENEPRED

3. ANOMALIAS DE PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO CHILLÓN

En las cuencas de los ríos Chillón, Rímac y Lurín, climatológicamente el periodo de lluvias se inicia en el mes de septiembre y concluye en el mes de abril, alcanzando sus mayores acumulados en los meses de diciembre a marzo. El periodo de estiaje (ausencia de lluvias o lluvias escasas) se da entre los meses de mayo a agosto.

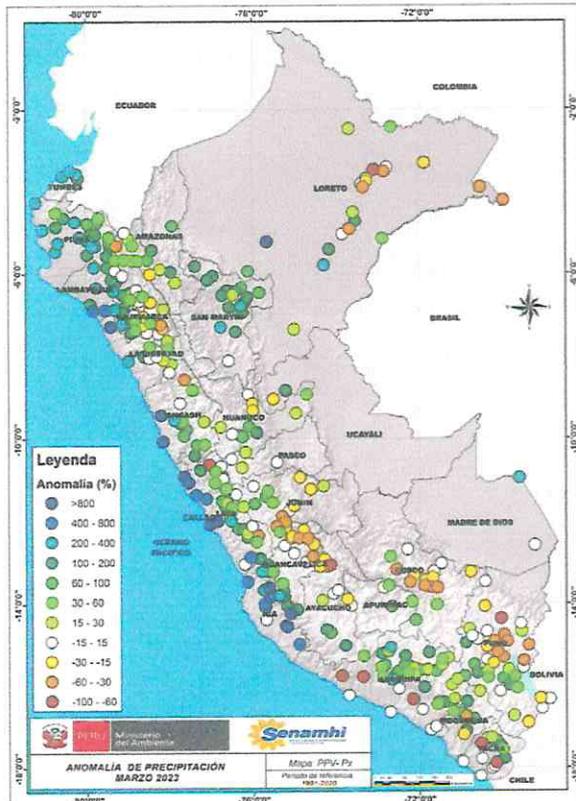
De acuerdo al “Boletín de Monitoreo de Condiciones Secas y Húmedas” N°03 SPI (Índice Estandarizado de Precipitación) correspondiente a Marzo del 2023 del SENAMHI. De acuerdo al índice de sequía SPI y a las anomalías de precipitación (%), durante el mes de marzo prevaleció un escenario húmedo a nivel nacional.

En marzo, se han reportado precipitaciones frecuentes y categorizadas como “extremadamente lluviosas” sobre todo en la costa norte (Tumbes, Piura, Lambayeque y La Libertad), costa central (Ancash y Lima), sierra norte y sierra central occidental (Lima y Ancash). Los acumulados diarios sin precedentes se registraron en la costa de Tumbes, Lambayeque y La Libertad y sierra occidental de Lima y Ancash eventos extremos aportaron significativamente en los acumulados mensuales de precipitación alcanzando anomalías porcentuales entre 200% a mayores a 800% en la costa norte y costa central, y entre 30% a 200% en el sector occidental de la sierra norte y sierra central. Otros sectores que reportaron acumulados mensuales por encima de su valor normal fueron: sierra norte oriental (15% a 60%), sierra central oriental (15% a 30%), sierra sur occidental (15% a 100%) y selva norte (100% a 200%).

Para la zona de Lima se observaron anomalías porcentuales superiores a los 800% (para la cuenca del Rímac) como se observa en la siguiente imagen:

Handwritten mark resembling the number '10'.

Imagen 1. Anomalías de precipitación Marzo 2023



Anomalia (%)

- >800
- 400 - 800
- 200 - 400
- 100 - 200
- 60 - 100
- 30 - 60
- 15 - 30
- -15 - 15
- -30 - -15
- -60 - -30
- -100 - -60

Nota: Coloraciones verdes a azules indican condiciones húmedas (excesos/superávits de lluvias), coloración blanca dentro de lo normal y coloraciones amarillas a marrones condiciones secas (deficiencias/déficits de lluvias).

Fuente: SENAMHI

Para la cuenca del Río Chillón se registraron días catalogados como “lluviosos”, “muy lluviosos” y “extremadamente lluviosos” tal y como se observa en la siguiente tabla que muestra la secuencia diaria de lluvias categorizadas en base a percentiles del mes de marzo 2023 para las partes media y alta de la cuenca del Río Chillón.

Imagen 2. Secuencia diaria de lluvias - percentiles marzo 2023

CUENCA RÍO CHILLÓN		Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
Media		Obrajillo																																	
		Arahuay																																	
		Canta																																	
Alta		Huamantanga																																	
		Huaros*																																	
		Lachaqui																																	
		Pariacancha																																	

*Estaciones automáticas
 Sin datos Día sin lluvia Lluvia < 1mm 1 mm ≤ Lluvia < Percentil 90
 Día lluvioso Día muy lluvioso Día extremadamente lluvioso

Fuente: SENAMHI 2023

De manera general durante el mes de marzo, en la cuenca del CHIRILU, predominaron precipitaciones menores al percentil 90 es decir, en la cuenca baja se registraron acumulados menores a 6 mm, mientras que, en la cuenca media se presentaron lluvias menores 10 mm y en la cuenca alta se registraron acumulados de lluvias entre 8 a 14 mm. Asimismo, de manera generalizada entre los días 10 al 18 se registraron precipitaciones categorizadas como “lluvioso”, “muy lluvioso” y “extremadamente lluvioso” en todas las estaciones de monitoreo de la cuenca de los ríos Rímac, Chillón y Lurín.

40

Imagen 3. Resumen de lluvia acumulada en la cuenca del Chillón, marzo 2023

CUENCA DEL RÍO CHILLÓN	Estación	Altitud (msnm)	Periodo marzo 2023	Número de días con lluvia	Lluvia acumulada (mm)	Climatología marzo (mm)	Anomalia de precipitación (%)
Media	Obrajillo	2468	01 al 31	20	130.7	98.4	33
	Arahuay	2800	01 al 31	26	162.1	89.2	82
	Canta	2818	01 al 31	20	187.0	96.8	33
Alta	Huamantanga	3392	01 al 31	22	202.4	112.7	80
	Huaros*	3569	01 al 31	26	105.1	124.0	-15
	Lachaqui	3670	01 al 31	23	182.1	146.1	25
	Pariacancha	3854	01 al 31	23	125.5	137.2	-9

* Estaciones Automáticas

LEYENDA

ESCALA DE COLORES	RANGO	DESCRIPCIÓN
Red	-100 - -60	DEBAJO DE LO NORMAL
Orange	-60 - -30	
Yellow	-30 - -15	
White	-15 - 15	NORMAL
Light Green	15 - 30	SOBRE LO NORMAL
Green	30 - 60	
Dark Green	60 - 100	
Blue-Green	100 - 200	
Blue	200 - 400	
Dark Blue	400 - 800	
Very Dark Blue	>800	

Fuente: SENAMHI 2023

Como se observa en la imagen anterior, para la cuenca media del río Chillón se registraron anomalías de precipitación de hasta el 93% , mientras que para la cuenca media valores de anomalía de precipitación de hasta el 80%. Estas anomalías se debieron principalmente a cambios inusuales en el acoplamiento océano atmósfera en la región Niño 1+2 que incluyó la zona norte y centro del mar peruano, (Comunicado ENFEN N°12-2023). Entre los factores que contribuyen al desarrollo de dicho evento fue la presencia de anomalías de vientos del oeste en el Pacífico oriental asociados a la alteración de los patrones de circulación atmosférica en el Pacífico Tropical oriental (presencia del Ciclón Yaku), y por el otro, el arribo de la onda Kelvin cálida los cuales contribuyeron a la activación de lluvias y por ende el incremento de las temperaturas atmosférica por encima de sus valores normales.

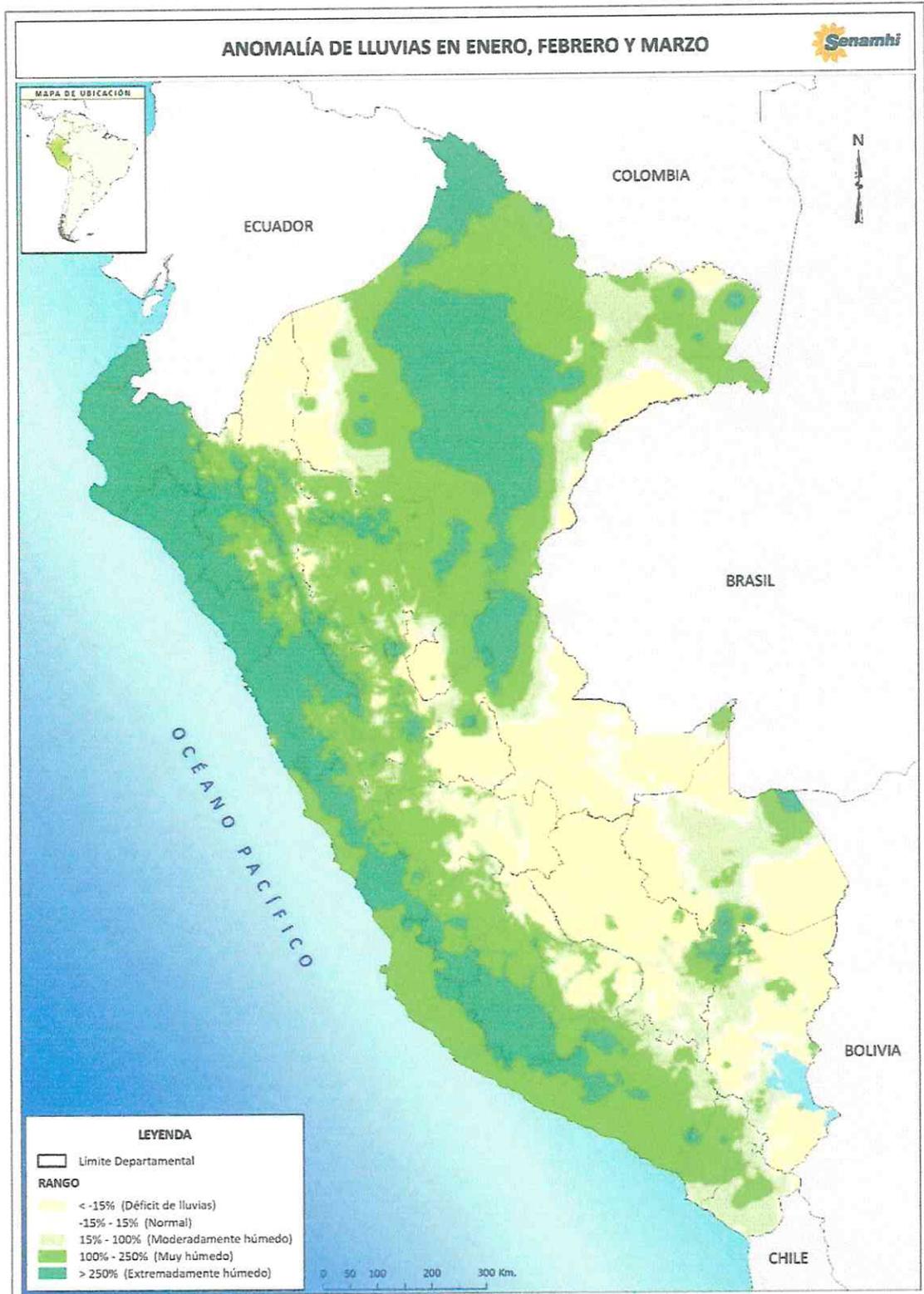
De acuerdo al SENAMHI los eventos “extremadamente lluviosos” en la cuenca del río Chillón se registraron de manera generalizada el día 12 en las estaciones Obrajillo (24,7 mm/día), Arahuay (22,2 mm/día), Canta (30,0 mm/día), Huamantanga (33,3mm/día) y Pariacancha (23,7 mm/día). Mientras que, el día 14 la mayor intensidad de lluvias se registró en la cuenca del río Rímac, en las estaciones Ñaña (11,7 mm/día); Chosica (14,9 mm/día); Santa Eulalia (19,4 mm/día); Autisha (31,4 mm/día); Sheque (24,2 mm/día) y San Mateo de Otao (48,2 mm/día), así como en la cuenca media del río Lurín en las estaciones Antioquía (29,6 mm/día) y Santiago de Tuna (64,4 mm) y el día 18 se presentaron lluvias extremadamente lluviosos en las estaciones Arahuay (23 mm/día), Canta (27,2 mm/día), Chosica (9,5 mm/día), Sheque (26,2 mm/día) y Carampoma (24,4 mm/día).

Por otro lado, el SENAMHI ha elaborado el escenario de lluvias considerando los eventos El Niño que han tenido mayor impacto en el volumen de las lluvias a nivel nacional, durante el periodo enero – febrero - marzo (EFM), estos son: El Niño de impacto global (1983 y 1998), y El Niño Costero (2017 y 2023); y que podrían configurar una situación de peligro inminente ante la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos, de acuerdo con la actualización del último informe del SENAMHI³.

La siguiente imagen muestra la distribución espacial de los valores más altos alcanzados durante estos cuatro episodios El Niño, resaltando los ámbitos históricamente afectados a nivel nacional; es decir, la vertiente occidental, con mayor intensidad en la costa norte, sierra noroccidental, así como las partes medias/altas de la sierra centro-occidental (por ejemplo, cuencas medias de Ancash, Lima, Ica, vertiente occidental de Huancavelica) y sierra sur-occidental (cuencas medias de Arequipa y Moquegua, principalmente). Específicamente para el ámbito geográfico en donde se ubica la cuenca del Río Chillón se observan anomalías de máximos acumulados de lluvias clasificados como “Muy Húmedo” con variaciones del 100% al 250%.

³ ENAMHI. (2023). Informe Técnico N° 01-2023/SENAMHI-DMA-SPC-DHI-SEH. Monitoreo y pronóstico del clima, de fecha 12.05.2023 (Actualización)

Imagen 4. Anomalías de máximos acumulados de lluvias durante los veranos (enero – marzo) de los Niños Extraordinarios (1983 y 1998) y Niños Costeros (2017 y 2023).



Fuente: SENAMHI 2023

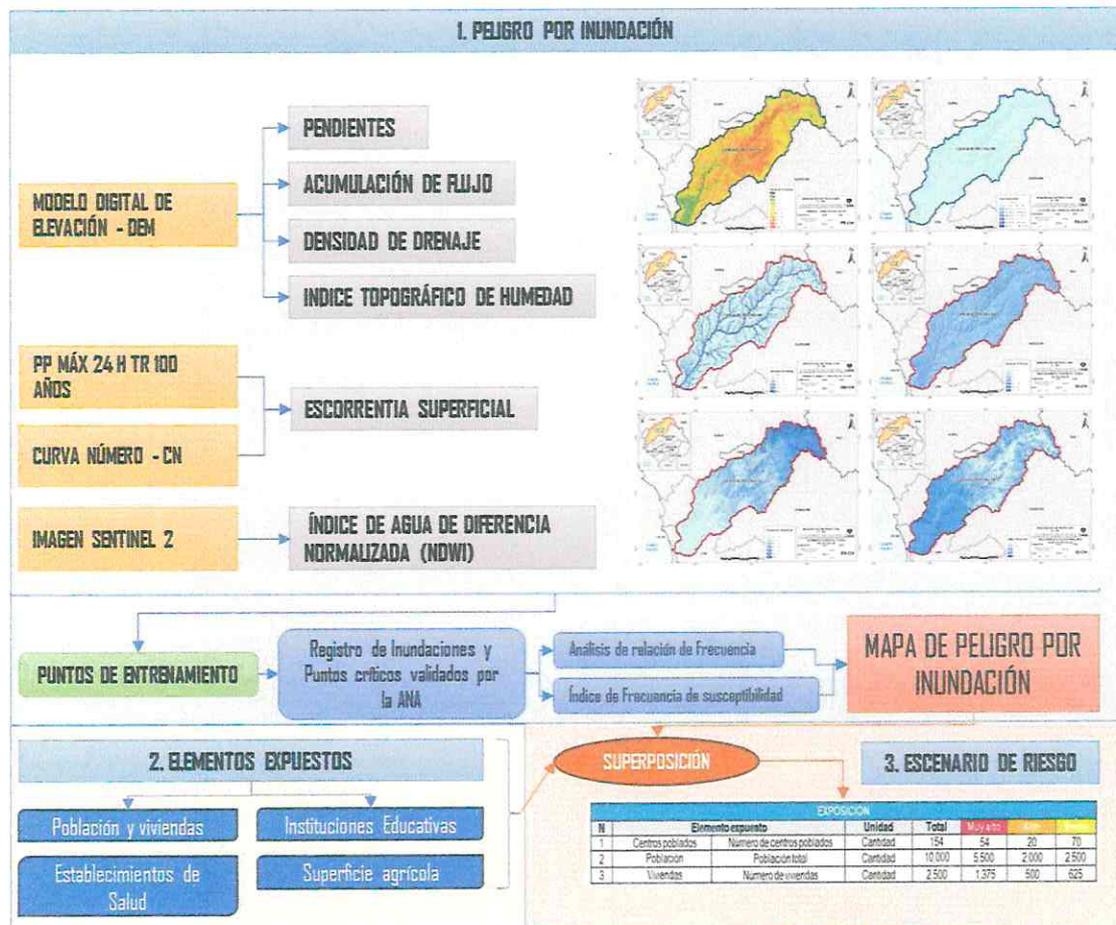
4. ESCENARIO DE RIESGO POR INUNDACIONES FLUVIALES ANTE LLUVIAS ASOCIADAS AL FENÓMENO EL NIÑO AL FENÓMENO EL NIÑO

El escenario de riesgo por inundación fluvial ante lluvias asociadas al Fenómeno “El Niño” está referida a descripción detallada de las condiciones en las que la cuenca del río Chillón podría verse afectada por inundaciones causadas por la crecida del río ante un incremento anómalo de las precipitaciones pluviales. Este escenario se desarrolló mediante la combinación de datos hidrológicos, topográficos y climáticos, con el objetivo de comprender y prever cómo podría evolucionar una inundación en términos de su magnitud, extensión y impacto en las áreas cercanas al río Chillón.

El procedimiento metodológico está compuesto por tres fases que se desarrollaron en forma secuencial:

- Elaboración del mapa de peligro por inundación para un TR 100 años
- Identificación de elementos expuestos a inundaciones y flujos hiperconcentrados y
- Determinación del escenario de riesgo a inundaciones para un TR 100 años.

Figura 2. Flujoograma metodológico para el cálculo de peligro por inundación



Fuente: Adaptado de CENEPRED



4.1. Variables de análisis

4.1.1. Pendientes

La pendiente se refiere a la inclinación o declive de un terreno o superficie en relación con un punto de referencia. En el contexto topográfico, la pendiente indica cómo cambia la elevación de un lugar en función de la distancia horizontal que se recorre. Una pendiente pronunciada indica un cambio rápido en la altitud, mientras que una pendiente suave sugiere un cambio gradual.

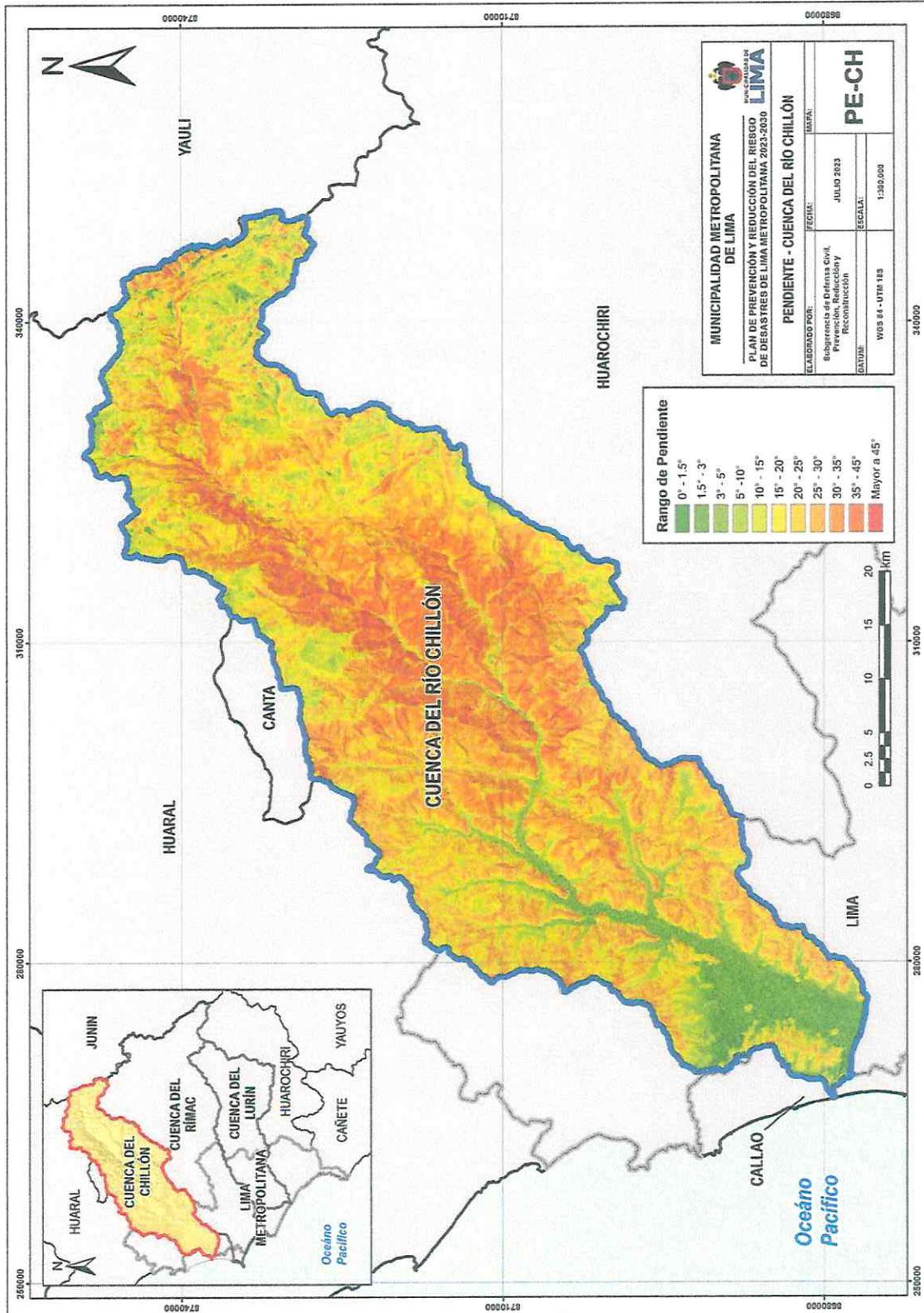
En el análisis de peligro por inundaciones, la pendiente del terreno juega un papel importante debido a su influencia en cómo el agua se desplaza y se acumula durante eventos de crecida. Aquí hay una relación entre la pendiente y su influencia en el análisis de peligro por inundaciones:

- **Velocidad de escurrimiento:** En áreas con pendientes pronunciadas, el agua tiende a moverse más rápidamente en caso de crecidas, lo que puede llevar a la acumulación de agua en áreas más bajas con pendientes más suaves.
- **Acumulación de agua:** Las pendientes suaves permiten que el agua se acumule más fácilmente en comparación con terrenos inclinados. En áreas con pendientes menos pronunciadas, el agua podría extenderse a lo largo de distancias más largas antes de encontrar un punto más bajo donde acumularse.
- **Erosión:** En zonas con pendientes pronunciadas, el escurrimiento de agua puede generar erosión del suelo, lo que a su vez puede afectar la capacidad del suelo para retener el agua y aumentar el riesgo de deslizamientos de tierra y acumulación de sedimentos en cursos de agua, lo que puede agravar los problemas de inundación.
- **Flujo concentrado:** Las pendientes pronunciadas pueden conducir a un flujo de agua más concentrado en canales y cursos de agua, lo que aumenta la velocidad y la capacidad de transporte del agua. Esto puede llevar a inundaciones más rápidas y devastadoras en áreas bajas a lo largo de estos cursos de agua.

En resumen, las pendientes del terreno tienen un impacto significativo en la forma en que el agua fluye y se acumula durante eventos de crecida, lo que afecta directamente el análisis de peligro por inundaciones. Comprender cómo las pendientes influyen en el movimiento del agua es esencial para la planificación y la gestión efectiva de inundaciones y para tomar decisiones informadas sobre el desarrollo y la mitigación de riesgos en zonas propensas a inundaciones.

Para la generación de la capa de pendientes se ha utilizado como insumo un Modelo Digital de Elevación de 12.5 metros de resolución espacial en formato raster, generado a partir de datos recopilados por el satélite japonés ALOS (Advanced Land Observing Satellite) con su instrumento PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar).

Mapa 1. Pendientes de la Cuenca Chillón



Handwritten signature or initials in blue ink.

Fuente: Equipo técnico SDCPRR

4.1.2. Acumulación de flujo

La acumulación de flujo en cuencas se refiere al proceso mediante el cual el agua de lluvia principalmente se recoge y acumula gradualmente en una cuenca hidrográfica, que es una región geográfica definida por límites topográficos donde todas las aguas superficiales fluyen hacia un punto común, generalmente un río o lago principal.

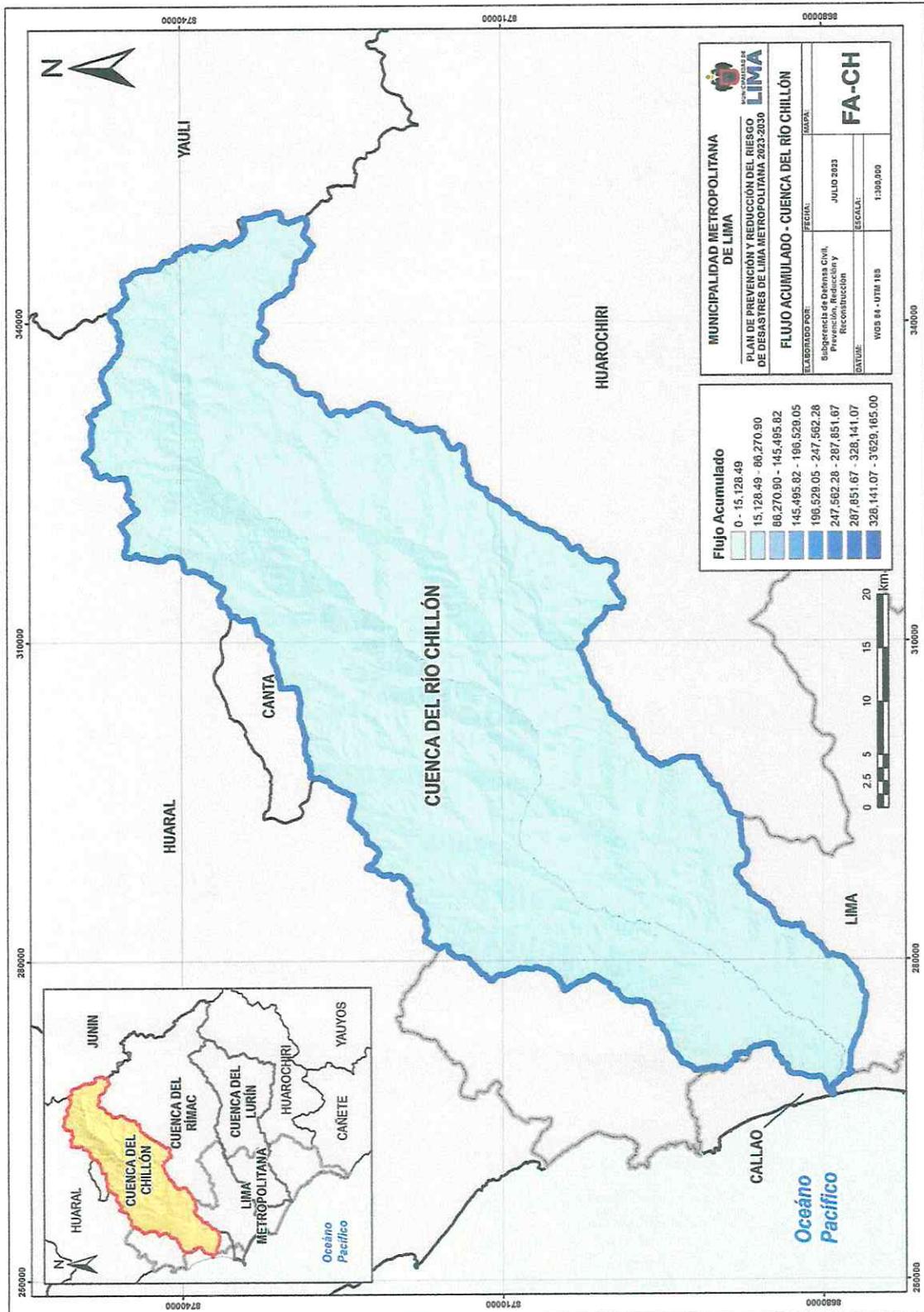
En términos más técnicos, la acumulación de flujo es el resultado de la suma de las aportaciones de flujo provenientes de áreas adyacentes más pequeñas dentro de la cuenca. En el modelo digital de elevaciones (MDE), se calcula en cada celda la cantidad de flujo que se dirige hacia esa celda desde las celdas vecinas. Luego, estas cantidades se suman para cada celda de manera acumulativa, lo que resulta en un mapa que muestra la cantidad de flujo que converge en cada punto de la cuenca.

La influencia de la acumulación de flujo en el análisis de peligro por inundaciones es significativa:

- **Identificación de zonas de aporte:** La acumulación de flujo permite identificar las áreas dentro de una cuenca que contribuyen más al flujo de agua. Estas áreas de aporte tienden a ser las más susceptibles a la generación de caudales significativos durante eventos de lluvias intensas o deshielos, lo que aumenta el riesgo de inundaciones.
- **Determinación de caudales:** La cantidad de agua acumulada de forma gradual a lo largo de una cuenca puede influir directamente en los caudales de los ríos y arroyos durante una crecida. Cuanto mayor sea la acumulación de flujo, mayor será la cantidad de agua que llegará al sistema fluvial, lo que puede provocar crecidas repentinas y potencialmente peligrosas.
- **Análisis de tiempo de concentración:** La acumulación de flujo también ayuda a calcular el tiempo que le lleva al agua recogerse desde diferentes partes de la cuenca y llegar a un punto específico, como un río principal. Este tiempo de concentración es crucial para prever el inicio y la duración de las crecidas, información esencial en la evaluación de riesgos y en la toma de medidas de prevención y respuesta.

En resumen, la acumulación de flujo en cuencas es un concepto clave para comprender cómo el agua fluye y se reúne en una región geográfica particular. Esta acumulación de flujo es una pieza fundamental en el análisis de peligro por inundaciones, ya que proporciona información sobre las áreas de aporte y contribuye a la generación de caudales durante eventos climáticos extremos, lo que a su vez afecta la magnitud y la rapidez de las crecidas.

Mapa 2. Acumulación de flujo de la cuenca del Chillón



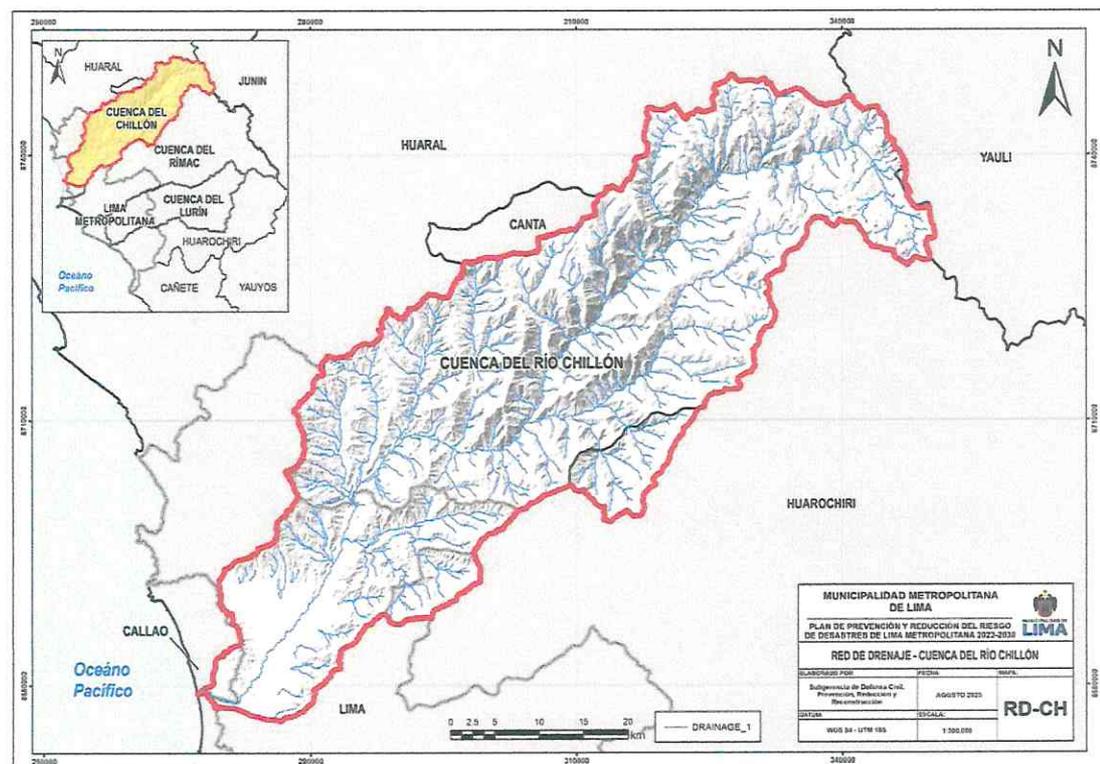
Fuente: Equipo técnico SDCPRR

4.1.3. Densidad de drenaje

La densidad de drenaje es un concepto hidrológico utilizado para describir la cantidad de corrientes de agua en relación con el área de una cuenca hidrográfica. En términos simples, se refiere a la cantidad de canales de drenaje (ríos, arroyos, etc.) en una unidad de área determinada dentro de una cuenca. La densidad de drenaje se expresa generalmente en longitud de corriente por unidad de área, como kilómetros de corriente por kilómetro cuadrado.

En resumen, la densidad de drenaje en cuencas influye en la velocidad de evacuación del agua y, por ende, en la probabilidad de inundaciones. Cuanto mayor sea la densidad de drenaje, más rápido el agua puede ser evacuada de la cuenca, lo que puede aumentar el riesgo de crecidas repentinas y generar desafíos adicionales en la gestión del peligro por inundaciones.

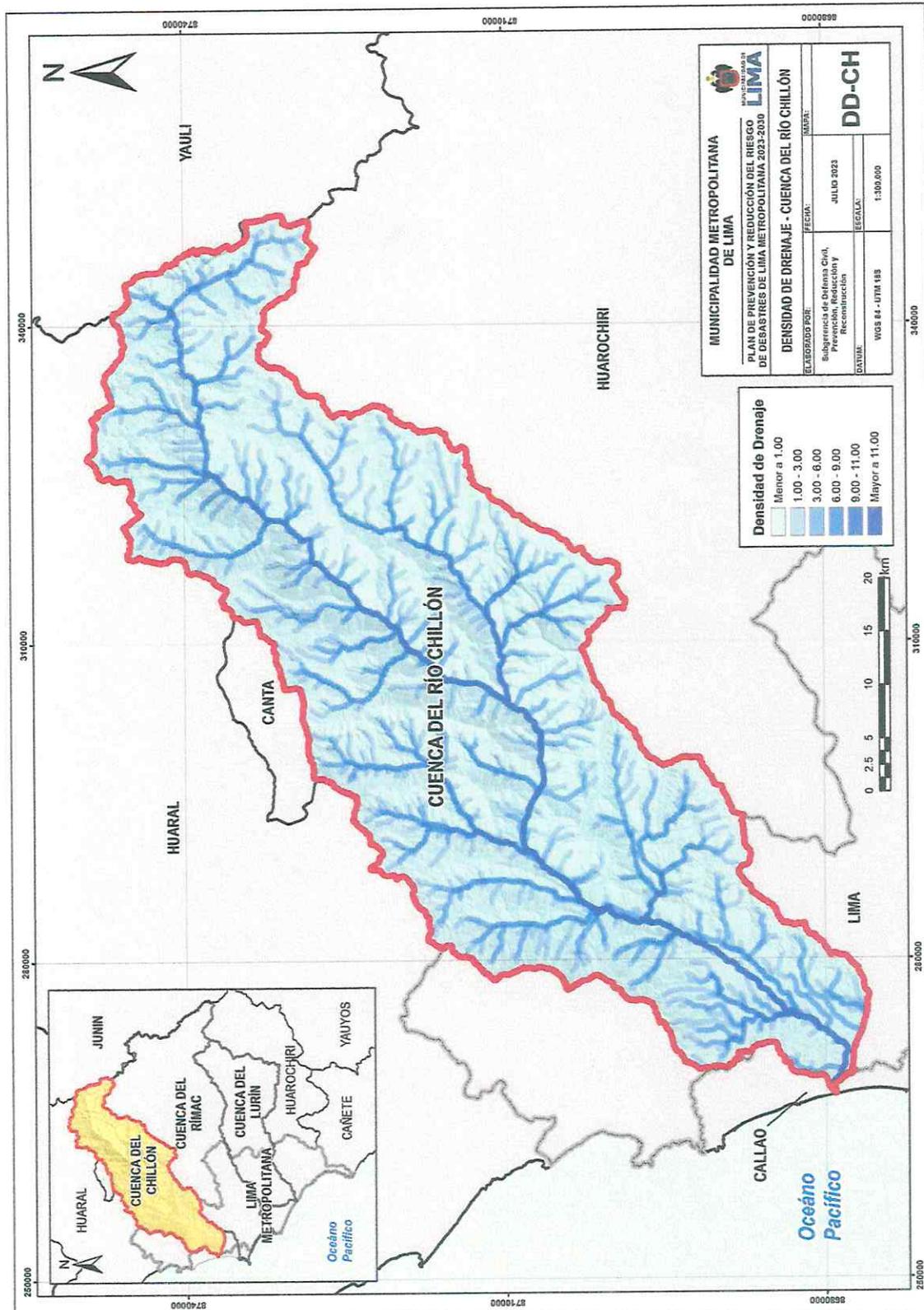
Mapa 3. Red de drenaje de la Cuenca del Chillón



Fuente: Equipo técnico SDCPRR

A partir de la red de drenaje y mediante el uso de los sistemas de información geográfica se ha generado el siguiente mapa de densidad de drenaje lo que nos muestra la cantidad de drenajes expresada en términos de longitud en la superficie de la cuenca del río Chillón, en unidades de área. Este mapa nos proporciona información sobre la distribución y la concentración de los cursos de agua en la cuenca, lo cual es relevante para comprender su capacidad de drenaje y su respuesta ante eventos de lluvia.

Mapa 4. Densidad de Drenaje de la Cuenca del Chillón

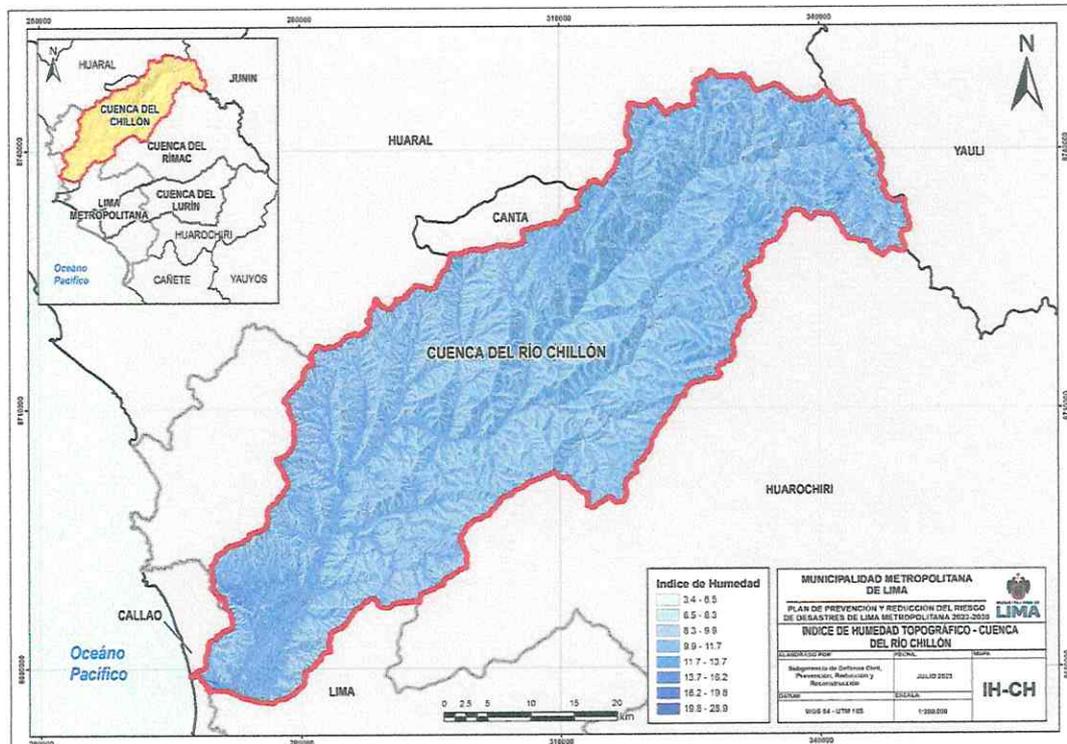


Fuente: Equipo técnico SDCPRR

4.1.4. Índice Topográfico de Humedad – TWI

El "Índice Topográfico de Humedad" (TWI, por sus siglas en inglés, Topographic Wetness Index) es una medida que evalúa la humedad del suelo en función de la topografía de un área determinada. Este índice relaciona la pendiente del terreno y la acumulación de flujo para estimar las condiciones de humedad en diferentes partes de una cuenca hidrográfica. El TWI es especialmente útil para identificar áreas propensas a la saturación del suelo y, por lo tanto, puede estar relacionado con la predicción de áreas expuestas a inundaciones.

Mapa 5. Índice Topográfico de Humedad de la cuenca del Chillón



Fuente: Equipo técnico SDCPRR

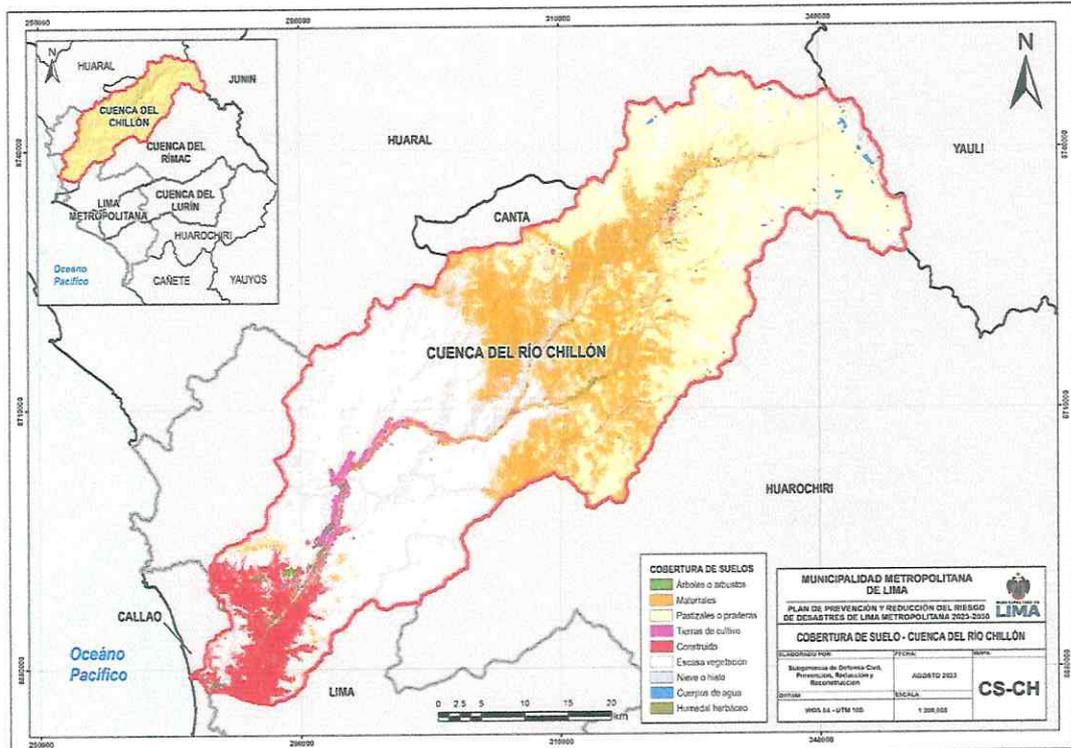
4.1.5. Escorrentía Superficial

El enfoque de curvas numéricas desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS-CN) de los Estados Unidos (Soil Conservation Service, 1972) se presenta como una herramienta altamente beneficiosa para la estimación del escurrimiento superficial (ES) en cuencas agrícolas de tamaño mediano. Este enfoque se basa en la previa evaluación de la capacidad máxima de retención de agua del suelo y la precipitación, lo que posibilita una estimación satisfactoriamente precisa del escurrimiento (Sánchez et al., 2003).

Según las afirmaciones de Rawls et al. (1993), el valor del número de curva (CN) en el método SCS-CN refleja las condiciones de infiltración del suelo, las prácticas de manejo agrícola, la condición previa de la lluvia y la cobertura del suelo, todos estos factores vinculados a los procesos de infiltración y escurrimiento. El CN varía en un rango de 0 a 100, siendo 100 para superficies impermeables y cuerpos de agua, mientras que en las superficies naturales es menor a 100 (Chow et al., 1994). Valores cercanos a 100 indican un mayor potencial de escurrimiento. Por su simplicidad de aplicación, incluso con un conocimiento básico de hidrología del suelo, el método SCS-CN se emplea en este estudio para estimar el escurrimiento superficial.

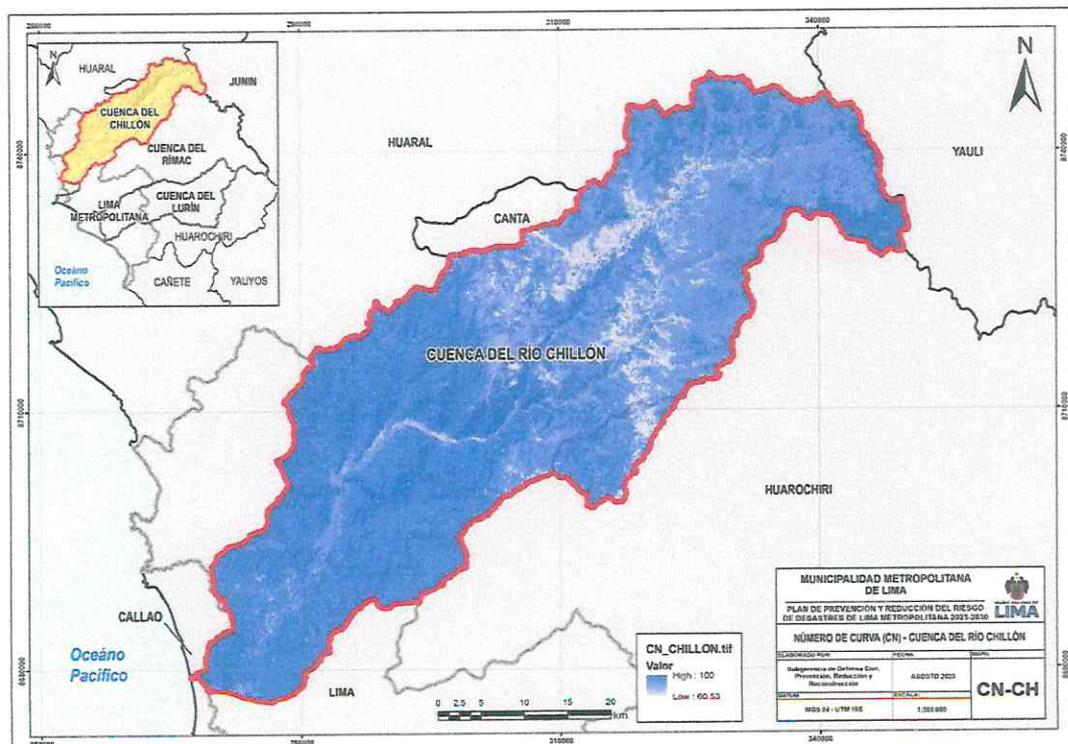
Para el cálculo del Número de Curva de la cuenca del Río Chillón se ha utilizado una capa de cobertura de suelo para lo cual se ha utilizado Google Earth Engine para obtener el Producto WorldCover 10 m de la Agencia Espacial Europea (ESA), el cual se muestra en el siguiente mapa:

Mapa 6. Cobertura de Suelos de la Cuenca Chillón



Fuente: Equipo técnico SDCPRR – Agencia Espacial Europea

Mapa 7. Número de Curva (CN) de la Cuenca del Chillón

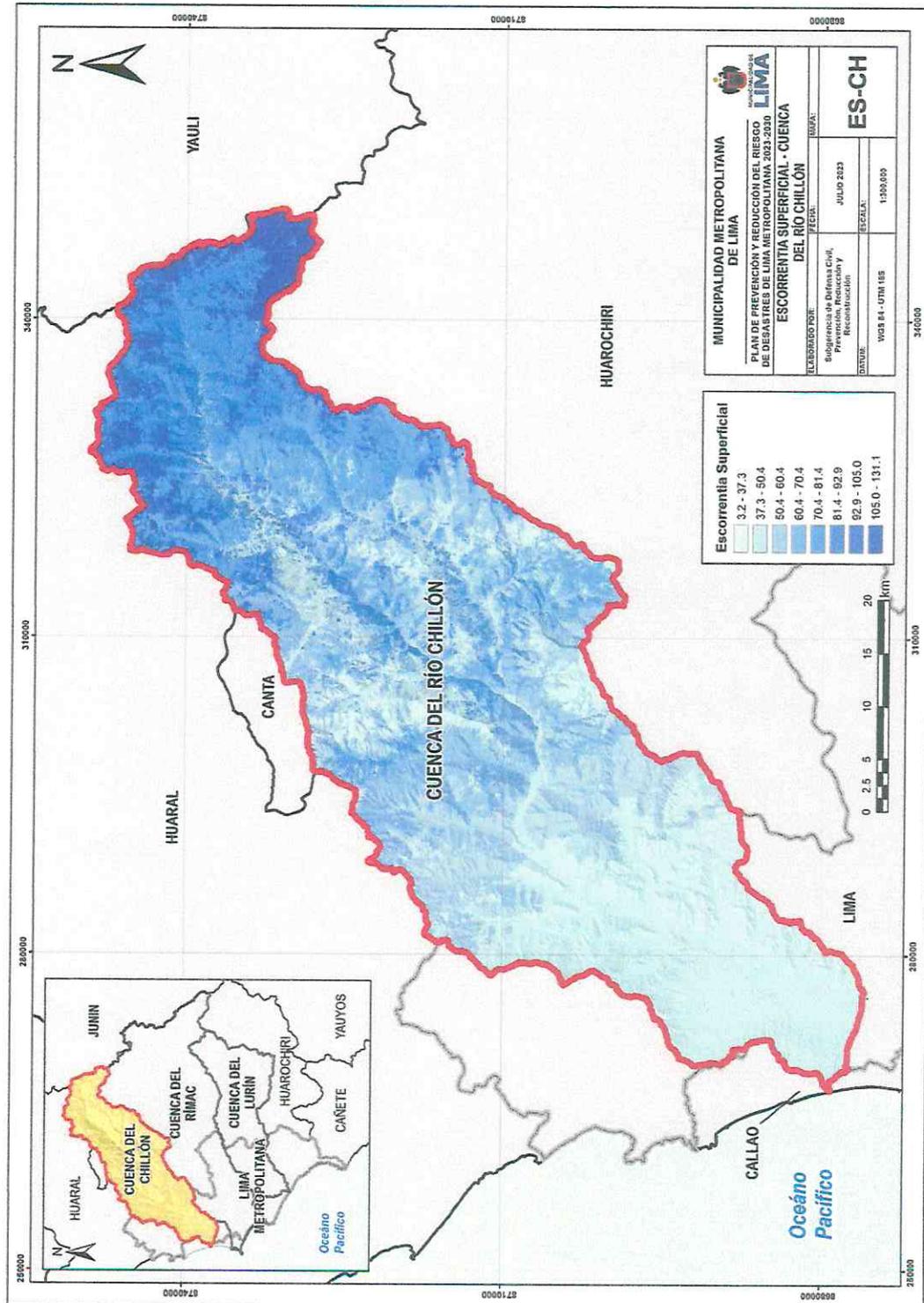


Fuente: Equipo técnico SDCPRR



La fórmula que rige el cálculo del escurrimiento superficial es la siguiente: $Q = (P - la)^2 / (P - la + S)$, donde Q representa la escorrentía superficial en milímetros, P es la precipitación correspondiente a un periodo de retorno (TR) en milímetros, S es la retención potencial máxima en milímetros, e la se calcula como 0.2 veces S. Para determinar el valor de S basado en el número de curva (CN), se utiliza la ecuación $S = (25400 / CN) - 254$.

Mapa 8. Escorrentía Superficial de la Cuenca del Chillón



4.1.6. Índice Diferencial de agua normalizado – NDWI

El Índice Diferencia de agua normalizado o "Normalized Difference Water Index" (NDWI) es un índice de vegetación que se utiliza para detectar y cuantificar la presencia y extensión de agua en superficies terrestres utilizando datos de imágenes satelitales o imágenes aéreas. El NDWI se basa en la diferencia normalizada entre las bandas espectrales en el rango del infrarrojo cercano (NIR) y el azul (BLUE) del espectro electromagnético. Es una herramienta valiosa para identificar cuerpos de agua, humedales y áreas inundadas en un paisaje.

En el contexto de cuencas hidrográficas y el análisis de peligro por inundaciones, el NDWI es relevante por varias razones:

- **Detección de áreas inundadas:** El NDWI permite identificar zonas que han sido inundadas, ya sea temporalmente debido a lluvias intensas o de manera permanente debido a la presencia de cuerpos de agua. La capacidad del NDWI para resaltar la presencia de agua lo convierte en una herramienta útil para monitorear las áreas que son propensas a inundaciones.
- **Modelización hidrológica:** Al utilizar datos satelitales que incluyen mediciones NDWI, es posible integrar esta información en modelos hidrológicos para simular cómo el agua fluye y se acumula en una cuenca durante eventos de lluvia. Esto permite una evaluación más precisa de cómo los patrones de inundación pueden cambiar en respuesta a diferentes condiciones climáticas.
- **Alerta temprana:** La capacidad del NDWI para detectar áreas inundadas puede ser utilizada en sistemas de alerta temprana de inundaciones. Cuando se detecta un aumento en el índice NDWI en un área específica, puede indicar la presencia de inundaciones en desarrollo, lo que permite a las autoridades tomar medidas de respuesta con antelación.
- **Planificación de manejo de inundaciones:** La información proporcionada por el NDWI puede ayudar en la planificación de medidas de manejo de inundaciones, como la identificación de áreas prioritarias para la construcción de infraestructuras de retención de agua, la mejora de los sistemas de drenaje y la zonificación de áreas inundables.

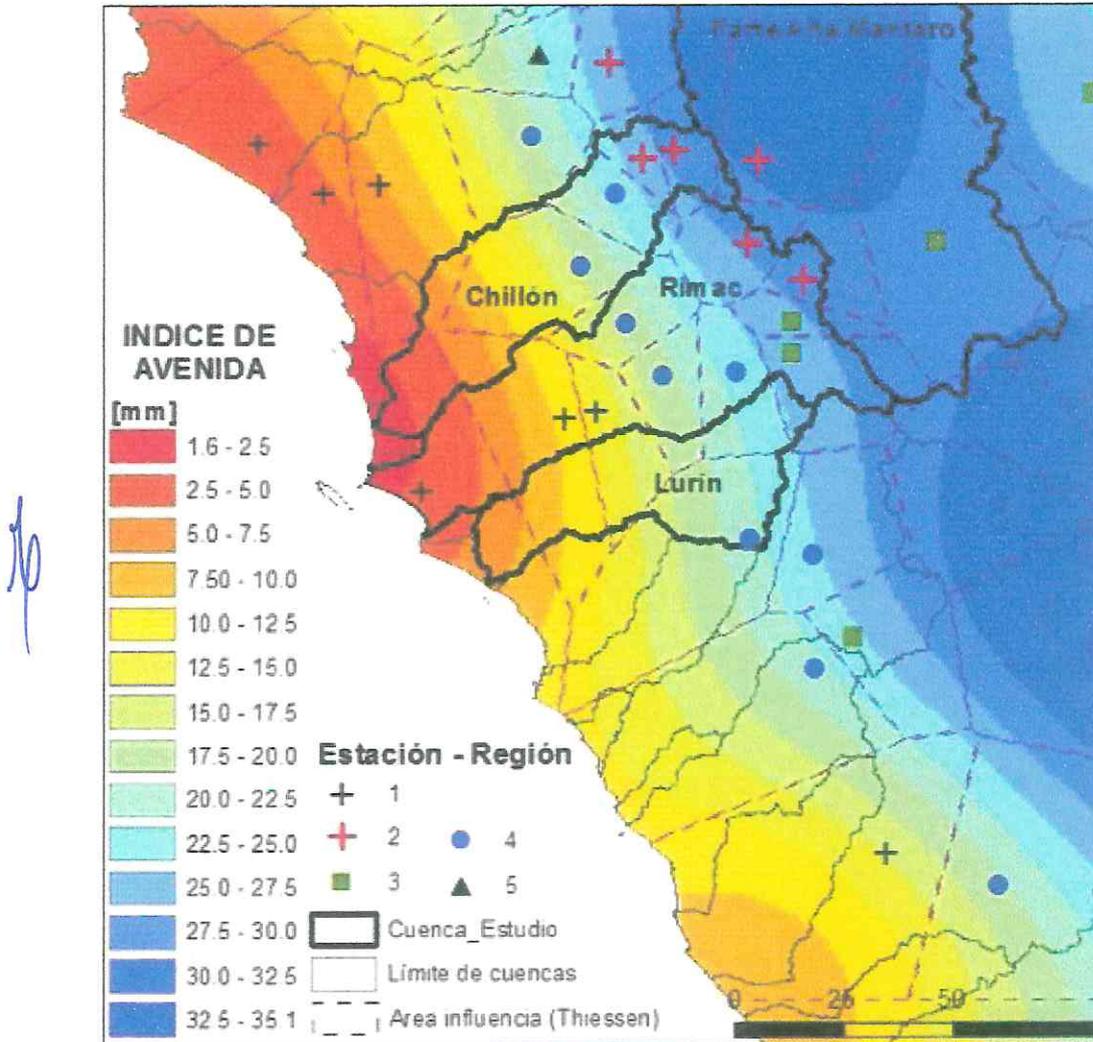
En resumen, el NDWI es un índice valioso para detectar y monitorear la presencia de agua en áreas terrestres, lo que tiene implicaciones importantes en el análisis de peligro por inundaciones. Permite identificar áreas inundadas, mejorar la modelización hidrológica, proporcionar alertas tempranas y respaldar la planificación de gestión de inundaciones en cuencas hidrográficas.

Para la generación del NDWI de la cuenca del Río Chillón se ha utilizado Google Earth Engine para acceder a imágenes Sentinel 2 y realizar el procesamiento de sus bandas espectrales y con ellos generar el NDWI, el cual se observa en el siguiente mapa:

4.1.7. Pricipitaciones máximas en 24 horas para un TR de 50 años

Los valores de precipitación máxima en 24 horas para un tiempo de retorno fueron obtenidos del documento denominado "Análisis Regional de Precipitaciones Máximas en las Cuencas Chillón, Rímac, Lurín y parte alta del Mantaro"⁴ elaborado por el SENAMHI, de donde en primera instancia se obtuvo los índices de avenida para la cuenca del Río Chillón como se observa en la siguiente figura:

Figura 3. Índice de Avenidas de la Cuenca del Río Chillón



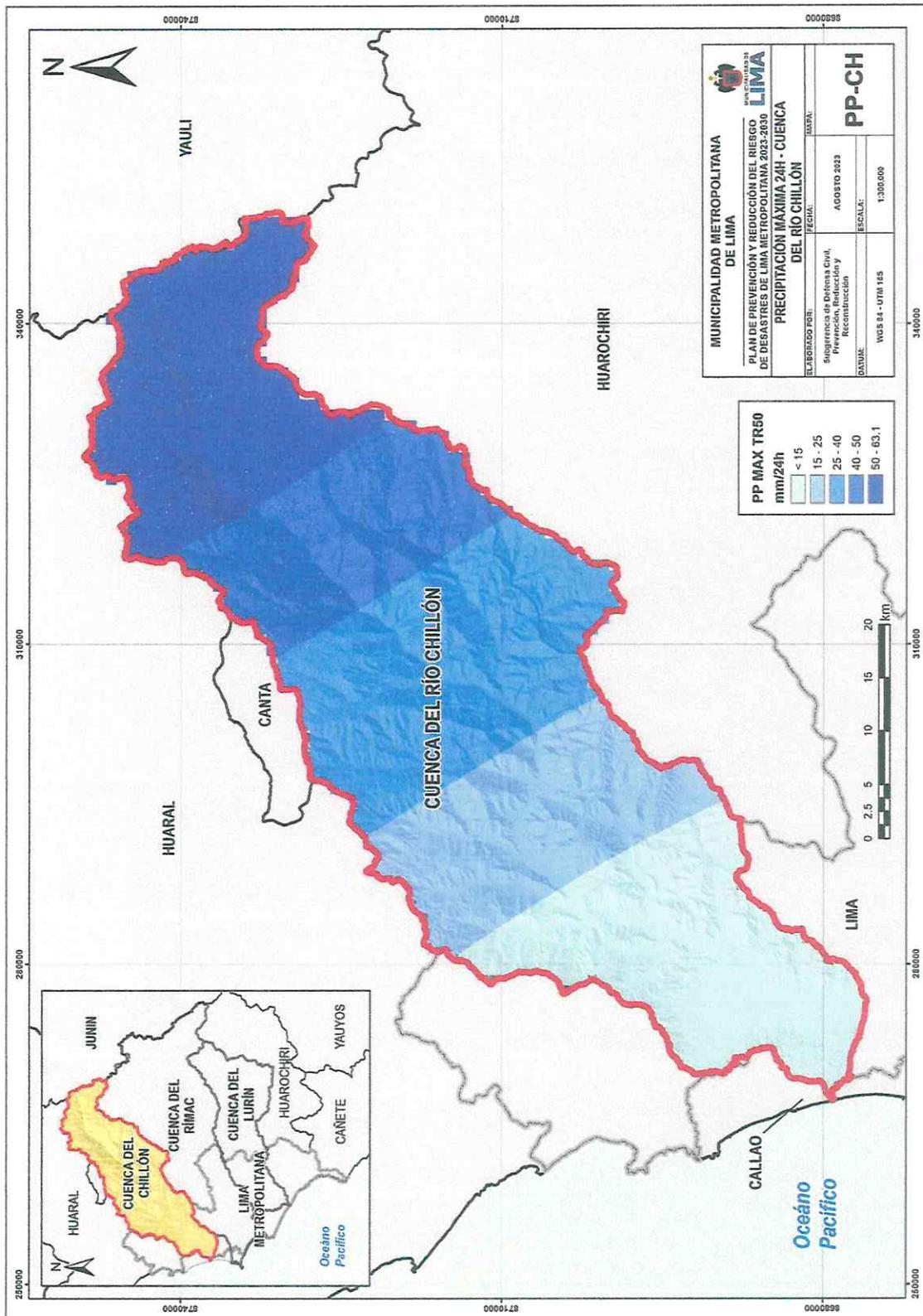
Fuente: SENAMHI

Posteriormente se ubicó el valor del cuantil para un TR de 50 años para el área predominante de la cuenca del Chillón el cual correspondió con 2.1026 con una probabilidad de no excedencia del 0.98. Posteriormente mediante el uso de los sistemas de información geográfica se obtuvo el producto del raster de índice de avenidas con el cuantil para el TR de 50 años obteniendo los valores de precipitación máximas para 24 horas.

⁴ <https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/433/An%C3%A1lisis-Regional-Precipitaciones-M%C3%A1ximas-Cuencas%20Chill%C3%B3n-R%C3%ADmac-Lur%C3%ADn-parte-alta-Mantaro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>



Mapa 10. Precipitaciones Máximas 24H - TR 50 Años

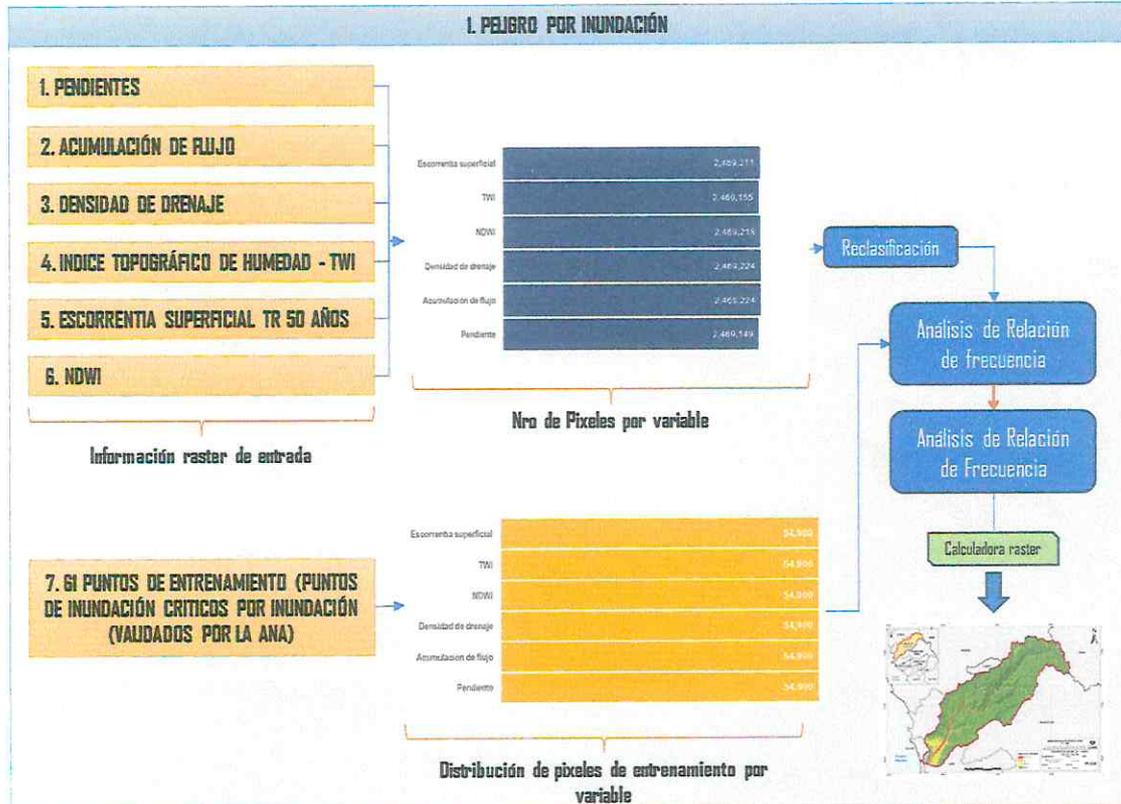


Fuente: Equipo técnico SDCPRR con datos de SENAMHI

4.2. Niveles de Peligro por Inundación

Para la determinación de los niveles de peligro por inundación se han empleado puntos de entrenamiento en formato vectorial (shapefile), estos puntos de entrenamiento corresponden a puntos de ocurrencia de inundaciones y puntos críticos por inundación fluvial validados por la Autoridad Nacional del Agua – ANA, la metodología se detalla en la siguiente figura:

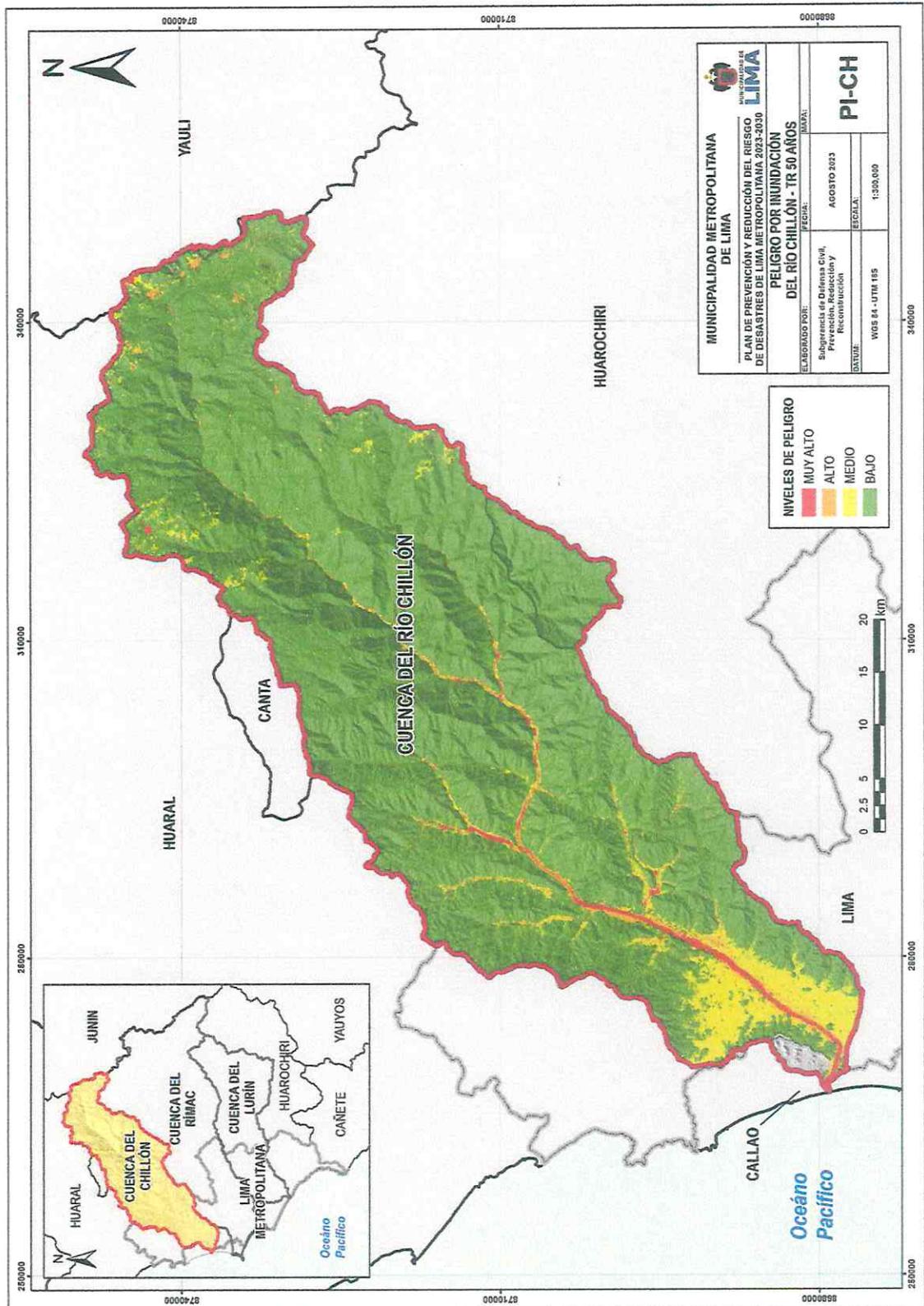
Figura 4. Proceso Metodológico para el cálculo de los niveles de peligro de inundación TR 50 años



Fuente: Adaptado de CENEPRED

Se realizó el procedimiento metodológico para la cuenca total del del río Chillón, obteniendo la zonificación de peligro por inundación en toda el área, los resultados obtenidos en primera instancia se validaron con la capa de de la faja marginal del río Chillón (delimitado por la Autoridad Nacional del Agua – ANA), capa de peligro por inundación del estudio “Caracterización del Peligro de Inundación en el Curso Inferior del Río Chillón, asociado a la ocurrencia de eventos extremos con fines de Alerta Temprana” elaborado por SENAMHI en 2021 y finalmente con áreas concurrentes de afectación por inundaciones, obteniéndose el mapa final de peligro por inundación en la cuenca del Chillón para un TR de 50 años y generándose posteriormente el mapa de peligro por Inundación del río Chillón en el ámbito de Lima Metropolitana que se muestran a continuación:

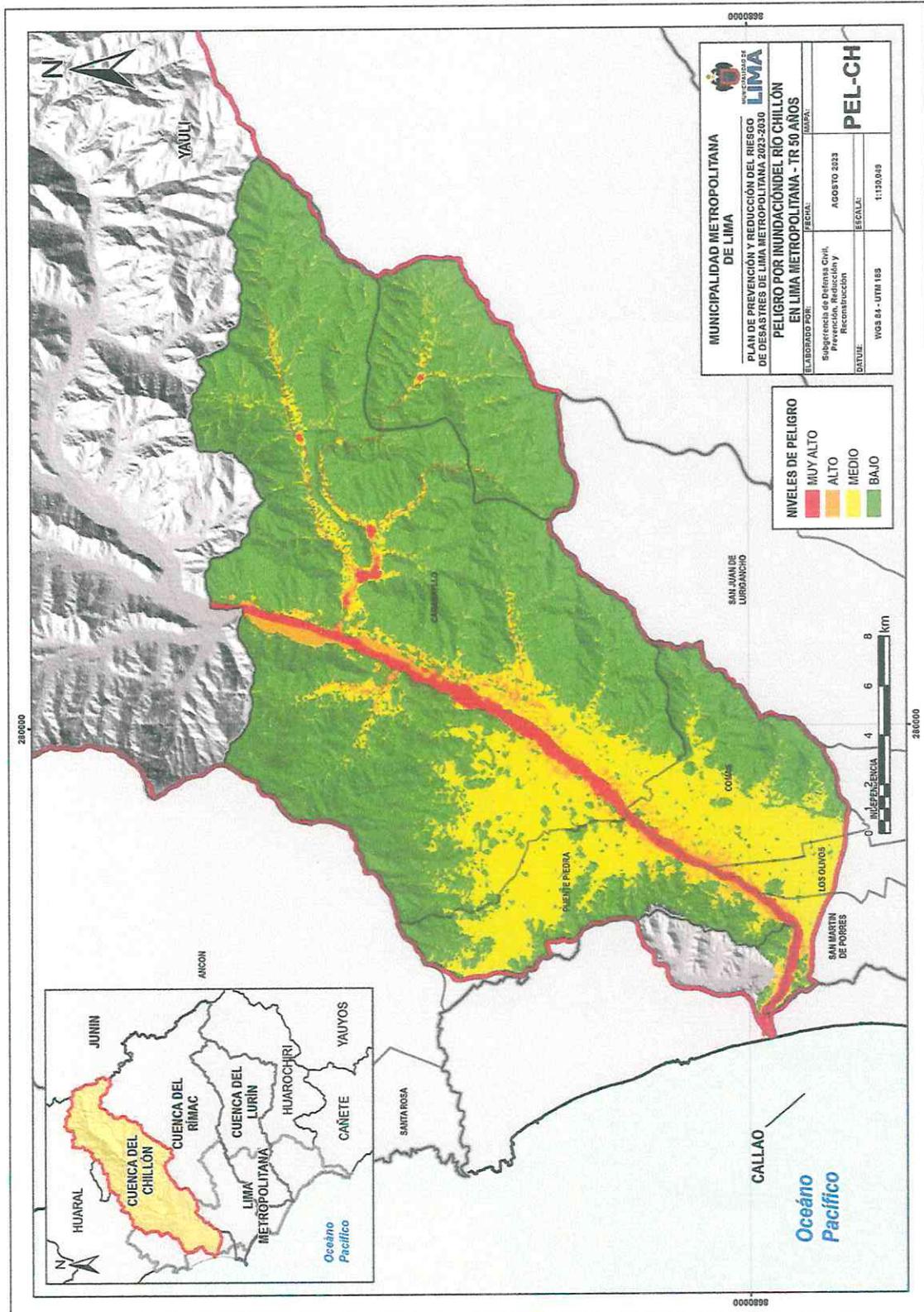
Mapa 11. Mapa de Peligro por Inundación de la Cuenca del Río Chillón



Handwritten signature in blue ink.

Fuente: Equipo técnico SDCPRR

Mapa 12. Mapa de Peligro por Inundación del Río Chillón en Lima Metropolitana



Fuente: Equipo técnico SDCPRR



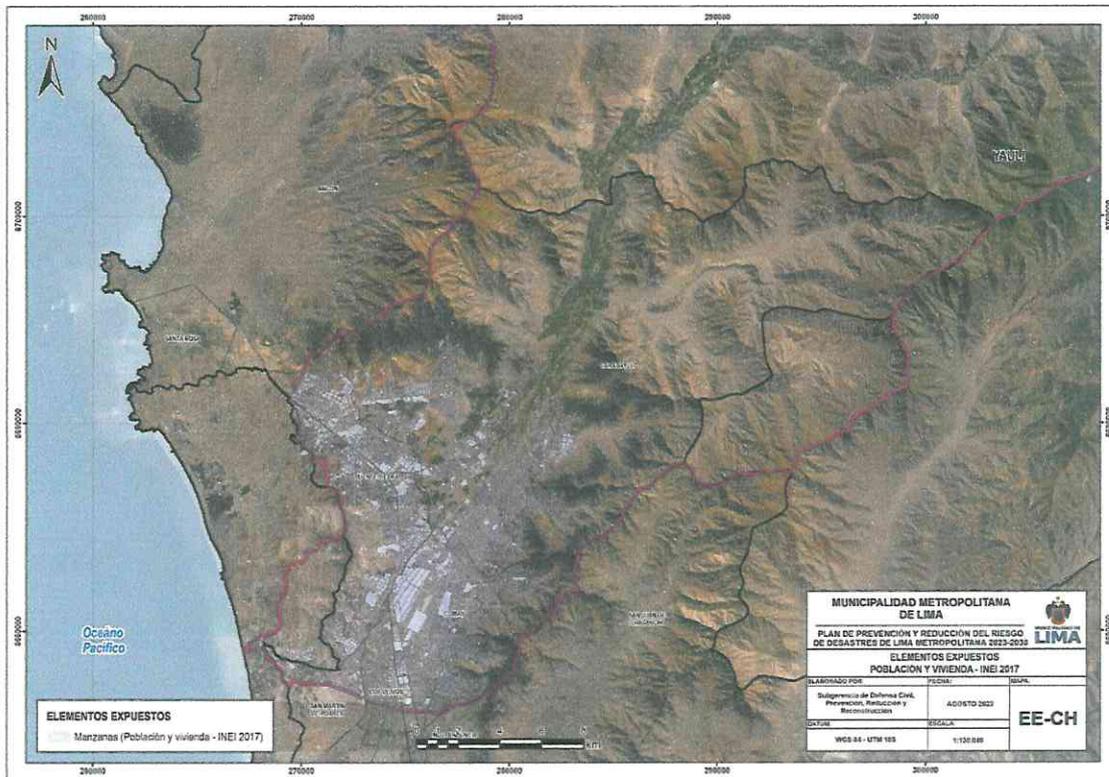
4.3. Identificación de elementos expuesto ante inundaciones fluviales

Para realizar este análisis se ha considerado como elementos expuestos: población, vivienda, superficie agrícola, establecimientos de salud e Instituciones Educativas. Para ello se ha utilizado la siguiente base de datos georeferenciada:

- Población y vivienda a nivel distrital del Censo de Población y Vivienda del año 2017, elaborado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).
- Establecimientos de salud del Registro Nacional de Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud (RENIPRESS) del Ministerio de Salud (MINSA), actualizada a abril 2023.
- Instituciones educativas del Ministerio de Educación (MINEDU), actualizada a abril 2023.
- Superficie agrícola a nivel distrital del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), del año 2018.

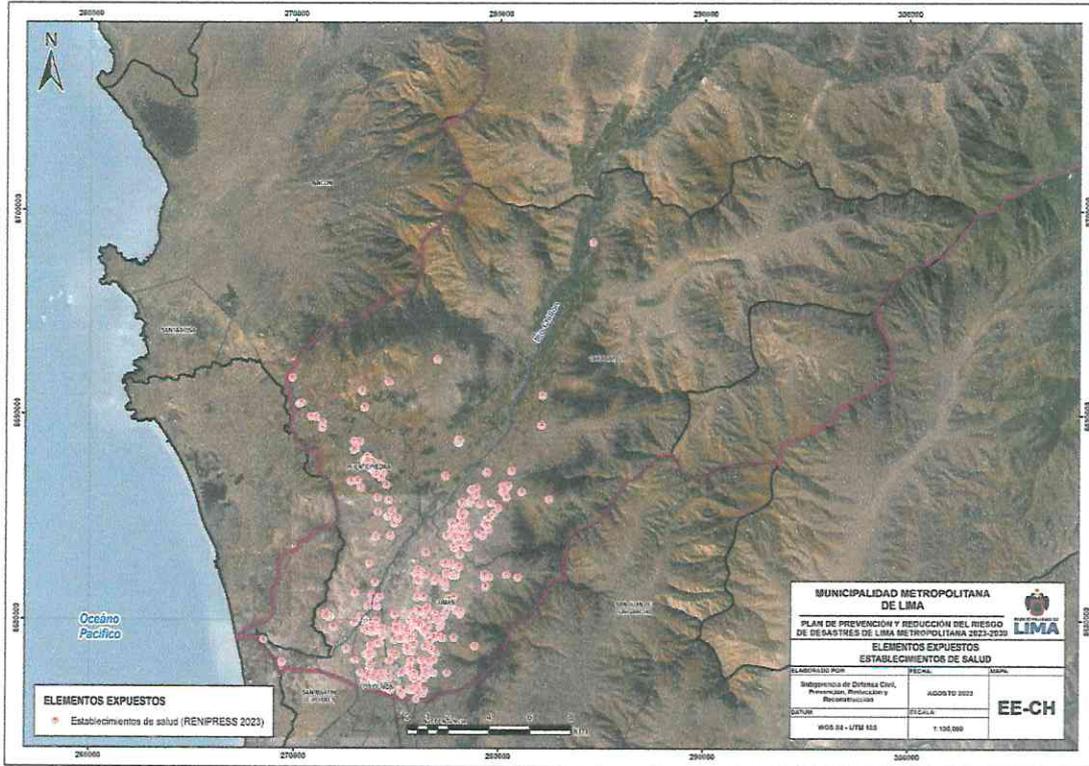
Mapa 13. Elementos Expuestos - Población y vivienda - INEI 2017

16



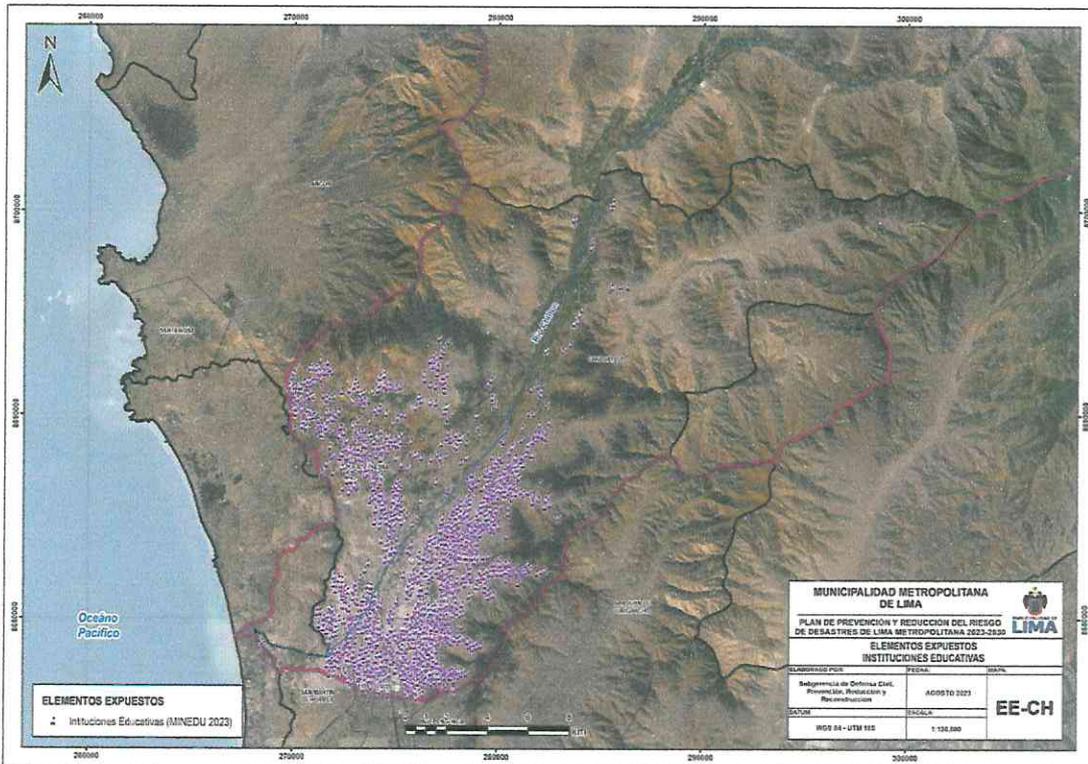
Fuente: Equipo técnico SDCPRR

Mapa 14. Elementos Expuestos – Establecimientos de Salud



Fuente: Equipo técnico SDCPRR

Mapa 15. Elementos Expuestos – Instituciones Educativas

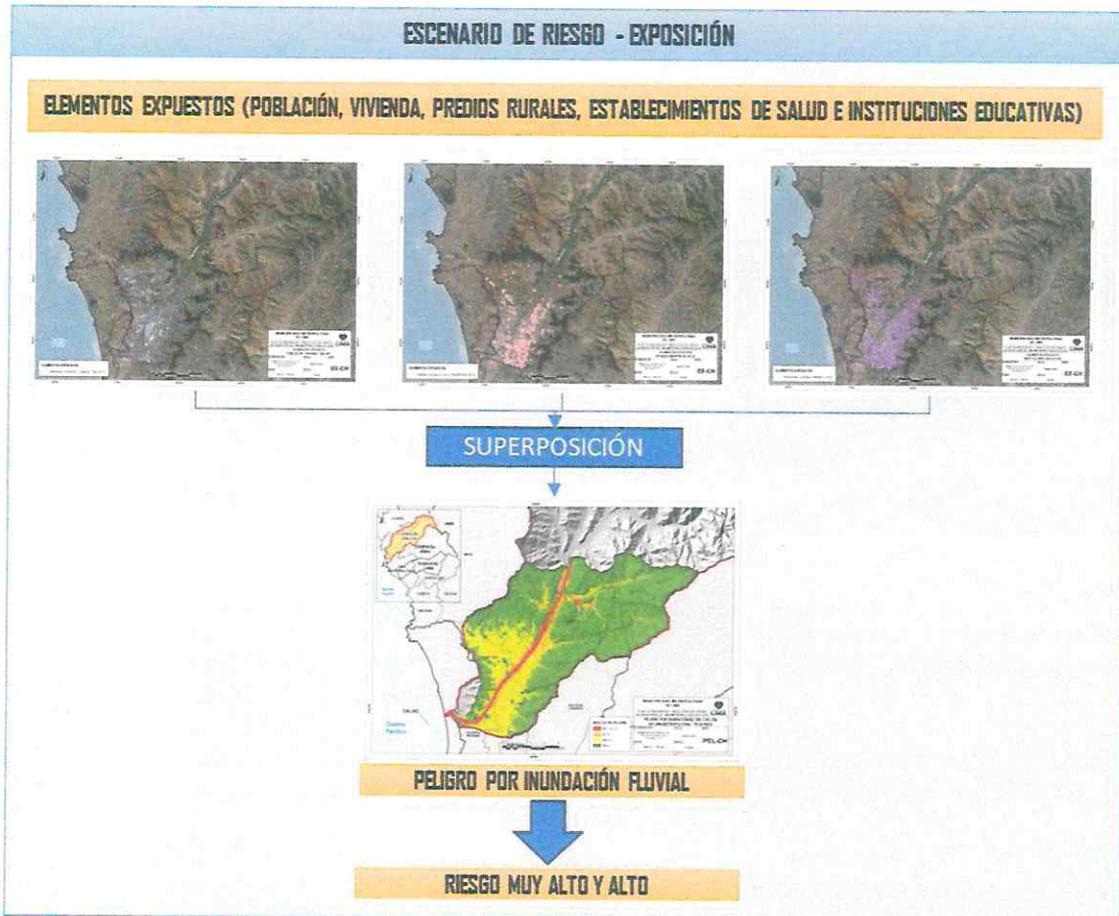


Fuente: Equipo técnico SDCPRR

4.4. Determinación del escenario de riesgo por Inundaciones fluviales ante lluvias asociadas al Fenómeno El Niño

Con la información geoespacial mencionada en el párrafo anterior, se realizó el análisis de exposición, superponiendo las capas georreferenciadas de los elementos expuestos ya identificados sobre las áreas de peligro por inundación fluvial, priorizando los niveles alto y muy alto, con la finalidad de identificar los posibles daños y/o pérdidas frente a la ocurrencia de inundaciones por desborde del río Chillón.

Figura 5. Procedimiento metodológico para el análisis de exposición



Fuente: Equipo técnico SDCPRR

Los resultados arrojan para la probabilidad de riesgo muy alto un total de 58 277 personas, 15 757 viviendas, 2 437.7 hectáreas de superficie agrícola, así como 5 establecimientos de salud y 79 instituciones educativas.

En cuanto a los resultados para la probabilidad de riesgo alto, un total de 82 162 personas, 24 110 viviendas, 1329.9 hectáreas de superficie agrícola, 7 establecimientos de salud y 88 instituciones educativas.

Los resultados se observan en la siguiente tabla:

Tabla 1. Riesgo Muy Alto y Alto ante inundaciones fluviales del Río Chillón

NIVEL DE RIESGO	Población	Viviendas	Superficie Agrícola (Ha)	Instituciones Educativas	Establecimientos de Salud
MUY ALTO	58277	15757	2437.723207	79	5
ALTO	82162	24110	1329.907237	88	7

Fuente: Equipo técnico SDCPRR

5. CONCLUSIONES

- De acuerdo al comunicado Oficial ENFEN N° 12-2023 (11.08.2023) El Niño costero (región Niño 1+2) continuará hasta el verano de 2024, como consecuencia de la alta probabilidad del desarrollo de El Niño en el Pacífico central. En este contexto, es necesaria la elaboración de estos escenarios que cuantifican los niveles de riesgo de los elementos expuestos a inundaciones generados por desbordes del río Chillón originados en el contexto de la presencia de "El Niño".
- Se han determinado los niveles de peligro por inundación basados en la metodología de ratio de frecuencia para inundaciones para el ámbito de la cuenca Chillón, se consideraron seis (06) variables relacionados a la morfología de la cuenca y se emplearon registros puntos críticos de inundación para la calibración del modelo, del mismo modo se validaron los resultados con la contrastación con información de registros de inundación y estudios específicos de inundación. Se emplearon como variables para la metodología la pendiente, flujo acumulado, densidad de drenaje, NDWI, TWI y Escorrentía superficial para un Tr = 50 años. Se zonificó el peligro en cuatro niveles correspondientes a Muy Alto, Alto, Medio y Bajo.
- Se ha identificado un total de 58 277 personas, 15 757 viviendas, 2 437.7 hectáreas de superficie agrícola, así como 5 establecimientos de salud y 79 instituciones educativas en nivel de riesgo **MUY ALTO** frente a inundaciones por desborde del Río Chillón en el ámbito de Lima Metropolitana.
- Se ha identificado un total de 82 162 personas, 24 110 viviendas, 1329.9 hectáreas de superficie agrícola, 7 establecimientos de salud y 88 instituciones educativas en un nivel de riesgo **ALTO** frente a inundaciones por desborde del Río Chillón en el ámbito de Lima Metropolitana.

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la utilización de los resultados del presente escenario de riesgo por inundación fluvial del Río Chillón en el ámbito de Lima Metropolitana en el contexto de la probable presencia de "El Niño" en la formulación de los planes específicos por procesos en Gestión del Riesgo de Desastres.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Boletín de Monitoreo de Condiciones Secas y Húmedas N° 03 SPI (índice Estandarizado de Precipitación), SENAMHI 2023.
- Boletín de Monitoreo de Lluvias en la cuenca de los Ríos Chillón, Rímac y Lurín "CHIRILU", SENAMHI 2023.
- Aviso Meteorológico asociado: N° 043-2023 Nivel Rojo "Costa Norte y Sierra, SENAMHI 2023.
- Informe N° 40-2023/SENAMHI-DMA-DHI, SENAMHI 2023
- Análisis Regional de Precipitaciones Máximas en las Cuencas Chillón, Rímac, Lurín y parte Alta del Mantaro, SENAMHI 2014



Jhon Kevin Chavez Rojas
GEÓGRAFO
CGP N° 530