

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE LETRAS Y CIENCIAS HUMANAS



IDENTIFICACIÓN ESPACIAL DE ZONAS VULNERABLES ANTE LLUVIAS  
EXTREMAS EN LIMA METROPOLITANA Y EL CALLAO, A PARTIR DE LOS  
IMPACTOS REPORTADOS POR LA INUSUAL LLUVIA DEL 15 DE ENERO DE  
1970 Y OTROS EVENTOS

Tesis para optar el título profesional en Geografía y Medio Ambiente

AUTOR:

GIANELLA MINELLY GUILLÉN FERNÁNDEZ

ASESOR:

FEY YAMINA SILVA VIDAL DE MILLONES, PH.D.

LIMA, JULIO, 2018

## Agradecimientos

A Dios, por permitirme culminar este preciado trabajo.

A mi asesora, Yamina Silva, gracias por la entrega, compromiso y por todo lo que he podido aprender en este proceso, tanto como profesional y ser humano.

A mi mamá, Elena Fernández, por haberme apoyado en toda esta etapa.

A Lucy Giráldez, Grace Transmonte y Luis Suarez, grandes investigadores, por haberme apoyado en las primeras etapas de la investigación.

Al señor Pedro Ríos, gran meteorólogo, por haberme facilitado 45 años de data y esfuerzo diario.

Al profesor Martín Timaná, quien corrigió mis avances con mucha dedicación y por haberme presentado al Maxent.

A Martha Bell, por las correcciones y sugerencias para mejorar la investigación.

A Sofía Castro, por el interés hacia mi tesis y por las facilidades para desarrollar mi investigación.

A Miki Tomey y Braulio Quispe por haberme impulsado a concretar esta etapa.

A Jonathan Asmat, gracias por el apoyo en la salida de campo, a las muchas ayudas que recurrí a tu persona y por el impulso que me ayudó a concretar la investigación.

A Luis Velazco, gracias por la cámara y apoyo en la salida de campo.

A Clara Callalle y María Giraldo, incondicionales amigas geógrafas.

Al proyecto “Variabilidad y tendencias climáticas en la ciudad de Lima Metropolitana” código 2014-0056, cuyos resultados permitieron enfocar el presente tema de tesis.

Al PADET, por incentivar el desarrollo de mi investigación y por las recomendaciones para mejorarla.

A todos quienes formaron parte del proceso, brindando su respaldo y tiempo con la mejor disposición. ¡Gracias!

## Resumen

La ciudad de Lima, a partir de la década de los 80's, ha venido experimentando un crecimiento urbano exponencial y desordenado, estas condiciones y la falta de seguridad en las construcciones de viviendas incrementan la vulnerabilidad frente a diversos peligros como terremotos, incendios, tsunamis y también frente a lluvias, siendo estas últimas poco estudiadas y no por ello menos importantes.

El presente estudio busca implementar nuevas herramientas y métodos para realizar un modelamiento espacial que nos permita identificar las zonas más vulnerables frente a una lluvia extrema en Lima Metropolitana, así también, identificar la tipología predominante de las viviendas en zonas más vulnerables.

Esta investigación utiliza como principal fuente, reportes históricos de una de las lluvias atípicas más catastróficas que ha ocurrido en Lima, la del 15 de enero de 1970 coloquialmente conocida como el “diluvio setentero”, quedando así la ciudad en condiciones críticas. Desde entonces no ha vuelto a ocurrir una lluvia de similar magnitud, pudiendo ser el evento del siglo; lo que significa que volverá a ocurrir y por ello, se deben tomar las medidas de prevención necesarias. No se debe subestimar la fuerza erosiva del agua, siendo que vivimos en una ciudad sin infraestructura para la evacuación del agua y con viviendas poco estructuradas para este tipo de eventos.

Para entender las zonas más vulnerables, identificar los patrones y características de estos espacios, se utilizó el programa Maxent y un conjunto de herramientas de análisis espacial, como los sistemas de información geográfica. Se complementó el análisis con un registro fotográfico para corroborar los resultados.

Esta investigación contribuirá como una línea de base a los tomadores de decisiones y sugerirá algunas acciones para prevenir los impactos de las lluvias intensas en la ciudad capital.

Los resultados indican que la vulnerabilidad se presenta en la mayoría de las periferias de Lima Metropolitana y el Callao, así como, en los distritos de tradición histórica. La tipología de viviendas que predomina en las zonas vulnerables corresponde en su mayoría a viviendas de techo y pared de adobe cuya forma de techo es plana.

## Resume

The city of Lima, since the 80's, has been experiencing an exponential and disorganized urban growth. These conditions and the lack of security in housing constructions increase vulnerability to various hazards such as earthquakes, fires, tsunamis and rains. These rains are little studied but not least important.

The present study searches to implement new tools and methods to perform a spatial modeling that allows us to identify the most vulnerable areas in the face of extreme rain in Metropolitan Lima, in the same way to identify the predominant type of housing in the most vulnerable areas.

This research uses as main source, reports the historical one of the most catastrophic atypical rains that has occurred in Lima, on January 15, 1970, colloquially known as the "diluvio setentero", thus leaving the city in critical conditions. Since then, there has not been a rain of similar magnitude again, which could be the event of the century; which means that it will happen again. Therefore, the necessary prevention measures must be taken. The erosive force of water should not be underestimated, in face that we live in a city without infrastructure for water evacuation and with poorly structured housing for this type of event.

To understand the most vulnerable areas, to identify the patterns and characteristics of these spaces, we used the program called Maxent and a set of spatial analysis tools, such as geographic information systems. The analysis was complemented with a photographic record to corroborate the results.

This investigation will contribute as a baseline to the decision makers and suggest some actions to prevent the impacts of heavy rains in the capital city.

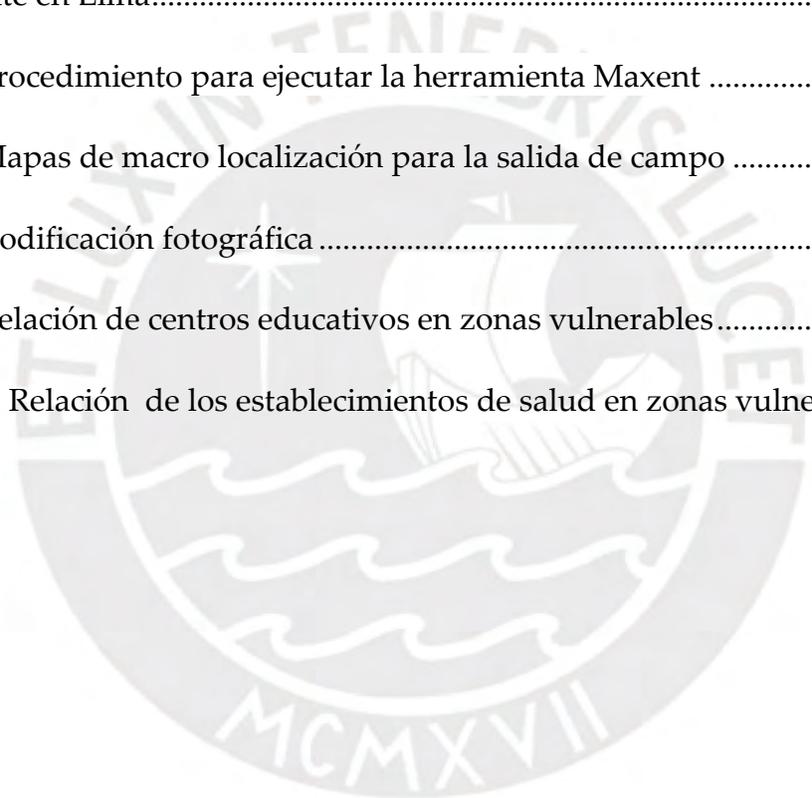
The results indicate that the vulnerability is present in most of the peripheries of Metropolitan Lima and Callao, as well as in the districts of historical tradition. The typology of dwellings that predominates in the vulnerable zones corresponds in its majority to dwellings of roof and adobe wall whose roof form is flat.

## ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE MAPAS .....	X
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS .....	XII
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XIV
LISTA DE SIGLAS.....	XV
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Planteamiento del problema .....	2
1.2 Justificación.....	5
1.3 Preguntas de investigación .....	6
1.4 Objetivos .....	6
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>8</b>
2.1 Los cambios en la atmósfera que modifican el ambiente .....	8
2.2 El rol de El Niño en las costas peruanas.....	10
2.3 Conceptos que giran en torno a la comprensión de los desastres .....	13
2.4 Modelo de máxima entropía para identificar la distribución de la vulnerabilidad (MAXENT).....	20
2.5 Antecedentes .....	24
<b>3 ÁREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>27</b>

3.1 Caracterización climática.....	27
3.2 ¿Por qué no es usual que llueva en Lima? .....	28
3.3 Características socio-económicas y vulnerabilidad física en Lima Metropolitana y el Callao.....	31
<b>4. ASPECTOS METODOLÓGICOS Y DATOS.....</b>	<b>40</b>
4.1 Información histórica sobre el evento.....	41
4.2 Datos climáticos .....	42
4.3 Análisis de vulnerabilidad física .....	46
4.4 Localización e identificación de establecimientos de salud y centros educativos en zonas vulnerables .....	52
4.5 Reporte fotográfico de las zonas físicamente más vulnerables.....	56
<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>63</b>
5.1 Revisión histórica del evento .....	63
5.2 Caracterización de los eventos lluviosos en Lima .....	68
5.3 Relación entre la TSM y la lluvia del 15 de enero de 1970.....	78
5.4 Modelamiento de zonas afectadas por lluvias .....	82
5.5 Establecimientos de salud y centros educativos en zonas vulnerables .....	87
5.6 Reporte fotográfico.....	90
<b>6. DISCUSIÓN.....</b>	<b>101</b>
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>108</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>111</b>

<b>9. ANEXOS.....</b>	<b>118</b>
ANEXO 1: Lista de Los Índices Climáticos básicos para RClindex .....	118
ANEXO 2: Definición de los diferentes tipos de vulnerabilidad.....	121
ANEXO 3: Puntos de ocurrencia a partir de reportes de noticias .....	122
ANEXO 4: Variables predictoras utilizados en el modelamiento .....	123
ANEXO 5: Resúmenes de los eventos lluviosos significativos registrados históricamente en Lima.....	125
ANEXO 6: Procedimiento para ejecutar la herramienta Maxent .....	126
ANEXO 7: Mapas de macro localización para la salida de campo .....	129
ANEXO 8: Codificación fotográfica .....	136
ANEXO 9: Relación de centros educativos en zonas vulnerables.....	143
ANEXO 10: Relación de los establecimientos de salud en zonas vulnerables .....	147



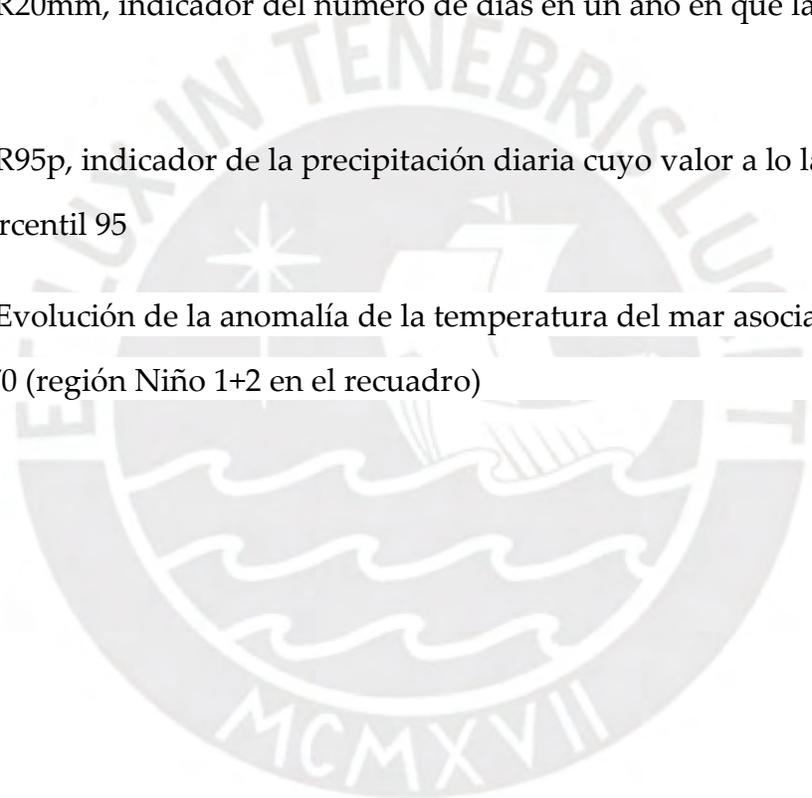
## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1:</b> Interpretación del AUC	23
<b>Tabla 4.1:</b> Definición de los índices a utilizar en RClimdex	43
<b>Tabla 5. 1:</b> Resumen de la lluvia de 1970	63
<b>Tabla 5.2:</b> Índice del Niño Oceánico (ONI) y sus categorías	79
<b>Tabla 5.3:</b> Eventos El Niño Costero	81
<b>Tabla 5.4:</b> Distribución de la vulnerabilidad en Lima Metropolitana y el Callao	85
<b>Tabla 5.5:</b> Establecimientos de Salud seleccionados para la salida de campo	88
<b>Tabla 5.6:</b> Sistematización de fotografías	91
<b>Tabla 6.1:</b> Variables usadas para el modelamiento en Maxent	102
<b>Tabla 9.1:</b> Coordenadas de los puntos de ocurrencia	122

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1:</b> Regiones El Niño	11
<b>Figura 2.2:</b> Definiciones	17
<b>Figura 4.1:</b> Jackknife para las variables en estudio	49
<b>Figura 4.2:</b> Resultado preliminar del modelamiento	50
<b>Figura 4.3:</b> Evaluación del modelamiento	51
<b>Figura 4.4:</b> Categorías de los establecimientos de salud	56
<b>Figura 5.1:</b> Climatología mensual de la precipitación en Lima Metropolitana y el Callao	69
<b>Figura 5.2:</b> Climatología mensual de la temperatura máxima del aire en Lima Metropolitana y el Callao	70
<b>Figura 5.3:</b> Climatología mensual de la temperatura mínima en Lima Metropolitana	71
<b>Figura 5.4:</b> Diagrama de cajas de precipitación (mm), que representa la variabilidad interanual de precipitación en Lima Metropolitana	72
<b>Figura 5.5:</b> Diagrama de cajas de temperatura máxima del aire (°C), que representa la variabilidad interanual en Lima Metropolitana	73
<b>Figura 5.6:</b> Diagrama de cajas de temperatura mínima del aire (°C), que representa la variabilidad interanual en Lima Metropolitana	73

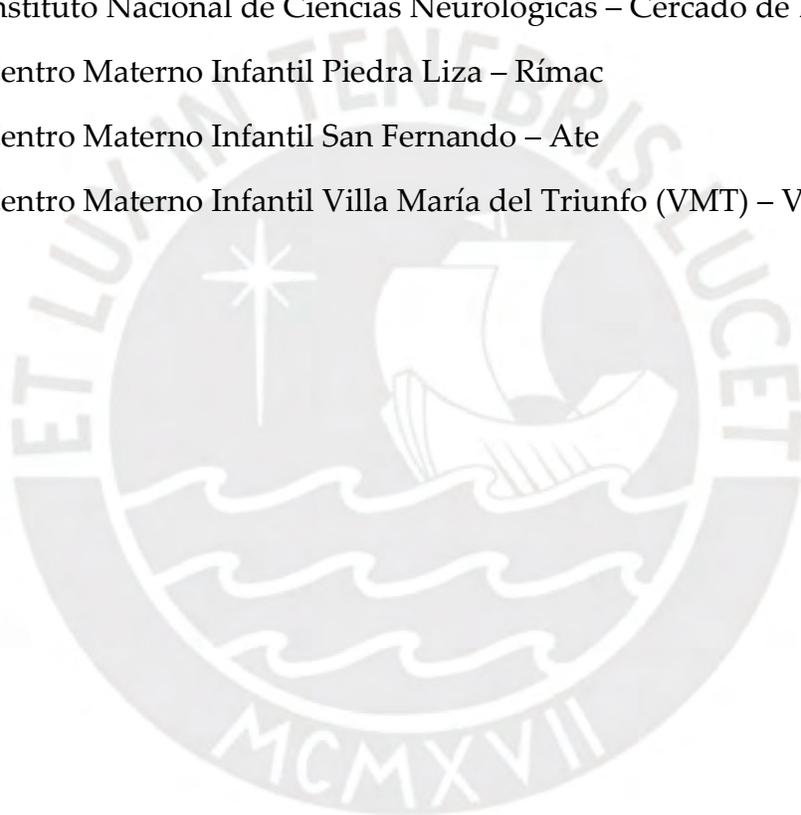
<b>Figura 5.7:</b> Rx1 Day, indicador del máximo mensual de precipitación en 1 día en milímetros (mm)	74
<b>Figura 5.8:</b> Rx5 Day, indicador del máximo mensual de precipitación en 5 días consecutivos en milímetros (mm)	75
<b>Figura 5.9:</b> R10mm, indicador del número de días en un año en que la precipitación en > 10 mm	76
<b>Figura 5.10:</b> R20mm, indicador del número de días en un año en que la precipitación es > 20 mm	77
<b>Figura 5.11:</b> R95p, indicador de la precipitación diaria cuyo valor a lo largo del año supera el percentil 95	78
<b>Figura 5.12:</b> Evolución de la anomalía de la temperatura del mar asociado al ICEN. Enero de 1970 (región Niño 1+2 en el recuadro)	80



## ÍNDICE DE MAPAS

<b>Mapa 3.1:</b> Localización del área de estudio	27
<b>Mapa 3.2:</b> Cobertura Vegetal en Lima Metropolitana y el Callao	30
<b>Mapa 3.3:</b> Pobreza y vulnerabilidad física en Lima Moderna	33
<b>Mapa 3.4:</b> Pobreza y vulnerabilidad física en Lima Norte	34
<b>Mapa 3.5:</b> Pobreza y vulnerabilidad física en Lima Sur	35
<b>Mapa 3.6:</b> Pobreza y vulnerabilidad física en Lima Este	36
<b>Mapa 3.7:</b> Pobreza y vulnerabilidad física en Lima Centro	37
<b>Mapa 3.8:</b> Pobreza y vulnerabilidad física en Callao	38
<b>Mapa 5.1:</b> Escenario de afectación ante una lluvia de magnitudes similares a las de 1970-Lima Metropolitana.	83
<b>Mapa 9.1:</b> Puntos de ocurrencia	122
<b>Mapa 9.2:</b> Pendiente	123
<b>Mapa 9.3:</b> Piso de Madera	123
<b>Mapa 9.4:</b> Piso de loseta	123
<b>Mapa 9.5:</b> Pared de adobe	124
<b>Mapa 9.6:</b> Pared de quincha	124
<b>Mapa 9.7:</b> Techo de Madera	124
<b>Mapa 9.8:</b> Vivienda en vecindad	124

<b>Mapa 9.9:</b> Zona Norte	129
<b>Mapa 9.10:</b> Zona Centro	130
<b>Mapa 9.11:</b> Zona Este	131
<b>Mapa 9.12:</b> Zona Sur	131
<b>Mapa 9.13:</b> Centro de Salud Villa Los Reyes – Ventanilla	132
<b>Mapa 9.14:</b> CLAS Juan Pablo Segundo – Los Olivos	132
<b>Mapa 9.15:</b> Hospital Nacional Dos de Mayo – Cercado de Lima	133
<b>Mapa 9.16:</b> Instituto Nacional de Ciencias Neurológicas – Cercado de Lima	133
<b>Mapa 9.17:</b> Centro Materno Infantil Piedra Liza – Rímac	134
<b>Mapa 9.18:</b> Centro Materno Infantil San Fernando – Ate	134
<b>Mapa 9.19:</b> Centro Materno Infantil Villa María del Triunfo (VMT) – VMT	135



## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

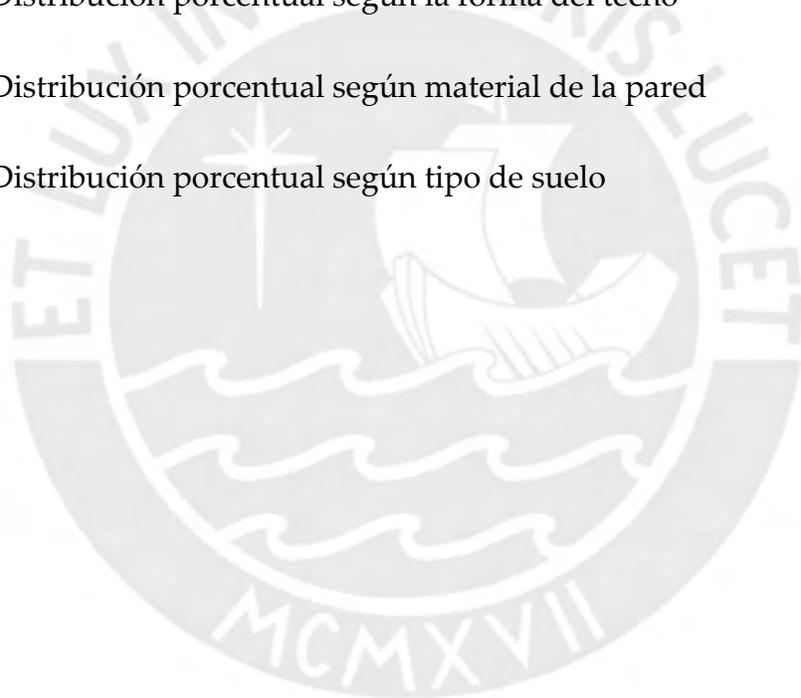
<b>Foto 5.1:</b> Titular del diario El Comercio que evidencia la gran magnitud de la lluvia del 15 de enero de 1970	64
<b>Foto 5.2:</b> Colectas que tuvieron lugar dadas las graves consecuencias de lluvia de 1970	65
<b>Foto 5.3:</b> Movilización de los Ministerios para apoyar a los damnificados	65
<b>Foto 5.4:</b> Interrupciones eléctricas como consecuencia de la lluvia	66
<b>Foto 5.5:</b> Bomberos del Callao brindaron apoyo atendiendo a los damnificados del 15 de enero	66
<b>Foto 5.6:</b> Callao - Ventanilla, Marzo 2018	90
<b>Foto 5.7:</b> Centro Materno Infantil Villa María del Triunfo – 1	95
<b>Foto 5.8:</b> Centro Materno Infantil Villa María del Triunfo – 2	96
<b>Foto 5.9:</b> Centro Materno Infantil Villa María del Triunfo – 3	96
<b>Foto 5.10:</b> Centro Materno Infantil Piedra Liza – Rímac	97
<b>Foto 5.11:</b> Centro Materno Infantil San Fernando – El Agustino 1	97
<b>Foto 5.12:</b> Centro Materno Infantil San Fernando – El Agustino 2	98
<b>Foto 5.13:</b> Antiguo Centro Materno Infantil Juan Pablo II – Los Olivos 1	99
<b>Foto 5.14:</b> Antiguo Centro Materno Infantil Juan Pablo II – Los Olivos 2	99
<b>Foto 5.15:</b> Nuevo Centro Materno Infantil Juan Pablo II – Los Olivos 2	100
<b>Foto 6.1:</b> Mejoramiento de vivienda – Los Olivos	105
<b>Foto 6.2:</b> Mejoramiento de vivienda – Los Olivos	105
<b>Foto 6.3:</b> Mejoramiento de vivienda – Ventanilla	106

<b>Fotos 9.1:</b> Callao - Ventanilla, Marzo 2018	136
<b>Fotos 9.2:</b> Lima- Lima (Barrios Altos), Marzo 2018	137
<b>Fotos 9.3:</b> Lima – Villa María del Triunfo, Marzo 2018	138
<b>Fotos 9.4:</b> Lima – Cercado de Lima, Marzo 2018	139
<b>Fotos 9.5:</b> Lima – Los Olivos, Marzo 2018	140
<b>Fotos 9.6:</b> Lima – Rímac, Marzo 2018	141



## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 5.1:</b> Distribución de la vulnerabilidad alta y muy alta por distritos	86
<b>Gráfico 5.2:</b> Establecimientos de salud en zonas vulnerables	87
<b>Gráfico 5.3:</b> Promedio de personas en centros educativos vulnerables	89
<b>Gráfico 5.4:</b> Tipología de viviendas	92
<b>Gráfico 5.5:</b> Distribución porcentual según material del techo	92
<b>Gráfico 5.6:</b> Distribución porcentual según la forma del techo	93
<b>Gráfico 5.7:</b> Distribución porcentual según material de la pared	93
<b>Gráfico 5.8:</b> Distribución porcentual según tipo de suelo	94



## LISTA DE SIGLAS

ATSM	Anomalía de la Temperatura Superficial del Mar
CLIVAR	Climate Variability and Predictability
ENFEN	Estudio Nacional del Fenómeno El Niño
EIRD	Estrategia Internacional de Reducción de Desastres
IGP	Instituto Geofísico del Perú
INDECI	Instituto Nacional de Defensa Civil
IPCC	Panel Intergubernamental para el Cambio Climático
MAXENT	Máxima Entropía
MINAM	Ministerio del Ambiente
MINEDU	Ministerio de Educación
MINSA	Ministerio de Salud
NCEP	National Center for environmental prediction
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
ONI	Oceanic Niño Index
OSINFOR Silvestre	Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PREDES	Centro de Estudios y Prevención de Desastres
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
SISFHO	Sistema de Focalización de Hogares
TSM	Temperatura Superficial del Mar
WCRP	World Climate Research Programme

## 1. INTRODUCCIÓN

Los seres vivos nos desarrollamos dentro de una capa de vida denominada biosfera, de la cual forma parte la atmósfera, en ella se desarrollan diversos procesos que modifican las condiciones del tiempo. Por ejemplo, una atmósfera inestable puede desencadenar precipitaciones, que son el resultado de la interacción de flujos de materia y energía (Strahler & Strahler, 1994).

La existencia de la atmósfera es vital para la vida pues sin ella no podríamos tener las condiciones necesarias para vivir, es la atmósfera la que determinará los climas e incluso los cambios repentinos de tiempo los cuales pueden provocar de un momento a otro un fuerte aguacero que podría alterar las actividades humanas y el cual tuvo lugar en la interacción compleja de los componentes de la biosfera.

El presente estudio de investigación considera la complejidad de la biosfera (hidrosfera, litósfera y atmósfera) y los procesos que pueden modificar las actividades humanas y que en circunstancias fatales podría complicar y presentar caos en el territorio donde se asienta una población, ciudad, región, entre otros.

Como aquella lluvia atípica y torrencial que ocurrió en Lima el 15 de enero de 1970 (Tejada y Silva, 2016), fue una lluvia que descargó un total de 17 mm por m<sup>2</sup> este evento inundó la Lima de entonces, generó muchas pérdidas, colapsaron las comunicaciones, hubo apagones y cerca de 2000 mil viviendas destruidas, además de los incendios por los cortos circuitos (El Comercio, 1970).

En ese entonces el diario el Comercio afirmaba que esos dos días de lluvias resultaron demasiado dañinas para las viviendas precarias en las riberas del río Rímac (El Comercio, 2014). Hoy en día un evento de la misma magnitud podría resultar aún más catastrófico puesto que Lima se encuentra mucho más poblada e incluso tugurizada que aquel entonces. Esta investigación identifica las zonas con mayor probabilidad a

ser afectadas de ocurrir una lluvia de similar magnitud a la de 1970 pero con las condiciones contemporáneas de Lima Metropolitana y el Callao. Así también, se pone en evidencia la carencia de infraestructura que permita el drenaje del agua de lluvia en la ciudad. Esto debido a que las condiciones atmosféricas de Lima hacen que las lluvias no sean un patrón usual en la capital del Perú; sin embargo, nadie puede asegurar que un evento así no vuelva a repetirse.

Añadiéndole a lo antes mencionado el contexto de cambio climático en el cual nos encontramos, donde la frecuencia de los eventos extremos se incrementan (Easterling, Meehl, Parmesan, Changnon, Karl & Mearns, 2000), la situación es aún más compleja. Existiendo documentación histórica del impacto que representa el evento en estudio, esta investigación servirá como documento base para incluir en los planes de desarrollo del gobierno local, con la finalidad de disminuir la vulnerabilidad y tomar medidas para una mejor planificación de la infraestructura física de la ciudad de Lima.

### **1.1 Planteamiento del problema**

En los últimos años los cambios en el clima han causado impacto en los sistemas naturales en todos los continentes y océanos, siendo que en muchas regiones las cambiantes precipitaciones han alterado los sistemas hidrológicos (IPCC, 2014). Como ya se ha mencionado, aquellos eventos inusitados como pueden ser las manifestaciones hidrometeorológicas tienen un gran potencial de ocasionar grandes daños y pérdidas ya sean materiales y humanas, si la población se encuentra en un estado de vulnerabilidad.

La Comunidad Andina en cooperación con la Comisión Europea han desarrollado un trabajo de “Pérdidas por desastres en el Perú, 1970 – 2006” en el cual los eventos hidrometeorológicos son los que se han presentado en una mayor cantidad. El número

de eventos de inundaciones es de 3126 casos y el de lluvias de 2188, se hace mención de ambas porque son fenómenos que se encuentran muy relacionados, ya que las lluvias influyen directamente en las inundaciones, además en el trabajo mencionado se da de conocimiento que fueron las inundaciones las que causaron la mayor cantidad de viviendas afectadas (92%) y viviendas destruidas (72%) del total de afectadas.

La cantidad de eventos hidrometeorológicos tiene lugar en nuestro territorio nacional debido a que somos un país tropical y nos encontramos cerca al Ecuador, eso hace que la atmósfera sea inestable y se den condiciones de lluvia, pese a que en la región amazónica y en la zona alto andina las viviendas son construidas con criterios de una zona tropical, los daños por inundación y lluvias torrenciales afectan altamente a grandes poblaciones ya que el alcance de estos eventos es bastante amplio.

Es mayor la preocupación cuando hablamos de Lima ya que en esta ciudad no es habitual que llueva debido al fenómeno de la inversión térmica y la atmósfera estable que hacen de la capital un desierto árido pese a que nos encontramos en una zona de clima tropical, esta alteración promueve que no se tenga en cuenta la ocurrencia de precipitaciones al momento de construir o asentar una vivienda, como lo afirmaba el Presidente del INDECI en el año 2010, Lima no está preparada para soportar fuertes lluvias, el principal problema es la insensibilidad de las personas al momento de ubicar y construir sus viviendas (Perú 21, 2010).

Los años en los que se han presentado las lluvias más significativas para Lima se encuentran desde 1960 al 1997, siendo 1970 el que mayor precipitación acumuló 20 mm (Capel, 1999) aunque no hay un valor de precipitación en la que todas las fuentes históricas coincidan por ejemplo, el diario El Comercio (1970) informó que se acumuló 17 mm en un periodo de 5 horas.

Durante aquel fenómeno la ciudad de Lima fue declarada en emergencia, tan solo en un período de 3 horas muchas calles quedaron inundadas imposibilitando el desplazamiento peatonal, además se supo que dejaron de funcionar 2500 teléfonos, las zonas que fueron más afectadas estaban ubicadas en las márgenes del río Rímac conocidas como pueblos jóvenes y las zonas con mayor hacinamiento (El Comercio, 1970).

Una de las principales problemáticas en Lima es el crecimiento desordenado de la ciudad y el hacinamiento en el cual viven las familias, sobre todo en las zonas con menores recursos económicos y que se asientan principalmente en las zonas más altas de los cerros como también en las márgenes de los ríos, al no poder adquirir una vivienda en una zona más segura, en una situación de desastre de cualquier índole ya sea terremoto o en caso de inundación por una lluvia excepcional como la del 70 las pérdidas se incrementarían, sumándole a ello la alta vulnerabilidad en la se encuentran muchas de las viviendas de la zona del centro histórico de Lima y algunos distritos aledaños debido a su antigüedad.

Según el Plan de Emergencia Metropolitano (2008), el número de viviendas con riesgo de colapso por la antigüedad de la edificación asciende a 439,060 y que albergan a 2'383,301 personas, por otro lado las viviendas consideradas inadecuadas por su construcción y en zonas de alta vulnerabilidad asciende a la cifra de 274, 162 y albergan a 1'494, 711 personas. Bajo el mismo lineamiento Defensa Civil (2008) afirma lo siguiente: "La ocurrencia de una lluvia excepcional, pone en riesgo una numerosa lista de edificaciones en situación de colapso por la presencia de techos planos e inadecuada permeabilización de las coberturas. No existen redes de alcantarillado que faciliten el drenaje, los aniegos y los cambios climatológicos podrían generar enfermedades infecto-contagiosas, deshidratación y epidemias" (p.5)

Frente a las condiciones que caracterizan a la ciudad de Lima, y siendo esta la capital del Perú en donde se concentran las instituciones de mayor jerarquía y al mismo tiempo es un eje comercial muy importante para el país, es necesario conocer las causas y explicar el fenómeno atípico que fue la lluvia del 70, la cual paralizó Lima y generó grandes pérdidas.

Desde la perspectiva de la geografía de los desastres naturales, este estudio es un aporte para los organismos de planificación y prevención de desastres en el país, puesto que se tienen identificadas las zonas más vulnerables. De esta forma se elaboraría mecanismos de prevención o respuesta rápida y posteriormente elaborar políticas públicas que regulen la gestión de riesgos de desastres.

## **1.2 Justificación**

La presente investigación es un aporte desde la geografía de los desastres naturales, pues tiene el carácter de un estudio de base que permitirá a los tomadores de decisiones y gestores públicos, ejecutar acciones en las zonas identificadas como más vulnerables en Lima Metropolitana.

Este estudio de base metodológica cuantitativa, se nutre de la historia ambiental, los sistemas de información geográfica y una innovación mediante técnicas de modelamiento, así logra una integración de conocimientos que aporta al mejoramiento de los planes de prevención de desastres.

Esta investigación nos recuerda que no dejemos en el olvido un fenómeno tan desastroso e inusual que tuvo lugar en la capital del Perú, el cual podría volver a repetirse, más aún ahora que estamos en un contexto de cambio climático y mayor densidad poblacional.

Además, es un aporte a la comunidad científica, porque la metodología utilizada puede ser replicada para estudiar diferentes peligros naturales en otras partes del territorio nacional. Así también, el estudio propone nuevos temas de investigación que son importantes dentro del campo de la meteorología y, por otro lado, la gestión del riesgo.

### **1.3 Preguntas de investigación**

#### 1.3.1 Pregunta general

¿Cuáles serían los lugares más afectados en Lima Metropolitana y el Callao de ocurrir una lluvia de la misma magnitud que la de 1970, hoy en día?

#### 1.3.2 Preguntas específicas

- ¿Cuál es el comportamiento de las precipitaciones en Lima?
- ¿Qué relación se encontró entre la Temperatura Superficial del Mar (TSM) y la precipitación de 1970?
- ¿Se puede realizar una caracterización de los tipos de viviendas de las zonas más afectadas?

### **1.4 Objetivos**

#### 1.4.1 Objetivo General

En un escenario de un evento de lluvia intensa en Lima Metropolitana y el Callao, identificar espacialmente las zonas más vulnerables.

#### 1.4.2 Objetivos específicos

- Caracterizar los eventos lluviosos en Lima en el periodo 1969 – 2013.

- Analizar la temperatura superficial del mar en el Océano Pacífico en relación al evento meteorológico en estudio.
- Realizar una tipología de viviendas de las zonas identificadas como físicamente vulnerables.



## 2. MARCO TEÓRICO

Con la finalidad de tener un mejor entendimiento de los conceptos que se utilizarán al momento de procesar los datos y la terminología a utilizar a lo largo del estudio, es necesario detallar algunos conceptos. El orden en el cuál se ha desarrollado el presente capítulo, inicia desde la geografía física realizando los procesos que se dan en la atmósfera y cómo estos modifican el ambiente, luego continúa con el desarrollo de la temperatura superficial del mar (TSM) y su influencia en el Niño Costero y el Niño Global lo cual nos permite comprender el contexto de la precipitación de 1970. Por otro lado, desde de la geografía de los desastres naturales se prosigue con el desarrollo de conceptos que nos aproximan a la comprensión de los desastres, como la comprensión de los peligros, la vulnerabilidad y el riesgo. Finalmente, se explican los principios del software que se utiliza en el modelamiento espacial para la identificación de las zonas vulnerables en un escenario de lluvia extrema.

### 2.1 Los cambios en la atmósfera que modifican el ambiente

La atmósfera es el medio donde tienen lugar las manifestaciones de tiempo y clima, siendo considerado el componente central del sistema. Dentro de los grandes sistemas de la biósfera, la atmósfera es la más inestable debido a su baja densidad y fácil movilidad (Cuadrat & Pita, 1997).

Los términos tiempo y clima son muchas veces mal empleados, atribuyéndoles en muchos casos el mismo significado. Por ejemplo, si el día está soleado y de pronto ocurre una precipitación se suele decir coloquialmente que “el clima cambió de forma inesperada”, haciendo un mal uso de las escalas temporales que cada uno de ellos representa; en cambio, para el ejemplo, debe decirse de forma más sencilla que “las condiciones del tiempo se han alterado de un momento a otro”.

Una de las definiciones más utilizadas para referirnos al clima, se refiere a este como “el conjunto de los fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en un punto cualquiera de la tierra” (Hahn citado por Cuadrat & Pita; 1997:34). También se dice que el clima viene a ser el promedio del tiempo en un periodo de largo plazo (Smith & Smith citado por Vergara, 2011).

Por otro lado, “el tiempo explica las condiciones de la atmósfera en un lugar determinado para un periodo de tiempo relativamente corto, este puede durar minutos, días e incluso semanas” (Vergara, 2011:15).

Por tanto, el estudio de los climas se encarga de construir una memoria que retenga los aspectos principales de unos tiempos que ya pasaron, en los estudios del tiempo se consideran las variables como temperatura, humedad, pluviosidad, viento y horas de sol entre las más importantes (Aguirre & Carral, 2009).

La presente investigación desarrolla la caracterización climática de las precipitaciones en Lima Metropolitana. Para ello, es trascendental reconocer que lo que se experimenta y observa es el tiempo; el clima se deduce del tiempo; y es en ese sentido una ficción, una creación de la mente humana (Sutton, 1966).

### **2.1.2 La tropósfera y su relación directa con el tiempo**

La tropósfera es la capa atmosférica más baja y la más importante para los humanos y el medio ambiente, porque en ella se llevan a cabo todos los procesos relacionados con las manifestaciones del tiempo, en ella se concentra también el 75% de la masa molecular (vapor de agua, dióxido de carbono, aerosoles) dando lugar así a la formación de nubes, las precipitaciones y los anticiclones que aquí se forman (Cuadrat & Pita, 1997). Siendo este tipo de manifestaciones de especial interés para nuestra investigación, las cuales se detallarán más adelante.

Si bien se ha mencionado lo cambiante e inestable que es la atmósfera, sin embargo, esta también presenta condiciones de estabilidad; según Ahrens (2003) es estable cuando se refiere a un estado de equilibrio. Las condiciones necesarias para tener una atmósfera estable se da cuando el gradiente vertical es pequeño, esto quiere decir, que la diferencia de temperatura del aire de la superficie y el aire circulante es relativamente pequeña.

Por otro lado, Fuentes (2000) explica la estabilidad atmosférica haciendo referencia a una porción de aire que mientras va ascendiendo se enfría mucho más rápido que el de alrededor, por lo tanto, el ascenso queda detenido a poca altura. De este modo las condiciones son extremadamente estables cuando no hay posibilidades de precipitación (Woodman, 1999).

Sin embargo, para que ocurran precipitaciones, tienen que darse condiciones de una atmósfera inestable. Este proceso ocurre cuando una parcela de aire a nivel de la superficie, que se ha calentado un poco más que el aire circundante, empieza a ascender y no deja de hacerlo hasta alcanzar alturas sobre los 10 y 15 km. Al ascender los aires se expanden y se van enfriando, produciendo la condensación de la humedad y la formación de nubes tipo cumulonimbos que son las causantes de las precipitaciones (Woodman y Takahashi, 2014).

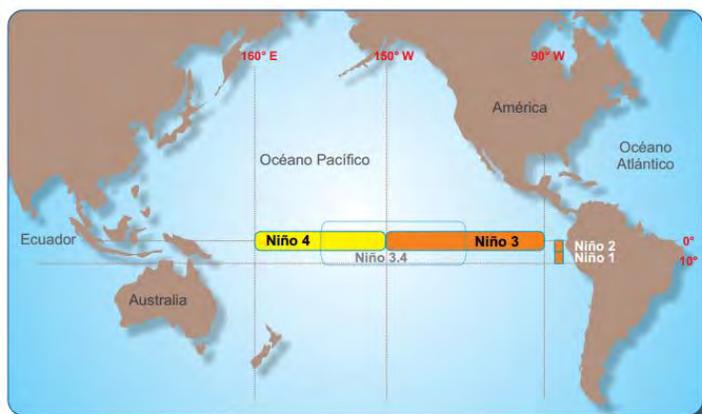
## **2.2 El rol de El Niño en las costas peruanas**

El Niño es un término muy usado por la comunidad científica y por la población, sin embargo se presta para muchas confusiones. Por ejemplo, “Corriente de El Niño” es la contracorriente cálida estacional que se da durante el verano frente a la costa norte que en ocasiones es más intensa y “Fenómeno El Niño” (FEN) es un evento climático anómalo de varios meses de duración con altas temperaturas del mar y lluvias intensas

en la costa norte del Perú. Estas terminologías se encuentran dentro del marco de El Niño costero, sin embargo el empleo de estos términos llega a confundir a la población.

“El Niño Costero”, es un evento climático anómalo con altas temperaturas del mar en la costa norte que puede coincidir con el Fenómeno El Niño y/o con El Niño global, pero no necesariamente (Takahashi, 2017). La definición operacional está dada por el (Estudio Nacional del Fenómeno El Niño [ENFEN] ,2012) y consiste en la estimación del promedio de tres meses de las anomalías mensuales de la temperatura superficial del mar (TSM) en la región Niño 1 y 2; región, como se aprecia en la figura 2.1, más próxima a la costa del Perú.

**Figura 2.1:** Regiones El Niño



Fuente: (MINAM & SENAMHI, 2014, p.9)

Dentro de la clasificación de condiciones, el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) considera "Condiciones Cálidas" cuando está relacionada con eventos Niño, estas categorías incluyen magnitudes de "Débil", "Moderada", "Fuerte" y "Extraordinaria".

Se conoce también “El Niño-Oscilación Sur (ENOS)”, como un Fenómeno climático océano-atmósfera a escala interanual en el Pacífico tropical y con efectos globales y que

oscila entre la fase fría (La Niña) y la fase cálida (El Niño), a este último se le dice “El Niño global”. Puede coincidir con el FEN, pero no necesariamente (Takahashi, 2017).

El Niño global se analiza mediante el Índice Oceánico el Niño (ONI), el cual viene a ser el promedio de 3 meses consecutivos de la temperatura superficial del mar, este índice corresponde a la región El Niño 3.4 del Pacífico, se consideran episodios cálidos y fríos cuando el índice ONI supera el umbral de  $\pm 0,5$  °C.

El Niño Costero tiene implicancias directas en las costas de Perú y Ecuador (regional) y El Niño Global representa una afectación planetaria, la presencia de uno no implica el desenlace del otro.

### **2.2.1 RClindex como soporte para caracterizar las precipitaciones**

El presente estudio utilizó RClindex para la caracterización de los eventos lluviosos. A fin de comprender la utilización de este software, a continuación se detallará su importancia y aplicación.

Este software fue creado por el Departamento del Servicio Meteorológico de Canadá, es de libre acceso y trabaja con datos históricos como precipitación y temperatura, con ellos se puede analizar índices de extremos climáticos.

RClindex puede calcular un total de 27 índices (ver Anexo 1), estos fueron propuestos por el equipo de investigadores del CLIVAR (Climate Variability and Predictability) y este a su vez es un programa de la WCRP (World Climate Research Programme).

Los índices climáticos son el resultado de fórmulas matemáticas y estadísticas en la cual interactúan diversas variables climáticas, los índices facilitan la lectura estadística y nos permite clasificar las particularidades climáticas de diferentes zonas geográficas, lo cual nos permite realizar comparaciones entre ellas. Esta investigación a través del

RClimdex evalúa índices de precipitación lo cual nos facilita la caracterización de las precipitaciones a través de indicadores.

RClimdex funciona en la plataforma del programa "R 1.84" o en las versiones posteriores, dado que "R" es un software estadístico de uso libre, al mismo tiempo es una plataforma muy robusta para el análisis estadístico y para la elaboración de gráficos (Zhang & Yang, 2004).

Este conjunto de índices contribuye a que el cálculo sea realizado de la misma forma internacionalmente, con la finalidad de integrar los índices de las diferentes regiones. Los estudios locales son de gran aporte debido a que se pueden analizar tendencias en los datos climáticos históricos y de esta forma comprender los posibles efectos del cambio climático con un mayor detalle (Cardona, et al. 2014).

RClimdex, siendo un software estadístico nos permite además, calcular valores extremos o datos atípicos, los cuales tendrán especial atención en estudios de esta naturaleza, al investigarse precipitaciones atípicas.

### **2.3 Conceptos que giran en torno a la comprensión de los desastres**

Las definiciones en torno a los desastres son muy variadas, dependiendo del enfoque mediante el cual se abarque, siendo necesario brindar algunas definiciones que nos permitan posteriormente analizar y discutir los resultados de la investigación.

Ha de mencionarse que el evento en estudio se encuentra dentro de las amenazas hidrometeorológicas; actualmente, el cambio climático podría estar acrecentando la frecuencia de los peligros hidrometeorológicos, aunque, esta relación es muy difícil de demostrar con base científica, las proyecciones para el futuro causan preocupación e incertidumbre (Estrategia Internacional de Reducción de Desastres [EIRD], 2004).

A continuación se brindará una definición en lo que concierne a los peligros, la vulnerabilidad, el riesgo y el desastre como la manifestación de estos.

### **2.3.1 Precisiones entre fenómenos naturales y peligros naturales**

Se debe entender que un fenómeno natural no es necesariamente un peligro natural. Por ejemplo, una erupción volcánica, una tormenta o un tsunami puede resultar solo fenómenos naturales; sin embargo, se consideran como peligros cuando se desarrollan en áreas habitadas por humanos (Rojas & Martínez, 2011).

De esta manera un peligro natural o también llamado amenaza natural, es un fenómeno natural que puede causar muerte, lesiones o diferentes impactos a la salud, así como daño a la propiedad y a un desequilibrio en general a la sociedad y el ambiente. Así también, es indispensable aclarar que las amenazas naturales son un subgrupo dentro de todas las amenazas (United Nation International Strategy for Disaster Reduction [UNISDR], 2009).

### **2.3.2 Vulnerabilidad**

De forma general se define a la vulnerabilidad como el grado de debilidad o exposición de un elemento o conjunto de elementos frente a la ocurrencia de un peligro natural o antrópico de una magnitud dada. “Es la probabilidad de que una comunidad expuesta a una amenaza natural, según el grado de fragilidad de sus elementos (infraestructura, vivienda, actividades productivas, grado de organización, sistemas de alerta y desarrollo político-institucional), puedan sufrir daños humanos y materiales” (Chardon & González, 2002: 9).

Por otro lado, para Cardona, un análisis de vulnerabilidad es un proceso mediante el cual se determina la predisposición a la pérdida de un elemento o elementos ante un peligro específico, existiendo diversos tipos de vulnerabilidades- ver en Anexo 2-

(Rojas & Martínez, 2011). De esta forma, el desarrollo de la presente investigación desarrolla con mayor énfasis un análisis en lo que se refiere a la vulnerabilidad física, localizando los asentamientos humanos cuyas estructuras podrían resultar más afectadas.

Existen diferentes conductores que incrementan la situación de vulnerabilidad en las zonas urbanas, la forma como se han llevado a cabo los procesos de expansión es la razón principal. Según Simioni (2003: 280) “especialmente en las ciudades de los países en desarrollo, cuyo acelerado crecimiento urbano y la consiguiente demanda del suelo han determinado la ocupación de zonas no aptas para el uso urbano, con proliferación de edificios y viviendas en gran porcentaje mal construidos, instalación de complejos industriales y depósitos de materiales peligrosos en zonas próximas a las poblaciones”. En esta misma línea el EIRD (2004: 48) señala:

“En los casos en que las modalidades de asentamiento han contribuido a configurar escenarios de riesgo, la presión que ejercen fuerzas nuevas tales como el crecimiento de la población y el aumento de la migración rural/urbana contribuyen a aumentar la exposición de las personas a las amenazas. Los niveles de pobreza y las consecuencias de los procesos de desarrollo, en especial aquellos vinculados con la globalización creciente de la sociedad, reflejan las tendencias actuales de la vulnerabilidad socioeconómica al impacto de los desastres”.

La ocupación de suelos no aptos para el uso urbano tiene una relación directa con las condiciones de pobreza de los que lo habitan, siendo los pobres quienes conforman los segmentos de población más frágiles y vulnerables. Es así como los pobres tienen menos protección a situaciones de pre y post desastre (CEPAL & BID, 2000). De esta

forma Simioni (2003: 280) refiriéndose a las ciudades de los países en vías de desarrollo sostiene:

“Los desastres naturales afectan sobre todo a las poblaciones de bajos ingresos, que constituyen la mayoría de los habitantes de estas ciudades. Son estos sectores los que se instalan en terrenos de menor valor inmobiliario, que suelen ser inseguros desde el punto de vista ambiental [...] las casas se construyen con materiales y técnicas de construcción precarias que no oponen resistencia estructural alguna a las fuerzas de la naturaleza”.

Al existir documentación científica en la cual se pone en evidencia el estrecho vínculo entre el factor pobreza y las situaciones de desastre, se ha desarrollado en el capítulo de área de estudio una caracterización socio-económica de Lima Metropolitana y el Callao.

### **2.3.3 Riesgo**

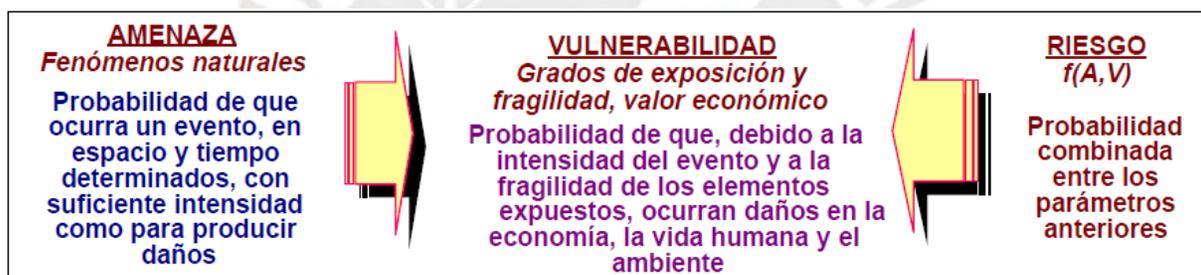
El EIRD (2002, p. 10) define el riesgo como “la probabilidad de que una amenaza se convierta en un desastre. La vulnerabilidad o las amenazas, por separado, no representan un peligro. Pero si se juntan, se convierten en un riesgo, o sea, en la probabilidad de que ocurra un desastre”.

Al existir diferentes variantes del riesgo en las diferentes disciplinas, Rojas & Martínez definen el riesgo natural como: “la probabilidad de que en un espacio ocurra un peligro determinado de origen natural, y que pueda generar potenciales daños y pérdidas en las actividades humanas. El riesgo se puede clasificar a partir del cálculo de probabilidades con datos adecuados, ya sean de tipo cuantitativo o cualitativo” (2011, p. 86).

Así también se podrá encontrar en la literatura el término riesgo socio natural: “el cual se plantea partir de la relación entre la sociedad y el medio natural, como posible generadora de situaciones de riesgo de desastre, potenciado por la fuerza de los fenómenos naturales peligrosos, es decir, las amenazas” (Lavell citado por Campos, Toscana & Campos, 2014, p.55).

De este modo, el riesgo viene a ser el indicador medido a partir de la conjugación del factor vulnerabilidad y peligro, si estos se incrementan influyen directamente en el incremento de los umbrales de riesgo. A continuación se presenta una gráfica que explica esta relación.

**Figura 2.2:** Definiciones



Fuente: CEPAL & BID, 2000, p. 6

### 2.3.4 Desastre

“El desastre es el conjunto de daños que provoca la ocurrencia de un peligro, mientras haya peligros habrá daños. Sin embargo, no siempre los peligros ocasionan desastre. Así, un desastre es la consecuencia, no evitable de un peligro cuando se supera el nivel de daños socialmente tolerables” (Aneas, 2000: s/n).

Hoy en día se ha incrementado el número de desastres, ello no quiere decir que se haya dado un incremento de los peligros naturales, sino más bien son la consecuencia del aumento de la densidad de población, crecimiento desordenado de las urbes, la

deficiencia en la infraestructura física, exposición de poblaciones vulnerables, entre otros (Aneas, 2000).

En el documento “Manual básico para la estimación del riesgo” elaborada por INDECI (2006:11) se entiende por desastre a “la interrupción severa del funcionamiento de una comunidad causada por la activación de un peligro de origen natural o antrópico”, el cual trae como consecuencia pérdidas de diferente índole que desestabiliza a la población.

Una peculiaridad de un desastre es que la comunidad afectada pierde su capacidad de auto recuperación, requiriendo de este modo de la ayuda o cooperación internacional (Lavell, citado por Rojas & Martínez, 2011). Es así como el evento de lluvia atípica del 15 de enero de 1970 ocurrido en Lima, se considera un desastre puesto que se requirió de cooperación externa para la estabilización de la ciudad.

### **2.3.5 La importancia de la historia ambiental en la reducción del riesgo**

El abordaje de la historia ambiental, rechaza los estudios individuales y divorciados entre las variables ambientales y antrópica, es decir, no se debe considerar la variable ambiental como protagonista única para estudiar hechos históricos, así como es erróneo considerar el impacto humano en el ambiente como objetivo central de las investigaciones. Mejor aún, de un modo más complejo la historia ambiental, tiene como objeto de estudio al ser humano en relación indisoluble con la naturaleza, es decir, una coevolución. La historia ambiental brinda la perspectiva interdisciplinaria y fortalece la importancia explicativa de las variables ambientales para entender la historia, así como reconocer la utilidad del pasado en el ámbito científico ambiental para diseñar soluciones para el presente (Gonzales & Martínez, 2001).

Según el historiador ambiental John R. McNeill, quien la define como “la historia de las relaciones mutuas entre el género humano y el resto de la naturaleza” citado en

(MINAM, 2016, p. 21). En la misma línea el historiador ambiental Mark Carey (2014:18) en su libro “Glaciares Cambio Climático y Desastres Naturales Ciencia y Sociedad en el Perú” manifiesta luego de haber desarrollado su investigación en el Callejón de Huaylas y la Cordillera Blanca; “que la perspectiva histórica, muchas veces es pasada por alto, las investigaciones en historia ambiental no tiene como finalidad explicar lo que podría ocurrir en el futuro sino de lo que ya ha ocurrido y cómo la gente ha percibido y respondido”.

Para McNeill, el campo de la historia ambiental se constituye de tres enfoques: el material, el cultural intelectual y el enfoque político. Para fines de nuestro estudio, desarrollaremos el enfoque material. Este “tiene relación con los hechos objetivos o tangibles representados por los cambios en los ambientes físicos y biológicos en los territorios; además, tiene que ver con la forma en la que esos cambios son influidos por los aspectos económicos y tecnológicos de las actividades, así como su repercusión en las sociedades humanas” (MINAM, 2016:21).

Las sociedades a lo largo de la historia, han sido afectadas por diferentes desastres naturales, los cuales previamente representaban una amenaza o peligro, en este proceso de interacción e influencia entre hombre y naturaleza se gestan los desastres.

De tal forma es importante “componer la historia del peligro y así develar cómo va emergiendo el archipiélago del peligro, esto como un intento del hombre para prevenir, mitigar o evitar los peligros” (Aneas, 2000:s/n).

“...gran parte de la responsabilidad de los daños en grandes desastres se debe al hombre, quién ha crecido en forma explosiva de espaldas a la naturaleza, sin tener en cuenta las restricciones del medio natural y olvidando la historia reciente. Es la historia la que puede establecer como se ha desarrollado la interacción entre el medio ambiente y la sociedad en

una región, haciendo a esa sociedad más susceptible a sufrir desastres naturales” (Bankoff, 2003; Huppert y Sparks, 2006; Ríos citado por Rojas & Martínez, 2011, p.85).

Se trata de aprender de la historia, en el folleto “Aprendamos a prevenir desastres” elaborado por el EIRD, se aconseja como medida de reducción del riesgo, aprender la historia del lugar donde vivimos, es decir preguntar a nuestros padres o abuelos “si han vivido alguna catástrofe, ¿Por qué se produjo? ¿Qué ha hecho la gente que no debiera haber hecho? ¿Qué hicieron para que las cosas mejorarán?” (EIRD, 2002:13).

De este modo, para fines de nuestro estudio, se presta atención a las circunstancias ambientales de la lluvia atípica de 1970, así como, se registra los impactos que ocasionó y las zonas más afectadas de entonces. Para entender el fenómeno se complementa con un estudio climático y con actualización de las lluvias ocurridas hasta la fecha. De tal modo, el historial ambiental es el soporte de lo que integra la presente investigación.

#### **2.4 Modelo de máxima entropía para identificar la distribución de la vulnerabilidad (MAXENT)**

A continuación, se explicarán los conceptos relacionados a las técnicas que se utilizaron para la identificación de la distribución espacial de la vulnerabilidad física en Lima metropolitana.

La creación del modelo de máxima entropía surge como la necesidad de lograr una planificación estratégica y ordenada de los ecosistemas forestales presentes y futuros. Son necesarios los estudios que permitan no solo correlacionar las variables bióticas y físicas de interés sino también, en la elaboración y análisis de modelos probabilísticos que permitan representar la distribución presente y futura del mismo frente a determinadas condiciones climáticas, es decir, la mejor distribución, el mejor

comportamiento de las especies y/o comunidades frente a variables complejas, atípicas y/o inesperadas (Salvatierra & Herrera, 2011).

En el campo del modelamiento de la distribución geográfica de las especies, se encuentran las técnicas basadas en algoritmos específicos, este es el caso del Maxent.

“Para la funcionalidad de los modelos de distribución se requiere dos fuentes de información: los datos de presencia de la especie que se quiere modelar y las variables descriptoras que definirán el espacio ambiental, donde se distribuirá el espacio geográfico” (Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre [OSINFOR], 2016:16).

Maxent puede utilizar variables cualitativas, otorgando a cada valor de la variable (a cada capa de información espacial) un peso relativo al número total de puntos de presencia que contiene. “El programa proporciona las curvas de respuesta de la especie frente a las distintas variables ambientales y calcula la importancia de cada variable en lo que debiera ser la distribución de la especie” (Phillips & Dudík, citado por OSINFOR, 2016:19). De esta manera podemos discriminar las variables ambientales que no son significativas para el estudio.

El principio de máxima entropía al cual hace referencia las siglas Maxent, se refiere principalmente a “la máxima probabilidad de que ocurra algo, en términos geográficos, la máxima probabilidad de que ocurra un objeto en el espacio” (Torres & Jayast citado por Cuentas, 2015:30). Este principio, adaptado a nuestro estudio vendría a ser la máxima probabilidad que un evento afecte un espacio.

“Esta técnica ha sido implementada en distintos campos del saber (mecánica estadística, economía, planeación urbana, problemas de transportación, inferencia estadística, finanzas, comercio internacional, análisis espectral, procesamiento de imágenes, etc.), para estimar la

distribución probabilística de un dato de interés dentro de un espacio de trabajo conocido” (Jaynes, citado por Salvatierra & Herrera, 2011, p. 61).

Al ser esta investigación una contribución en el campo de la geografía de los desastres naturales, siendo además que la aplicación del principio de máxima entropía es muy versátil, se desarrolló mediante el principio de máximo entropía el modelamiento de zonas probables de sufrir daños con mayor o menor proporción frente a una lluvia extrema en Lima Metropolitana y el Callao.

#### **2.4.1 Aplicación del test Jacknife en el modelamiento**

Para conocer mejor las variables ambientales y cómo afectan estas al modelamiento, es fundamental determinar cuáles son las de mayor importancia sobre la distribución del objeto en estudio. El test Jacknife, mediante la comparación entre la ganancia del modelo con todas las variables y luego la ganancia excluyendo a una variable, puede determinar el nivel de aporte de la ganancia excluida y así evalúa cada una de las variables. Aquella variable cuya exclusión afecta considerablemente a la eficiencia del modelo, será aceptada como una variable relevante, de esta forma ponderaremos cuáles son las variables imprescindibles (Phillips et al. citado por OSINFOR, 2016, p.22).

Al ejecutar Jacknife se obtendrá un gráfico de barras, el color azul significa la ganancia obtenida para el modelo con esa variable, el cual corresponde a una única variable, mientras que la pérdida sin dicha variable viene determinada por la parte verde. Por último la barra roja es la suma de la ganancia de todas las variables, lo cual quiere decir que suma el valor total del modelo (OSINFOR, citado por Cuentas, 2015).

#### **2.4.2 Curva ROC y AUC para la evaluación del modelo**

“Es recomendable, para optimizar el modelo, la curva ROC y su estadístico derivado, el AUC. Se necesita que los datos de entrada sean de presencia/ausencia, y en número mayor a las 15-20 presencias únicas, ya que con valores menores puede incrementar artificialmente la consistencia del modelo” (Veloz, citado por Mateo et al. 2011:22).

Este es uno de los parámetros que más se usan para evaluar la capacidad de predicción de los modelos de Maxent.

“El Área por Debajo de la Curva (AUC, por sus siglas en inglés) de la curva Característica Operativa Relativa (ROC, por sus siglas en inglés), es la fracción del área predicha ubicada en el eje “x” (fracción del área total de estudio) y la sensibilidad (“sensitivity”) en el eje “y” (proporción de puntos de presencia en el área de ocurrencia predicha en relación al total de puntos que se utilizaron)” (Cuentas, 2015, p.36).

**Tabla 2. 1:** Interpretación del AUC

Clasificación	Rangos		
	AUC	AUC	AUC
Excelente	>0,90	>0,90	>0,90
Buena	0,80>	>0,80	>0,80
Aceptable	0,70>	>0,70	>0,70
Mala	0,60>	>0,60	>0,60
No valida	0,50>	>0,50	>0,50

Fuente: Mateo et al. (2011)

La manera como se debe interpretar el valor del AUC y que comprende en el rango 0-1 es; “un valor de 1 indica que todos los casos se han clasificado correctamente, lo cual clasificaría como un modelo óptimo, por otro lado, uno de 0.5 indica que el modelo no es diferente de clasificar los casos al azar; valores menores a 0.5 indican que el modelo

es realmente malo, ya que clasifica erróneamente más casos que el azar” (Mateo, Felicísimo & Muñoz, 2011:23).

## **2.5 Antecedentes**

Se han venido realizando diferentes estudios con la finalidad de predecir las variaciones interanuales del clima en diferentes lugares del globo (Woodman, 1999), una de las variables más frecuente dentro de las ciencias meteorológicas es la Temperatura Superficial del Mar (TSM), esta se ha utilizado para generar modelos que pronostiquen las precipitaciones, debido a su alta correlación con las precipitaciones.

De este modo se considera a la TSM como uno de los predictores más importantes del clima a una escala de tiempo mensual o estacional a nivel anual (Tokioa citado por Hernández, 2002). Por ejemplo uno de los eventos de variabilidad climática a una escala global en la que se tiene como uno de los principales predictores a la TSM es el fenómeno El Niño Oscilación Sur (ENSO) debido a las grandes pérdidas que ocasiona su ocurrencia (Hernández, 2002). El principal interés de estos pronósticos está relacionado con la finalidad de preparar a las poblaciones para enfrentar eventos que sin una adecuada preparación resultan generando muchas pérdidas a la población, la infraestructura y a la economía en general.

En una escala local, el Instituto Geofísico del Perú (IGP) por medio del doctor Woodman el estudio, “Modelo estadístico de pronóstico para las precipitaciones en la costa norte del Perú”, con la finalidad de poner sobre una base científica aquellas creencias de los agricultores respecto a ciertas condiciones del tiempo que les ayudaba a pronosticar las precipitaciones venideras, como lo relata Woodman (1999, p.94) “observaban la dirección de los vientos, con la creencia que cuando estos soplaban del norte era presagio de una estación lluviosa”. Sin embargo, el principal indicador observado fueron las mareas acontecidas en Paita y Colán las cuales estaban

relacionadas con las altas temperaturas del mar y se consideraban como un presagio para un año lluvioso. Definitivamente el estudio realizado reflejó aquellos supuestos de la población, se encontró que las lluvias tenían una dependencia directa con la TSM de sus costas, se encontró además que las precipitaciones se incrementaban fuertemente cuando las temperaturas superaban los 26°C y 27°C (Woodman, 1999).

Por otro lado, se realizaron algunos estudios de mayor escala a lo largo de la cordillera de los Andes en Sudamérica con la intención de conocer de qué forma el relieve modelaba el clima de las diferentes regiones por las que esta atravesaba, este estudio estuvo a cargo del Departamento de Geofísica de la Universidad de Santiago de Chile. Dentro del análisis se tomaron en consideración las condiciones por la cuales la costa desde el norte de Chile al sur del Perú son tan áridas. Se definió que la causa es la fuerza que ejercen los vientos del sur sobre la superficie del mar que promueven el afloramiento de las aguas frías y se conjuga con la barrera topográfica, en este caso la cordillera de los Andes, impidiendo así el paso de las nubes de tormenta hacia la costa, generando así condiciones de aridez (Garreaud, 2009).

Finalmente, haciendo uso del software RCLimindex, se realizó el estudio de los ríos de la cuenca Dagua y Calí ubicadas al suroccidente de Colombia, con la finalidad de detectar cambios o tendencias para esta área. Se utilizaron 18 estaciones meteorológicas ubicadas a lo largo de las cuencas, prosiguió el control de calidad a los datos y se procesó la información en RCLimindex. Como resultados se identificó una tendencia creciente de la precipitación además, de una mayor precipitación para las estaciones ubicadas en las partes más bajas que las de mayor altitud (Cardona et al. 2014).

Los estudios desarrollados para el modelamiento de lluvias son en su mayoría propuestas matemáticas, físicas y estadísticas puesto que han sido elaboradas por especialistas de estas ciencias, sin embargo, el estudio de Cardona pone de manifiesto

un análisis espacial, utilizando data de 18 estaciones meteorológicas distribuidas en todo el territorio. Para los fines de nuestro estudio, esta última propuesta tiene un mejor acercamiento desde la perspectiva espacial, ya que considera trabajar con data de las ciencias meteorológicas y a la vez complementar el análisis con variables cualitativas que aproximen mejor el estudio a la categoría de geografía de los riesgos naturales.

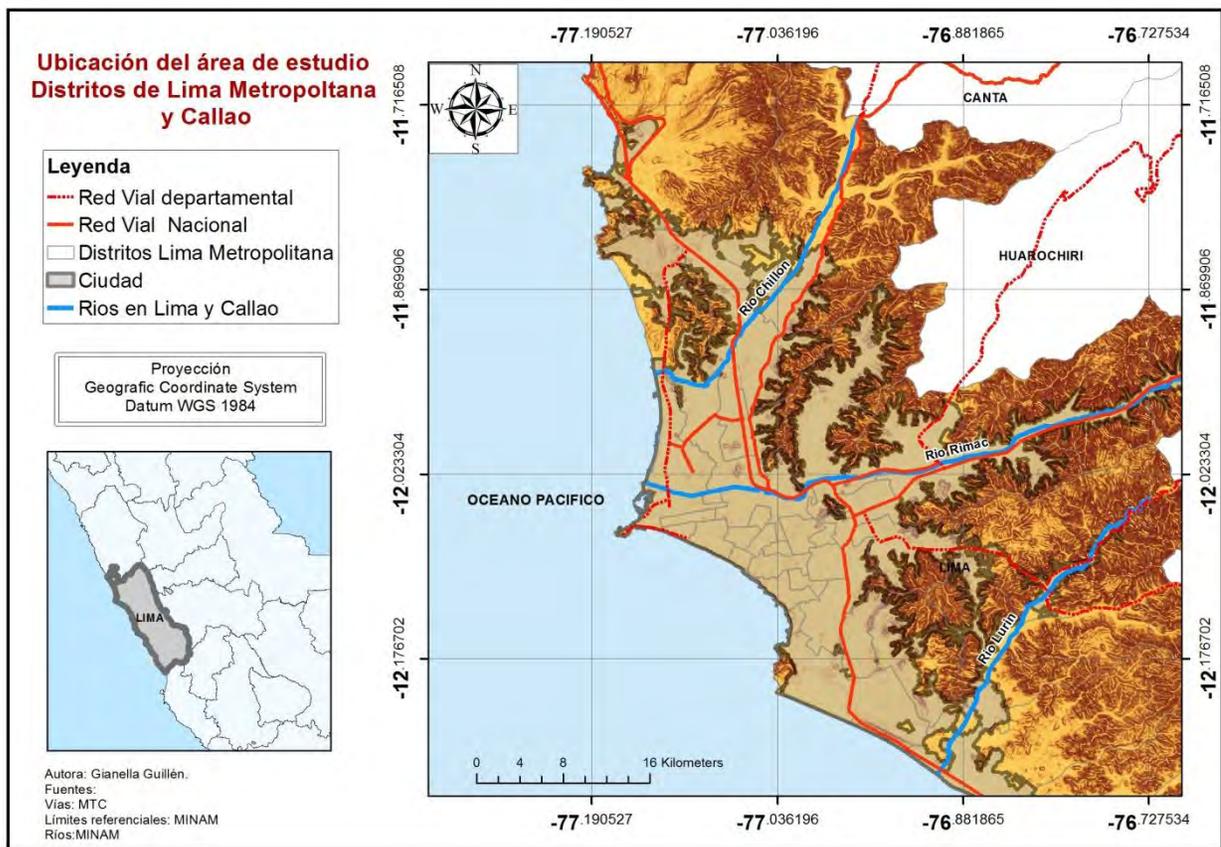


### 3 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio es la ciudad de Lima Metropolitana y el Callao. El análisis comprenderá hacia el norte los distritos de Ancón y Santa Rosa; por el este, el distrito de Lurigancho; por el sur, el distrito de Lurín y hacia el oeste, el océano Pacífico.

La altitud del área mencionada comprende desde los 0 – 850 m.s.n.m.<sup>1</sup>

**Mapa 3.1:** Localización del área de estudio



#### 3.1 Caracterización climática

La zona de estudio se encuentra ubicada en la costa central del Perú, la cual se extiende desde la península de Illescas (Piura) hasta la península de Paracas en Ica (Ñaupas,

<sup>1</sup> Tomado de Google Earth Pro, versión 7.1.2.2041

1984). De acuerdo a la clasificación climática de Thornthwite la margen costera del Perú se encuentra dentro de la clasificación E(d) B'1 H3, esto quiere decir, clima árido con una precipitación anual menor a los 16 mm. La deficiencia de precipitación en todas las estaciones del año recrea una vegetación de tipo desierto, cuyos valores medios de la humedad relativa fluctúan del 65 % al 84%, considerados climáticamente como húmedos (SENAMHI, 2002).

La ciudad de Lima tiene un clima que se caracteriza por dos estaciones bien marcadas, estas son el verano y el invierno; durante los meses de invierno (mayo – noviembre), la temperatura oscila entre los 14 °C y 18 °C, durante el invierno el litoral de la ciudad se cubre de constante nubosidad. Pese a la alta humedad las lloviznas son muy escasas fluctuando en promedio de 0-10 mm anuales. Por otro lado, el verano (diciembre – abril) es bastante soleado, debido a la presencia de cielos despejados la humedad disminuye y la temperatura oscila entre los 20° C y 28° C (SENAMHI, 2008).

### **3.2 ¿Por qué no es usual que llueva en Lima?**

La costa peruana y en particular la ciudad de Lima presenta escasez de lluvia, por ello “es considerada la segunda ciudad más seca del planeta después de El Cairo (Egipto), pese a que se asienta sobre los valles Chillón, Rímac y Lurín, la aridez domina su paisaje por la escasez de lluvias (9mm al año) en todas sus estaciones” (Miranda & Chávez citado por Tejada & Silva, 2016:1).

La ciudad de Lima se caracteriza por la escasez de lluvia, esta se encuentra relacionada con la inversión térmica en el litoral peruano, la inversión térmica quiere decir que la temperatura del aire aumenta con la altura en lugar de disminuir, este es un fenómeno anómalo que ocurre frente a las costas tropicales o subtropicales bañadas por corrientes de aguas frías (Ñaupas, 1984). La inversión térmica hace que la atmósfera sea muy estable impidiendo así formaciones de nubes cumulonimbos (5 – 6 km de espesor) que

se necesitan para que ocurra una precipitación. En condiciones de estabilidad atmosférica solo tienen lugar nubes estratiformes (300 – 400 m de espesor), las cuales contienen pequeñas gotitas que no suelen precipitarse y si en caso lo hacen darían lugar a las conocidas garúas, en conclusión las nubes estratiformes en ningún lugar del mundo originan grandes lluvias (Ñaupas, 1984; Woodman et al. 2014).

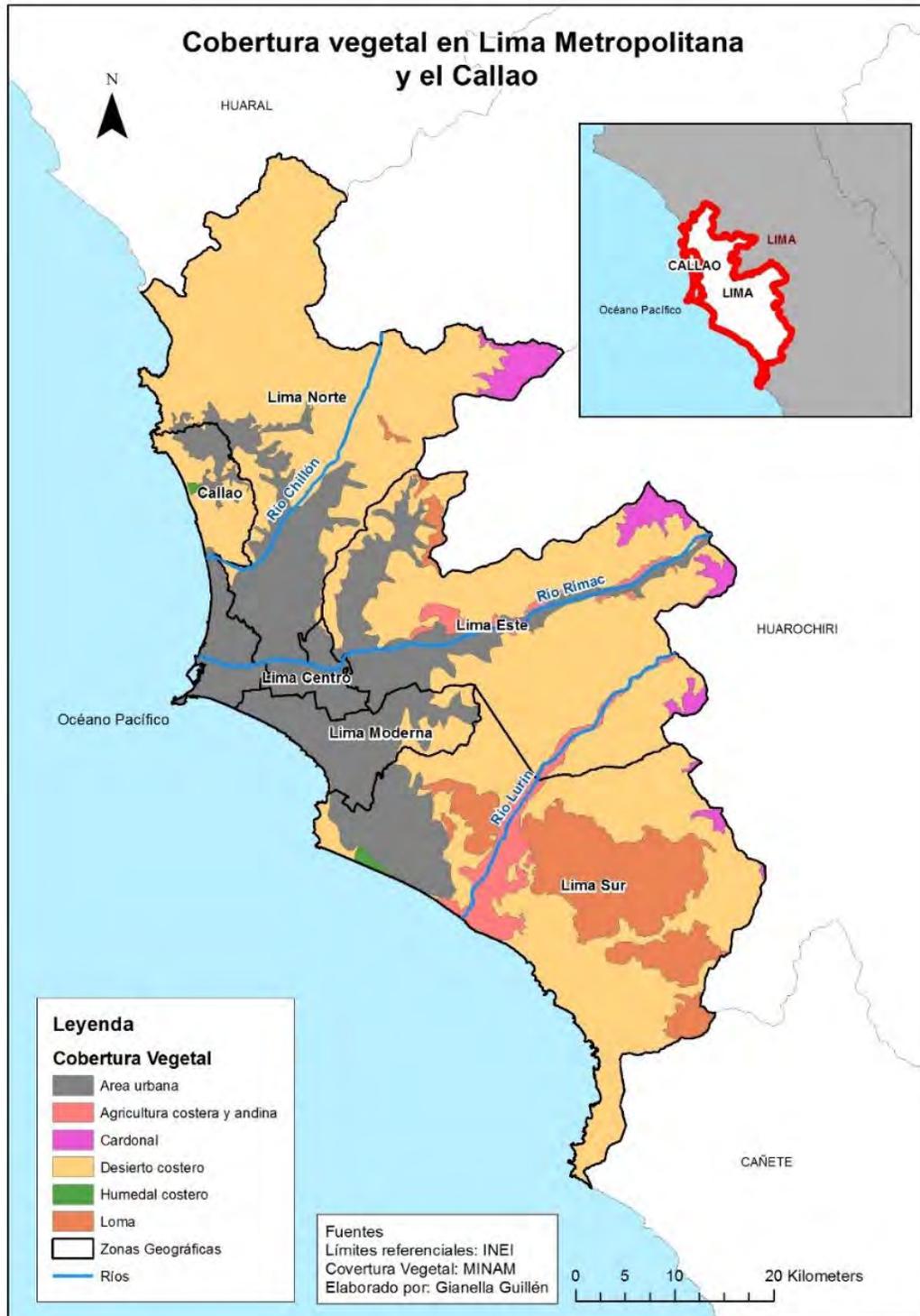
La responsable de la estabilidad de las masas de aire es la Corriente Peruana o también llamada Corriente de Humboldt, esta es una corriente fría que se desplaza de sur a norte y la frialdad de sus aguas se debe al afloramiento de aguas profundas. La frialdad de sus aguas no favorece la evaporación por eso tanto solo se pueden formar las nubes bajas o estratiformes que hemos mencionado anteriormente (SENAMHI, 2008; Ñaupas, 1984).

Conociendo la influencia de la Corriente Peruana (de aguas frías) se puede afirmar que la TSM (Temperatura Superficial del Mar) adyacente al Perú; influye directamente en las condiciones del tiempo y en consecuencia en el clima del territorio, especialmente en la costa y de la misma forma brinda las condiciones para la riqueza marina del mar peruano (Ñahui, 2006).

Las condiciones climáticas recrean el paisaje de los diferentes territorios, así también los cambios en los usos del suelo modifican en el tiempo la composición de la cobertura vegetal. Entonces los tipos de cobertura pueden ir desde formaciones totalmente naturales así como aquellas modificadas por acción antrópica.

Si bien se ha definido nuestra área de estudio como una zona costera muy árida, es importante señalar cuales son los paisajes que la constituyen, a continuación, se presenta un mapa con información de cobertura vegetal, a modo de identificar los ambientes predominantes en el área de estudio. Estos pueden ser formaciones totalmente naturales o también pueden haber sido modificados por acción antrópica.

Mapa 3.2: Cobertura Vegetal en Lima Metropolitana y el Callao



En el mapa 3.2, se observa escasa presencia de agricultura costera y andina, esta se encuentra dentro de los valles de los ríos Rímac y Lurín. Hacia la zona sureste hay presencia de vegetación tipo Lomas, existe un paisaje urbano predominante, así como también un extenso paisaje de tipo desierto costero.

La presencia de un paisaje predominantemente urbano es resultado de una fuerte intervención antrópica, lo cual indica que nuestra área de estudio carece de paisajes naturales y se encuentra bastante habitada. Al ser un espacio con escasa vegetación en caso de ocurrir una precipitación el suelo tiene poca capacidad de absorción, al ser en su mayoría cemento o tierra.

Los ríos Chillón, Rímac y Lurín cortan transversalmente la metrópoli y desembocan en el océano Pacífico, estos son ríos generalmente pasivos sin embargo, en época de lluvia en los Andes Centrales pueden sobre cargar su volumen debido a la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos por el Fenómeno del Niño.

### **3.3 Características socio-económicas y vulnerabilidad física en Lima Metropolitana y el Callao**

A continuación, se presenta un consolidado de la situación de pobreza a nivel distrital y en diferentes rangos porcentuales, esta información ha sido extraída del INEI para el año 2013. Así también, se presenta información sobre la vulnerabilidad física relacionada a zonas susceptibles a inundación y a deslizamiento, esta información ha sido obtenida del MINAM (2015).

La idea de incorporar estas dos variables en la caracterización del área de estudio es analizar si existe una relación entre los distritos más pobres y los mayores niveles de

vulnerabilidad física. Se pretende encontrar cuál es la relación de los niveles de pobreza con los niveles de vulnerabilidad física.

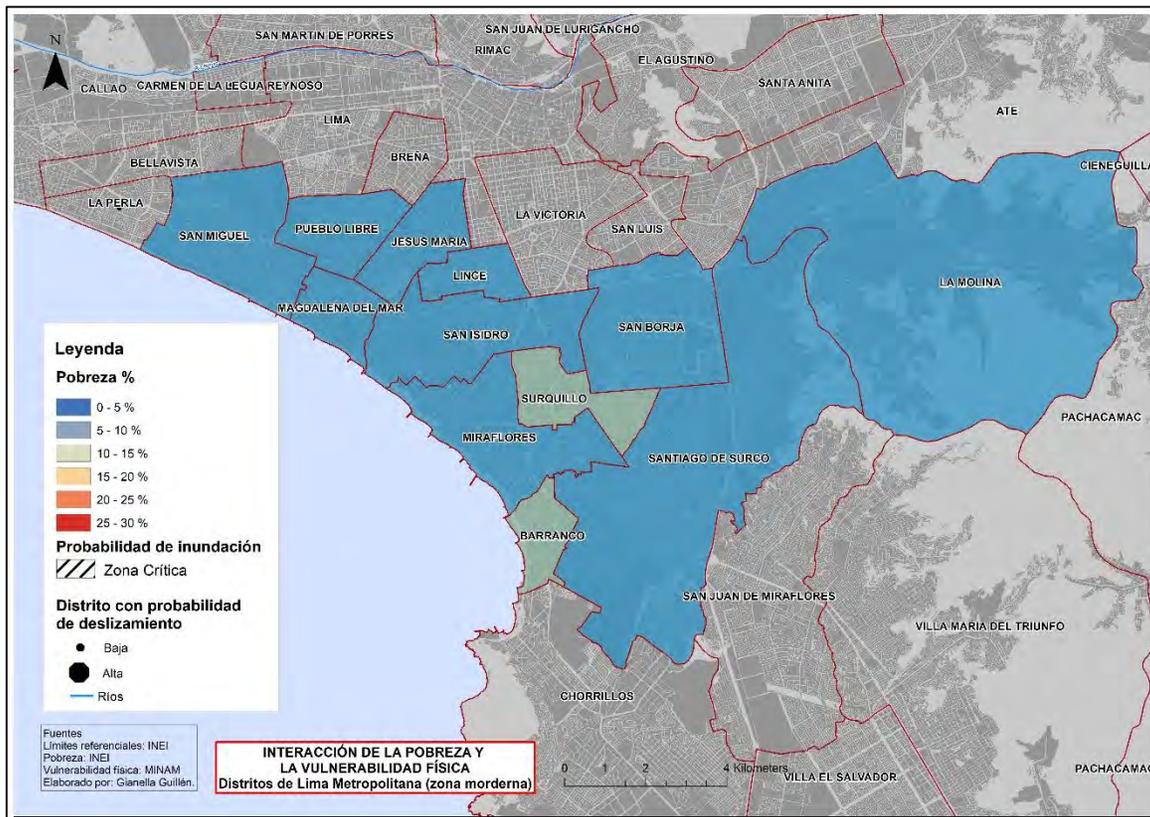
Las zonas propensas a ser inundadas y a sufrir deslizamientos son aquellas que se encuentran expuestas frente a la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos que ocurren anualmente por el Fenómeno del Niño.

De forma excepcional para el caso de algunos distritos del Callao el riesgo de inundación también podría darse como a la exposición al peligro de tsunamis, esto sucede para los distritos de La Punta, Ventanilla y el Callao (CENEPRED, 2017).

La finalidad de estos mapas es realizar una caracterización del área de estudio en relación a cómo estas variables interactúan en el espacio, para poder luego discutir y comparar los resultados de nuestro modelamiento.

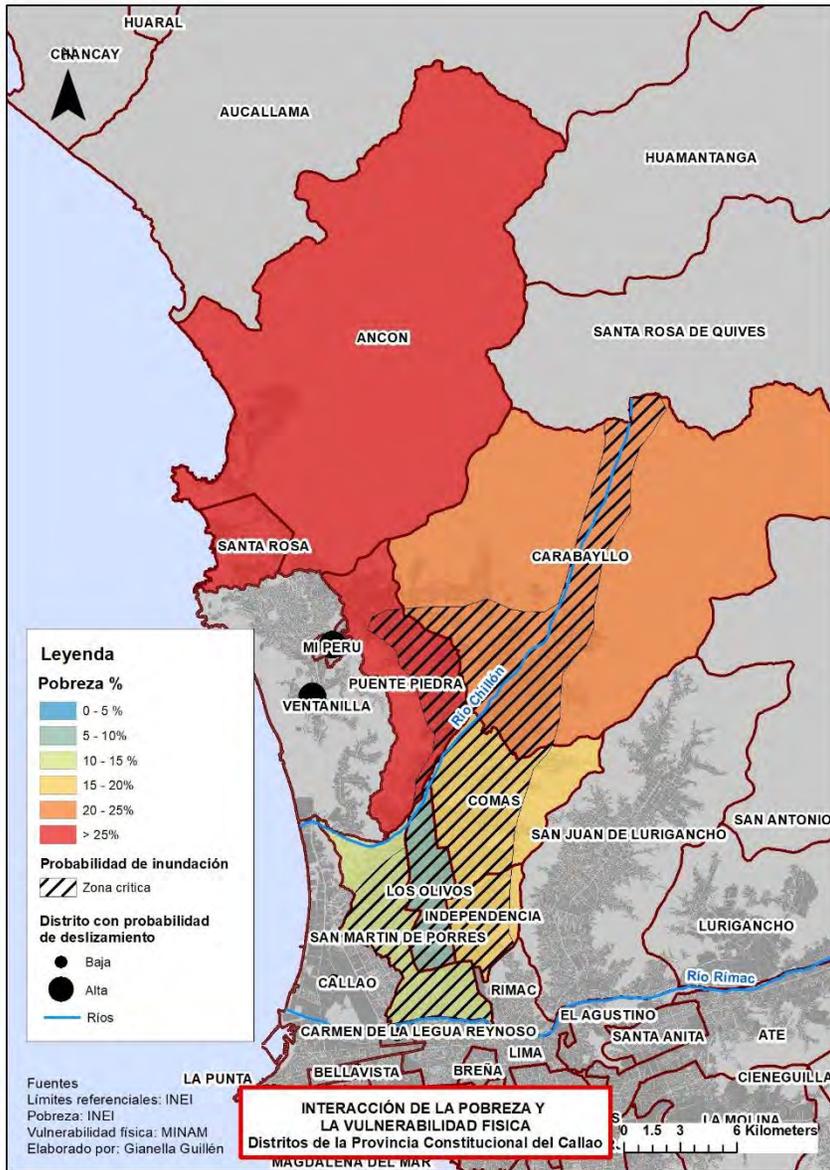
Se ha dividido a Lima Metropolitana y el Callao en seis zonas geográficas, a fin que la información se pueda visualizar y analizar mejor, para ello tenemos: Lima Moderna, Lima norte, Lima sur, Lima este, Lima centro y el Callao.

**Mapa 3.3: Pobreza y vulnerabilidad física en Lima Moderna**



El mapa 3.3, el cual corresponde a los distritos de Lima moderna, se observa que predominan porcentajes de pobreza entre 0 – 5% lo cual indica bajos niveles de pobreza. Los únicos distritos que se encuentran dentro de un rango de 5 – 10% son Barranco y Surquillo. En lo relacionado a los peligros físicos, no hay presencia de zonas críticas en esta zona, así tampoco hay probabilidad de desplazamiento que afecte a la población. Se puede presumir que la población de esta zona de Lima goza de óptimos niveles socioeconómicos.

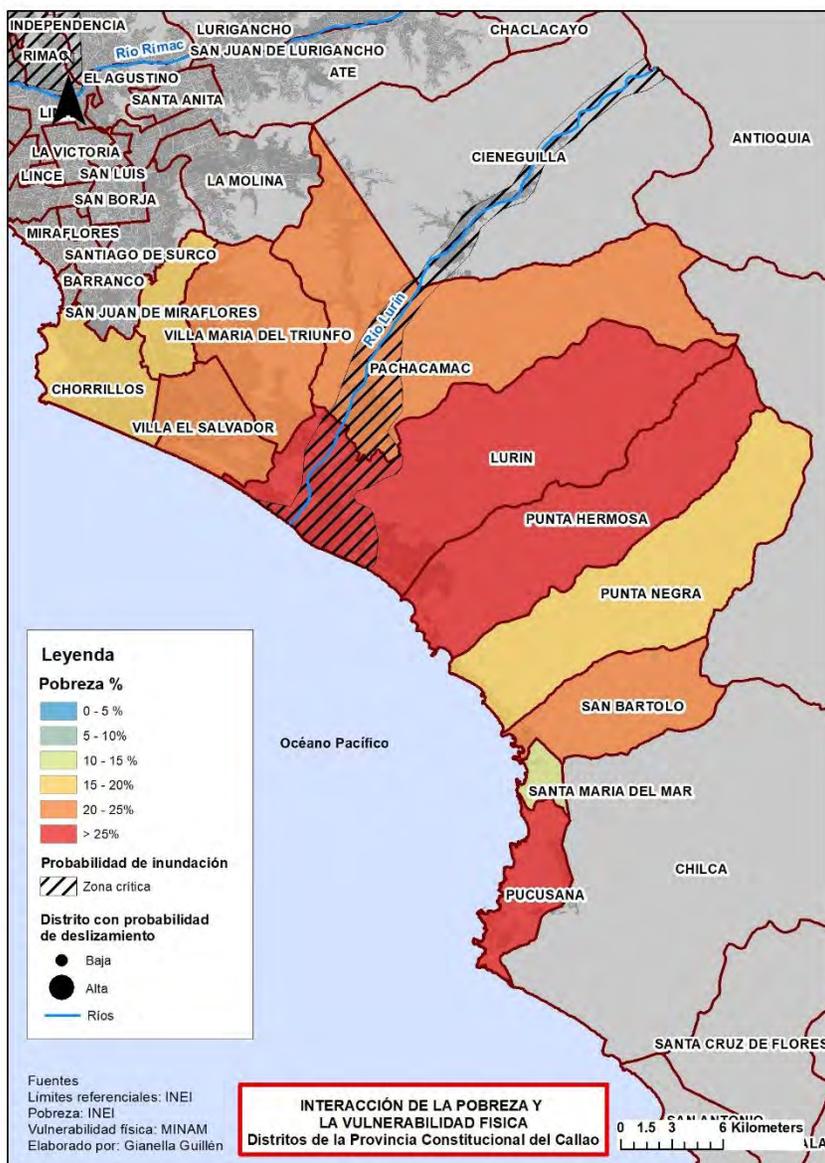
Mapa 3.4: Pobreza y vulnerabilidad física en Lima Norte



El mapa 3.4 corresponde a los distritos de Lima norte, en esta zona predominan altos niveles de pobreza. Los distritos de Ancón, Santa Rosa y Puente Piedra se encuentran en un rango entre el 25 – 30 % de pobreza, así también, Puente Piedra presenta zonas críticas con probabilidad de inundación. Por el este, el distrito de Carabayllo presenta niveles de pobreza entre el 20 – 25 % y se observa que todas las manzanas se encuentran dentro de una zona crítica de probabilidad de inundación.

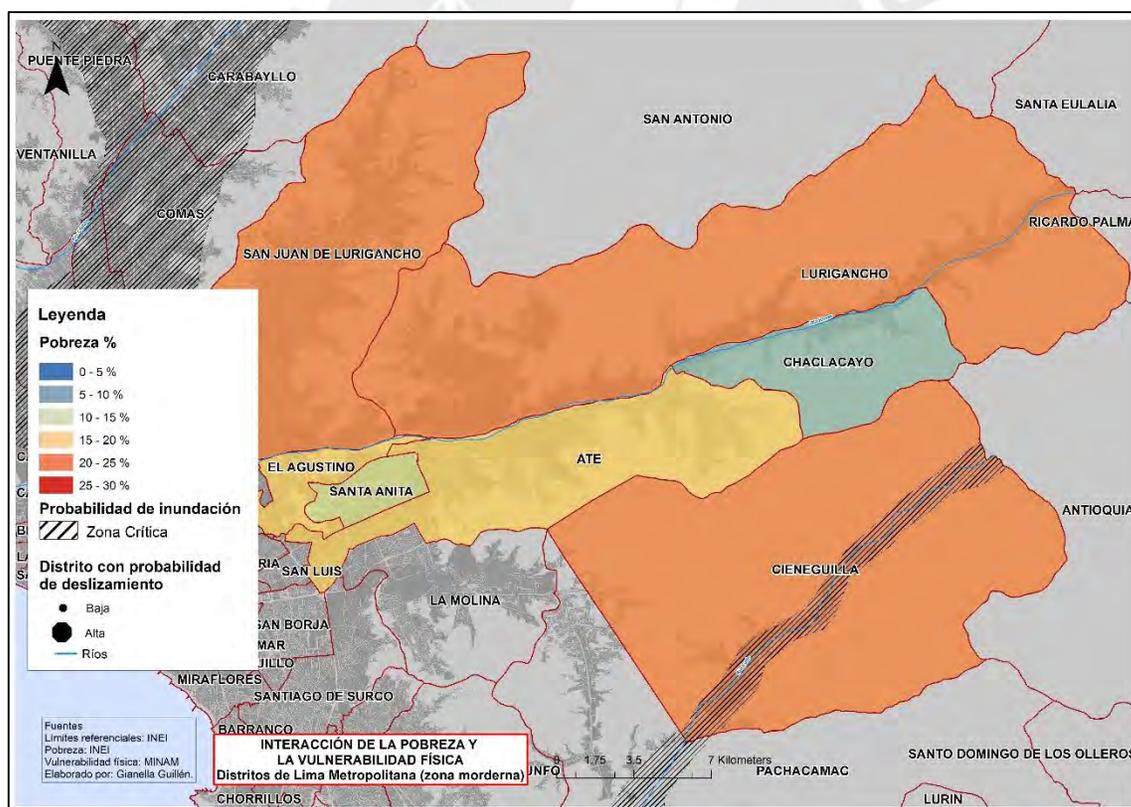
Por su parte Comas e Independencia se encuentran en el rango promedio de pobreza, el cual va entre el 15 – 20 % y los distritos con mejores condiciones económicas son Los Olivos y San Martín de Porres. Sin embargo, todos ellos se encuentran en la zona crítica de probabilidad de inundación, lo cual indica que la zona norte de Lima Norte es bastante vulnerable frente a eventos extremos.

**Mapa 3.5: Pobreza y vulnerabilidad física en Lima Sur**



El mapa 3.5 corresponde a los distritos de Lima Sur, en esta zona predominan altos niveles de pobreza, los más pobres son Lurín, Punta Hermosa y Pucusana, de los cuales Lurín tiene una zona identificada con probabilidad de inundación y esta se encuentra a ambas márgenes del río Lurín. Los distritos de San Bartolo, Pachacamac, Villa María del Triunfo y Villa el Salvador también tienen una población grosamente pobre, esta fluctúa entre el 20 – 25 %, de los cuales el distrito de Pachacamac tiene población habitando la zona de probabilidad de inundación, bajo el mismo patrón de encontrarse asentada a las márgenes del río. Finalmente, los distritos de San Juan de Miraflores, Chorrillos y Punta Negra presentan niveles intermedios de pobreza, entre 15 – 20%, siendo Santa María del Mar el que cuenta con mejores condiciones socio económicas.

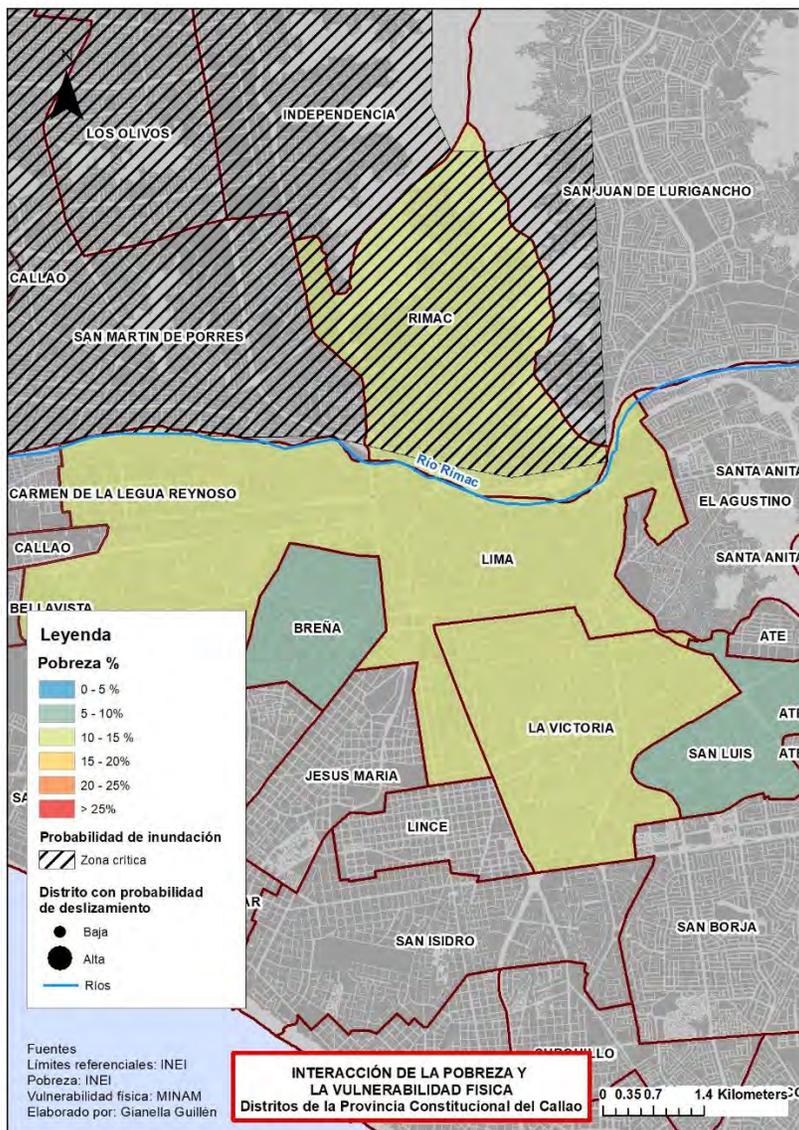
**Mapa 3.6:** Pobreza y vulnerabilidad física en Lima Este



El mapa 3.6 corresponde a los distritos de Lima este, en esta zona predomina un nivel de pobreza entre el 20 – 25 %, los cuales involucran a los distritos de Cieneguilla, San

Juan de Lurigancho y Lurigancho, en Cieneguilla se ha identificado como zona de probable inundación aquella que se encuentra a ambas márgenes del río Lurín. Los distritos que cuentan con mejor nivel socio económico son Chaclacayo y Santa Anita. Finalmente el Agustino y Ate se encuentran en un rango de pobreza entre el 20 – 25%. Así también, se observa una ausencia de probabilidad de deslizamientos en los distritos de la zona este, el único distrito comprometido en cuanto a susceptibilidad física es Cieneguilla.

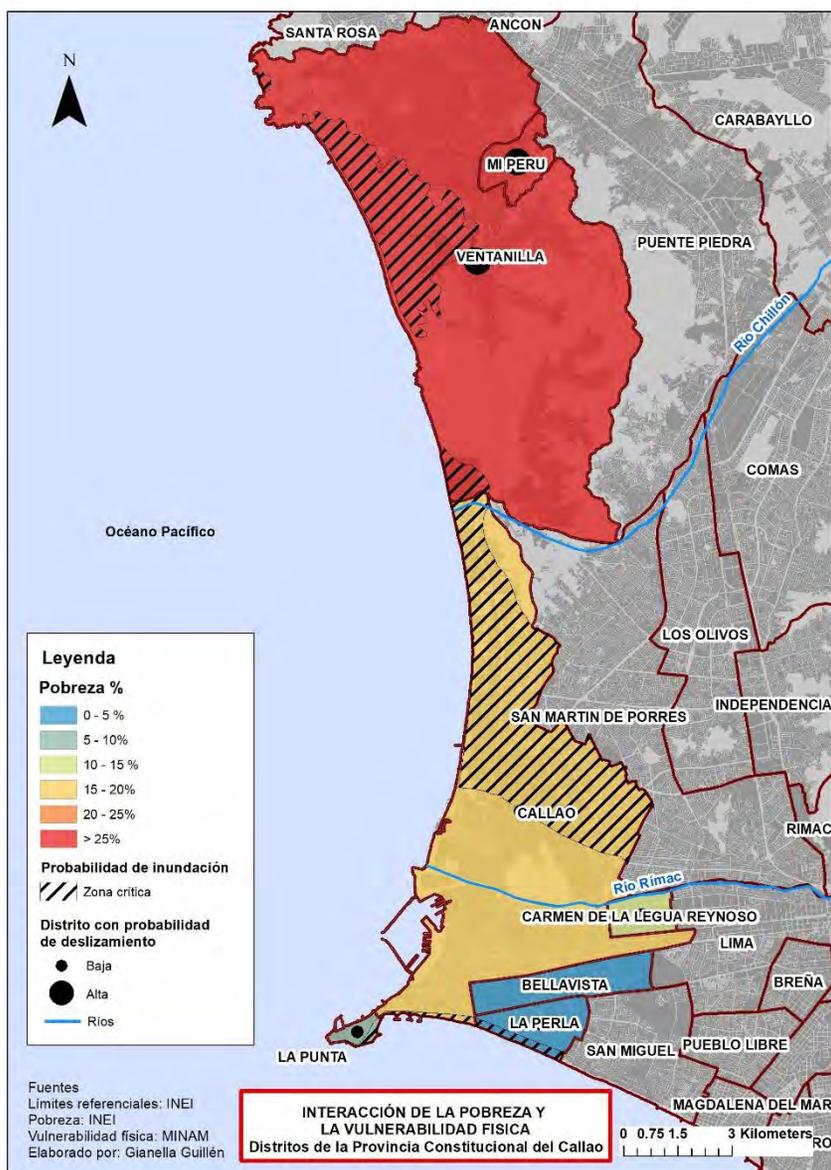
**Mapa 3.7:** Pobreza y vulnerabilidad física en Lima Centro



El mapa 3.7 corresponde a la zona centro de Lima Metropolitana, en cuanto a las condiciones socio económicas se observa que predomina un nivel de pobreza entre el 10 – 15 %. Los distritos con mejor condición socio económica son Breña y San Luis, cuyo nivel de pobreza se encuentra entre 5 – 10 %.

Se identifica como zona crítica la totalidad del distrito de Rímac, situación que será analizada y contrastada con más detalle con los resultados de nuestro modelamiento.

**Mapa 3.8:** Pobreza y vulnerabilidad física en el Callao



El mapa 3.8, presenta la situación de los distritos que conforman la provincia del Callao, hacia la parte norte se observa los niveles más altos de pobreza, estos corresponden a los distritos de Ventanilla y mi Perú. La zona límite al litoral del distrito de Ventanilla se ha identificado con probabilidad de inundación, así también, el distrito está considerado con una alta probabilidad de deslizamiento. Por otro lado, el distrito de Mi Perú también tiene altas posibilidades de sufrir deslizamiento.

El distrito del Callao tiene un porcentaje de pobreza entre el 15 – 20 % y prácticamente la mitad del distrito está comprometido como zona probable a sufrir inundaciones, así como una baja posibilidad de sufrir deslizamientos, lo cual no quiere decir que esta sea nula.

Los distritos de Carmen de la Legua, Bellavista, La Perla y La Punta; se encuentran en una mejor situación socio económica, de los cuales en La Perla y La Punta se han identificado zonas críticas con posibilidad a sufrir inundaciones. Cabe mencionar que todos estos distritos tienen una baja posibilidad de ocurrencia de deslizamiento.

Al haber visualizado la interacción de la pobreza y la vulnerabilidad física en cada una de las zonas de Lima Metropolitana, se observó que no hay un patrón que indique que las zonas críticas con probabilidad de inundación o deslizamiento correspondan exclusivamente a los distritos más pobres. Se observó que distritos como La Punta, La Perla y Los Olivos que tienen mejores condiciones socio económicas presentan grandes zonas críticas con posibilidad de inundación.

De otro lado, el número de distritos con zonas críticas a sufrir inundaciones o deslizamientos corresponden en su mayoría a aquellos más pobres, pero no es exclusivo como ya se mencionó. Dicha situación bien podría ser objeto de un estudio más minucioso para encontrar la correlación entre la pobreza y las condiciones de susceptibilidad física.

#### 4. ASPECTOS METODOLÓGICOS Y DATOS

La metodología a seguir en la presente investigación involucra el conocido método analítico que se usa comúnmente en las ciencias y consiste en descomponer una idea o un objeto en sus elementos básicos, es decir va de lo general a lo particular. Es así, como la investigación parte de un acontecimiento hidrometeorológico histórico, como lo fue la lluvia del 15 de enero de 1970, para luego analizar el contexto de este evento y finalmente realizar un modelamiento que permita identificar las zonas más vulnerables de ocurrir un evento similar en un escenario actual.

Para la identificación de las zonas más vulnerables de ocurrir una lluvia de una magnitud como la de 1970, se utilizó el software de modelamiento Maxent, el cual utiliza el principio de máxima entropía para el análisis de las variables. De esta forma se brindará una nueva utilidad a este programa, que por lo general es utilizado en el campo de la biogeografía, es decir, para el modelamiento de especies, en esta investigación lo aplicaremos dentro de los estudios de la geografía de los desastres.

Como ya se explicó en el capítulo del marco teórico, el principio de máxima entropía, quiere decir, “la máxima probabilidad de que ocurra algo, en términos geográficos, la máxima probabilidad de que ocurra un objeto en el espacio” (Torres & Jayast citado por Cuentas, 2015:30). Este principio, adaptado a nuestro estudio viene a ser la máxima probabilidad que un evento afecte un espacio.

Siendo que nuestro estudio es un fenómeno meteorológico atípico, el abordaje de la metodología parte de un análisis cuantitativo del evento. Este, es complementado con reportes históricos y variables que tipifican las diferentes construcciones de viviendas de nuestra área de estudio, para finalmente encontrar patrones de las zonas afectadas que expliquen el estado de vulnerabilidad.

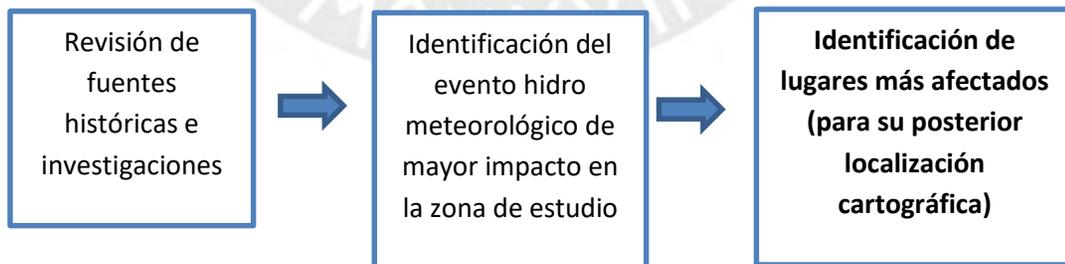
A continuación se desarrollará la metodología de la investigación.

#### 4.1 Información histórica sobre el evento

Debido a que el fenómeno ocurrió hace 48 años es necesario profundizar en el contexto y la realidad de aquella época.

Para ello, se consultó la recopilación histórica publicada en la investigación, “Lima: entre garúas y diluvios” de Tejada y Silva (2016). La metodología de esta investigación, fue consultar los eventos documentados en el portal web de Desinventar, este es un sistema de inventario de efectos de desastres para América Latina y fue elaborado por La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. La base de datos de Desinventar cuenta con las referencias de los diarios o las instituciones que reportaron los efectos de los desastres.

Al consultar la recopilación en la publicación “Lima: entre garúas y diluvios” se pudo geolocalizar las zonas más afectadas utilizando el software Arcgis, de esta forma construir una base de datos espacial para el posterior modelamiento de zonas vulnerables.



Así también, la revisión histórica nos permite descartar la ocurrencia de otro evento hidrometeorológico atípico que haya tenido gran impacto en Lima

Metropolitana y cuyos reportes de impactos puedan contribuir en la investigación.

Según Capel a lo largo de la historia de Lima, desde la fundación su fundación en 1535 por Francisco Pizarro, hasta comienzos del siglo XXI, en algunas contadas ocasiones, copiosas e inusitadas lluvias han azotado la capital (1999).

“Varios cronistas y estudiosos han relatado sobre estos eventos y cómo causaron alarma en la población de Lima de aquellos tiempos. Según Capel (1999) fueron ocho eventos de lluvias ocurridos los años 1541, 1552, 1614, 1652, 1720, 1747, 1843 y el de 1887, que han quedado registrados como extremas y de gran magnitud. Según se detalla, fueron lluvias que se presentaron con tormentas eléctricas, aguaceros que duraron horas e inundaron las calles, y que provocaron pánico en las personas haciéndolas recitar plegarias en plena vía pública” (Capel, citado por Tejada & Silva, pp. 2, 2016).

Si bien Capel hace un recuento de la existencia de contadas precipitaciones que anteceden al año 1970, estas son narradas en forma de crónica y no se encuentran documentadas de tal manera que permita un desarrollo científico. La precipitación más antigua que se encuentra documentada en los diarios ya sea por su rareza y su magnitud es la del 15 de enero de 1970.

#### **4.2 Datos climáticos**

Los datos de precipitaciones y temperatura del aire fueron registrados en la estación meteorológica Hipólito Unánue, ubicado en el campus de la PUCP.

En el presente estudio se usan los resultados obtenidos en el Proyecto de la DGI “Variabilidad y Tendencias Climáticas en Lima Metropolitana” (código 2014-0056).

La serie de datos utilizada fueron reportes diarios desde 1969 al 2013. Se cuenta con un registro de 44 años de información, ello nos permite realizar una caracterización de las precipitaciones y su variabilidad, puesto que para los estudios climáticos es importante contar con no menos de 30 años de data.

#### **4.2.1 Control de calidad de los datos**

Se realizó el control de calidad de datos mediante el uso del software RClimdex, de esta forma se corrigieron posibles errores al momento de la medición de los datos o de la digitalización de la información.

Se ejecutó la corroboración de los “outliers” o valores extremos mediante la consulta de eventos meteorológicos, reportes periodísticos y eventos Niños, que estén relacionados con estos registros y así descartar un posible error en el registro o la digitalización de los datos.

#### **4.2.2 Caracterización de los eventos lluviosos en Lima:**

De los 27 índices climáticos que cuenta RClimdex para el estudio de las precipitaciones, solo se utilizaron 5, ya que estos corresponden a las características de la zona de estudio y con los objetivos de la investigación, estos se indican en la tabla 4.1.

**Tabla 4.1:** Definición de los índices a utilizar en RClimdex

<b>Índice</b>	<b>Definición</b>
RX1day	Indicador del máximo mensual de precipitación en 1 día en milímetros (mm)

Rx5day	Indicador del máximo mensual de precipitación en 5 días consecutivos en milímetros (mm)
R10	Indicador del número de días en un año en que la precipitación en > 10 mm
R20	Indicador del número de días en un año en que la precipitación es > 20 mm
R95p	Indicador de la precipitación diaria cuyo valor a lo largo del año supera el percentil 95

Elaboración Propia

Previo a la ejecución de los índices el programa RClimdex se tiene que ingresar la ubicación geográfica de la estación meteorológica de donde proviene la información, así mismo, ingresar el periodo de años a analizar.

Por otro lado, es requisito realizar un proceso de tratamiento de la data, esta debe estar ordenada y codificada de tal forma que el programa lo reconozca.

El formato y orden es el siguiente:

Formato ASCII, este formato puede ser guardado desde Excel, además los datos deben ir en el orden: Año, mes, día, precipitación (mm) y temperatura (° C); los datos deben ir separados por lo menos por una coma y los datos faltantes deben ser completados con “- 99.9” y los registros históricos en orden cronológico.

Una vez que el programa realiza el control de calidad y acepta la base de datos, se procede a seleccionar los índices que queremos analizar, este procedimiento es bastante sencillo y finalmente se obtienen los resultados en archivos Excel y en imágenes JPG.

Finalmente, se analizó la distribución diaria de las precipitaciones, la cual está enfocada en casos o días específicos, a partir de los gráficos obtenidos se identificaron los días de precipitación intensa y también de precipitación atípica, para lo cual se tomó como referencia el percentil 95.

#### **4.2.3 Análisis de las condiciones climáticas del océano Pacífico**

La metodología para el presente objetivo ha sido utilizada en diversos estudios sobre la influencia de la temperatura superficial del mar (TSM) en las costas entre los que podemos mencionar a: Ñahui, (2007); Silva et al. (2010); Hernández, (2012). Para ello se utilizará, los eventos del Niño Global, el cual está basado en el “Índice Oceánico El Niño” (ONI), este es proporcionado por la NOAA y se basa en el análisis de la TSM de la región Niño 3.4 del Pacífico Central.

Se analizó si el evento de 1970, tuvo lugar en un contexto de Niño Global con la finalidad de conocer si aquellas condiciones oceánicas influenciaron en la ocurrencia de la lluvia de 1970. Esta información se obtuvo del portal web de la NOAA para el periodo 1950 – 1981.

Así mismo, se procedió a analizar los eventos del Niño Costero, de la misma forma que el Niño Global, de haber ocurrido un Niño Costero para entonces, tendría un impacto directo en las costas peruanas y por ende en el evento en estudio. Para el Niño Costero se analiza la TSM dentro de la región Niño 1+2 del Pacífico Oriental. La información para el Niño Costero se obtuvo del portal web de la Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera del portal web del Instituto Geofísico del Perú (IGP) para el periodo 1959 – 2009.

### 4.3 Análisis de vulnerabilidad física

Para la elaboración del mapa de vulnerabilidad física en Lima Metropolitana y el Callao se utilizó el programa Maxent.

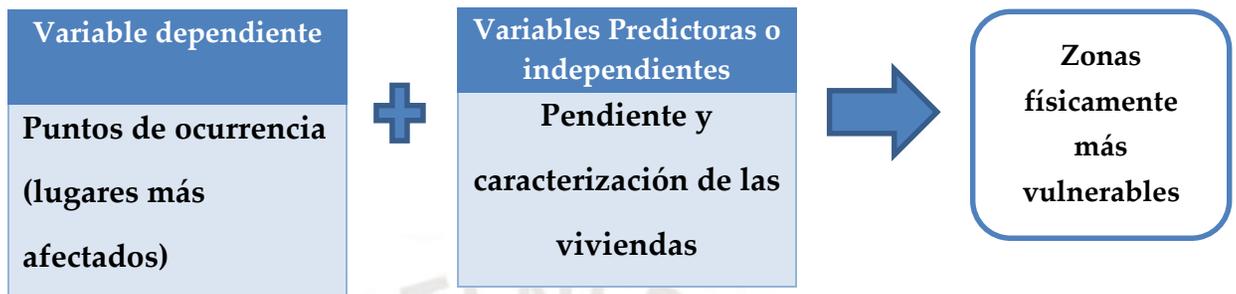
Debido a que el software trabaja con un algoritmo que ayuda a determinar la máxima entropía, refiriéndonos a la máxima probabilidad de que ocurra un objeto en el espacio (Torres & Jayast citado por Cuentas, 2015). Este principio de máxima entropía adaptado a nuestro estudio viene a ser **la máxima probabilidad que un evento afecte un espacio**. De esta forma se obtuvieron la mayor probabilidad de zonas afectadas.

Se utilizaron variables predictoras las cuales fueron obtenidas del Censo Nacional de Hogares (2013) que realizó el Sistema de Focalización de Hogares (SISFHO), se les llama predictoras porque influyen en diferente medida y ayudan a determinar la vulnerabilidad física de las viviendas. Es por ello que estas variables están relacionadas con las características de las viviendas, es decir material del techo, material de las paredes, material del piso, entre otras. Por otro lado, para los puntos de muestreo se consideraron las zonas que han sido las más afectadas según los reportes históricos ya registrados.

Los puntos de ocurrencia con sus respectivas coordenadas geográficas se encuentran en el anexo 3 y la información espacial de las variables predictoras en el anexo 4.

Así como se muestra en el siguiente esquema, la lógica para obtener el modelamiento de las zonas físicamente más vulnerables requiere de dos insumos. Primero una variable dependiente, la cual está conformada por los puntos de ocurrencia geolocalizados, es decir los lugares más afectados según información histórica; por otro lado, las variables predictoras o independientes

que están relacionadas con capas de información espacial que contenga las características físicas de las viviendas; finalmente, a partir de ambos insumos se obtienen las zonas físicamente más vulnerables.

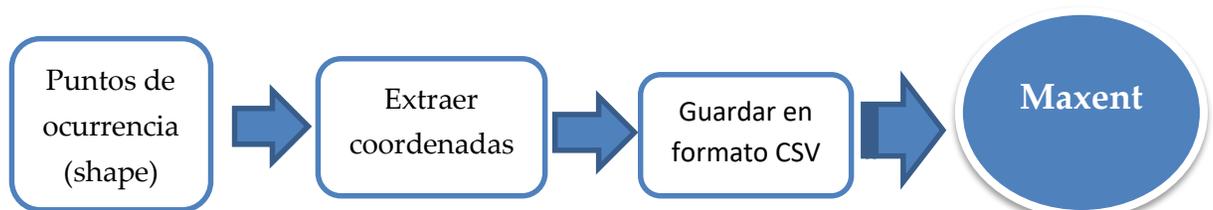


#### 4.3.1 Recopilación y preparación de la data

La información de las variables a utilizar se obtuvo del censo del Sistema de Focalización de Hogares (SISFHO) 2013, el SISFHO pertenece al Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social. El detalle de la información es a nivel de manzanas, lo cual nos permitió hacer un análisis mucho más minucioso.

Además, se realizó la preparación de puntos de ocurrencia, como ya se mencionó estos fueron obtenidos de reportes de noticias de zonas afectadas en relación al evento de 1970 y lluvias en los últimos años (ver anexo 3).

Para trabajar los puntos de ocurrencia, se digitalizó una base cartográfica en formato "shape", esto se realizó utilizando el programa ArcMap, luego se extrajo las coordenadas de los puntos y se exportaron a un Excel, para luego guardarlos como CVS, ya que solo en este formato pueden ser ingresadas al Maxent.



Luego se procedió a la preparación de las variables de vivienda y variables físicas.

Todas las variables con las cuales se ha trabajado se encontraban en formato vectorial, por lo tanto se tuvieron que convertir a “raster” para finalmente convertirlos a formato ASCII (ver anexo 4), el cual reconoce el Maxent.

El proceso de modelamiento se procedió de acuerdo a las indicaciones propuesto por Cuentas y Timaná (2015) cuyos manuales (ver anexo 6) detallan gráficamente los procedimientos, así mismo, siguiendo las recomendaciones del manual se realizó la edición de los resultados, para obtener una mejor resolución que nos permita observar con más detalle las zonas afectadas.

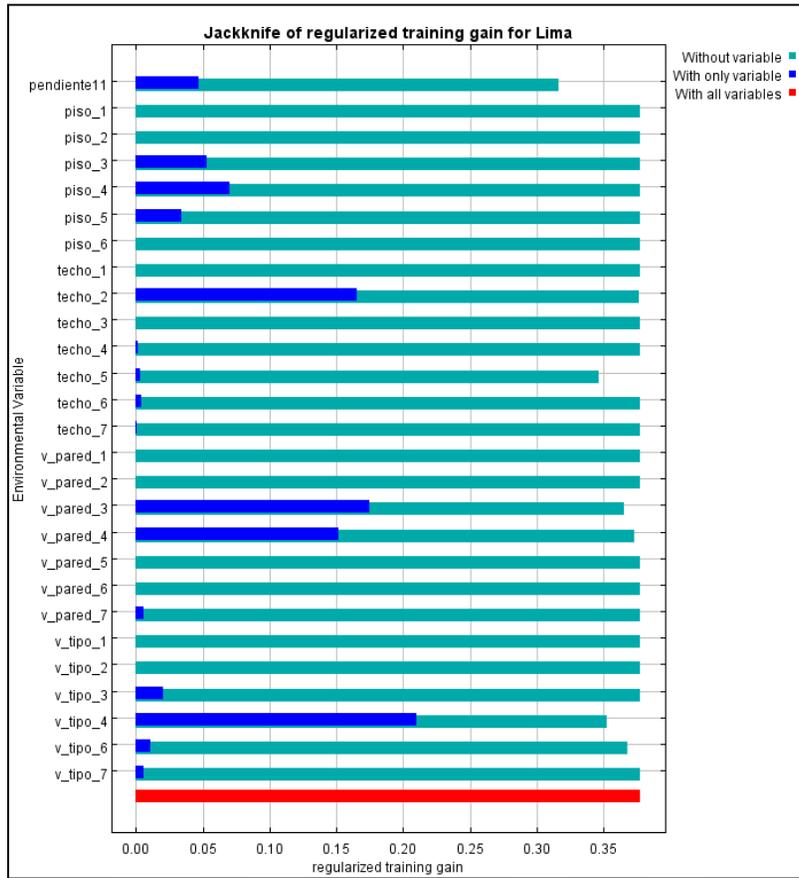
#### **4.3.2 Evaluación de las variables y del modelamiento**

A continuación, se muestra la lista de variables que se utilizaron (figura 4.1), las cuales se obtuvieron del SISFOH 2013, se evaluó el grado de significancia de las variables para nuestro estudio. Para lo cual se utilizó el test Jackknife dentro del programa Maxent. Este, nos permitió definir el aporte de cada variable para el modelo y de esta forma filtrar las variables con las que trabajaremos.

Revisar el anexo 4 para la visualización espacial de las variables predictoras que determinaron el modelo.

A continuación se muestra la aplicación del test Jackknife el cual ayudará a definir las variables con las que se trabajará el modelamiento de zonas vulnerables.

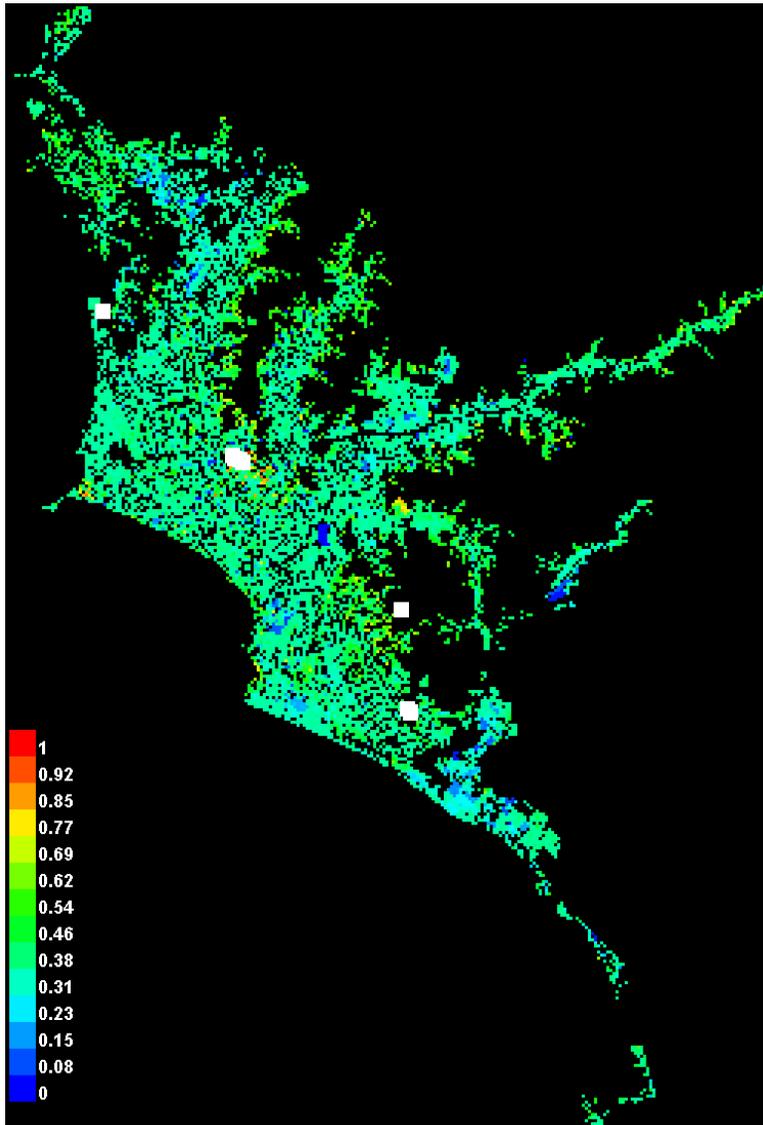
**Figura 4.1** Jackknife para las variables en estudio



La figura 4.1, es el resultado de aplicar el test Jackknife, las variables se encuentran en el eje “Y” y el grado de significancia en el eje “X”.

Las barras azules más representativas, corresponden a las variables que más aportan en el modelo, es decir, para definir la máxima entropía, estas son: pendiente (pendiente 11);pisos de losetas, terrazos y cerámicos (piso 3); piso de madera (piso 4);techo de madera (techo 2), pared de adobe o tapia (v-pared 3); pared de quincha [caña y barro] (v-pared 4) y vivienda en casa de vecindad [callejón o solar](v-tipo 4).

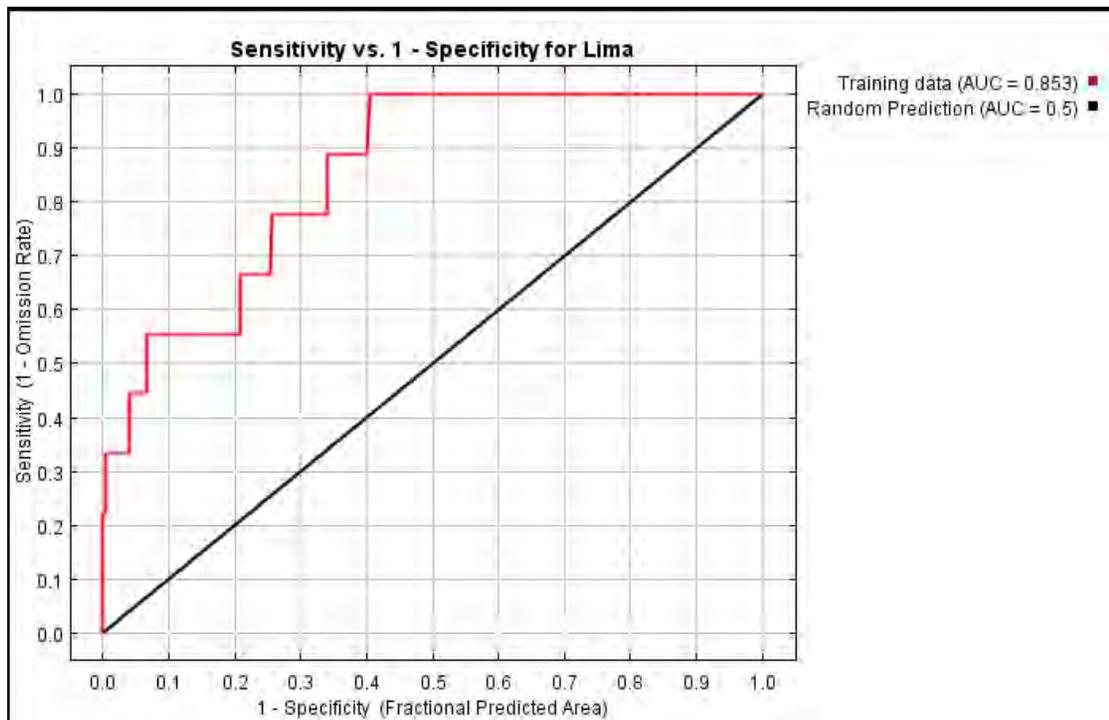
Figura 4.2: Resultado preliminar del modelamiento



Por otro lado, en la figura 4.2 se muestra un mapa simbólico como resultado del modelamiento en Maxent, este mapa es un resultado automático en cuanto el software termina de ejecutar el modelamiento, en principio los tonos rojos son las zonas más vulnerables y en cuanto se aproxime más a los tonos azules quiere decir que la vulnerabilidad disminuye. La información sobre los niveles de vulnerabilidad que contiene esta figura se encuentra en formato ASCII y aún requiere un procesamiento y reclasificación de información. Para los fines del

presente estudio no es conveniente tener muchas clasificaciones para evidenciar los niveles de vulnerabilidad, por ello, esta información espacial debe ser transformada a formato raster, para luego ingresarla al ArcMap y QGis y mediante técnicas de remuestreo proseguir con la elaboración de los mapas finales.

**Figura 4.3:** Evaluación del modelamiento



La figura 4.3 corresponde al estadístico o test AUC, como ya se describió en el marco teórico, este test nos permite corroborar si nuestro modelo es aceptable o requiere realizar ajustes.

El valor del estadístico AUC es 0.853, este se encuentra en el rango de 0,8 – 0,9 (verificar con la Tabla N°1), lo cual indica que nuestro modelo es “Bueno”, según los rangos de aceptabilidad del test.

Que nuestro modelo sea bueno, significa que se realizó una buena selección de las variables predictoras y que las zonas físicamente más vulnerables modeladas, se aproximan significativamente a la realidad.

#### 4.4 Localización e identificación de establecimientos de salud y centros educativos en zonas vulnerables

Con la finalidad de aproximarnos y analizar con más detalle las zonas vulnerables. Para la representación e identificación espacial de las zonas vulnerables se clasificó en quintiles los valores obtenidos en el “raster” del modelamiento. De tal forma se construyó las siguientes categorías:

**Tabla 4.2:** Niveles de vulnerabilidad

Quintiles	Niveles de vulnerabilidad
1er	Muy Baja
2do	Baja
3er	Media
4to	Alta
5to – 20% top	Muy Alta

**Leyenda**

- Muy baja
- Baja
- Media
- Alta
- Muy Alta

Tal como se observa en la leyenda, para representar los rangos de probabilidad de vulnerabilidad se utilizó la gama de verdes, amarillo, naranja y rojo. Los verdes corresponden a una probabilidad baja de afectación, el amarillo una probabilidad media, los tonos naranjas y rojos quiere decir que son zonas de alta y muy alta de afectación.

A partir del mapa de zonas vulnerables se realizó la superposición de información relacionada a la ubicación de colegios y servicios de salud en las zonas afectadas, esto nos permite visualizar los puntos críticos frente a un desastre.

Así también, se sobrepone la información de ríos que son fundamentales para nuestro estudio, porque juegan un rol fundamental en cuanto al impacto que tienen en los asentamientos humanos cercanos a ellos.

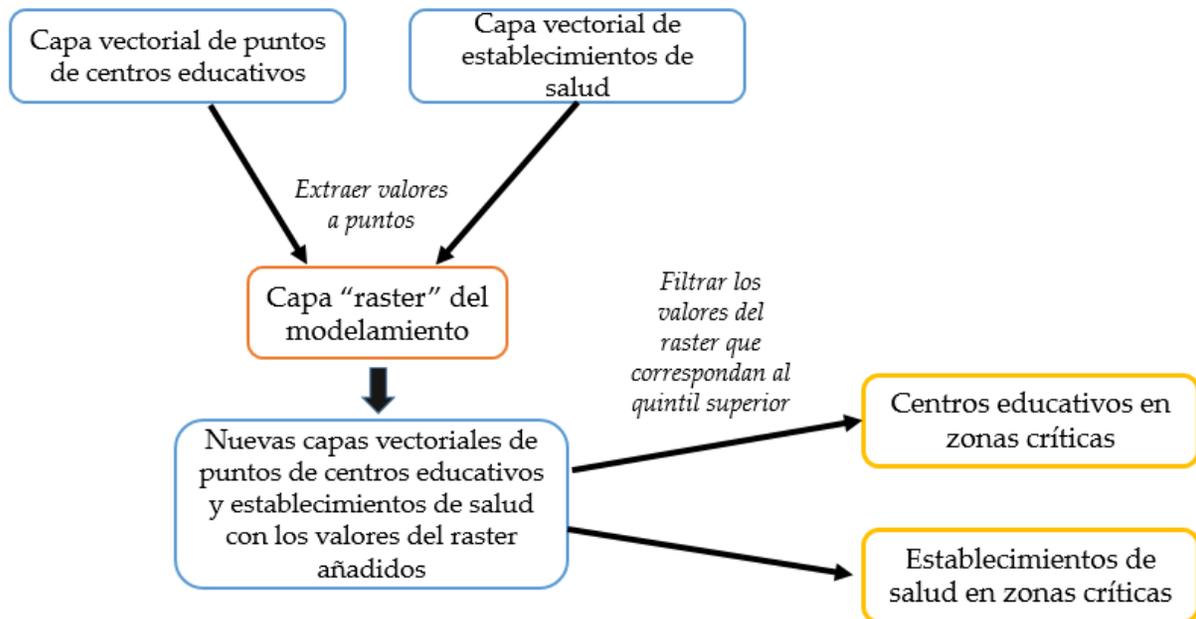
Para analizar los patrones de distribución de la vulnerabilidad se dividió a Lima Metropolitana, en 5 grandes grupos geográficos, a continuación el detalle de cada uno y los distritos vinculados:

- Zona norte y nor-este:** Comas, Independencia, Ventanilla y San Juan de Lurigancho.
- Zona oeste:** Callao y Bellavista.
- Zona centro:** Rímac y Lima.
- Zona sur:** La Molina, Pachacámac, San Juan de Miraflores y Villa María del Triunfo.
- **Zona este:** Chaclacayo y Lurigancho (Chosica).

Una vez realizado la superposición de información de colegios y establecimientos de salud en la etapa previa, se observó que muchos de estos caen en zonas vulnerables, para definir cuáles serían los lugares a considerar en la salida de campo se decidió identificar los centros educativos y establecimientos de salud que se encuentren en zonas de vulnerabilidad muy alta.

Para ello se realizó un tratamiento a la información con la finalidad de delimitar las zonas críticas. A continuación los procedimientos que se llevaron a cabo para ambas variables de servicios públicos y la justificación del porqué se consideraron estos sitios.

### Procesos para identificar centros educativos y establecimientos de salud en zonas críticas



#### 4.4.1 Tratamiento de información de centros educativos en zonas críticas

Se identificó un total de 389 centros educativos en zonas de vulnerabilidad muy alta, se calculó entonces el total de población que alberga cada centro educativo, la cual es el resultado de la suma de la cantidad de alumnos y docentes.

Se aplicó un cálculo del quintil superior al número de personas por centro educativo y se determinó considerar aquellos que alberguen más de 383 personas entre alumnos y docentes.

Finalmente, son 78 centros educativos que por la vasta población que albergan se encuentran en vulnerabilidad extrema y contarían con una asistencia en sus labores diarias entre 383 y 1800 personas en promedio.

Luego se procedió a realizar tablas resúmenes por distrito, a fin de tener un porcentaje de la problemática a nivel distrital.

#### **4.4.2 Tratamiento de información de establecimientos de salud en zonas críticas**

Al igual que el tratamiento dado a los centros educativos identificados en zonas de vulnerabilidad muy alta, se reportaron 33 establecimientos de salud en estas zonas.

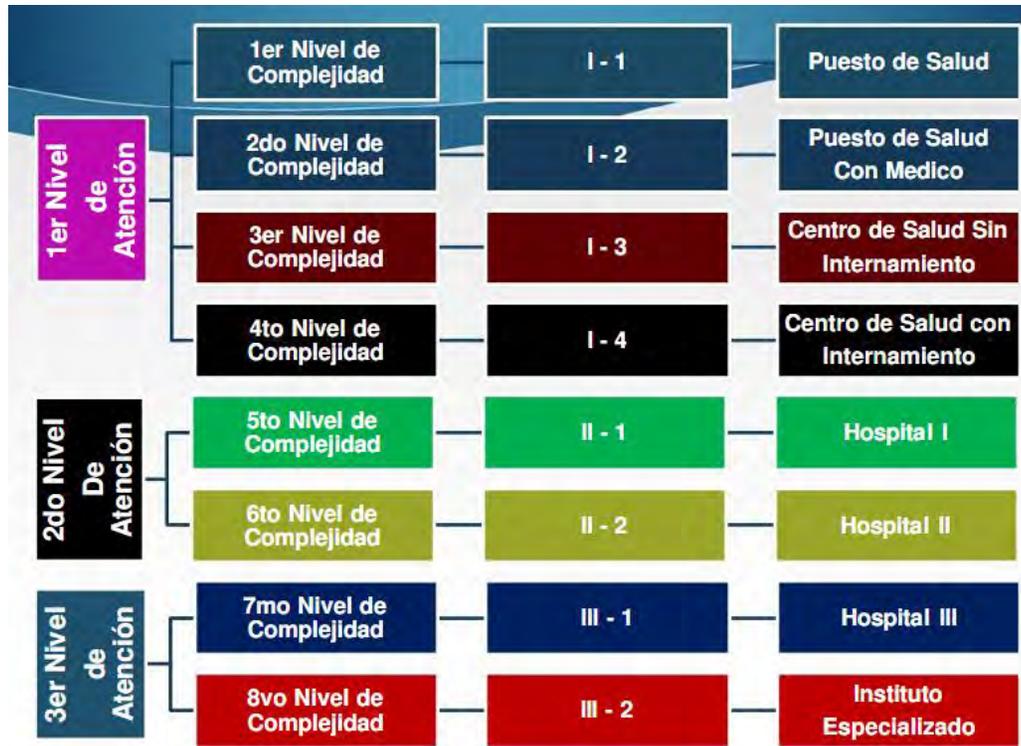
Sin embargo, el criterio de evaluación para identificar los establecimientos de salud en situación crítica, se realizó tomando en cuenta las categorías que el Ministerio de Salud ha asignado a estos establecimientos.

La finalidad de ello es identificar exclusivamente aquellos que cuenten con unidades de internamiento, es decir los hospitales, centros de maternidad e institutos especializados. Estos alojan por un lado mayor cantidad de pacientes así como, albergan a un porcentaje de ellas durante las 24 horas del día en comparación con los de menor rango, como postas médicas o los centros de salud sin internamiento. Ello no quita la importancia de tener registrados a todos, sin embargo, para fines de clasificación y de la visita de campo se asume tales criterios.

Para determinar las categorías a utilizar se siguió la categorización del Ministerio de Salud, mediante la Norma Técnica de Salud (NTS) N° 021 MINSA/DGSP V.03, en la cual se da conocimiento los 3 niveles de atención médica y las categorías.

Para fines de nuestra investigación se utilizaron las categorías I4 (Centro de salud con internamiento), III1 (Hospital I), II2 (Hospital II), III1 (Hospital III) y III2 (Centro Especializado).

**Figura 4.4:** Categorías de los establecimientos de salud



Fuente: Norma Técnica de Salud (NTS) N° 021 MINSA/DGSP V.03

Realizado este filtro, obtuvimos finalmente siete establecimientos de salud en zonas de vulnerabilidad extrema y cuya situación a nivel institucional en tanto atiende a muchas personas se vería muy afectado.

#### 4.5 Reporte fotográfico de las zonas físicamente más vulnerables

En vista que las zonas identificadas dentro de la categoría de vulnerabilidad alta y muy alta son muchas y extensas, se trabajó en la definición de los lugares objetivos a visitar en campo, de tal forma que estos sean representativos para la investigación.

El reporte fotográfico se realizó en tres etapas: planificación de la salida de campo, salida de campo y análisis de lo recopilado en las visitas.

#### **4.5.1 Planificación de la salida de campo**

En esta etapa, se decidió primero definir el objetivo a visitar en campo, como ya se mencionó líneas arriba, nuestro estudio consideró una identificación de centros educativos y establecimientos de salud en situación de vulnerabilidad extrema.

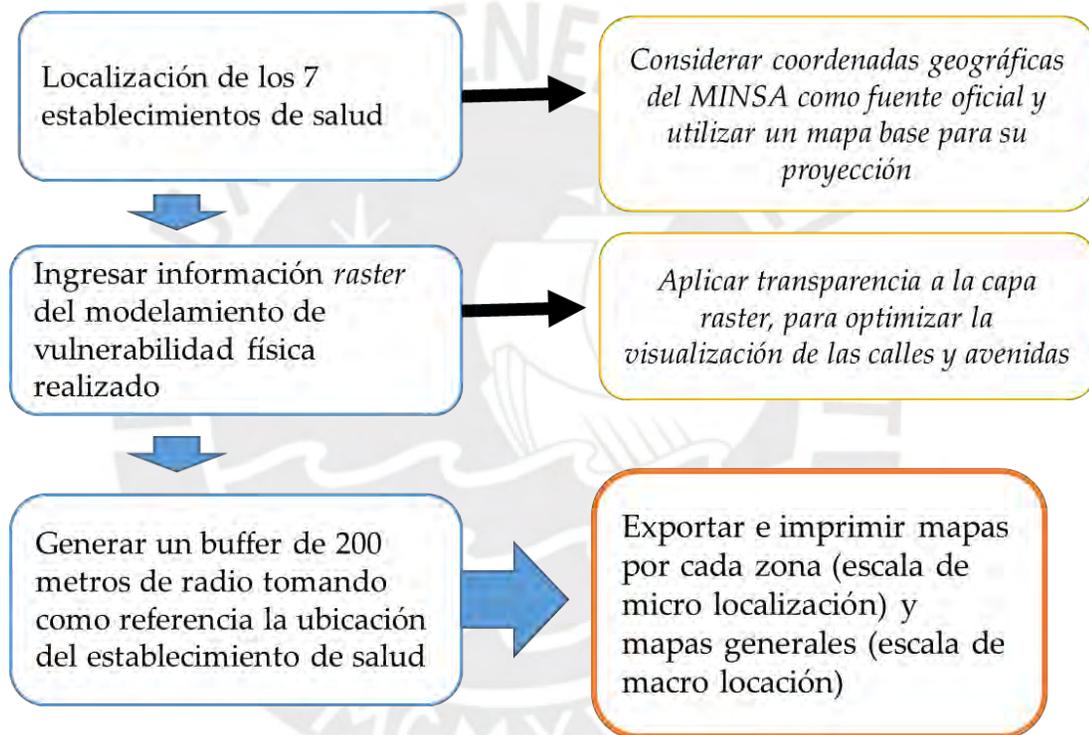
Para optimizar el tiempo en campo y abarcar mejor los lugares de interés, se definió como puntos objetivos visitar principalmente los establecimientos de salud y el entorno a estos. Si bien se identificaron colegios en zonas vulnerables, se decidió visitar los establecimientos de salud, debido a lo vital que es un establecimiento de salud, así también porque la zona de influencia es mucho más amplia que la de un colegio.

La zona de influencia de un colegio es mucho más local, puesto que hay una mayor oferta de colegios que de centros de salud, por decirlo así, los grandes hospitales albergan personas de muchos distritos, es decir la cobertura es más amplia. Así también, en los grandes establecimientos de salud y en los centros de maternidad hay pacientes internados, lo cual incrementa la exposición de personas vulnerables durante las 24 horas en zonas que han sido catalogadas con vulnerabilidad muy alta.

En el acápite desarrollado sobre identificación de los establecimientos de salud, se identificaron siete establecimientos de salud representativos y en zonas de vulnerabilidad muy alta. A continuación se presenta los procesos para elaborar

unos mapas guías para la salida de campo, es importante elaborar los mapas a una escala local, la cual nos permitirá realizar anotaciones en campo y la de la escala macro es fundamental para orientarnos en campo. Si bien es importante contar con un teléfono que nos permita acceder a *google maps* para la orientación, se debe tomar precauciones por si sucede una eventualidad (pérdida, robo, falta de señal).

### Elaboración de los mapas para la salida



A continuación, se definen los criterios para el levantamiento de la información socioeconómica en campo, ello consistirá en la definición por observación de los niveles socioeconómicos. Se considerará el levantamiento de información dentro del *buffer* definido alrededor del establecimiento de salud, así también las viviendas contiguas al *buffer*, este será nuestra área de desplazamiento en campo y se considerará los niveles predominantes (ver anexo 7).

Finalmente en la etapa de planificación, se corroboró la localización de los siete establecimientos de salud mediante la interfaz de *google maps* en la modalidad *street view* a manera de validar la información.

El objetivo de la salida de campo fue realizar un registro fotográfico de las zonas definidas, teniendo como objetivo registrar el estado de los materiales, forma y situación de las viviendas.

#### 4.5.2 Salida de campo

Para llegar a las siete zonas objetivo, se realizaron 3 salidas de campo.

- **Primera salida:** Piedra Liza (Rímac), San Fernando (Ate), Nacional Dos de Mayo (Lima) e Instituto Nacional De Ciencias Neurológicas (Lima).
- **Segunda salida:** Centro Materno Infantil Villa María del Triunfo (Villa María del Triunfo).
- **Tercera salida:** Centro de Salud Villa los Reyes (Ventanilla) y el Centro Materno Infantil y emergencias Juan Pablo II (Los Olivos).

Cada salida tomó un promedio de 3 horas en campo y unas 3 horas más por desplazamiento hacia las zonas, en total se invirtieron en promedio 18 horas de campo.

Para optimizar los tiempos las visita a los establecimientos de salud se realizó tomando como criterio la proximidad de los establecimientos, se inició con la zona centro de Lima Metropolitana, luego la zona sur y finalmente el norte.

Para el caso particular del centro de salud Villa los Reyes, se realizó la validación de su localización en campo, puesto que al observarlo en *street view* no se encontraba en el lugar dónde indicaban las coordenadas del MINSA, habiendo un desfase de 7 cuadras

aproximadamente. Los demás establecimientos no presentaron problemas de localización.

Se ejecutó el registro fotográfico a las viviendas teniendo en consideración que estas se encontraban dentro del buffer de 200 metros definido alrededor del centro de salud y en las zonas de color rojo según los mapas del anexo 7, ya que estas zonas corresponden a las viviendas más vulnerables según el modelamiento realizado. Las fotografías se realizaron desde el frente de las viviendas objetivo, al ser zonas poco seguras no era adecuado acercarse mucho a las viviendas. Lo que se pretende con cada foto es registrar el estado de los materiales, forma y situación de las viviendas, en cada zona visitada se tomaron un promedio de siete fotografías, con lo cual se pretendía alcanzar las 50 fotos para el análisis posterior. Sin embargo, algunas de ellas por la rapidez con la que se tomaron tuvieron que ser eliminadas porque salieron borrosas y en otras zonas no se pudieron tomar más de cinco fotos porque el sitio resultaba muy peligroso, en resumen solo se cuenta con 44 fotos para el análisis.

#### **4.5.3 Análisis de lo recopilado en campo**

Una vez realizado el registro fotográfico se procedió a analizar y contrastar las diferentes zonas, con el fin de explicar los posibles patrones espaciales y así encontrar una tipología de las viviendas.

Para la sistematización fotográfica:

- **Elaboración de códigos:** Se elaboró un diccionario de códigos que hagan referencia a las características del techo, pared y suelo. A continuación se muestra el diccionario de códigos:

			Código
TECHO	Material	Calamina	TK
		Fibrocemento	TE
		Cemento	TC
		Adobe	TAD
	Forma	Plano	T1
		Inclinado	T2
Estado	Conservado	TA	
	Descuidado	TB	
PARED	Material	Pared ladrillo	PL
		Pared madera	PM
		Pared adobe	PA
SUELO	Tipo	Tierra	ST
		Cemento	SC

- **Codificación fotográfica:** según las características predominantes de las viviendas, se realizó una composición de códigos. El orden de los códigos inicia con las características del techo, prosigue con las de la pared y finaliza con el tipo de suelo, tal como se muestra en la leyenda.
- **Tipologías de las viviendas:** Una vez codificadas las fotografías se realizó una clasificación de fotografías de acuerdo a los códigos asignados a cada fotografía, de tal manera se pudieron distinguir algunos grupos de códigos predominantes, los cuales corresponden a los tipos de viviendas predominantes en las zonas vulnerables. Finalmente se calcularon los porcentajes de forma genérica por tipos vivienda, así también de forma más específica según tipo de techo, pared y suelo.

El registro fotográfico además de corroborar el modelamiento de vulnerabilidad física de las viviendas, nos sirve como herramienta para cuantificar las características de las mismas. Las fotografías más allá de la información cualitativa que estas muestran, se pueden traducir a través de códigos en una sistematización de tal forma que se pueda expresar cuantitativamente las tipologías predominantes de viviendas y entender cuáles son las características que las hacen vulnerables.



## 5. RESULTADOS

### 5.1 Revisión histórica del evento

Según el diario El Comercio (2014), de los eventos lluviosos acontecidos durante el siglo XX, aquel que ocasionó mayor daño a la población ocurrió el 15 de enero de 1970, este evento fue denominado el “diluvio setentero”. Este evento atípico instó a las autoridades a declarar en emergencia la capital de la República.

**Tabla 5.1** Resumen de la lluvia de 1970

Fecha de ocurrencia	15 de enero de 1970	
Extensión de las lluvias	Por el norte hasta Huaral, por el sur hasta Pisco y por el este hasta La Oroya.	
Lugares de ocurrencia	Lima metropolitana	Provincias
	Miraflores, Surco, Barranco, Chorrillos	Concepción, La Oroya, Huaral y Pisco
Magnitud	17 mm en 5 horas consecutivas	
Causa	“Gran masa de nubes de 1300 metros de espesor que llegó de la sierra central por los vientos del este”	
Consecuencias	Colapsaron las comunicaciones, hubo apagones, cerca de 2000 viviendas destruidas, 150 amagos de incendios, derrumbes en las márgenes del río Rímac, desborde del río Chilca y Chillón. Lima se declaró en estado de emergencia.	

**Fuente:** El Comercio citado por Tejada, X. & Silva, Y. (2016)

Los titulares en los diarios de entonces, tal como se muestra en las fotografías líneas abajo evidencian lo catastrófico que fue la lluvia del 15 de enero de 1970. Definitivamente fue un evento que movilizó a la capital del Perú y requirió de mucho apoyo del Gobierno Central y de la población en general para superar los daños

ocasiones por la lluvia. Como se observa en la fotografía 5.1, se menciona que es la mayor lluvia de los últimos 45 años, así también, que la creciente del río Rímac ocasionó serios daños en barridas. Se puede observar en las fotografías del diario que las calles quedaron sumamente inundadas, muchos autos fueron cubiertos por el agua.

Foto 5.1: Titular del diario El Comercio que evidencia la gran magnitud de la lluvia del 15 de enero de 1970.



Fuente: El Comercio, 1970.

Foto 5.2: Colectas que tuvieron lugar dadas las graves consecuencias de lluvia de 1970

AUSPICIA EL CONCEJO DE LIMA

## Superó el millón de soles la colecta para los damnificados

En la mañana de ayer superó largamente el millón de soles la Colecta Municipal Pro Damnificados por las recientes lluvias y desbordos del río Rimac. Hasta las 2 de la tarde el total recolectado sumaba la cantidad de 1'134,200 soles.

Como se sabe, la colecta fue iniciada por el Alcalde de Lima, Ing. Eduardo Dibós Ch. quien preside la Comisión que se integró al efecto, con el deseo de reunir el aporte de todos quienes desearan cooperar en la labor de auxilio a los damnificados por los fenómenos naturales.

Los aportes recibidos en el Municipio de Lima hasta las 2 de la tarde de ayer, fueron los siguientes:

Vidal y Vidal S.A. ....	S/. 10,000.00
Carlos Marzotti .....	5,000.00
Jorge y Gonzalo Toy Chung .....	80,000.00
Orgullo Sauerstein S. ....	500.00
Compañía Minera A. ....	10,000.00
Co. de Seguros Panamericano ....	40,000.00
Magallanes S.A. ....	500.00

T.B.M. del Perú S.A. ....	40,000.00
Banco Wiese Ltda. ....	50,000.00
Tabacalera Nacional S.A. ....	25,000.00
Fosforera Permana S.A. ....	25,000.00
Procter and Gamble del Perú ..	50,000.00
Raygada Motors S.A. ....	1,000.00
Mauricio Schwarzmann ....	5,000.00
<b>TOTAL</b> .....	<b>S/. 176,350.00</b>

Dicha cantidad, sumada a la que se había recolectado hasta el día lunes, y que era de 257,650 soles, da un total de 1'134,200 soles.

**APORTES SE SIGUIRAN RECIBIENDO EN LA TESORERÍA DEL CONCEJO Y EN TODAS LAS OFICINAS BANCARIAS**

Las contribuciones a la Colecta Pro Damnificados se seguirán recibiendo diariamente en la Tesorería del Concejo Provincial de Lima (tercer piso del Palacio Municipal) y en todas las oficinas bancarias.

Fuente: El Peruano (1970).

La población y diferentes asociaciones se movilizaron de manera solidaria y se realizaron colectas para los damnificados, muchas de estas se realizaron en los clubes de madres, otras en las parroquias y así también en algunas municipalidades. Por otro lado, los diferentes Ministerios realizaron campañas para ayudar a los damnificados.

Foto 5.3: Movilización de los Ministerios para apoyar a los damnificados

## Ministerio de Vivienda Auxilia a Damnificados de Pueblos Jóvenes

Inmediatamente de producida la lluvia torrencial del jueves, el Ministerio de Vivienda ha dispuesto que la Dirección General de Cooperación Popular y Pueblos Jóvenes preste auxilio técnico y material, tanto a los pobladores de los Pueblos Jóvenes damnificados, como a las familias que habitando en las márgenes del río Rimac se encuentran amenazadas en sus propiedades y vidas por la crecida del río.

Un equipo de auxilio del Ministerio, con maquinaria pesada y camiones ha sido destacado al kilómetro 25 1/2 de la Carretera Central para construir las defensas que protegerán a los Pueblos Jóvenes de Morón.

Además 10 equipos técnicos están evaluando los daños producidos en las modestas viviendas afectadas en esas zonas, con miras a colaborar en las reconstrucciones.

## Ministerio de Salud ha iniciado acción conjunta de ayuda a los Pueblos Jóvenes de la capital

**COMUNICADO OFICIAL**

Como consecuencia de las fuertes lluvias ocurridas ayer, y los desbordos de los ríos Rimac, Chilca y Chillón, se han producido daños materiales especialmente en los Pueblos Jóvenes de la capital.

El Ministerio de Salud, en estrecha colaboración con los Ministerios de Transporte y Comunicaciones, del Interior, de la Vivienda; Cruz Roja Peruana, JAN; Fuerzas Armadas, y el Cuerpo General de Bomberos, ha iniciado acciones conjuntas de auxilio a los damnificados de los Pueblos Jóvenes de la capital.

Fuente: El Peruano (1970).

Foto 5.4: Interrupciones eléctricas como consecuencia de la lluvia



Fuente: El Peruano (1970).

Así también, se dieron una serie de cortos circuitos, lo cual condujo a una serie de amagos de incendios, según reporte del diario El Comercio (1970) un aproximado de 150 amagos de incendios.

Foto 5.5: Bomberos del Callao brindaron apoyo atendiendo a los damnificados del 15 de enero



Fuente: El Peruano (1970).

Tal como se muestra en los titulares de los diarios más importantes del país, fue una lluvia de gran impacto, fue un acontecimiento que no había ocurrido en los últimos 45 años de ese entonces y fueron muchas las personas afectadas. Según el diario El Comercio (2011), un especialista dijo que Lima recibió en esas cinco horas una cantidad de lluvia que equivaldría a un período de ocho meses. De haber durado un poco más, la capital del Perú habría desaparecido o se habría producido una auténtica catástrofe.

A continuación, se presenta una entrevista relacionada al evento atípico en mención, la entrevista fue realizada por Tejada y Silva:

**Entrevista al Ingeniero Gaetano Muscari, docente de Mecánica en la Pontificia Universidad Católica del Perú**

1. ¿Cuáles son los recuerdos que tiene del evento de lluvias ocurridas el 15 y 16 de enero de 1970?

R: Fue una lluvia inusual e imprevista. Entonces yo vivía en Miraflores y recuerdo que tuve que pasar a recoger a mi hermana de la oficina en que trabajaba en el paseo de la República. Debió saltar para subir al automóvil pues el agua corría como un torrente por la pista. En casa se inundó el patio, que no se encontraba techado. Debido a los cortocircuitos que se presentaron en diversos puntos estuvimos dos días sin suministro de electricidad. Al día siguiente me enteré por las noticias que algunos automóviles habían quedado casi cubiertos por el agua al intentar pasar el cruce a desnivel entre la avenida Arequipa y Javier Prado. El agua acumulada en la parte baja del cruce en la Av. Arequipa debió ser extraída con bombas.

2. ¿Ha vivido algún otro evento de lluvias fuertes en Lima, aparte del 70'?  
¿Cómo fue?

R: No he vivido ningún evento de lluvias semejante. Tan solo recuerdo que hace algunos años se presentó un ciclo de fuertes lluvias que motivó que se recomendara a la población a tomar previsiones aislando los techos e instalando líneas de desagüe, pero no alcanzó en absoluto una magnitud comparable a la del evento de 1970.

3. Según su impresión, ¿usted cree que Lima estaría preparada, actualmente, para sobrellevar un evento de la misma magnitud? ¿Por qué?

R: No creo que esté preparada en absoluto, y eso se puede apreciar en las pautas de construcción de muchas edificaciones en Lima, así como la carencia de desagües en la vía pública para el drenaje que pudiese requerirse en las pistas. En el cruce a desnivel entre las avenidas Arequipa y Javier Prado, por ejemplo, no existe un desagüe en la parte más baja en la vía de la Av. Arequipa. Imagino que situaciones semejantes se deben dar en muchos puntos de la ciudad. Imagino que los criterios de construcción y urbanización no toman en cuenta la posibilidad de que pueda darse un evento semejante.

Fuente: Tejada, X. & Silva, Y. (2017)

Los años posteriores al evento de 1970 se dieron una serie de eventos aislados, durante los años 1981, 1983, 1989, 1992 y 1994 (revisar anexo 5). Sin embargo, estos eventos no resultaron significativamente dañinos para la población. Otro año a considerar es 1998, el cual causó daños significativos y se dio en un contexto del Fenómeno del Niño (Desinventar citado por Tejada, X. & Silva, Y. 2016).

El INGEMMET realizó un estudio de susceptibilidad a las inundaciones el cual identificó que las principales zonas críticas se distribuyen a lo largo de los ríos Chillón, Rímac y Lurín. Específicamente en el sector de Puente Piedra y San Martín de Porres (Urbanización San Diego); en el río Lurín a la altura Puente Guayabo y en el río Rímac en Ate Vitarte (A. H Javierd Heraud), Carabayllo, Huachipa, Ñaña, Gambeta, Pariachi, Mariscal Castilla, Dulanto y Morales Duares (Atlas ambiental de Lima, 2008).

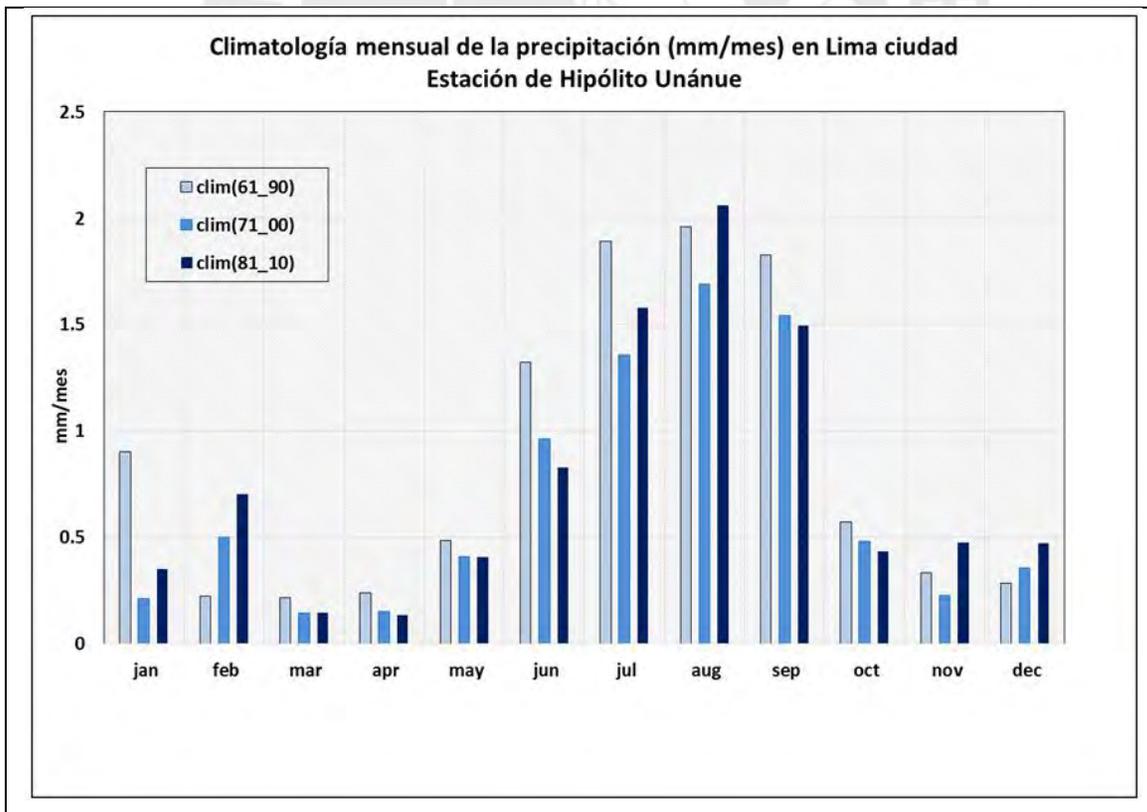
## **5.2 Caracterización de los eventos lluviosos en Lima**

Se desarrollarán cinco indicadores usando el software RClindex, los cuales se mostrarán en figuras y se explicarán en líneas siguientes a estas. Además, se considerará mostrar un análisis histórico de temperaturas debido a que estas tienen gran influencia en las precipitaciones, debido a que si estas se incrementan aceleran el proceso de evaporación de las aguas del mar y crean escenarios propicios para las precipitaciones.

### 5.2.1 Ciclo anual de la precipitación en Lima metropolitana

Las precipitaciones en Lima Metropolitana son muy escasas, los valores acumulados mensuales no superan los 2mm/mes. Siendo aún escasas, los valores máximos en los meses de invierno, siendo agosto el mes con mayor frecuencia de lloviznas, por lo tanto acumula mayor cantidad de agua precipitada (figura 5.1). En Silva et al. (2015) se hace un análisis de las climatologías para diferentes periodos (1961-1990; 1971-2000; 1981-2010), encontrándose en general el periodo 1961-1990 fue más húmedo en casi todos los meses. Precisamente el mes de enero, a pesar que está entre los meses más secos, durante este periodo presenta, en promedio precipitaciones más altas.

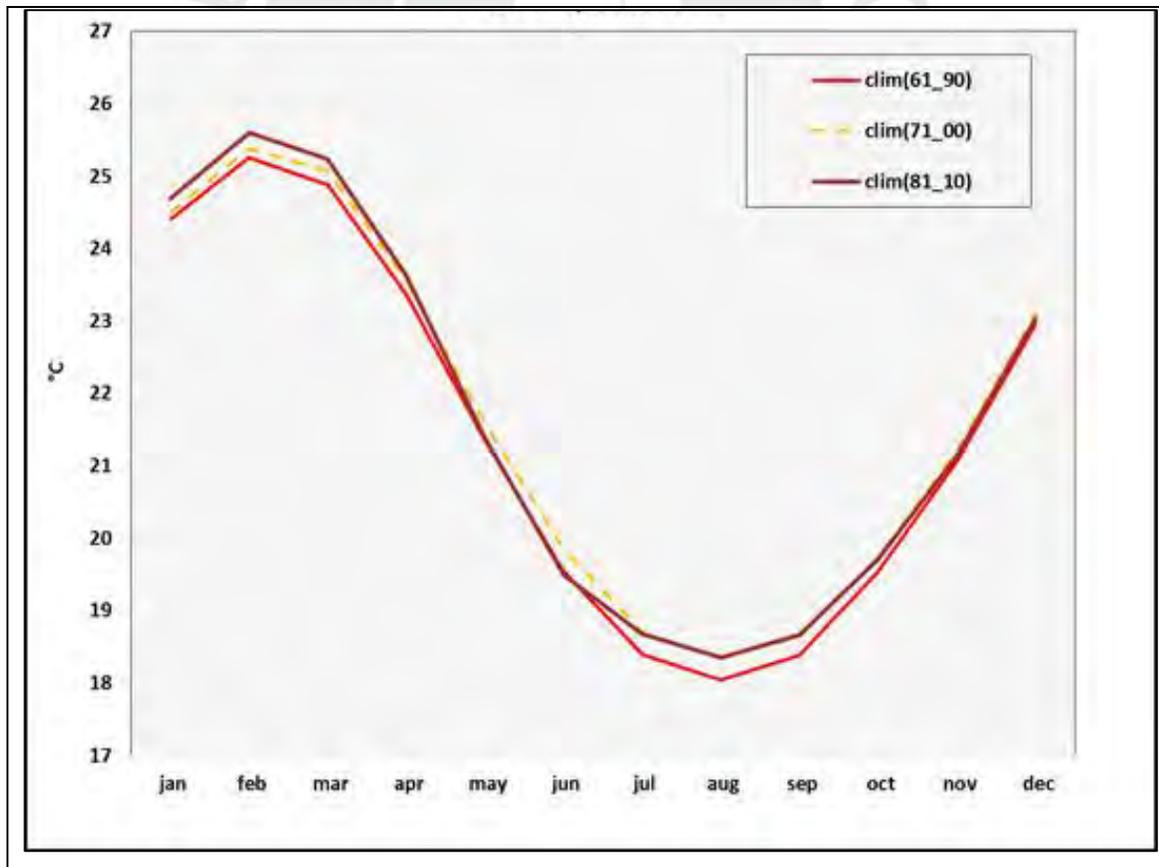
**Figura 5.1:** Climatología mensual de la precipitación en Lima Metropolitana, calculada para diferentes periodos (Silva et al. 2015). Fuente de datos: Estación Hipólito Unánue (PUCP).



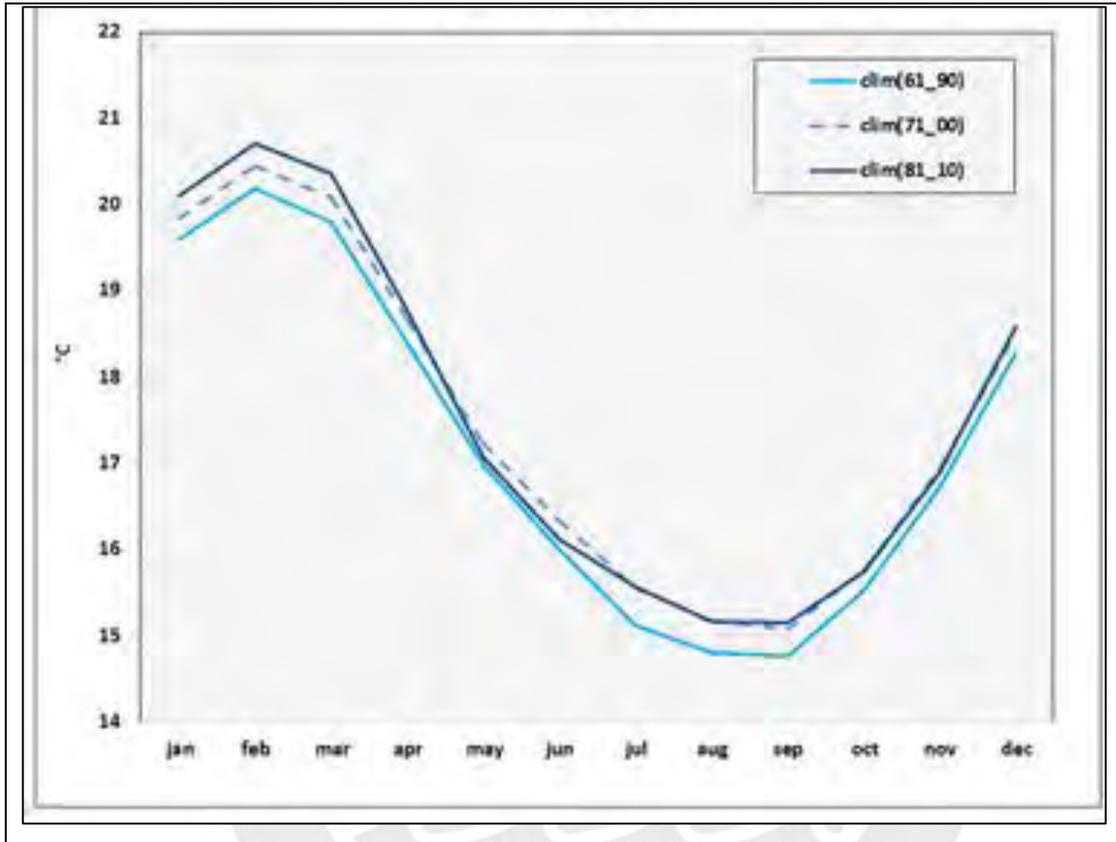
## 5.2.2 Ciclo anual de las temperaturas máxima y mínima en Lima metropolitana

El ciclo anual de las temperaturas máxima y mínima (figuras 5.2 y 5.3, respectivamente), presentan sus máximos valores en febrero y los mínimos en agosto. Comparando los tres periodos de análisis, se encuentra que el periodo 1961-1990 fue un periodo ligeramente más frío que los otros, mientras que el periodo 1981-2010 fue más caliente, esto influenciado por los dos eventos Niño Global de gran magnitud: El Niño 1982/83 y El Niño 1997/98 (Silva et al. 2015).

**Figura 5.2:** Climatología mensual de la temperatura máxima del aire en Lima Metropolitana. (Silva et al. 2015). Calculado para diferentes periodos. Fuente de datos: Estación Hipólito Unánue (PUCP).



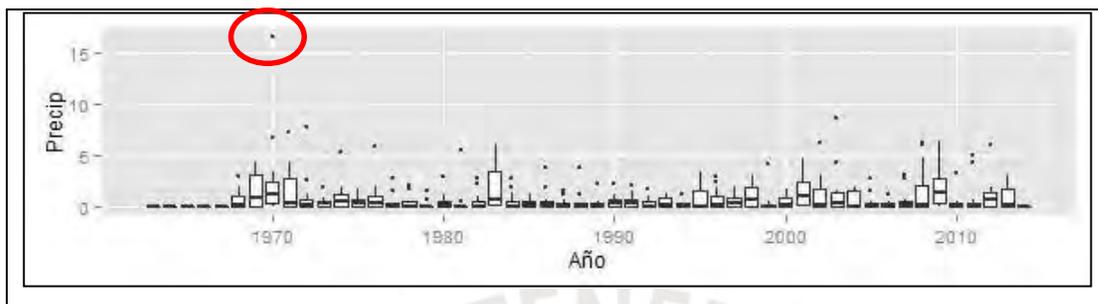
**Figura 5.3:** Climatología mensual de la temperatura mínima en Lima Metropolitana. (Silva et al. 2015). Calculada para diferentes periodos. Fuente de datos: Estación Hipólito Unánue(PUCP).



### 5.2.3 Variabilidad Interanual de la precipitación en Lima Metropolitana

Como se mencionó anteriormente, la precipitación mensual en Lima es escasa, lo que puede evidenciarse en la figura 5.4, solo algunos años presentan valores significativos, logrando acumular en promedio hasta 2 mm/mes. El acumulado anual varía desde 2.3 mm/año en el año 1979 hasta 34.1 mm/año en el año 1970, debido al evento de precipitación extrema ocurrido el 15 enero de 1970, que se resalta en la figura. En toda la serie histórica no se registra un evento similar.

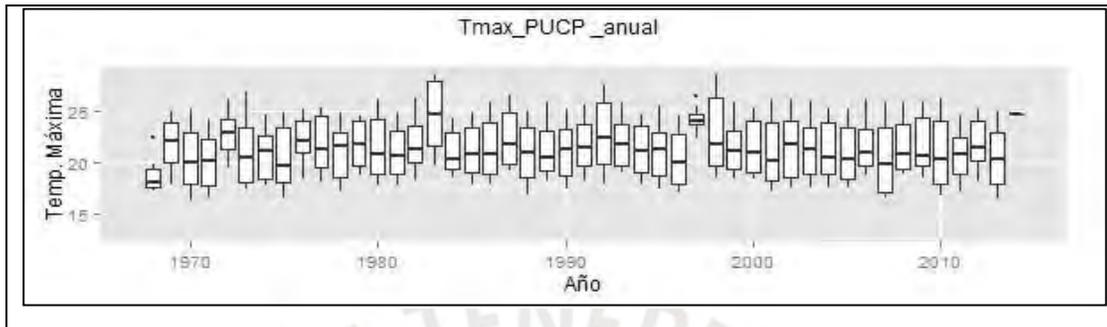
**Figura 5.4:** Diagrama de cajas de precipitación (mm), que representa la variabilidad interanual de precipitación en Lima Metropolitana (Silva et al. 2015). Fuente de datos: Estación Hipólito Unánue (PUCP).



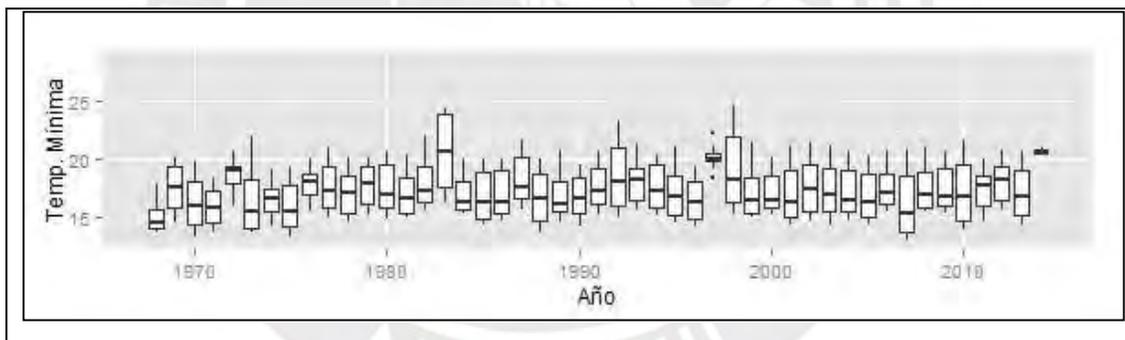
#### 5.2.4 Variabilidad Interanual de las temperaturas máximas y mínimas en Lima Metropolitana

En las figuras 5.5 y 5.6 se muestra la variabilidad interanual de las temperaturas extremas (máxima y mínima, respectivamente), para el periodo 1969-2013, encontrándose que los años con variaciones más extremas están asociadas a eventos El Niño/La Niña. Los años más cálidos están claramente visibles: 1972, 1983, 1997, 1998; así como los: 1982 y 1998 resaltan por su alta variabilidad, es decir la oscilación de la temperatura fue muy grande durante el año (Silva et al. 2015). En las temperaturas no se evidencia ninguna anomalía significativa en el año 1970.

**Figura 5.5:** Diagrama de cajas de temperatura máxima del aire (°C), que representa la variabilidad interanual en Lima Metropolitana (Silva et al. 2015). Fuente de datos: Estación Hipólito Unánue (PUCP).



**Figura 5.6:** Diagrama de cajas de temperatura mínima del aire (°C), que representa la variabilidad interanual en Lima Metropolitana (Silva et al. 2015). Fuente de datos: Estación Hipólito Unánue (PUCP).

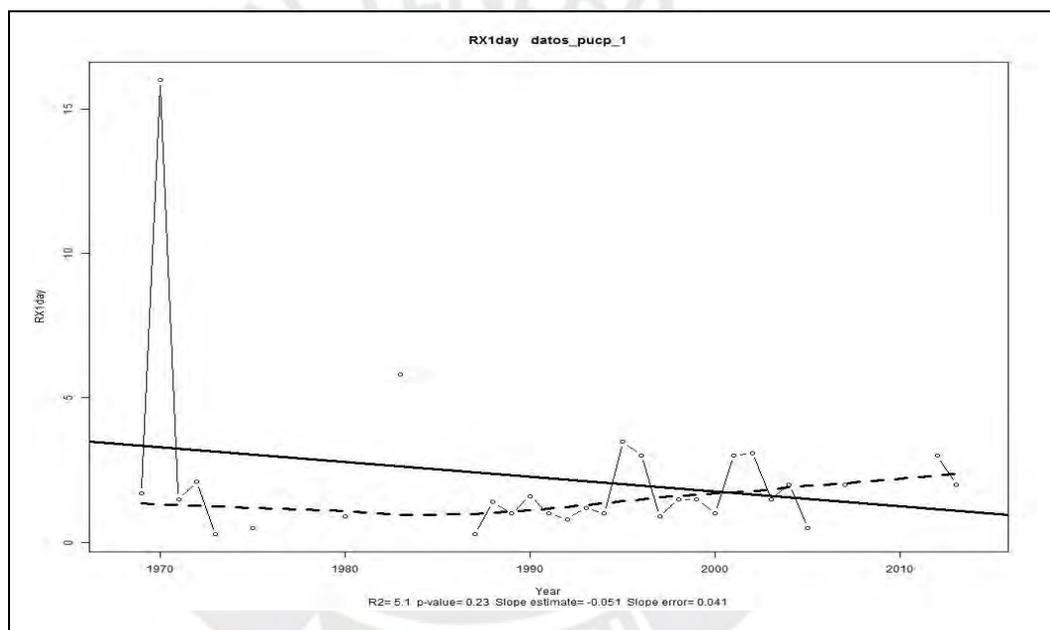


### 5.2.5 Identificación de eventos lluviosos extremos usando índice de precipitación propuesto por RClindex

Tal como se puede visualizar en la figura 5.7, el máximo valor de precipitación mensual en milímetros de solo un día, el valor identificado en el gráfico es el día en que se tuvo la máxima precipitación de un determinado mes y el cual se muestra en la serie histórica, se observa notablemente los 16 mm que tuvo lugar el 15 de enero del año

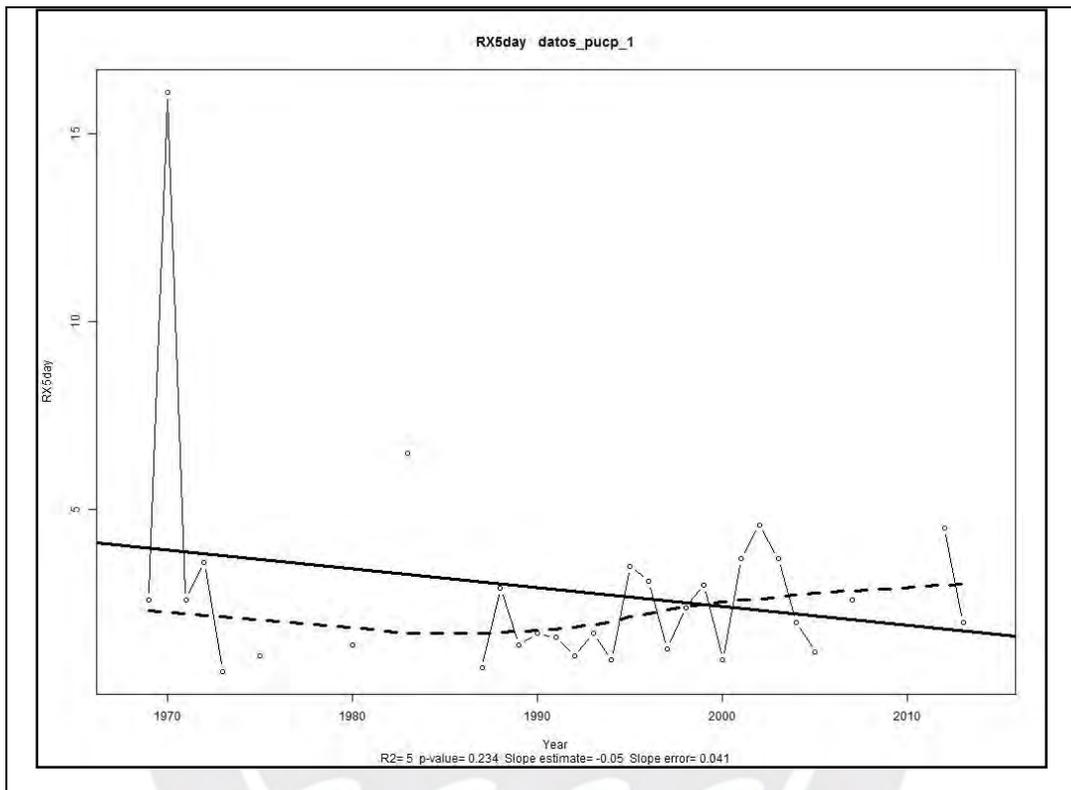
1970, además, se tienen otros eventos identificados pero son de poca representatividad, por ejemplo el que le sigue en intensidad al ya mencionado tuvo un valor de precipitación de 5,8 mm en el mes de julio del año 1983, sin embargo, debemos recordar que este año es considerado bajo condiciones niño, finalmente los subsiguientes valores a este último tuvieron entre 3 – 3,5 mm de precipitación y se dieron en los meses de febrero, según contrastamos con nuestra base de datos.

**Figura 5.7:** Rx1 Day, indicador del máximo mensual de precipitación en 1 día en milímetros (mm). Fuente de datos: Estación Hipólito Unánue (PUCP).



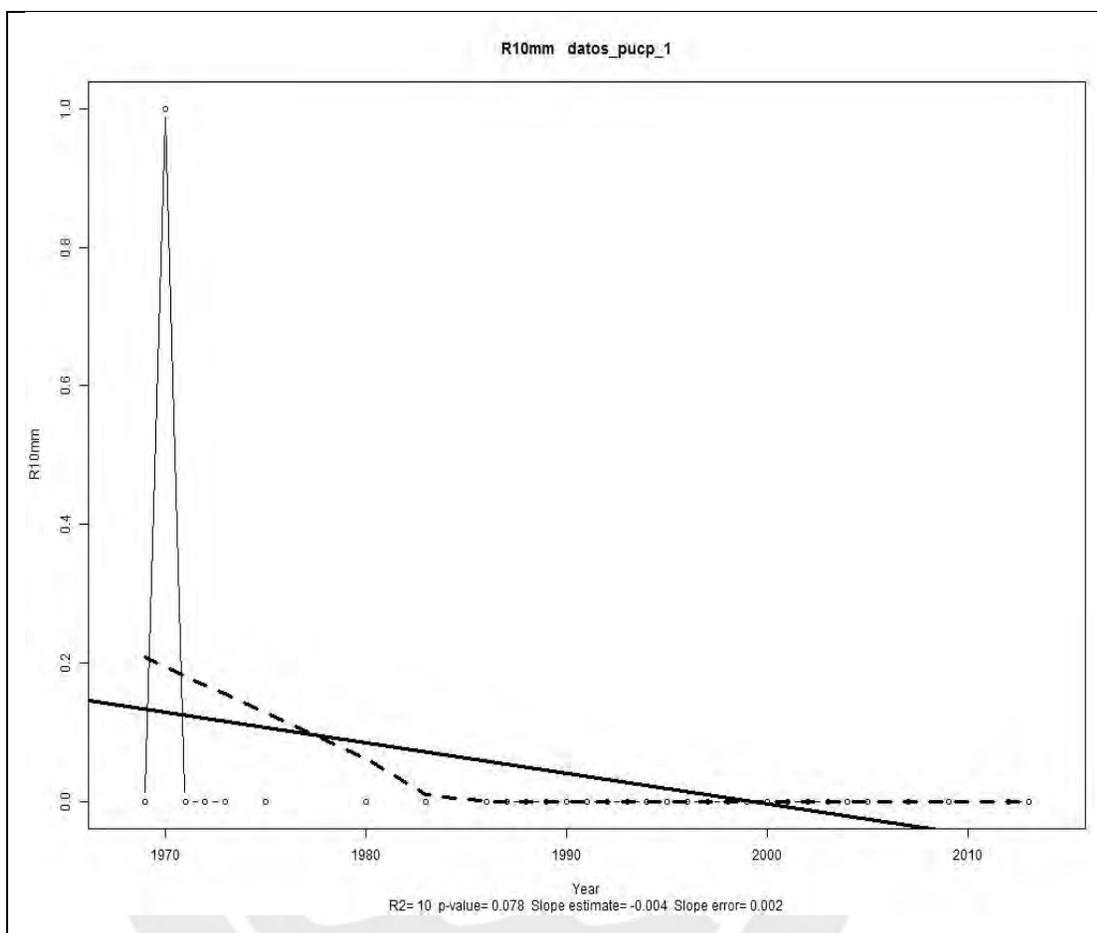
Por otro lado la figura 5.8, nos muestra la precipitación máxima de un mes acumulada en cinco días consecutivos, la representatividad en torno a nuestro evento es una vez más la de mayor impacto en el gráfico, solo que a diferencia del gráfico anterior este muestra valores sutilmente mayores debido a que es precipitación acumulada en cinco días consecutivos pero como en Lima no suele llover seguido estos valores no se diferencian en cantidades representativos de la figura 5.8.

**Figura 5.8:** Rx5 day, indicador del máximo mensual de precipitación en 5 días consecutivos en milímetros (mm). Fuente de datos: Estación Hipólito Unánue (PUCP).



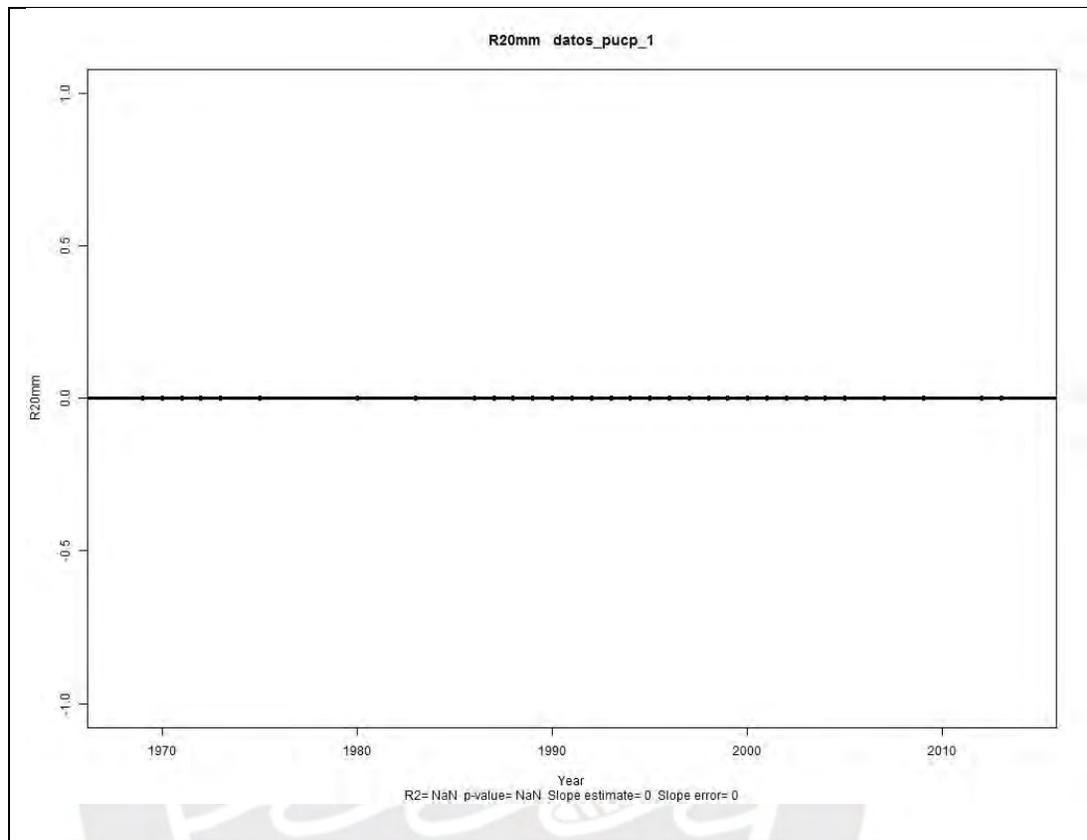
En la figura 5.9, identificamos una vez más que el evento cuya precipitación supera los 10 mm por día es el ya mencionado 15 de enero de 1970, de aquí la relevancia e importancia de estudiar un evento cuya ocurrencia y magnitud fue única según los datos históricos analizados. Estos resultados pueden indicarnos el impacto que este tuvo en la sociedad de entonces, más aún cuando nadie espera que ocurran lluvias en Lima Metropolitana.

**Figura 5.9:** R10mm, indicador del número de días en un año en que la precipitación en > 10 mm. Fuente de datos: Estación Hipólito Unánue (PUCP).



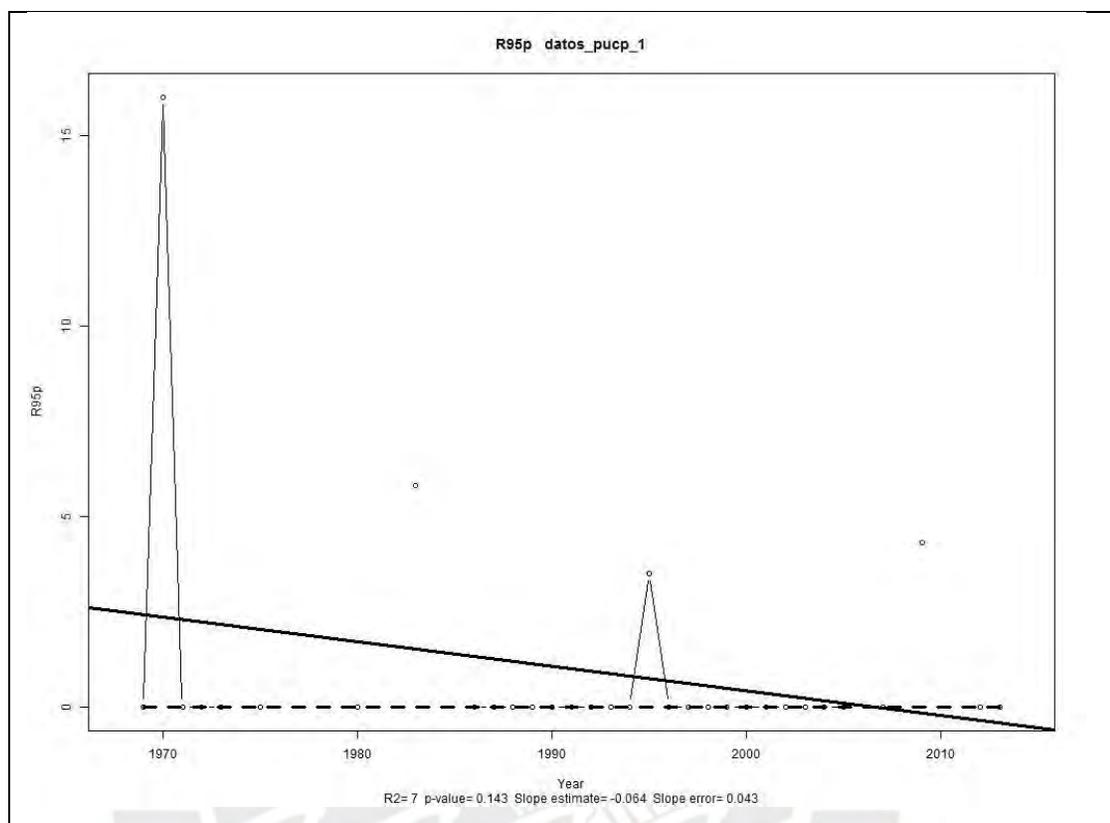
La figura 5.10, se representa el número de días cuya precipitación sea mayor > 20 mm sin embargo, esta situación no se ha dado en el record histórico de Lima Metropolitana. Según la data con la que se han realizado el análisis.

**Figura 5.10:** R20mm, indicador del número de días en un año en que la precipitación es > 20 mm. Fuente de datos: Estación Hipólito Unánue (PUCP).



La figura 5.11, identifica la precipitación de aquellos días cuyo valor a nivel anual se encuentre por encima del percentil 95, por lo tanto aquellos días se han identificado para los siguientes cuatro años, como ya es de nuestro conocimiento el año 1970 además, de los años 1983, 1995 y 2009; para nuestros análisis posteriores se optó trabajar solo con los años 1970, 1995 y 2009, porque el año 1983 fue un año bajo condiciones niño lo cual incrementa fuertemente la posibilidad de precipitaciones para nuestra zona de estudio.

**Figura 5.11:** R95p, indicador de la precipitación diaria cuyo valor a lo largo del año supera el percentil 95



### 5.3 Relación entre la TSM y la lluvia del 15 de enero de 1970

Para evaluar la relación entre las lluvias de 1970 y la de la temperatura superficial del mar (TSM) en el Pacífico ecuatorial, nos apoyamos en el análisis de El Niño global y Niño costero, que son dos condiciones que pueden o no coexistir.

#### 5.3.1. El Niño Global

En la tabla 5.2, se debe entender que los valores caracterizados en rojo corresponden a los eventos cálidos (El Niño Global), es decir a un calentamiento TSM en la región

Niño 3.4 del Pacífico Central ecuatorial. Observamos la ocurrencia de un evento Niño desde noviembre de 1968 hasta enero del año 1970, con anomalías de temperatura del mar ligeramente más baja durante julio-agosto, durante la estación del verano austral (diciembre, enero y febrero), cuando ocurrió el evento en estudio (enero de 1970) aún persistía el calentamiento en su fase de culminación (valores de 0.5 del ONI). Esta condición puede verse también en la figura 5.12 donde el calentamiento no llega a las costas pero se extiende desde el Pacífico central hacia el oriental, no solo en la superficie sino también en la sección subsuperficial, asociado a la propagación de las ondas Kelvin, característico de El Niño.

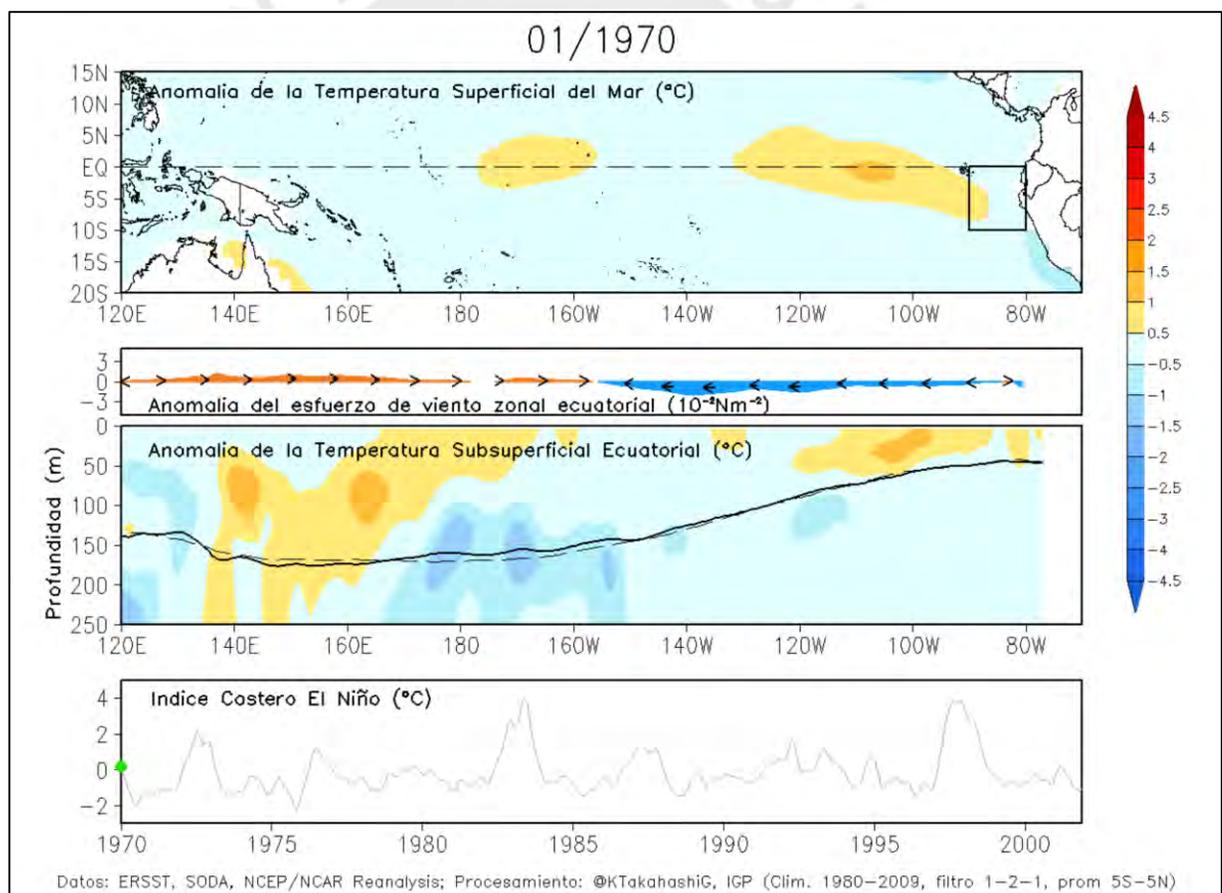
**Tabla 5.2:** Índice del Niño Oceánico (ONI) y sus categorías.

El Niño				La Niña		
Débil 10 eventos	Moderado 7	Fuerte 5	Muy fuerte 3	Débil 10	Moderado 4	Fuerte 7
1952-53	1951-52*	1957-58	1982-83	1954-55	1955-56	1973-74
1953-54	1963-64	1965-66	1997-98	1964-65	1970-71	1975-76
1958-59	1968-69*	1972-73	2015-16	1971-72	1995-96*	1988-89
1969-70	1986-87	1987-88*		1974-75	2011-12*	1998-99*
1976-77	1994-95*	1991-92*		1983-84		1999-00*
1977-78	2002-03			1984-85		2007-08*
1979-80	2009-10			2000-01		2010-11*
2004-05				2005-06*		
2006-07				2008-09		
2014-15*				2016-17		
				2017-18		

Fuente: Tomado de Jan Null, [Golden Gate Weather Services](http://golden-gate-weather.com), con datos del NOAA/ Servicio Nacional Meteorológico para la predicción meteorológica y climática (<http://ggweather.com/enso/oni.htm>) \* indica algunas variaciones con relación a las categorías del Climate Prediction Center de la NOAA debido al cambio de versión de los datos de la TSM ( de [ERSSTv4](#) to [ERSSTv5](#)).

Además, a partir de la figura 5.12 observamos tres categorías atribuidas por el ONI para la clasificación de los eventos, las cuales son: Niño fuerte, Niña fuerte y Niño/Niña moderado. La clasificación atribuida para los eventos Niño indica Niño débil, para fines de 1969 e inicios de 1970. Lo cual significa que la ocurrencia de la precipitación de enero de 1970, podría estar influenciado remotamente por el calentamiento del mar en el región Niño 3.4 y Niño 3, lo cual estaría perturbando la atmósfera. La dinámica de ello debe ser mejor analizada usando modelos atmosféricos.

**Figura 5.12:** Evolución de la anomalía de la temperatura del mar asociado al ICEN. Enero de 1970 (región Niño 1+2 en el recuadro).



Fuente: IGP ([http://www.met.igp.gob.pe/el\\_nino/enso\\_anim.gif](http://www.met.igp.gob.pe/el_nino/enso_anim.gif))

### 5.3.2 El Niño Costero

El Niño Costero se refiere a un calentamiento del mar frente a la costa norte del Perú, región Niño 1+2 (recuadro de la figura 5.12), que en ocasiones puede coincidir con el Niño Global (Takahashi, 2017) pero no siempre y no es un condicionante. Para el caso de enero de 1970 no se registra ese calentamiento del mar cercana a la costa, tal como puede verse en los valores del ICEN tal como se evidencia en la tabla 5.3 y figura 5.12. El evento más próximo a la lluvia de 1970, es el Niño Costero moderado de 1969, que tuvo una duración de 4 meses y ocurrió durante abril- julio, esto nos indica que no podríamos asociarlo a la influencia del Niño Costero.

A diferencia de enero de 1970, cuando se observa calentamiento del Pacífico central, condiciones normales en el Pacífico oriental (región Niño 1+2). Durante El Niño Costero 2017, las fuertes lluvias en la costa norte y central se dan en condiciones de Niña débil en el Pacífico central (tabla 5.2) y Niño Costero débil (tabla 5.3). Este dipolo frío-caliente en el Pacífico tropical ha tenido consecuencias catastróficas para la costa central y sur, así como la sierra del Perú. La dinámica de la generación de las lluvias en estas condiciones aún es materia de estudio. Todo esto indica, que existe una importante relación entre el océano y la atmósfera, tanto de forma local como remota.

**Tabla 5.3:** Eventos El Niño Costero

Año inicial	Mes inicial	Año final	Mes final	Duración	Magnitud
1951	5	1951	10	6	Moderado
1953	3	1953	6	4	Débil
1957	3	1958	4	14	Moderado
1965	3	1965	10	8	Moderado
1969	4	1969	7	4	Moderado

1972	3	1973	2	12	Moderado
1976	5	1976	10	6	Débil
1982	7	1983	11	17	Extraordinario
1986	12	1987	12	13	Moderado
1991	10	1992	6	9	Moderado
1993	3	1993	9	7	Débil
1994	11	1995	1	3	Débil
1997	3	1998	9	19	Extraordinario
2002	3	2002	5	3	Débil
2002	9	2003	1	5	Débil
2003	11	2004	1	3	Débil
2004	10	2004	12	3	Débil
2006	8	2007	2	7	Moderado
2008	7	2008	9	3	Débil
2009	5	2009	9	5	Débil
2012	3	2012	7	5	Débil
2014	5	2014	10	6	Moderado
2015	4	2016	6	15	Fuerte
2016	12	2017	4	5	Débil

**Fuente:** Instituto Geofísico del Perú, a partir de ENFEN (2012).

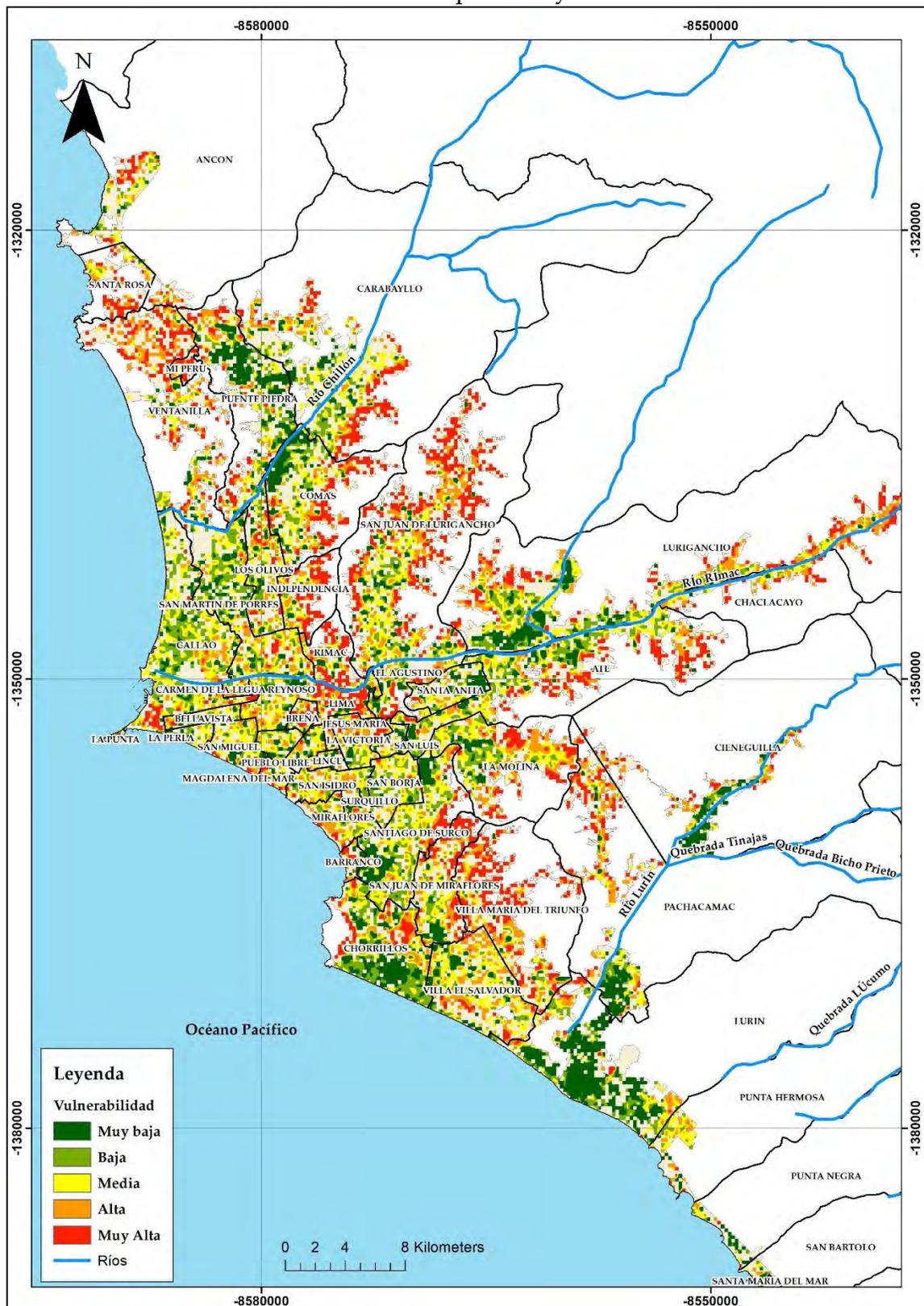
[http://www.met.igp.gob.pe/elnino/lista\\_eventos.html](http://www.met.igp.gob.pe/elnino/lista_eventos.html)

#### 5.4 Modelamiento de zonas afectadas por lluvias

Los colores del mapa hacen referencia a los niveles de vulnerabilidad, los colores naranjas y rojos a las zonas con mayor probabilidad de ser afectados, el color amarillo para una probabilidad media y los tonos verdes para las zonas con baja probabilidad de afectación. Por el lado derecho se observa mediante un acercamiento las zonas con probabilidad alta de daños.

Este mapa es el producto luego de realizar un tratamiento de edición al resultado preliminar del modelamiento (figura 4.3). El formato en el que están proyectados los niveles de vulnerabilidad es “raster” y es complementado con información vectorial; como ríos (MINAM), límites distritales referenciales (INEI) y la red vial nacional (MTC).

Mapa 5.1: Escenario de afectación ante una lluvia de magnitudes similares a las de 1970-Lima Metropolitana y el Callao



En el mapa 5.1, observamos que la distribución de la probabilidad media, se sitúa en las zonas medias altas de la periferia de los distritos, de la misma manera los lugares identificados como probabilidad alta y muy alta se localizan en su mayoría en las zonas más altas de la periferia de la ciudad, principalmente hacia la zona este, noreste y sur este de la metrópoli.

Así mismo, se observa que la zona del centro histórico de Lima y la zona más antigua del Callao, es decir las zonas históricas por tradición, se encuentran dentro de la clasificación de probabilidad muy alta y extrema de sufrir daños ante lluvias.

Los distritos que en la mayor parte de su territorio se observa predominantemente una probabilidad media con tendencia a alta son: Ventanilla, San Juan de Lurigancho, Ate, San Juan de Miraflores, Villa María del Triunfo, Lurigancho (Chosica) y Chaclacayo.

Así también, la franja de viviendas localizadas a las márgenes próximas del río Rímac cuando este separa los distritos del Rímac y Lima, se encuentran en situación crítica a sufrir daños.

A continuación se presenta una tabla resumen de la distribución de la vulnerabilidad alta y muy alta según distritos. La tabla 5.4 en la primera columna muestra la zona de la Lima a la cual pertenece el distrito, en la segunda columna se encuentra el nombre del distrito y en las últimas tres columnas se explica el tipo de distribución de vulnerabilidad.

En lo referente al tipo de distribución, aquellos distritos en los cuales se haya marcado “predominante” quiere decir que la vulnerabilidad alta y muy alta se encuentra distribuida homogéneamente en todo el distrito, para la opción “periferia” quiere decir que la vulnerabilidad alta y muy alta se encuentra específicamente en las zonas periféricas del distrito, es decir en su mayoría la vulnerabilidad se distribuye en las periferias, es decir aquellos cerros que con el paso de los años fueron siendo habitados,

por último, la alternativa “histórica” hace referencia a aquellas zonas históricas de Lima Metropolitana que perduran hasta la actualidad y se encuentran en situación de vulnerabilidad alta y extrema frente a lluvias atípicas.

**Tabla 5.4:** Distribución de la vulnerabilidad en Lima Metropolitana y el Callao

Vulnerabilidad alta y muy alta		Distribución		
Zona	Distrito	Predominante	Periferia	Histórica
Lima Norte	Ancón	x		
	Santa Rosa	x		
	Ventanilla	x		
	Mi Perú	x		
	Puente Piedra		x	
	Carabayllo		x	
	Comas		x	
	Los Olivos	x		
	San Martín de Porres		x	
	Independencia	x		
Lima Centro	Rímac		x	x
	Cercado de Lima			x
	Breña	x		
	El Agustino		x	
Callao	La Punta			x
	Callao			x
Lima Sur	Barranco			x
	Chorrillos			x
	San Juan de Miraflores		x	
	Villa María del Triunfo	x		
Lima Este	La Molina		x	
	Pachacamac		x	
	Ate		x	
	Lurigancho	x		
	San Juan de Lurigancho	x		
	Chaclacayo	x		

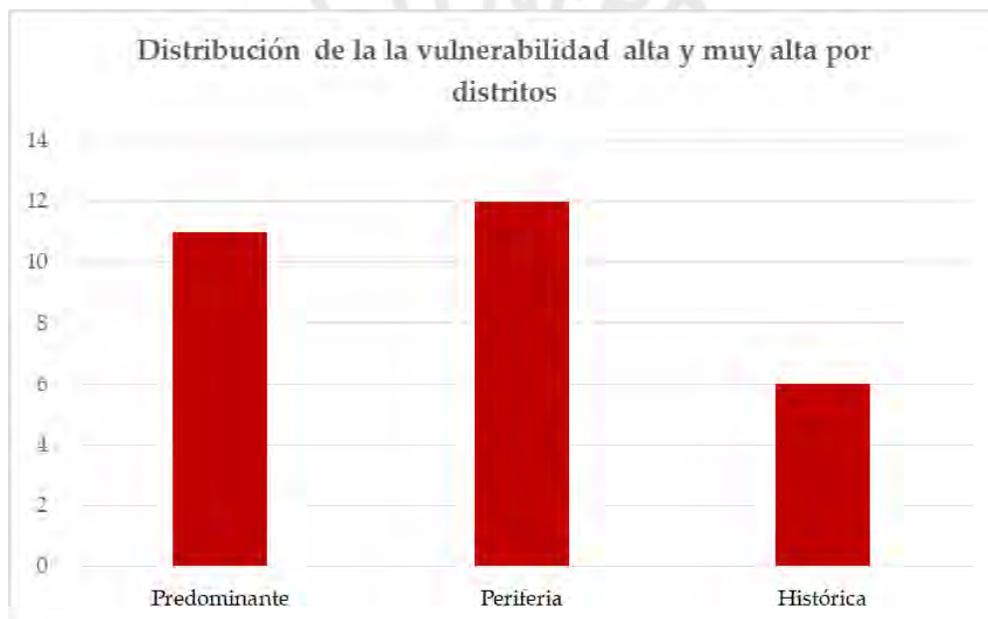
A partir de la tabla 5.4 se observa que la distribución de vulnerabilidad alta y muy alta se presenta en todas las zonas de Lima Metropolitana a excepción de la zona de Lima

Moderna, aquella que está conformada por los distritos de Pueblo Libre, Lince, San Isidro, San Borja, Santiago de Surco, San Miguel, entre otros.

Algunos distritos pueden presentar una distribución de vulnerabilidad tanto en la periferia así como también en zonas históricas, es por ello que ambas alternativas se encuentran marcadas.

A continuación un gráfico resumen del conteo realizado según el tipo de distribución.

**Gráfico 5.1:** Distribución de la vulnerabilidad alta y muy alta por distritos



Del conteo realizado unos 11 distritos presentan una distribución predominante de la vulnerabilidad en toda la extensión de sus límites administrativos, esto se da por ejemplo para el caso de los distritos, Ancón, Santa Rosa, Mi Perú, Villa María del Triunfo, Lurigancho, entre otros.

Por otro lado, unos 12 distritos presentan la característica de una distribución de la vulnerabilidad alta y muy alta en la periferia, por citar algunos distritos, Puente Piedra, Comas, San Martín de Porres, San Juan de Miraflores, La Molina, entre otros.

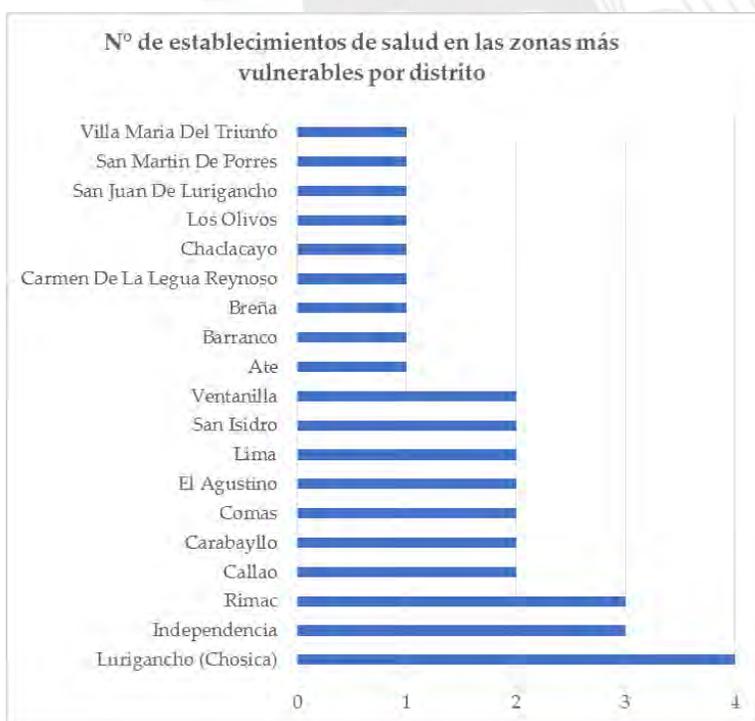
Finalmente en menor proporción aquellos distritos que presentan una distribución de la vulnerabilidad alta y muy alta en zonas históricas, esto sucede para el caso del Cercado de Lima, La Punta, Callao, Barranco y Chorrillos.

De manera particular el distrito del Rímac presenta una distribución en zonas históricas y en zonas periféricas, las zonas históricas se encuentran en la parte más plana cercana a las laderas de los ríos y la zona periférica específicamente en el las viviendas asentadas en el cerro San Cristóbal.

### 5.5 Establecimientos de salud y centros educativos en zonas vulnerables

A continuación, se muestran los establecimientos de salud y centros educativos en zonas vulnerables. Para el caso de los centros educativos los resultados se muestran a nivel distritos en cambio para los establecimientos de salud, se muestran individualmente los más vulnerables.

**Gráfico 5.2:** Establecimientos de salud en zonas vulnerables



Del análisis realizado a partir del modelamiento y la localización de los establecimientos de salud, se identificaron 33 establecimientos de salud en zonas vulnerables. En el gráfico de barras 5.2 se muestra la distribución de la cantidad de establecimientos de salud vulnerables por distrito. Se observa que los distritos de Lurigancho (Chosica), Independencia y el Rímac son los que concentran el mayor número de establecimientos en situación de vulnerabilidad.

La relación detallada de los 33 establecimientos de salud identificados, se encuentra en el anexo 10. Sin embargo, se realizó un mayor análisis para identificar exclusivamente aquellos de mayor categoría de salud, de tal forma que se pueda identificar aquellos en situación de vulnerabilidad extrema, por la cantidad de pacientes en situación de internamiento.

**Tabla 5.5:** Establecimientos de Salud seleccionados para la salida de campo

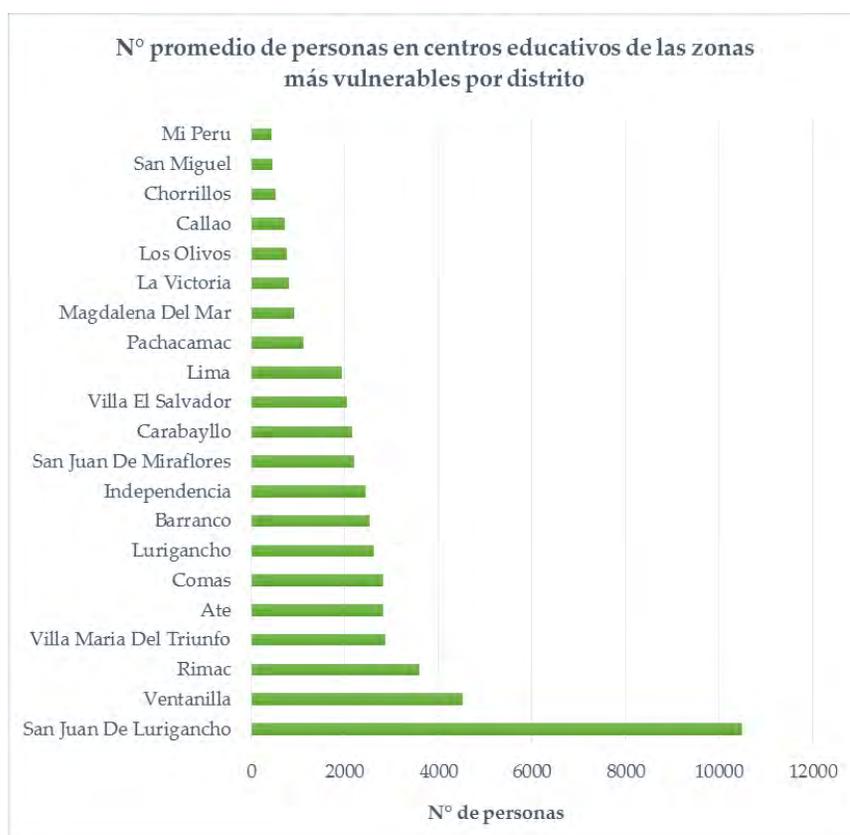
Distrito	Establecimiento de Salud	Categoría
Los Olivos	Clas Juan Pablo II	I-4
Rimac	Piedra Liza	I-4
Ate	San Fernando	I-4
Villa Maria Del Triunfo	Villa Maria Del Triunfo	I-4
Ventanilla	Centro De Salud Villa Los Reyes	I-4
Lima	Nacional Dos De Mayo	III-1
Lima	Instituto Nacional De Ciencias Neurologicas	III-2

En la tabla 5.5 se encuentran los establecimientos de salud de categoría I-4 en adelante, los cuales considera aquellos que se encuentran en zonas vulnerables y a la vez cuentan con un área de internamiento de pacientes. Estos establecimientos serán considerados como base para la salida de campo.

Así también se evaluaron los centros educativos en zonas vulnerables, en total se identificaron 78 centros educativos con más de 350 alumnos. A continuación, se presenta un gráfico de barras que contiene el número promedio de personas por

distrito que se encontrarían expuestas en situación de vulnerabilidad. El acumulado de personas hace referencia a la suma de la cantidad de alumnos y docentes por centro educativo, se realizó un estimado a nivel distrital.

**Gráfico 5.3:** Promedio de personas en centros educativos vulnerables



El distrito con mayor exposición de personas es San Juan de Lurigancho, tiene un aproximado de 10,000 personas en zonas vulnerables. A ello le sigue el distrito de Ventanilla con más de 4,000 personas, el Rímac con más de 3,000 y luego los distritos de Villa María del Triunfo, Ate, Comas, Lurigancho, Barranco, Independencia, San Juan de Miraflores, Carabaylo, Villa el Salvador y Lima con un promedio de 2,000 personas.

## 5.6 Reporte fotográfico

Se realizó una codificación y sistematización fotográfica a un total de 44 fotografías, a continuación se presenta una muestra de cómo fueron codificadas, el registro completo se encuentra en el anexo 8.

### 5.6.1 Codificación

Se asignó un código a cada foto, este se encuentra al pie de la fotografía y de izquierda a derecha inicia describiendo las características del techo, las de la pared y el suelo, tal cómo se codificó en la parte metodológica del capítulo anterior.

**Foto 5.6:** Callao- Ventanilla/ Marzo 2018



## 5.6.2 Sistematización y tipología de viviendas

A continuación en la tabla 5.6 se muestra la sistematización de fotografías, estas se encuentran ordenadas de mayor a menor y los códigos predominantes vienen a ser los cuatro primeros de la lista.

**Tabla 5.6:** Sistematización de fotografías

Código	Conteo
TADT1PASC	12
TKT1PMST	6
TKT1TBPMST	6
TADT2PASC	5
TCT1TBPL	2
TET1PLSC	2
TCT1PLSC	1
TCT1PLSC	1
TCT1TA	1
TCT1TAPLSC	1
TCT1TBSC	1
TET1PLSC	1
TKT1TA	1
TKT1TBPL	1
TKT1TBPLSC	1
TKT1TBPLST	1
TKT2TBPLSC	1
Total	44

La leyenda de estos es la siguiente:

**-TADT1PASC:** Techo de adobe, techo plano, pared de adobe y suelo de cemento.

**-TKT1PMST:** Techo de calamina, techo plano, pared de madera y suelo de tierra.

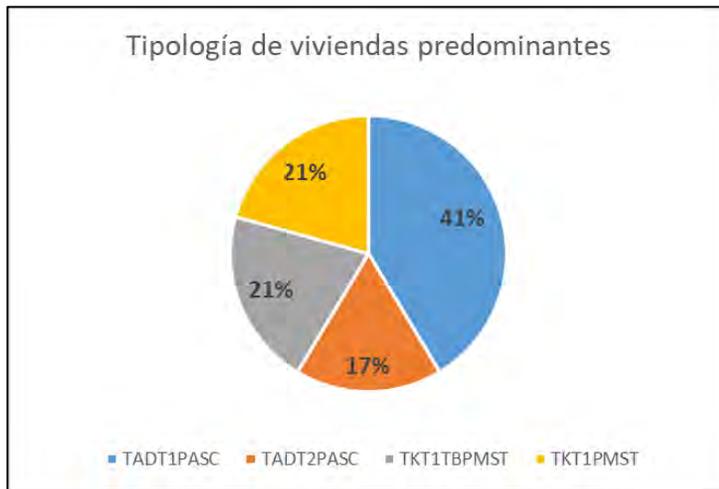
**-TKT1TBPMST:** Techo de calamina, techo plano, techo descuidado, pared de madera y suelo de tierra.

**-TADT2PASC:** Techo adobe, techo a dos aguas, pared adobe y suelo de cemento.

A partir de esta sistematización se elaboraron gráficos de porcentajes para los 4 tipos de vivienda predominantes, así también, gráficos por cada variable evaluada de la vivienda.

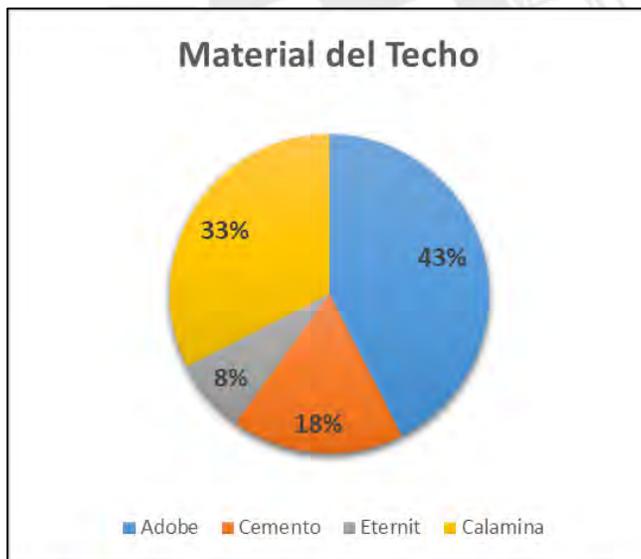
En el gráfico 5.4 se presentan en porcentajes los tipos de vivienda predominantes, el 40% corresponden a viviendas de **material de techo y pared de adobe, cuyo techo es plano y suelo de cemento**. Los otros tres tipos de vivienda, tienen una representación de aproximadamente el 20% cada uno.

**Gráfico 5.4:** Tipología de viviendas



Así también, se analizaron las características de la vivienda, como techo, pared y suelo por separado. A continuación se muestran las características evaluadas para cada variable.

**Gráfico 5.5:** Distribución porcentual según material del techo



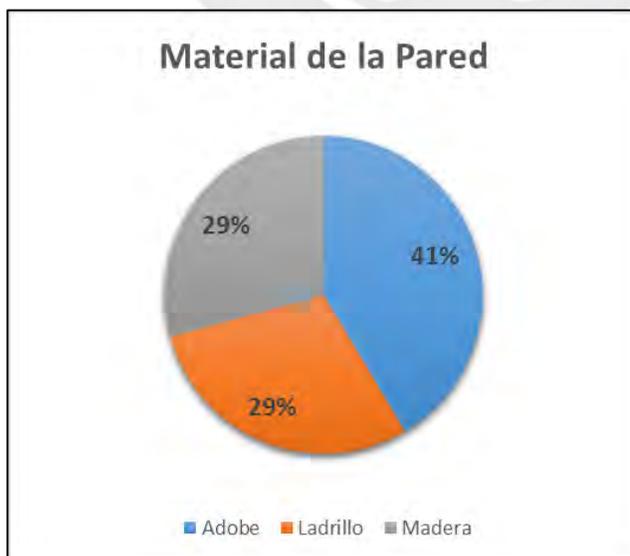
Se identificaron dos tipos de materiales predominantes en los techos, el adobe representó un 40% de la muestra por otro lado, los techos de calamina un 30% y en menor proporción los techos de cemento.

**Gráfico 5.6:** Distribución porcentual según la forma del techo



En cuanto a la forma del techo, en su mayoría son techos planos, estos representan un 85% de la muestra. Un 15% son techos a dos aguas, estos se encontraron principalmente en algunas de las zonas históricas de Lima Metropolitana.

**Gráfico 5.7:** Distribución porcentual según material de la pared



En cuanto al material de la pared, en gran parte de las zonas vulnerables son paredes de adobe en 40%, por otro lado, las paredes de madera y ladrillo representan un 30%. Las paredes de adobe al igual que el material del techo se encontraron en las zonas históricas de Lima Metropolitana.

**Gráfico 5.8:** Distribución porcentual según tipo de suelo



De lo observado el suelo de las viviendas de la muestra es predominante de cemento en un 60%, sin embargo, un 30% de las viviendas yace sobre suelo de tierra.

### 5.6.3 Reporte fotográfico de los establecimientos de salud

En cuanto a la condición de los establecimientos de salud, a continuación se muestran las fotografías y describen las condiciones de aquellos en los cuales se pudo realizar registro fotográfico, como son; el centro materno infantil Villa María del Triunfo, el centro materno infantil Piedra Liza en el Rímac, centro materno infantil San Fernando en El Agustino y el centro materno infantil Juan Pablo II en Los Olivos.

En el caso del centro materno infantil Villa María del Triunfo, se encontró una instalación provisional de material prefabricado (foto 5.2) que viene funcionando

desde fines del 2016 debido a que se demolió el anterior centro materno infantil y aún se encuentra en proceso de construcción. El motivo por el cual se viene realizando la reconstrucción fue porque la anterior edificación presentaba serios problemas de inundación a través del techo, el agua y la humedad se filtraba con facilidad y era perjudicial para la salud de los internos y también perjudicaba el equipamiento médico, sin embargo, el avance en la construcción de la nueva edificación viene presentando demoras.

Como se observa en la foto 5.7 la actual edificación prefabricada cuenta con unos canales instalados para la lluvia y el techo tiene una leve inclinación, sin embargo, en relación al piso este no presenta desnivel respecto al suelo, lo cual se observa en la foto 5.9. La construcción prefabricada ha tratado de solucionar el problema de filtración de agua por el techo pero aún se encuentra expuesta por el tipo de piso.

**Foto 5.7:** Centro Materno Infantil Villa María del Triunfo - 1



**Foto 5.8:** Centro Materno Infantil Villa María del Triunfo - 2



**Foto 5.9:** Centro Materno Infantil Villa María del Triunfo - 3



Así también, para el caso de los centros materno infantil Piedra Liza y San Fernando se observa en las fotografías 5.10 y 5.12 los techos son planos y no cuentan con canaletas que ayuden a la evacuación del agua, siendo que en estos las paredes son de cemento.

**Foto 5.10:** Centro Materno Infantil Piedra Liza – Rímac



**Foto 5.11:** Centro Materno Infantil San Fernando – El Agustino 1



**Foto 5.12:** Centro Materno Infantil San Fernando – El Agustino 2



Finalmente, en el caso del centro materno infantil Juan Pablo II de los Olivos, se encontró en el mismo terreno dos tipos de construcciones, en las fotos 5.13 y 5.14 se observa lo que hasta mediados del 2017 funcionaba como centro materno infantil. Estas son construcciones cuyo techo y paredes se encuentran muy deterioradas, así también en algunos módulos se observó que el piso es de tierra, se presentaban serios problemas de filtración de agua por el techo.

Es por ello que la municipalidad ha gestionado la implementación de un módulo más moderno tal como se muestra en la foto 5.15, este cuenta con techo a dos aguas y cuentan con canaletas para la evacuación del agua, sin embargo, sus paredes son de material prefabricado. Esta nueva construcción no logra cubrir la demanda de la zona, por lo cual, en algunas ocasiones hacen uso de los antiguos módulos.

**Foto 5.13:** Antiguo Centro Materno Infantil Juan Pablo II – Los Olivos 1



**Foto 5.14:** Antiguo Centro Materno Infantil Juan Pablo II – Los Olivos 2



**Foto 5.15:** Nuevo Centro Materno Infantil Juan Pablo II – Los Olivos 2



De los establecimientos de salud visitados y en los cuales se pudo recoger de primera fuente, por medio de los pacientes o del personal de salud más información sobre las fallencias de la construcción, fue común el tema de la filtración del agua por el techo, lo cual perjudica la salud de los internas, en muchos casos la documentación médica se vio afectada y los equipos presentaron daños. En algunos casos como el de Villa María del Triunfo y los Olivos las municipalidades han gestionado la implementación de módulos prefabricados los cuales han priorizado en la forma del techo y la implementación de canales para evacuar el agua del techo, sin embargo, se deben realizar más esfuerzos para cubrir la demanda de pacientes y agilizar la construcción de los establecimientos definitivos.

## 6. DISCUSIÓN

Se corroboró que el evento en estudio, lluvia del 15 de enero de 1970, se dio bajo condiciones del Niño Global débil en su etapa de culminación. Por otro lado, se conoce que el calentamiento frente a las costas del Perú, asociado al Niño Costero es el responsables de las lluvias muy intensas en la costa norte y central, tal como ocurrió en el año 1925 (Takahashi y Martínez, 2017) y recientemente durante El Niño Costero 2017. Sin embargo la condiciones dadas en el 2017 corresponden a un enfriamiento en el Pacífico central (Niño 3.4) catalogado como Niña global débil y calentamiento en el Pacífico oriental (Niño 1+2) caracterizado como El Niño costero. Por el contrario, el evento de enero de 1970 se da en condiciones neutras en el Pacífico oriental y ligeramente cálido en el Pacífico central. En este estudio, no es posible explicar la dinámica de las lluvias, lo que corresponde a la meteorología; sin embargo, conocer los impactos en lluvia es importante, ya que podría tratarse el evento del siglo, no se descarta que pueda ocurrir nuevamente.

Por otro lado, de los 47 años de data analizada con los índices climáticos, la lluvia de 1970 es el único evento (figura 5.9) que supera los 10mm de precipitación acumulada en Lima Metropolitana. El análisis cuantitativo del evento en esta investigación, es acertado, ya que las cifras evidencian la magnitud de la lluvia del 15 de enero de 1970, la cual quedó registrada para la historia en los medios de comunicación escrita, principalmente periódicos y revistas, los cuales lo denominaron como, “el diluvio setentero”.

Así también, en cuanto al desarrollo del modelamiento de las zonas más vulnerables fueron 7 las variables más importantes que determinaron el proceso (tabla 6.1), las características que describen cada variable, pudieron ser evidenciadas en el registro fotográfico de las zonas con mayor probabilidad a sufrir daños ante lluvias.

**Tabla 6.1:** Variables usadas para el modelamiento en Maxent

Códigos del modelo	Características
Pendiente 11	Pendiente
Piso 3	Losetas, terrazos, cerámicos
Piso 4	Madera
Techo 2	Madera
V pared 3	Adobe o tapia
V pared 4	Quincha (caña y barro)
V tipo 4	Vivienda en casa de vecindad, callejón, solar

Elaboración propia: Gianella Guillén.

En la tabla 6.1, se presentan las variables claves para el modelamiento y están relacionadas principalmente con los materiales que soportan la estructura de la vivienda.

Para el caso de las paredes, se debe prestar mayor interés a las viviendas que sean de adobe o tapia y quincha. En cuanto a los pisos, aquellos que sean de madera y al tipo de vivienda aquellas que se encuentran en vecindad, callejón o solar. Estas características de los materiales de las viviendas son recurrentes en las zonas críticas identificadas en el modelamiento.

Desde el campo de la ingeniería civil, la vulnerabilidad de las edificaciones en zonas propensas a inundaciones, depende qué tanto la cimentación de las edificaciones, puedan resistir a la erosión del agua. Así también, la estabilidad de los materiales de construcción para permanecer inmersos en el agua, por un determinado tiempo. De este modo, las construcciones que sean de adobe (tapial) o quincha, al permanecer bajo el agua pierden fácilmente su resistencia y son más susceptibles a colapsar (Kuroiwa, 2002).

Existe una alta vulnerabilidad relacionada con el tipo de construcción (techos y materiales de la vivienda), el estado de la vivienda, la ausencia de alcantarillado (para la evacuación del agua de lluvia) y la forma plana de los techos hacen que el agua de lluvia se empoce y genere perjuicios a las viviendas.

Los patrones de construcción son muy parecidos en los distritos analizados, se observa un alto grado de informalidad en cuanto a construcción y conexión de cables de electricidad, lo cual conduce a una fuerte exposición al peligro. Estas cualidades son características de los asentamientos humanos que por lo general están ubicados en la periferia de la ciudad.

Como lo explica Callalle (2016, p. 4) en su investigación sobre gestión de riesgo de desastres en zona urbana periférica: “La informalidad, falta de organización, localización inadecuada de la vivienda, técnicas y materiales deficientes de construcción, falta de servicios básicos y el hacinamiento son algunas de las características de los asentamientos humanos-periféricos”.

Por otro lado, se esperaba que la variable “pendiente” pudiera tener un mayor aporte en el modelo (ver figura 4.1), sin embargo, hay otras variables que tienen mayor importancia para el modelo. Esta situación podría explicarse debido a que la pendiente no tiene mucha variabilidad espacial en Lima Metropolitana, ya que en su mayoría los distritos analizados están asentados en terrenos llanos y no hay cambios significativos en la pendiente, como podría haberlo en la sierra de nuestro país. Dada esta situación, se debe considerar también la evaluación de variables cualitativas, las cuales determinan y suman importancia a un estudio de esta índole.

Hay distritos que presentan condiciones de vulnerabilidad ante diferentes peligros. Por ejemplo; en el estudio realizado por el Centro de Estudios y Prevención de Desastres (PREDES, 2009), para el escenario de los impactos de un gran sismo en Lima

Metropolitana y Callao, se concluye que El Agustino, Lima, San Juan de Lurigancho y Ventanilla, son los que tienen probabilidad media y alta de afectación ante un sismo.

Los distritos citados también han sido identificados en nuestro estudio, con probabilidad media y alta de ser afectados ante lluvias. Sin embargo, no sucede lo mismo para el Rímac, Villa María del Triunfo, Independencia, San Juan de Miraflores, que son particularmente vulnerables ante lluvias.

Como resultado del mapa 5.1, las viviendas del distrito del Rímac y Lima que se encuentran en condiciones extremas de ser afectadas, son las mismas que fueron informados por los medios de comunicación días seguidos al evento atípico del 15 de enero 1970.

Considerando que este estudio analizó condiciones muy cercanas a la actualidad ya que la información de las variables predictoras (SISFHO) son hasta el 2013; notamos que no se han dado grandes cambios en el estado de las viviendas en la mayoría de distritos, pese a que han transcurrido más de 40 años desde aquel evento de 1970; incluso hay nuevos focos vulnerables a ser tratados con mayor detalle.

De este modo, no se han dado cambios urbanos en los distritos de corte histórico y hay nuevas zonas a considerar vulnerables porque son aquellas asentadas en las periferias mediante mecanismos no legítimos, lo cual está relacionado con la informalidad. Se observó en la salida de campo que para el caso de los pueblos jóvenes se está iniciando un proceso de cambio urbano, en tanto que algunas familias de estas zonas vienen implementando una mejora en la construcción de sus viviendas. Si bien esta transformación no es masiva, se observó que parte de la población que va mejorando sus condiciones económicas viene construyendo el segundo piso de sus viviendas tal cual se puede observar en las fotografías 6.1, 6.2 y 6.3 y en algunos casos van construyendo con material noble lo que antes fue una vivienda de madera. Puede ser

que la forma de construcción no sea la más adecuada si en caso sucediera una lluvia extrema, sin embargo, muchas de estas viviendas han dejado de estar en situaciones precarias y hay una preocupación de la población por mejorar sus condiciones de vivienda.

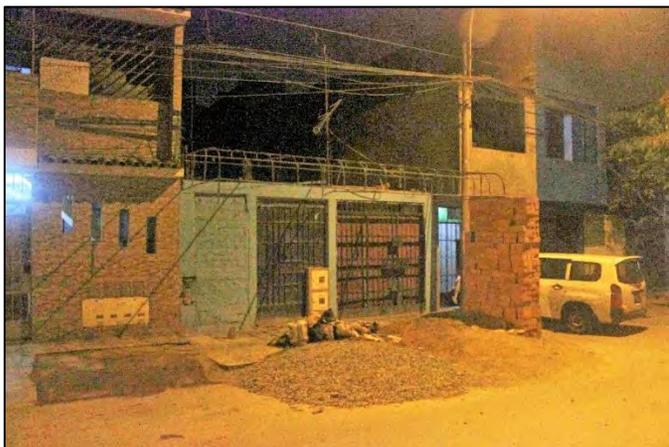
**Foto 6.1:** Mejoramiento de vivienda – Los Olivos



**Foto 6.2:** Mejoramiento de vivienda – Los Olivos



**Foto 6.3:** Mejoramiento de vivienda - Ventanilla



En relación a los centros educativos y servicios de salud, en la mayoría de distritos se encuentran en condiciones de baja probabilidad de ser afectados, salvo para los distritos de El Callao, Rímac y Lima. Es importante señalar que las edificaciones como: hospitales, colegios, cuarteles de bomberos, estaciones de policía, entre otros; tienen un rol indispensable en el caso de desastre para la atención de heridos, mantener el orden público y como refugio para los damnificados (PNUD, 2009).

Se debe asegurar la funcionalidad de estas edificaciones, lo cual implica brindar mayor rigurosidad y tratamiento a los centros educativos y servicios de salud de los distritos citados, con el fin de disminuir la vulnerabilidad.

Se encuentra mucha similitud entre la identificación de las zonas vulnerables a partir de nuestro modelo realizado y la caracterización de pobreza – vulnerabilidad física (deslizamientos e inundaciones) según información recopilada del INEI y del MINAM.

En el capítulo área de estudio se plasmó la caracterización de Lima Metropolitana y el Callao a partir de grandes zonas geográficas, si comparamos nuestro modelamiento a partir de estas divisiones, podemos corroborar nuestros resultados.

En las grandes zonas se identificaron altos porcentajes de pobreza y una alta susceptibilidad física en los distritos de Lima norte, Lima centro, Lima sur y Lima este, de la misma manera nuestro estudio ha identificado una alta vulnerabilidad en estas zonas sin embargo, en algunos casos solo en las zonas de la periferia, en otros en las zonas históricas y también algunos en los que la vulnerabilidad se distribuye homogéneamente en todo el distrito.

Así también, en ambos estudios la zona de Lima moderna es la que resultaría menos afectada, es la que presenta bajos porcentajes de pobreza y una baja o nula susceptibilidad física frente a inundaciones y deslizamientos.



## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir de la investigación realizada se pudo identificar que la lluvia del 15 de enero de 1970, ocurrió en un contexto de Niño Global débil, lo cual podría haber influido remotamente en este evento atípico de lluvias. Se recomienda estudios más profundos para identificar las causas de la perturbación atmosférica que generó este evento, utilizando modelos numéricos para comprender la de qué manera se da la teleconexión entre el Pacífico ecuatorial central y en la costa central de Perú.

Habiendo realizado el modelamiento de las zonas más vulnerables, de ocurrir una lluvia similar a la del 15 de enero de 1970 en Lima Metropolitana y el Callao, las zonas más vulnerables de acuerdo a la condición física de sus construcciones serían; la zona histórica del Callao, la zona del Rímac aldeaña al río, el centro histórico de Lima, la zona periférica de Villa María del Triunfo, la zona periférica de Ventanilla, las periferias de Comas y Puente Piedra y las viviendas asentadas en Chosica y Chaclacayo. A partir del estudio realizado se observó que si bien han transcurrido más de 40 años del evento, las zonas históricas en particular no han sufrido cambios, incluso hay nuevos focos vulnerables, los cuales responden a los nuevos asentamientos humanos de la periferia. Las municipalidades deben involucrarse con mayor rigor en el tratamiento de los espacios históricos y ser más exhaustivos con el otorgamiento de licencias de construcción en los asentamientos de la periferia, puesto que se debieran exigir estándares mínimos de construcción.

La identificación de zonas vulnerables espacialmente se ha podido realizar mediante la conjugación de las variables predictoras y los puntos de ocurrencia de zonas afectadas en el software Maxent. La aplicación de una nueva metodología para el estudio de los desastres de origen natural, mediante el uso de la herramienta Maxent y técnicas de sistemas de información geográfica, son sencillas de aplicar y reducen los

costos para estudios de esta índole, así también, es una metodología que puede ser replicada en nuevas zonas de interés.

Durante la ejecución del modelamiento para identificar las zonas vulnerables, se tuvo como limitante que la variable “pendiente”, no resultó significativa para el caso de nuestra área de estudio. Se recomienda, en próximos estudios, trabajar con un Modelo Digital de Elevación (DEM) de mayor resolución, por ejemplo, uno que tenga la información de altitud de las curvas de nivel cada 15 metros, ya que los cambios de nivel en Lima Metropolitana y el Callao no son significativos a una escala mayor, por tanto, no pueden ser percibidos a detalle con un DEM de 30 x 30 metros. Esta consideración podría incrementar el aporte de la variable pendiente para el modelamiento y así, se podrían incluir en el análisis las vías de transporte con desnivel.

Por otro lado, en cuanto a los patrones de construcción de viviendas en situación de alta vulnerabilidad se identificó como características recurrentes las viviendas de techo y pared de adobe, así también, aquellas de techo de calamina y una predominancia de techos planos. Los gobiernos locales deben comprometerse en brindar capacitación a la población como considerar una leve inclinación del techo de la vivienda, instalación de canales de drenaje en el techo, un desnivel adecuado para el suelo, mantener los techos limpios y no tugurizarlos de cosas, de esta forma se pueden prevenir daños por inundación a la vivienda.

Se identificaron a partir de un análisis espacial los establecimientos de salud y centros educativos en zonas con probabilidades altas y extremas de sufrir daños (ver anexos 9 y 10), se ha generado una base de datos que puede servir como apoyo para la gestión municipal de tal manera que la intervención sea oportuna y prioritaria. De las visitas realizadas a los establecimientos de salud, en algunos casos se observó que los gobiernos locales vienen realizando esfuerzos por mejorar las construcciones de los

centros materno infantil, sin embargo, la construcción de los locales definitivos vienen tardando mucho tiempo en ser terminados, por otro lado, pese a que se han implementado nuevos módulos de salud, estos no se dan abasto, es decir no se ha realizado un buen estudio de la demanda poblacional, finalmente esta situación se reduce a una deficiencia en la gestión del presupuesto, debe existir un mayor compromiso de la gestión local para llevar a cabo estos proyectos y mejorar la calidad de vida de la población.

Durante la salida de campo, mientras se realizó el registro fotográfico, en algunos establecimientos de salud se encontró módulos prefabricados que vienen funcionando de manera temporal, de forma espontánea se pudo preguntar a algunos pacientes y a miembros del personal de salud sobre la problemática de las antiguas construcciones, y surgió el tema que venías sufriendo problemas de filtración de agua por el techo cuando se sucedían garúas, así también, la poca ventilación al tener ventanas muy pequeñas y que se infiltraba mucha humedad por las paredes. De realizarse una investigación del mismo corte, sería más enriquecedor para un diagnóstico, realizar encuestas al personal de salud, así como en los centros educativos en zonas vulnerables y a algunas viviendas, de tal forma que se pueda corroborar de mi primera fuente los problemas ya identificados en la tipología de viviendas o encontrar problemas que no han sido considerados.

Es rol del Estado garantizar la seguridad y funcionalidad de los servicios públicos básicos como son educación y salud. A manera de llevar la problemática al plano de la gestión pública, el Gobierno central a través de los programas de presupuestos por incentivos municipales puede dirigir sus directivas a que los gobiernos se interesen en realizar una buena gestión de proyectos de inversión pública que comprometa e involucre la Gestión de Riesgos de Desastres. De esta forma, garantizar la seguridad de la población.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

Aguirre, Í., Carral, P. (2009). *Apuntes de Meteorología y Climatología para el Medio Ambiente*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.

Ahrens, D. (2003). *Meteorology Today*. Illinois: Thomson.

Aneas, S. (2000). Riesgos y peligros, una visión desde la geografía. *Scripta Nova*, (60), p.(s/n) Recuperado de: <http://www.ub.edu/geocrit/sn-60.htm>

Balbo, M., Jordán, S., Simioni, D. (2003). La ciudad inclusiva. Santiago de Chile. 280. Recuperado de: <http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/27816/S2003002.pdf?sequence=1>

Callalle, C. (2016). *Gestión de riesgo de desastres en zona urbana periférica. Análisis del riesgo en el asentamiento humano, Lomas de Nocheto, Santa Anita, Lima*. (Tesis de licenciatura), Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado de: <http://tesis.pucp.edu.pe:8080/repositorio/handle/123456789/7672>

Campos, M., Toscana, A., Campos, A. (2015). Riesgos socioculturales: vulnerabilidad socioeconómica, justicia ambiental. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*. 24 (2): pp. 53-69. DOI: 10.15446/rcdg.v24n2.50207

Capel, J. (1999). Lima un clima de desierto litoral. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense de Madrid*. 19, pp. 27-30.

Cardona, F., Ávila, Á., Carvajal, Y., & Jiménez, H. (2014). Tendencias en las series de precipitación en dos cuencas torrenciales andinas del Valle del Cauca (Colombia). *Tecno Lógicas*, 17(32), pp. 85-95. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-77992014000100009&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992014000100009&lng=en&tlng=es)

Carey, M. (2014). Glaciares, cambio climático y desastres naturales. Ciencia y sociedad en el Perú. Lima, Perú: Instituto de Estudios Peruanos.

CENEPRED (2017). Escenario de riesgo por sismo y tsunami para Lima Metropolitana y la Provincia Constitucional del Callao. Lima, Perú: Ministerio de Defensa. Recuperado de: <http://dimse.cenepred.gob.pe/er/sismos/ESCENARIO-SISMO-TSUNAMI-LIMA-CALLAO.pdf>

CEPAL y BID (2000). Un tema del desarrollo: la reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres. México: CEPAL México. 5. Recuperado de: <https://www.cepal.org/publicaciones/xml/4/10134/L428.pdf>

Chardon, A., Gonzáles, J. (2002). Indicadores para la gestión del riesgo. Colombia: Idea Un. Recuperado de: <http://idea.unalmz.edu.co/documentos/Anne-Catherine%20fase%20I.pdf>

Cuadrat, J., Pita, F. (2000). Climatología. Madrid, España: Ediciones Cátedra.

Cuentas, M.A. y M. Timaná. (2015). *Guía para el modelamiento con Maxent. Parte 2*. Material del curso *Biogeografía y Manejo Ambiental*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Cuentas, M.A. y M. Timaná. (2015). *Guía para el modelamiento con Maxent. Parte 1*. Material del curso *Biogeografía y Manejo Ambiental*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Cuentas Romero, A. (2015). *Revalorizando el bosque seco de algarrobo. Estudio y análisis de la biodiversidad, distribución y conservación de los bosques secos en Lambayeque*. (Tesis de licenciatura), Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado de: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/6313?show=full>

Durand, F. (1969). *Climatología*. Barcelona: Ediciones Ariel.

Easterling, D., Meehl, Y., Parmesan, C., Changnon, S., Karl, T., Mearns, L. (2000). Climate extremes: Observations, modeling and impact. *Science's compass*, 289, 2068. DOI: 10.1126/science.289.5487.2068

EIRD. (2004). *Vivir con el riesgo: Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres*. Ginebra (s/n), 48 -49. Recuperado de <http://www.cridlac.org/digitalizacion/pdf/spa/doc16481/doc16481.htm>

EIRD. (2002). *Aprendamos a prevenir desastres, los niños y las niñas también participamos en la reducción de riesgos*. Nicaragua. (s/n) 10, 13. Recuperado de: <https://www.unicef.org/paraguay/spanish/aprendamos.pdf>

El Comercio. (1970). "Lima Sufre la Mayor lluvia de los últimos 45 años". El Comercio Lima 16 de enero.

El Comercio. (2011). "Las recordadas ocasiones en que los truenos se escucharon en Lima". El Comercio Lima 24 de noviembre. Recuperado de: <http://archivo.elcomercio.pe/sociedad/lima/recordadas-ocasiones-que-truenos-cayeron-lima-noticia-1338734>

El Comercio. (2014). "El diluvio setentero que azotó Lima". El Comercio Lima 09 de febrero. Recuperado de: <https://elcomercio.pe/lima/diluvio-setentero-azoto-lima-291820>

El Peruano (1970) "Lluvia inusitada cae sobre Lima". El Comercio, 16 de enero.

ENFEN. (2012). Definición operacional de los eventos El Niño y La Niña y sus magnitudes en la costa de Perú. Recuperado de: [http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe\\_comenf\\_not\\_tecni\\_enfen\\_09abr12.pdf](http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe_comenf_not_tecni_enfen_09abr12.pdf).

Fuentes, J. (2000). *Iniciación a la meteorología y la climatología*. Madrid: Mundi Prensa.

Garreaud, R. (2009). The Andes climate and weather. *Advances in Geosciences*, 22(3), pp. 6.

Gonzales, M., Martínez, J. (2001). *Naturaleza Transformada*. Barcelona, España: Icaria.

Hernández, B. (2002). Variabilidad interanual de las anomalías de la temperatura superficial del mar en aguas cubanas y su relación con eventos El Niño- Oscilación del Sur (ENOS). *Investigaciones Marinas*, 30(2), pp. 21.

IPCC. (2014). *Cambio climático 2014, impactos, adaptación y vulnerabilidad*. Recuperado de: [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5\\_wgII\\_spm\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgII_spm_es.pdf)

INSTITUTO METROPOLITANO DE PLANIFICACIÓN. (2008). Atlas ambiental de Lima. Lima, pp. 157.

INDECI. (2006). Manual básico para la estimación del riesgo. Lima, pp. 11. Recuperado de: [http://sinpad.indeci.gob.pe/UploadPortalSINPAD/man\\_bas\\_est\\_riesgo.pdf](http://sinpad.indeci.gob.pe/UploadPortalSINPAD/man_bas_est_riesgo.pdf)

Kuroiwa, J. (2002). *Reducción de desastres. Viviendo en armonía con la naturaleza*. Perú: PNUD.

Liras, E. (2008). Funcionamiento, interfaz y formato de los datos en Maxent. *IV Taller de modelización de nichos ecológicos*. España.

Mateo, R., Felicísimo, A., Muñoz, J. (2011). Modelo de distribución de especies. *FORCLIM Bosques y Cambio Global, VolI(1)*, pp. 23-24. Recuperado de: <http://www.bubok.es/libros/208369/FORCLIM--Bosques-y-cambio-global-Vol-1-Modelos-de-distribucion-de-especies-Fundamentos-de-las-IDE-Argentina>

MINAM. (2011). *Mapa de Vulnerabilidad Física del Perú, Herramienta para la Gestión del Riesgo*. Lima (1). Recuperado de: <http://cdam.minam.gob.pe/novedades/mapavulnerabilidadfisicaperu.pdf>

MINAM. (2016). *Historia Ambiental del Perú, siglos XVIII y XIX*. Lima, pp. 21-22.

Municipalidad Metropolitana de Lima. (2008). *Plan de Emergencia Metropolitano*, pp. 4-6.

Municipalidad Metropolitana de Lima. (2013). Diagnóstico Técnico Participativo del Plan Regional de Desarrollo Concertado de Lima. *Plan Regional de Desarrollo Concertado de Lima*, pp. 29-30.

Ñahui, D. (2006). Variabilidad espacio temporal de la temperatura superficial del mar frente a las costas del Perú, utilizando los datos TSM Reynolds. *Compendios de trabajos de investigación del Instituto Geofísico del Perú*, pp. 7,9.

Ñaupas, H. (1984). *Visión Geosistémica del Perú*. Lima: San Marcos.

OSINFOR (2016). *Modelamiento de la distribución potencial de 18 especies forestales en el departamento de Loreto*, (1), pp. 18-19. Recuperado de: <http://www.osinfor.gob.pe/publicaciones/modelamiento-de-la-distribucion-potencial-de-18-especies-forestales-en-el-departamento-de-loreto-2/>

PERU 21 (2010). "La lluvia de hoy, la más intensa en lo que va de la temporada". Perú 21. Lima, 8 de enero. Consulta: 10 de enero del 2015. Recuperado de: <http://peru21.pe/noticia/393777/lluvia-esta-madrugada-mas-intensa-temporada>

PREDES. (2009). *Diseño de escenario sobre el impacto de un sismo de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao, Perú*. Lima, pp. 31-35. Recuperado de: [http://www.predes.org.pe/archivos/publicaciones/d\\_esc\\_sis\\_lima.pdf](http://www.predes.org.pe/archivos/publicaciones/d_esc_sis_lima.pdf)

Rojas, O., Martínez, C. (2011). Riesgos Naturales: evolución y modelos conceptuales. *Revista Universitaria de Geografía*. Concepción, Volumen (20), pp. 86. Recuperado de: <http://www.scielo.org.ar/pdf/reuge/v20n1/v20n1a05.pdf>

Salvatierra, H., Herrera, M. (2011). Argentina: El bosque Andino Patagónico ante el cambio climático. *FORCLIM Bosques y Cambio Global, VolI(1)*, pp. 64-65.

Recuperado de: <http://www.bubok.es/libros/208369/FORCLIM--Bosques-y-cambio-global-Vol-1-Modelos-de-distribucion-de-especies-Fundamentos-de-las-IDE-Argentina>

SENAMHI (2014). *El Fenómeno El Niño en el Perú*. Recuperado de: [http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/07/Dossier-El-Ni%C3%B1o-Final\\_web.pdf](http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/07/Dossier-El-Ni%C3%B1o-Final_web.pdf)

SENAMHI (2008). *Evaluación de la contaminación atmosférica en la zona metropolitana de Lima*. Boletín Hidrometeorológico del Perú de agosto del 2008. Recuperado de: [www.senamhi.gob.pe/pdf/bol\\_cont\\_atmos.pdf](http://www.senamhi.gob.pe/pdf/bol_cont_atmos.pdf)

SENAMHI (2002). Perú, Mapa de Clasificación Climática. DebConsulting. Lima, Perú. Recuperado de: <http://debconsulting.weebly.com/peruacute-clasif-climat-senamhi--wt.html>

Silva Y., G. Trasmonte, L. Giráldez y H. Montes (2015). *Variabilidad Climática del clima en Lima Metropolitana*, en Informe Parcial del Proyecto “Variabilidad y Tendencias Climáticas en Lima y Callao” (Financiado por DGI 2014-0056). PUCP, Lima.

Silva, Y., G. Trasmonte y L. Giráldez, (2010). *Variabilidad de las lluvias en el valle del Mantaro*. Memoria del Subproyecto “Pronóstico estacional de lluvias y temperaturas en la cuenca del río Mantaro”. IGP, Lima.

Strahler, A., Strahler, A. (2001). *Fisical Geography*. Estados Unidos de América: Wiley.

Sutton, O. (1966). *La ciencia de la meteorología*. Madrid: Ediciones Castilla.

Takahashi, K., 2017. *Fenómeno El Niño: "Global" vs "Costero"*. Boletín Técnico - Vol.4 No 4, pp. 5. IGP, Lima.

Tejada, X. y Y. Silva (2016). *Lima: entre garúas y diluvios*. Boletín de Lima N° 183, pp. 15 – 23.

UNISDR. (2009). *Terminología sobre reducción del riesgo de desastres*. Ginebra, pp. 6-8. Recuperado de:

[http://www.unisdr.org/files/7817\\_UNISDRTerminologySpanish.pdf](http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf)

Vergara Rodríguez, K. (2011). *Variabilidad climática, percepción ambiental y estrategias de adaptación de la comunidad campesina de Conchucos, Ancash*. (Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú). Recuperado de: [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/1240/VERGARA RODRIGUEZ KARLA VARIABILIDAD.pdf?sequence=1](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/1240/VERGARA_RODRIGUEZ_KARLA_VARIABILIDAD.pdf?sequence=1)

Woodman, R. (1999). Modelo estadístico en la costa norte del Perú. *El Fenómeno del Niño, Investigación para una prognosis, 1er encuentro de Universidades del Pacífico Sur*. Memoria, pp. 93-108.

Woodman, R., Takahashi, K. (2014). ¿Por qué no llueve en la costa del Perú, salvo durante el niño? ¿Por qué no llueve en la costa? *Boletín del Instituto Geofísico del Perú*, 1(6), pp. 4-5.

Zhang, X., Yang, F., & Santos, J. L. (2004). RCLimDex (1.0)-Manual del Usuario. *Climate Research Branch, Environment Canada, Ontario*, pp. 22.

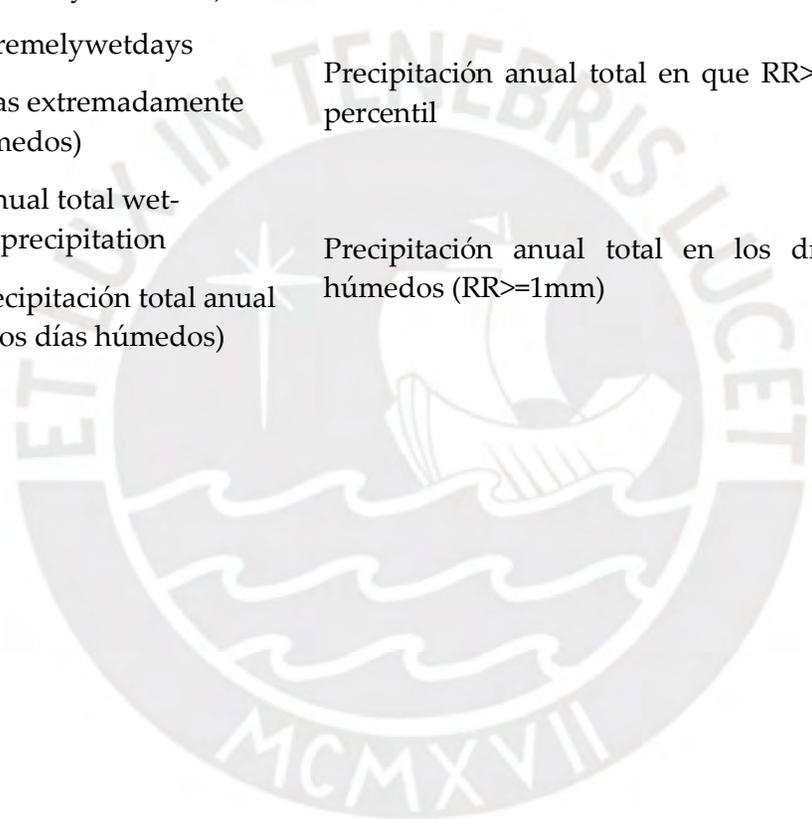
## 9. ANEXOS

### ANEXO 1: Lista de Los Índices Climáticos básicos para RCLimdex

<u>ID</u>	<u>Nombre del Indicador</u>	<u>Definición</u>	<u>UNIDAD</u>
FD0	Frostdays (Días de heladas)	Número de días en un año cuando TN(mínimo diario) < 0°C	Días
SU25	Summerdays (Días de verano)	Número de días en un año cuando TX(máximo diario) > 25°C	Días
ID0	Ice days (Días de hielo)	Número de días en un año cuando TX(máximo diario) < 0°C	Días
TR20	Tropical nights (Noches tropicales)	Número de días en un año cuando TN(mínimo diario) > 20°C	Días
GSL	Growing season Length (Duración de la estación de cultivo)	Annual (1st Ene a 31st Dic en HN, 1st Julio a 30th Junio en HS) cuenta entre el primer periodo de por lo menos 6 días con TG>5°C y primer periodo después de Julio 1 (Enero 1 en HS) de 6 días con TG<5°C	Días
TXx	Max Tmax	Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria	°C
TNx	Max Tmin	Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria	°C
TXn	Min Tmax	Valor mensual mínimo de temperatura máxima diaria	°C
TNn	Min Tmin	Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria	°C
TN10p	Coolnights (Noches frías)	Porcentaje de días cuando TN<10th percentil	%
TX10p	Cooldays (Días fríos)	Porcentaje de días cuando TX<10th percentil	%
TN90p	Warmnights (Noches calientes)	Porcentaje de días cuando TN>90th percentil	%
TX90p	Warmdays	Porcentaje de días cuando TX>90th percentil	%

	(Días calientes)		
WSDI	Warm spell duration (Indicador de la duración de periodos calientes)	Contaje anual de días con por lo menos 6 días consecutivos en que TX>90th percentil	Días
CSDI	Coldspelldurationindicato r (indicador de la duración de periodos fríos)	Contaje anual de días con por lo menos 6 días consecutivos en que TN<10th percentil	Días
DTR	Diurnal temperatura range (rango diurno de temperatura)	Diferencia media mensual entre TX y TN	°C
RX1day	Max 1-day precipitation amount (Cantidad Máxima de precipitación en un día)	Máximo mensual de precipitación en 1 día	Mm
Rx5day	Max 5-day precipitation amount (Cantidad Máxima de precipitación en 5 días)	Máximo mensual de precipitación en 5 días consecutivos	Mm
SDII	Simple daily intensity index (Índice simple de intensidad diaria)	Precipitación anual total dividida para el número de días húmedos (definidos por PRCP>=1.0mm) en un año	Mm/día
R10	Number of heavy precipitation days (Número de días con precipitación intensa)	Número de días en un año en que PRCP>=10mm	Días
R20	Number of very heavy precipitation days (Número de días con precipitación muy intensa)	Número de días en un año en que PRCP>=20mm	Días
Rnn	Number of day sabove nmm	Número de días en un año en que PRCP>=nn mm, nn es un parámetro definido por el usuario	Días

	(Número de días sobre nn mm)		
CDD	Consecutivedrydays (Días secos consecutivos)	Número máximo de días consecutivos con $RR < 1\text{mm}$	Días
CWD	Consecutivewetdays (Días húmedos consecutivos)	Número máximo de días consecutivos con $RR \geq 1\text{mm}$	Días
R95p	Verywetdays (Días muy húmedos)	Precipitación anual total en que $RR > 95$ percentil	Mm
R99p	Extremelywetdays (Días extremadamente húmedos)	Precipitación anual total en que $RR > 99$ percentil	mm
PRCPTOT	Annual total wet-dayprecipitation (Precipitación total anual en los días húmedos)	Precipitación anual total en los días húmedos ( $RR \geq 1\text{mm}$ )	mm



## ANEXO 2: Definición de los diferentes tipos de vulnerabilidad

Dimensión	Descripción
Física	Se refiere especialmente a la localización de los asentamientos humanos en zonas de riesgo, y a las deficiencias de sus estructuras físicas para "absorber" los efectos de los riesgos. Ej.: Materiales de construcción de una vivienda, localización de las mismas cerca de fallas geológicas activas.
Económica	Se expresa tanto a nivel local, como nacional, la pobreza aumenta la vulnerabilidad. Ej. Locales: Desempleo, bajos ingresos, bajo acceso a servicios (educación, recreación y salud) Ej. Nacional: Dependencia de factores externos, poca diversificación de la producción (monoproductores o exportadores de commodities)
Social	Se refiere al grado de integración de una comunidad determinada, su mayor integración significara una rápida respuesta ante el desastre, en este sentido cobra importancia la autoorganización y las relaciones estrechas. Ej.: Ausencia de organizaciones comunitarias, de liderazgo.
Educativa	Se vincula a dos aspectos, la cobertura y la calidad de esta en la comunidad propensa, falta de conocimiento sobre las causas de los peligros y como actuar en caso de desastre hacen a la comunidad más vulnerable. Ej.: Bajos niveles de rendimiento en pruebas nacionales como SIMCE o PSU.
Política	Corresponde al nivel de autonomía y de gestión de una comunidad respecto a sus recursos y la toma de decisiones que la afectan. Ej.: Fuertes niveles de centralización político-administrativa que impiden a la comunidad decidir.
Institucional	Se relaciona con las dificultades que tienen las instituciones para gestionar el riesgo, en la falta de preparación, de toma de acciones para reducirlo o mitigarlo, en conocimiento de su existencia. Ej.: Exceso de burocracia, prevalece lo político y el protagonismo, la rigidez y la obsolescencia.
Cultural	Es la forma en que los individuos se ven a sí mismos en la sociedad y como colectividad. Los medios de comunicación contribuyen a la entrega de información imprecisa o ligera del medio ambiente, además la sociedad mediante sus estereotipos.
Ambiental o Ecológica	Esta presente cuando el modelo de desarrollo no se basa en la convivencia, sino en la explotación inadecuada y destrucción de los recursos de la naturaleza, deteriorando los ecosistemas y con ello sus posibilidades de ajuste. Ej.: Destrucción de manglares
Ideológica	Ideas que tienen las personas o creencias sobre el devenir y los hechos del mundo. Ej.: Actitudes fatalistas y pasivas, creencias religiosas, pensamientos dogmáticos.

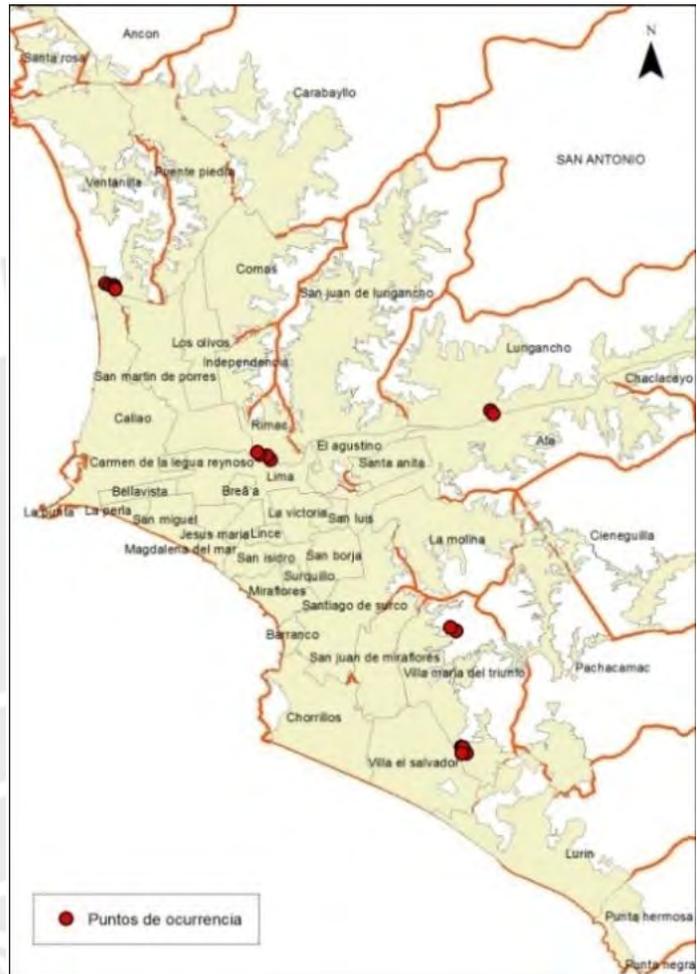
Fuente: Rojas & Martínez, 2011:p.95

### ANEXO 3: Puntos de ocurrencia a partir de reportes de noticias

**Tabla 9.1:** Coordenadas de los puntos de ocurrencia

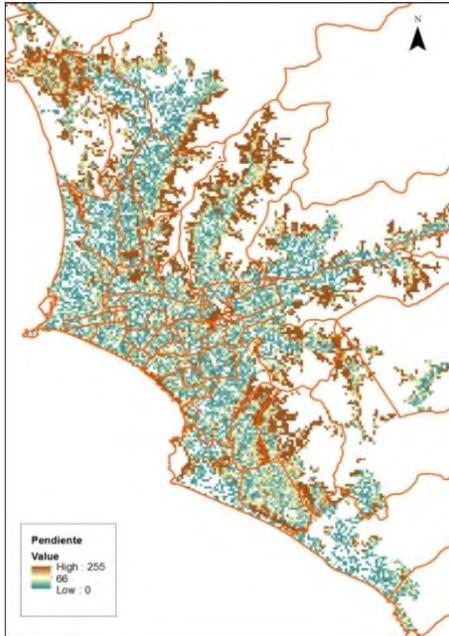
Ciudad	Longitud	Latitud
Lima	-76.918	-12.212
Lima	-76.918	-12.213
Lima	-76.92	-12.21
Lima	-76.919	-12.21
Lima	-76.92	-12.213
Lima	-77.033	-12.041
Lima	-77.035	-12.039
Lima	-77.039	-12.038
Lima	-77.04	-12.036
Lima	-77.129	-11.937
Lima	-77.127	-11.938
Lima	-77.124	-11.939
Lima	-77.124	-11.94
Lima	-77.124	-11.941
Lima	-76.904	-12.012
Lima	-76.902	-12.014
Lima	-76.924	-12.142
Lima	-76.927	-12.139

**Mapa 9.1:** Mapa de puntos de ocurrencia

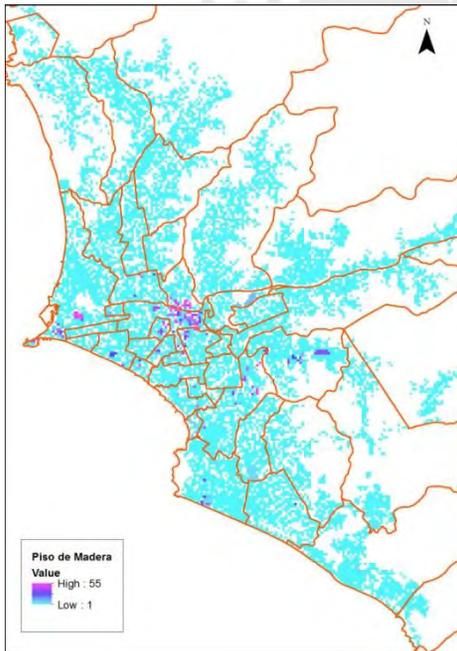


ANEXO 4: Variables predictorias utilizados en el modelamiento

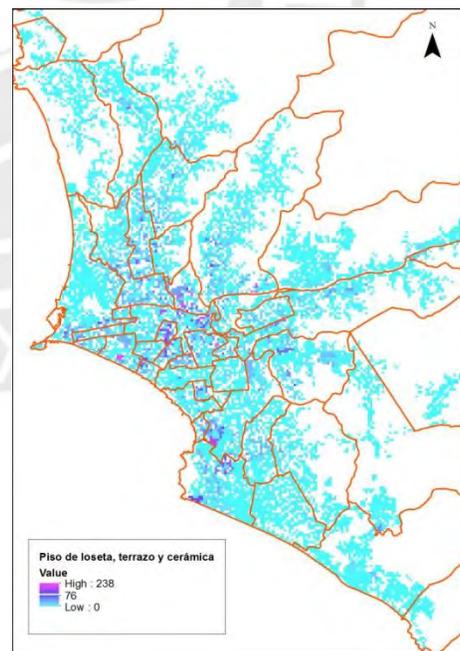
Mapa 9.2: Pendiente



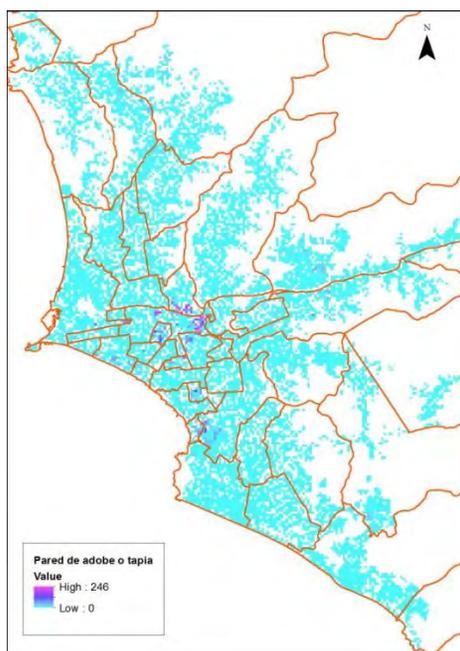
Mapa 9.3: Piso de Madera



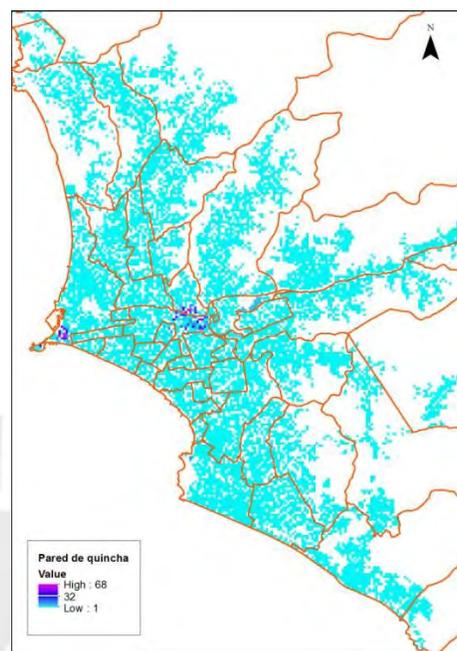
Mapa 9.4: Piso de loseta



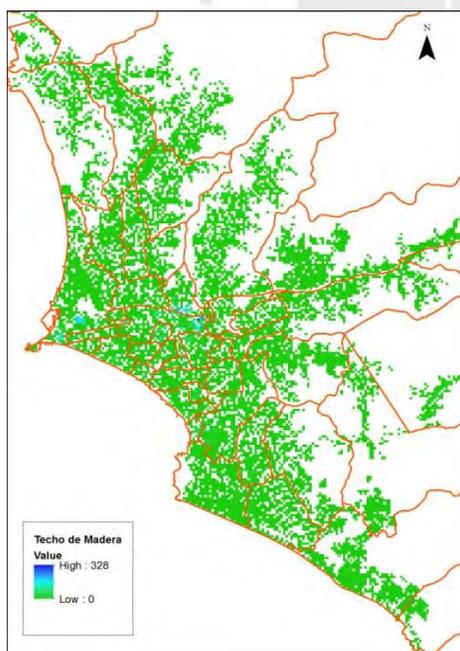
**Mapa 9.5: Pared de adobe**



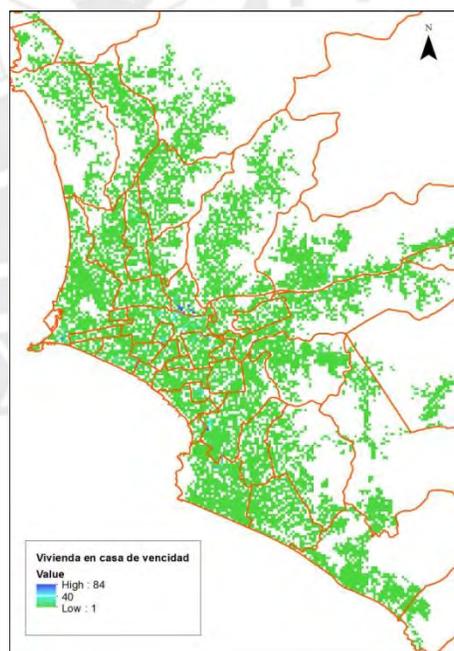
**Mapa 9.6: Pared de quincha**



**Mapa 9.7: Techo de Madera**



**Mapa 9.8: Vivienda en vecindad**



- Autor de los mapas: Gianella Guillén
- Fuente: SISFHO 2013

**ANEXO 5: Resúmenes de los eventos lluviosos significativos registrados históricamente en Lima**

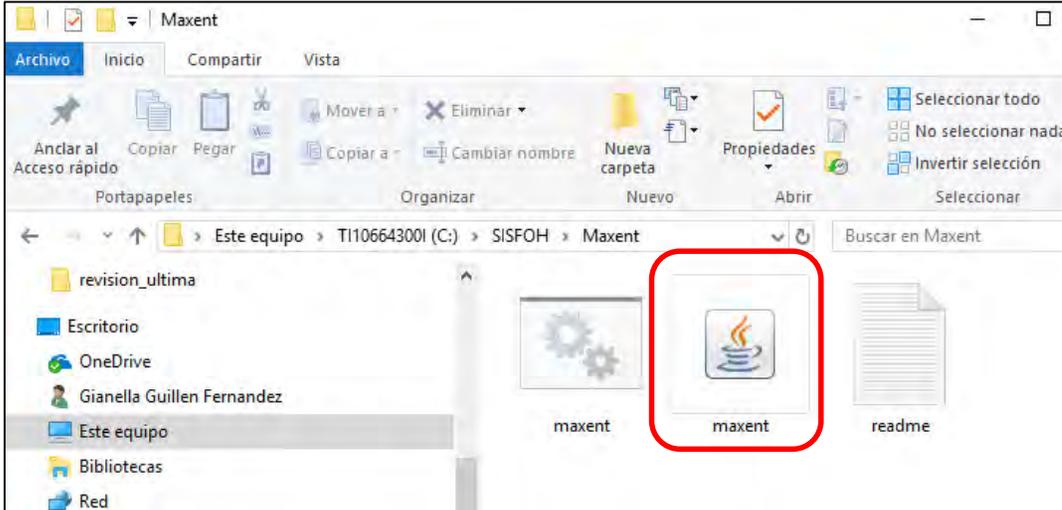
Tabla N° 2. Resumen de eventos lluviosos de 1981		
Fechas	14 de enero	7 de abril
Lugar(es) de ocurrencia	Distritos costeros y también Chaclacayo y Chosica	Desde Puente Piedra hasta Pucusana
Magnitud	3,3 mm acumulado por nueve horas consecutivas	En promedio 1 mm y solo en la Molina: 3 mm
Causa	S.D	Acumulación de nubes de tipo altoestratos y altocúmulos, de 1.5 km de espesor vertical originadas en el Océano Pacífico
Datos Adicionales	Pérdidas en los almacenes del terminal marítimo del Callao	Varias calles anegadas y algunas viviendas afectadas.

Tabla N° 4. Resumen de eventos de lluvia de 1998			
Fechas	3 de enero	6 de enero	10 de enero
Lugar(es) de ocurrencia	Cono sur (Miraflores, Chorrillos) y Barrios altos	San Juan de Lurigancho, específicamente en el A.H Juan Pablo II y 10 de octubre.	Villa el Salvador
Magnitud	1.7 lt/m <sup>2</sup> , 13 horas de lluvia	Permanente, duración: 15 horas	1lt/m <sup>2</sup>
Efectos	Solares de barrios altos afectados y deslizamientos en acantilados	120 familias con viviendas precarias destruidas.	Agua se filtra por techos de viviendas precarias.

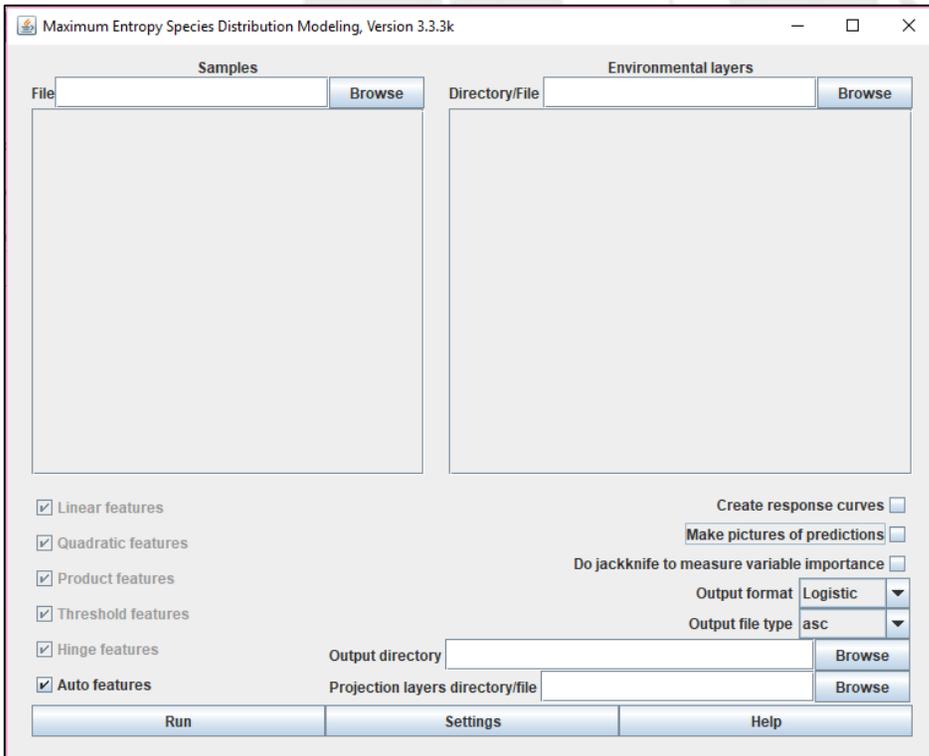
Fuente: El Comercio citado por Tejada, X. & Y. Silva (2016)

## ANEXO 6: Procedimiento para ejecutar la herramienta Maxent

Abrir el programa Maxent haciendo click en archivo en formato ejecutable JAR



Se abrirá la siguiente ventana



Ir a la pestaña *Settings* y verificar que esté activada la opción *Remove duplicate presence records* y en *Replicate run type* elegir la opción *Crossvalidate*.

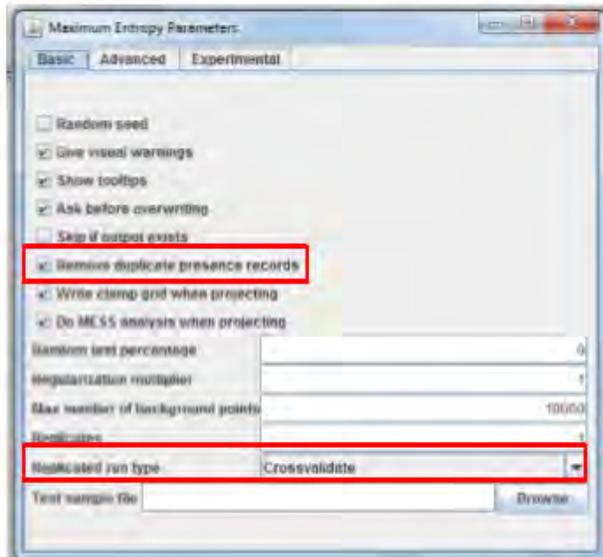
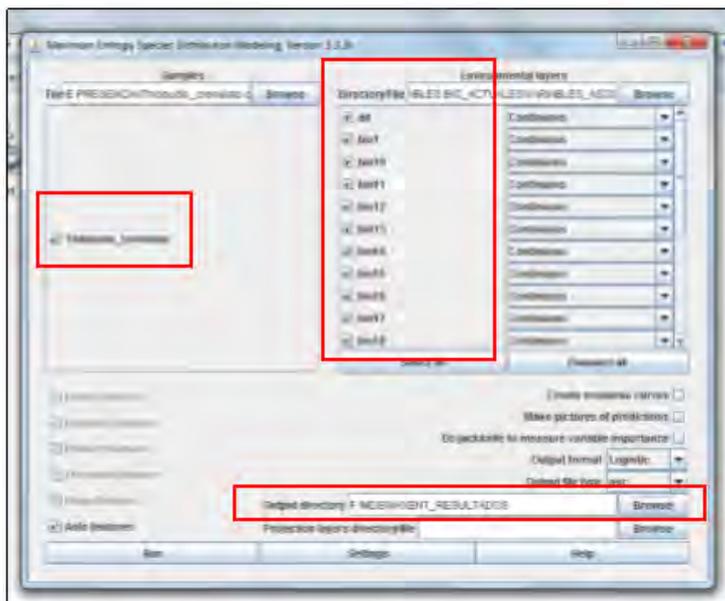
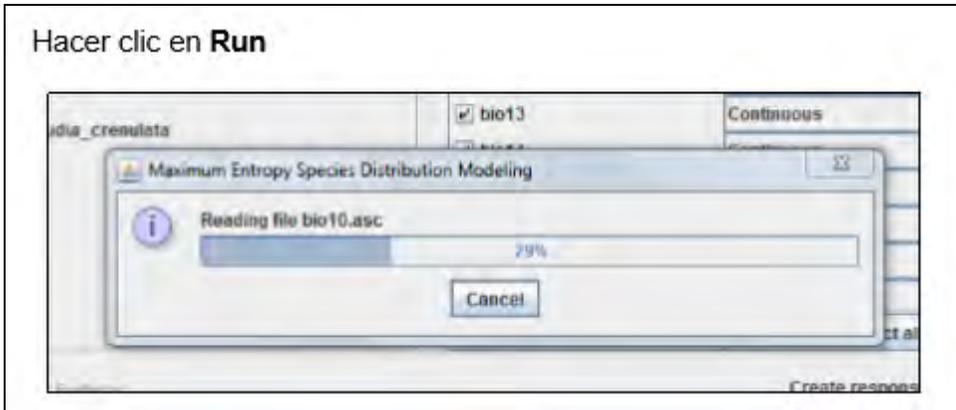


Figura 16

En la sección *Samples*, abrir el archivo CSV que usted creó para su especie.  
 En la sección *Environmental layers*, abrir todos los archivos ASCII recién convertidos.  
 En *Output directory*, ubicar la carpeta donde se van a guardar los resultados. Sugiero creen una nueva carpeta con el nombre `MAXENT_RESULTADOS` dentro de la carpeta MDE.



Hacer clic en **Run**



Luego de este procedimiento, se obtendrá un archivo ASCII, el cual debe ser convertido en "raster", mediante la herramienta de conversión "ASCCI to raster" en el Arcgis.

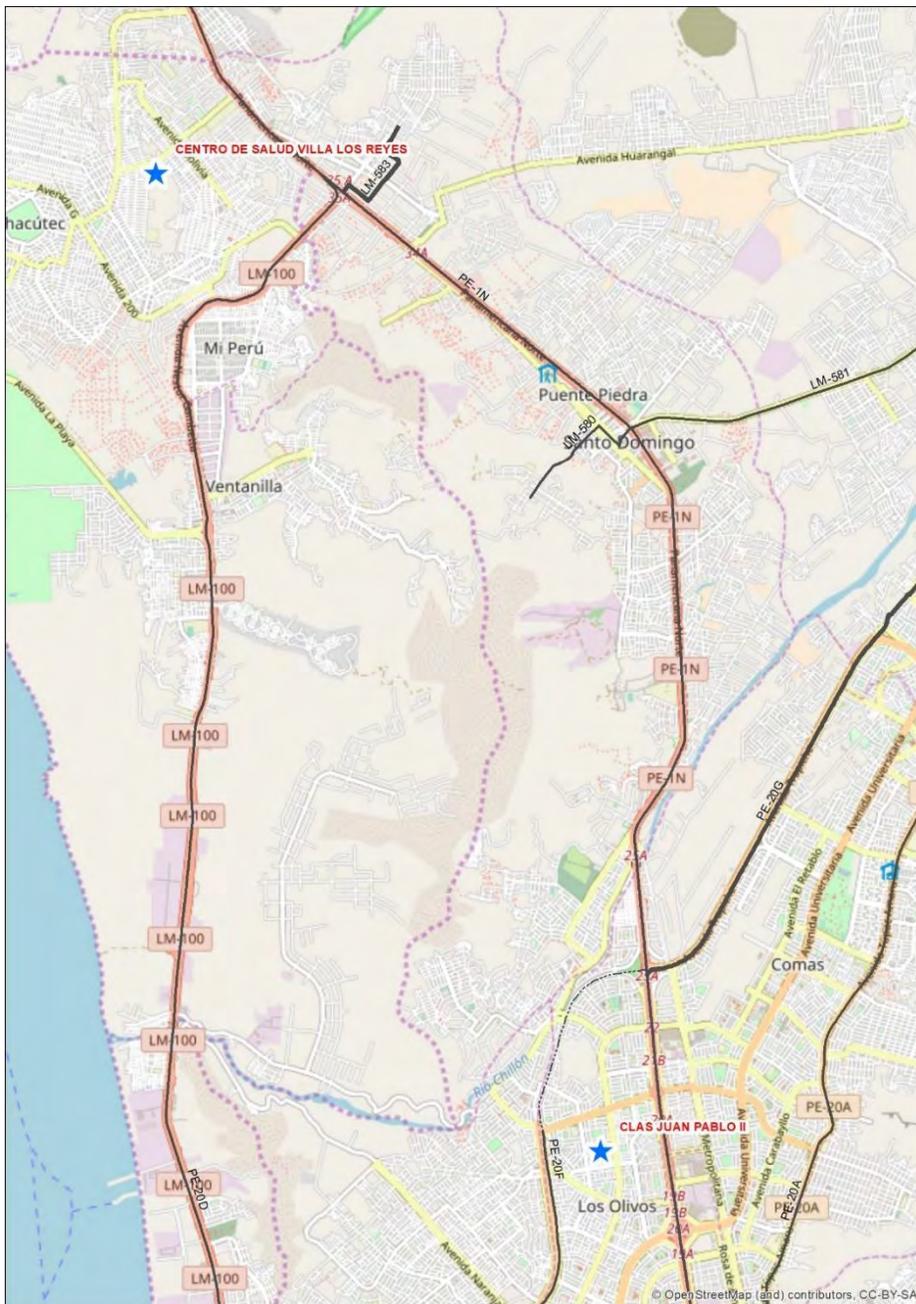
Para mejorar la resolución de la imagen se debe utilizar la herramienta "Remuestrear", luego elegir la opción bilinear y finalmente se puede realizar una reclasificación manual en arcgis.

Se recomienda hacerlo cada 0.1. Tener en cuenta que la primera clase irá de 0 al valor que se obtuvo en el percentil 10. Ejemplo: 0 - 0.270.

Fuente: Cuentas & Timaná, 2015.

ANEXO 7: Mapas de macro localización para la salida de campo

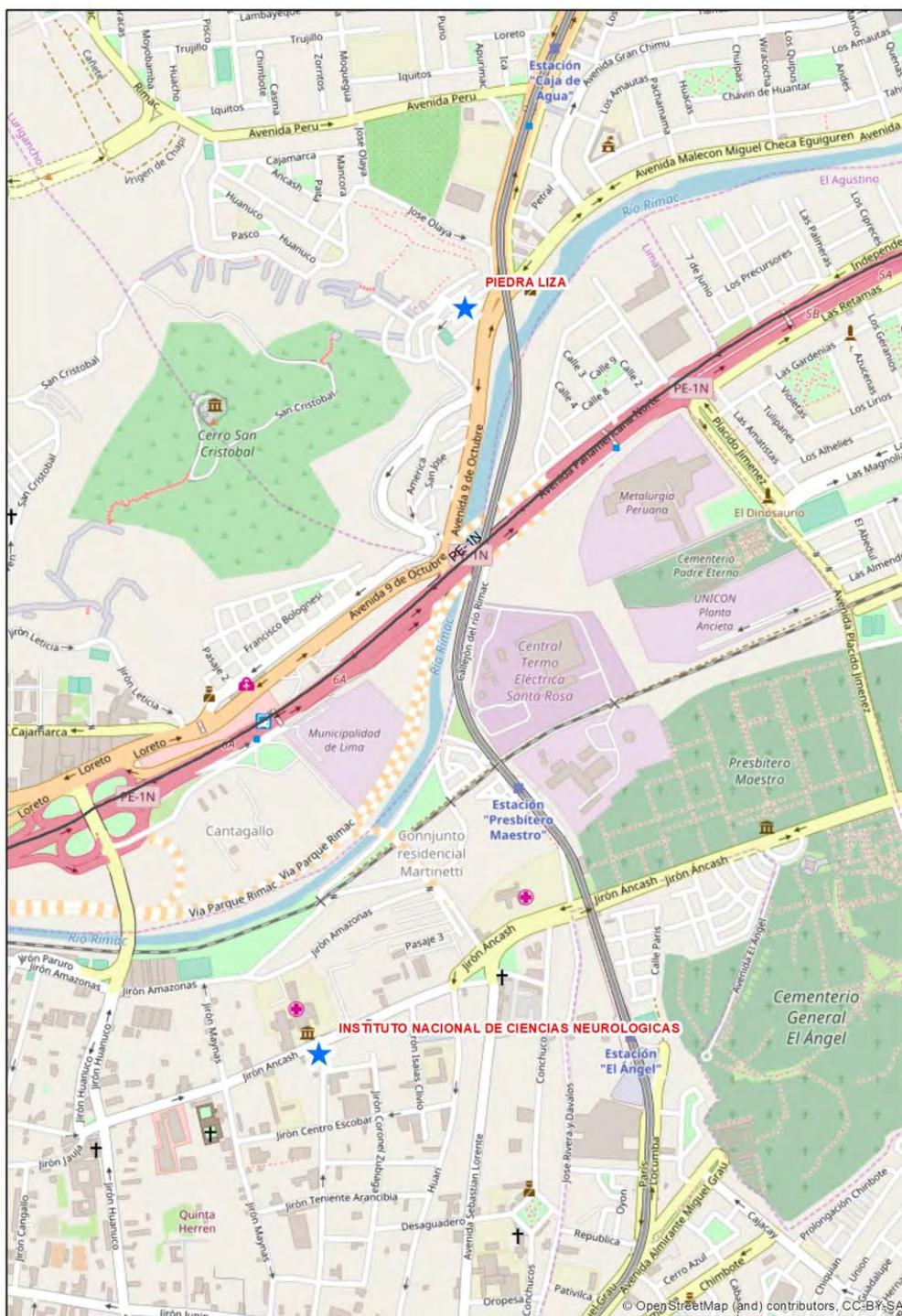
Mapa 9.9: Zona Norte: Centro Salud Villar Los Reyes y el CLAS Juan Pablo II



Fuente: Ministerio de Salud.

Mapa Base de calles: Esri en Arcmap 10.1.

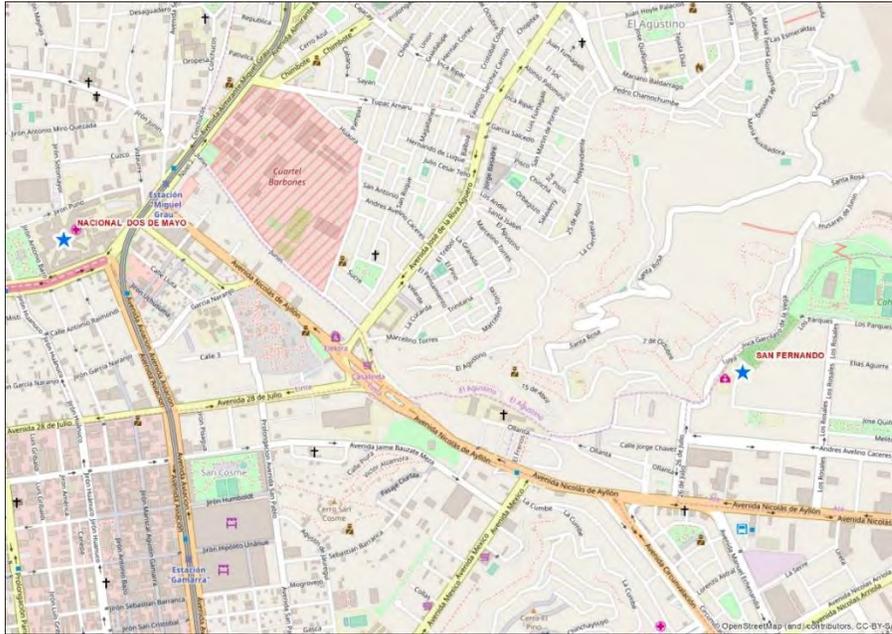
Mapa 9.10: Zona Centro: Piedra Liza y el Instituto Nacional de Ciencias Neurológicas



Fuente: Ministerio de Salud.

Mapa Base de calles: Esri en Arcmap 10.1.

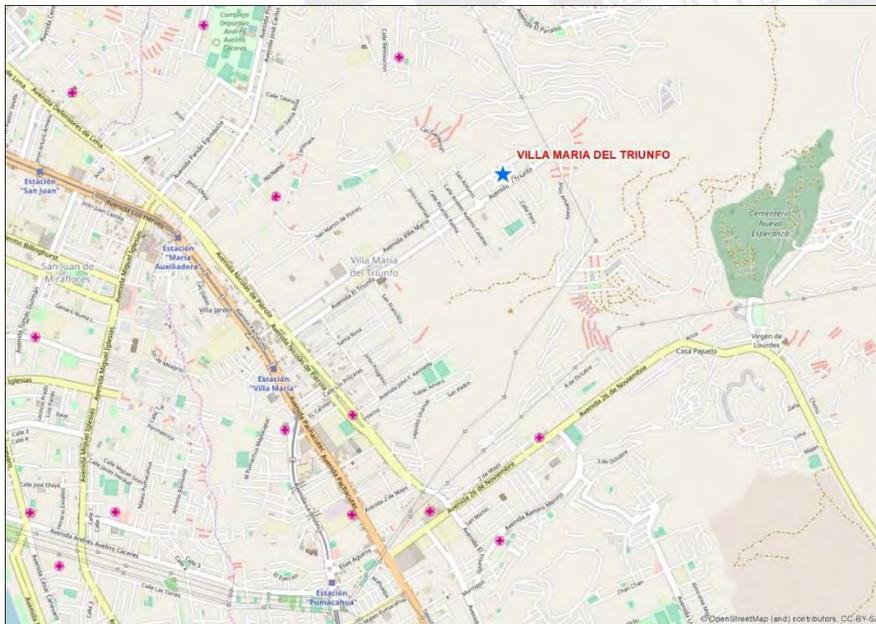
### Mapa 9.11: Zona Este: Centro Materno Infantil San Fernando



Fuente: Ministerio de Salud

Mapa Base de calles: Esri en Arcmap 10.1

### Mapa 9.12: Zona Sur - Centro de Salud Villa María del Triunfo

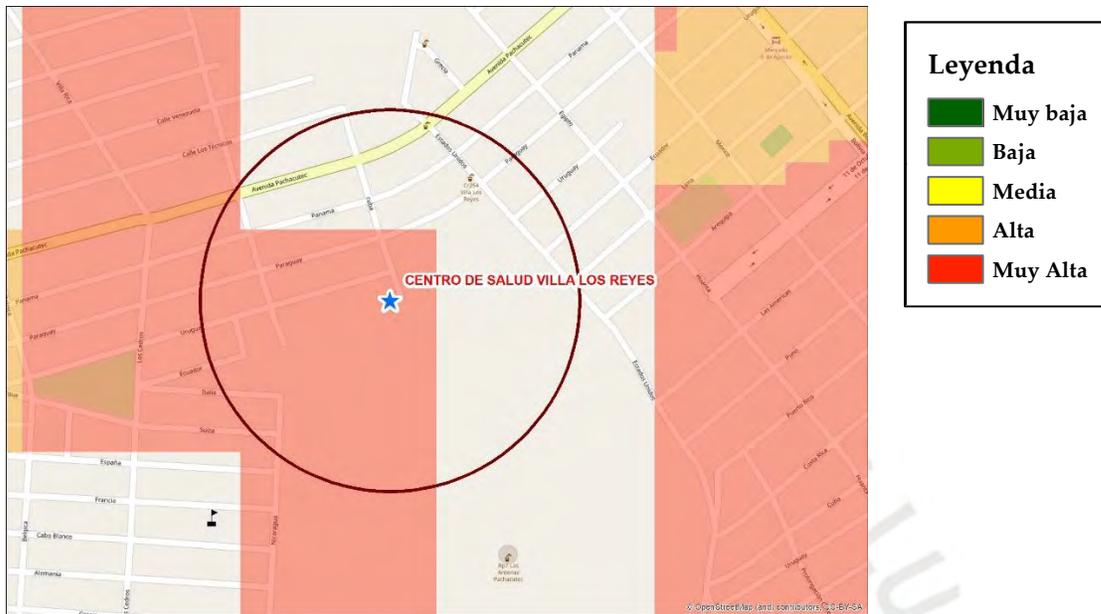


Fuente: Ministerio de Salud

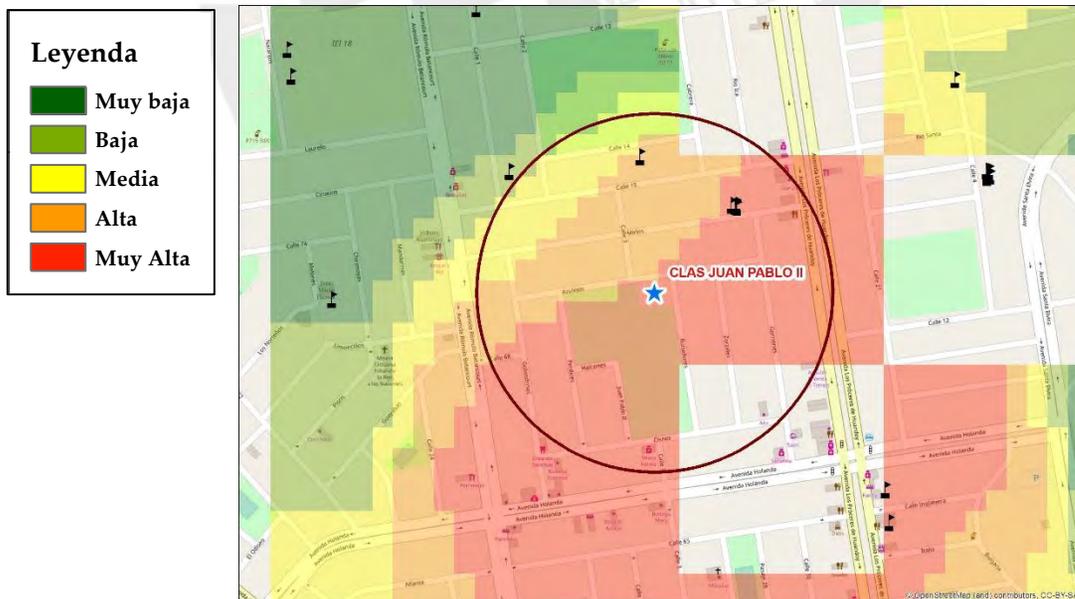
Mapa Base de calles: Esri en Arcmap 10.1.

## Mapas para localización de los establecimientos de salud objetivos

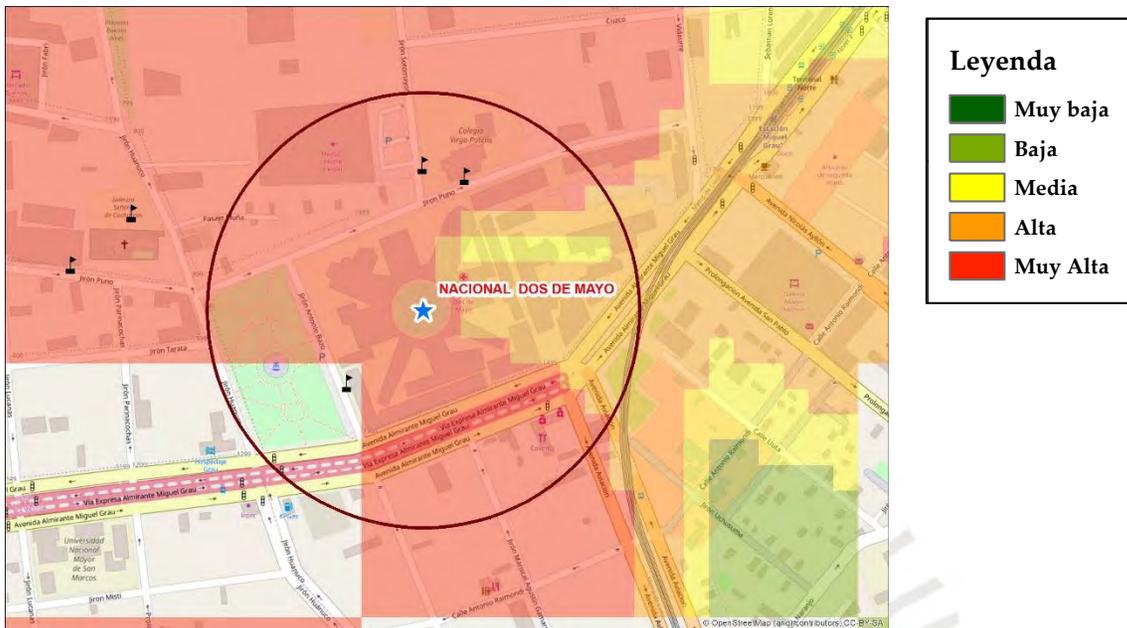
**Mapa 9.13:** Niveles de vulnerabilidad - Centro de Salud Villa Los Reyes - Ventanilla



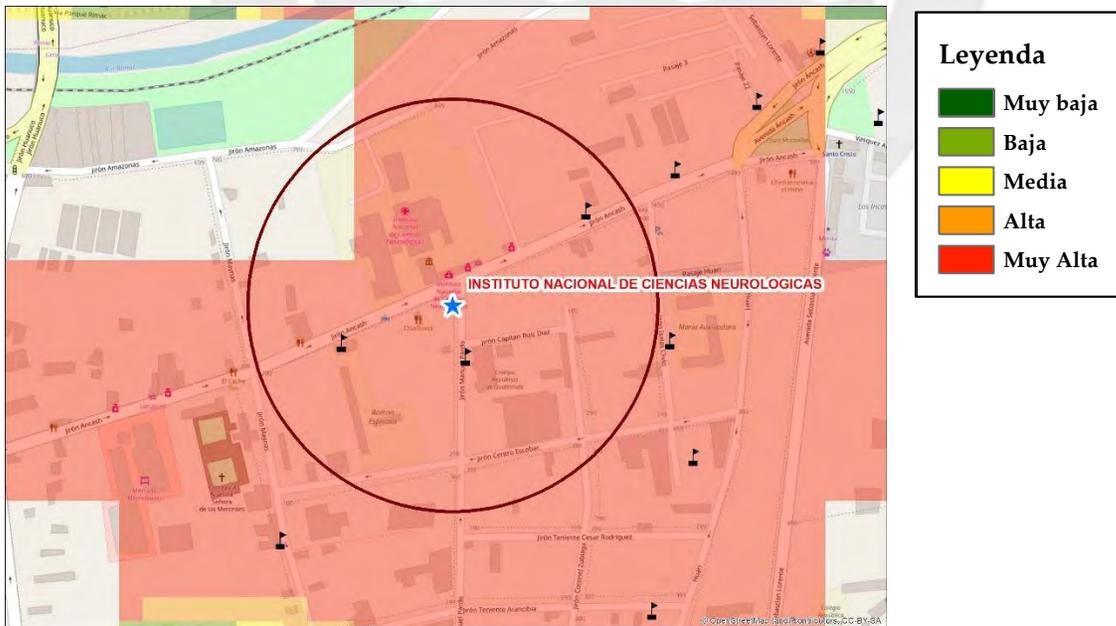
**Mapa 9.14:** Niveles de vulnerabilidad - (CLAS Juan Pablo Segundo – Los Olivos)



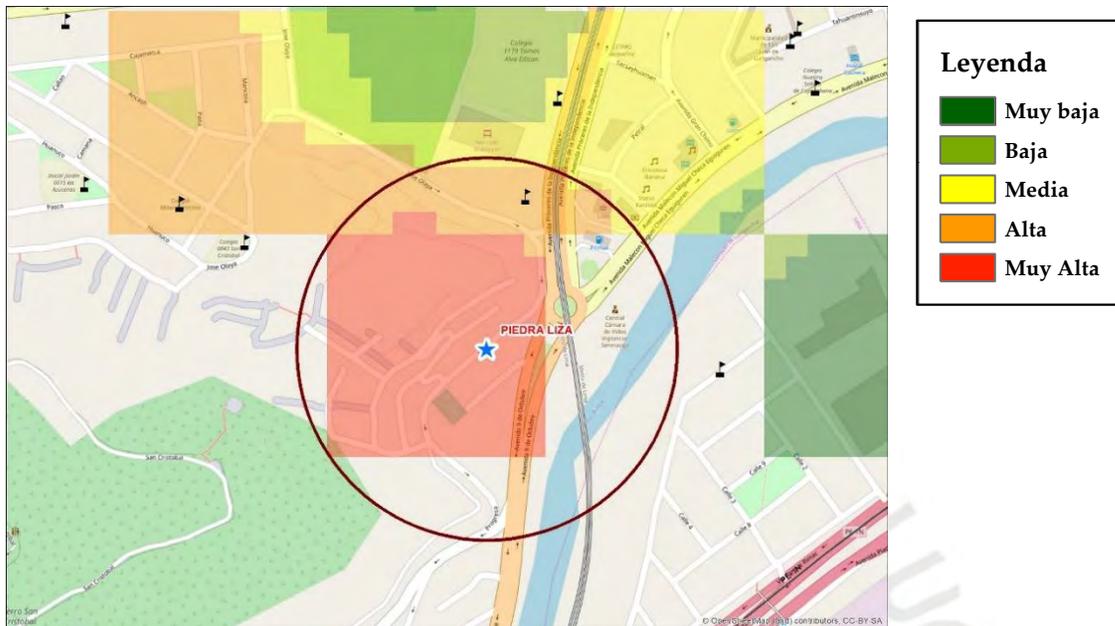
**Mapa 9.15:** Niveles de vulnerabilidad - Hospital Nacional Dos de Mayo – Cercado de Lima



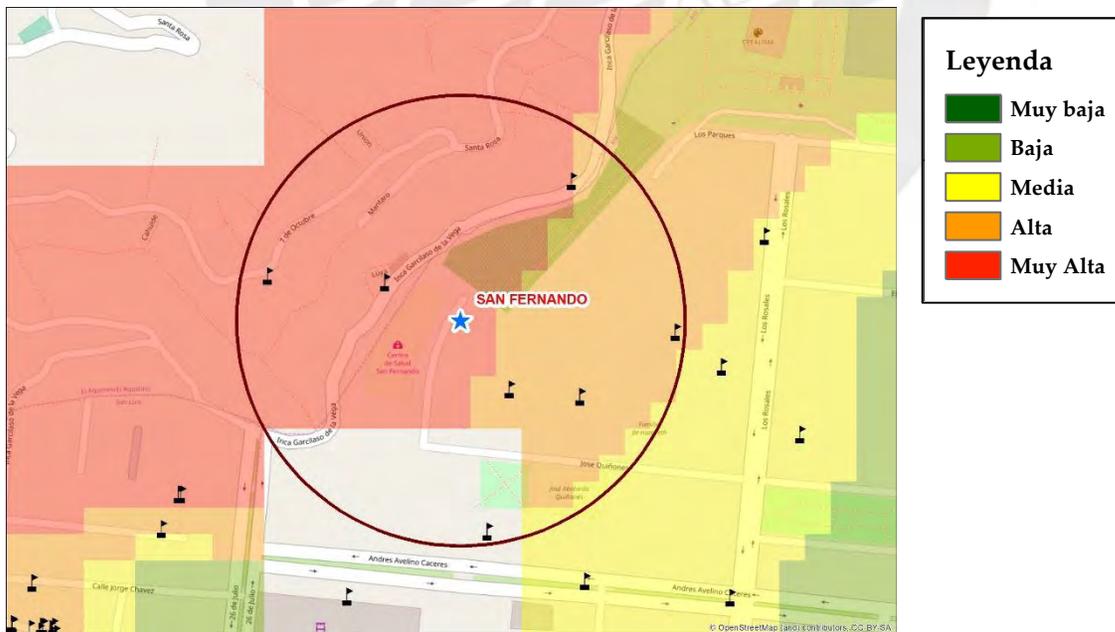
**Mapa 9.16:** Niveles de vulnerabilidad - Instituto Nacional de Ciencias Neurológicas – Cercado de Lima



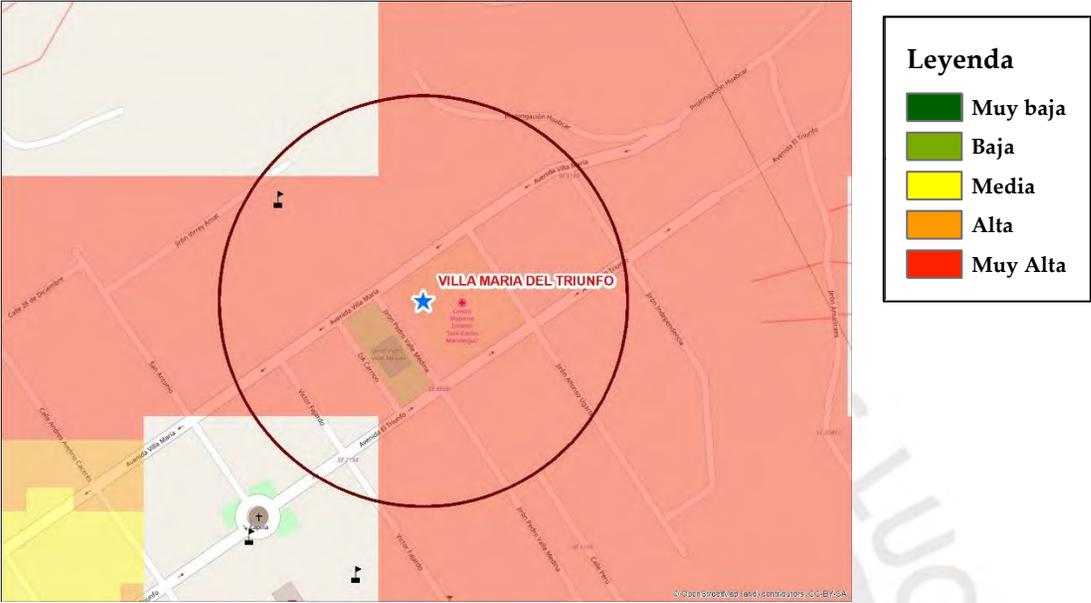
**Mapa 9.17:** Niveles de vulnerabilidad - Centro Materno Infantil Piedra Liza - Rímac



**Mapa 9.18:** Niveles de vulnerabilidad - Centro Materno Infantil San Fernando - Ate



**Mapa 9.19:** Niveles de vulnerabilidad - Centro Materno Infantil Villa María del Triunfo (VMT) - VMT



ANEXO 8: Codificación fotográfica

Fotos 9.1: Callao Ventanilla, Marzo 2018

	
<p>Descripción: TKT1TBPL</p>	<p>Descripción: TKT1TBPMST</p>
	
<p>Descripción: TKT1TBPMST</p>	<p>Descripción: TKT1TBPMST</p>
	
<p>Descripción: TKT1TBPMST</p>	<p>Descripción: TKT1TBPMST</p>



Descripción: TKT1TBPLSC



Descripción: TKT1TBPMST

Fotos 9.2: Lima- Lima (Barrios Altos), Marzo 2018



Descripción: TADT1PASC



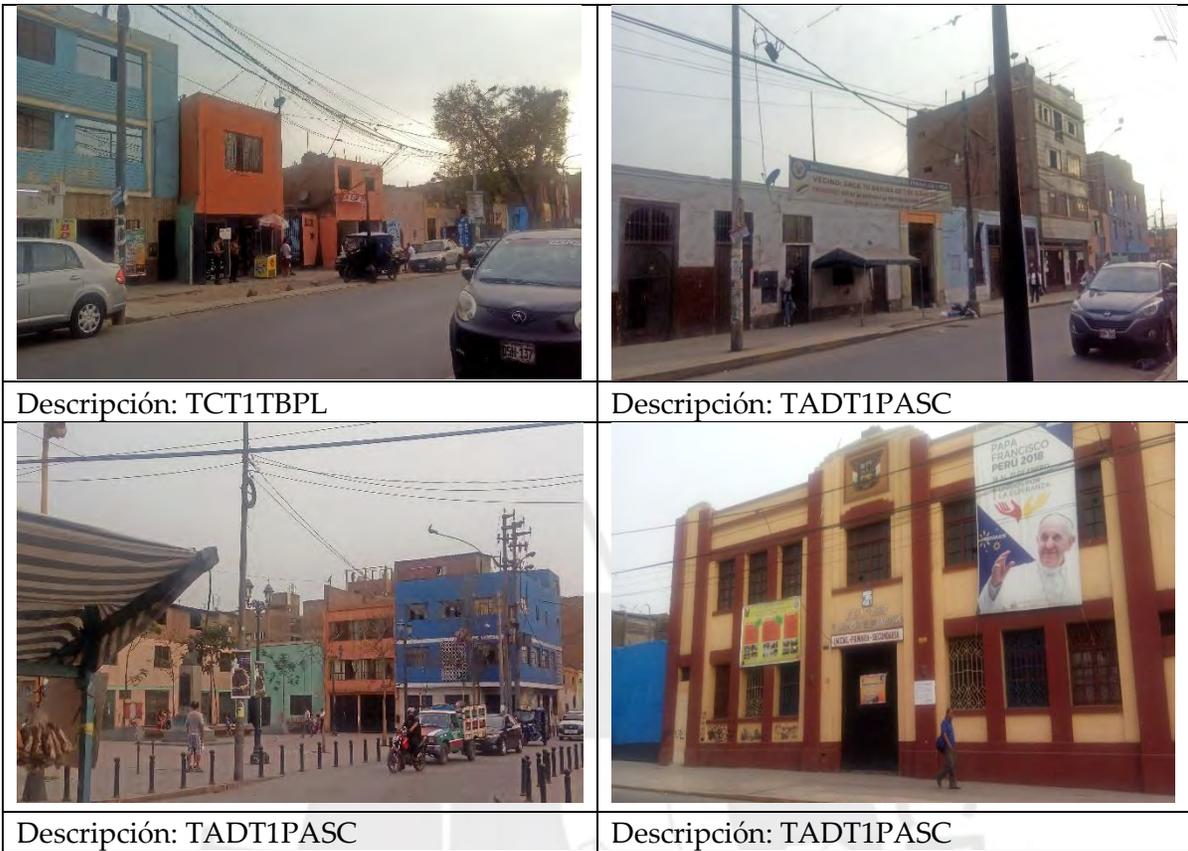
Descripción: TADT1PASC



Descripción: TCT1TBPLSC



Descripción: TADT1PASC



Fotos 9.3: Lima – Villa María del Triunfo/ Marzo 2018





Descripción: TKT1PMST



Descripción: TCT1TA

**Fotos 9.4: Lima – Dos de Mayo - Marzo 2018**



Descripción: TADT1PASC



Descripción: TADT1PASC



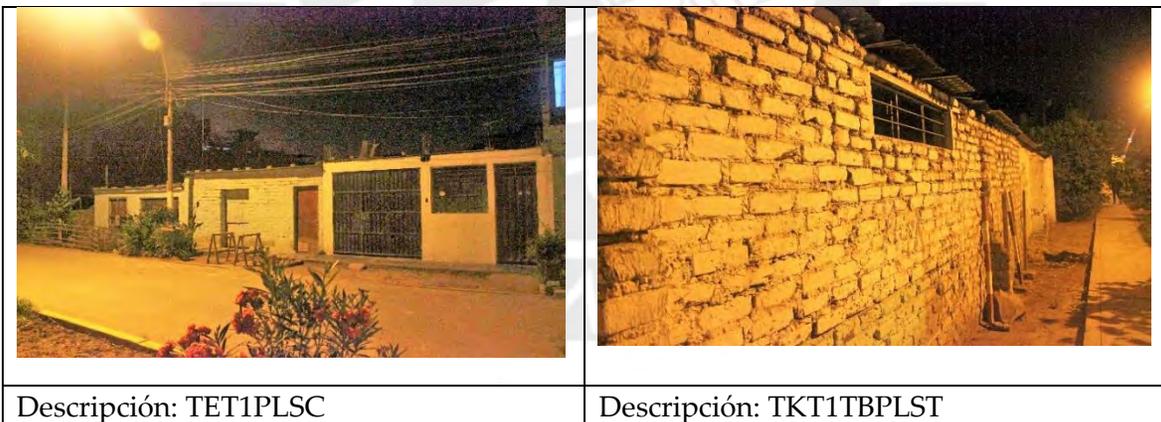
Descripción: TADT1PASC

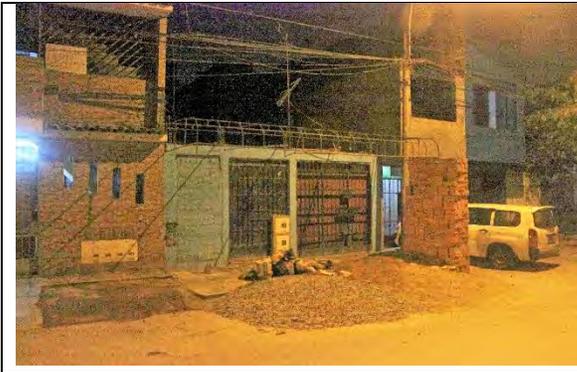


Descripción: TADT1PASC



Fotos 9.5: Lima – Los Olivos – Juan Pablo Segundo





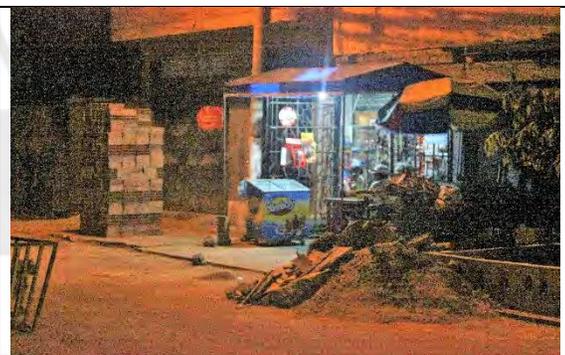
Descripción: TCT1TAPLSC



Descripción: TET1PLSC



Descripción: TET1PCSC



Descripción: TCT1PCSC

### Fotos 9.6: Lima – Rímac- Piedra Lisa



Descripción: TADT2PASC



Descripción: TADT2PASC



Descripción: TADT2PASC



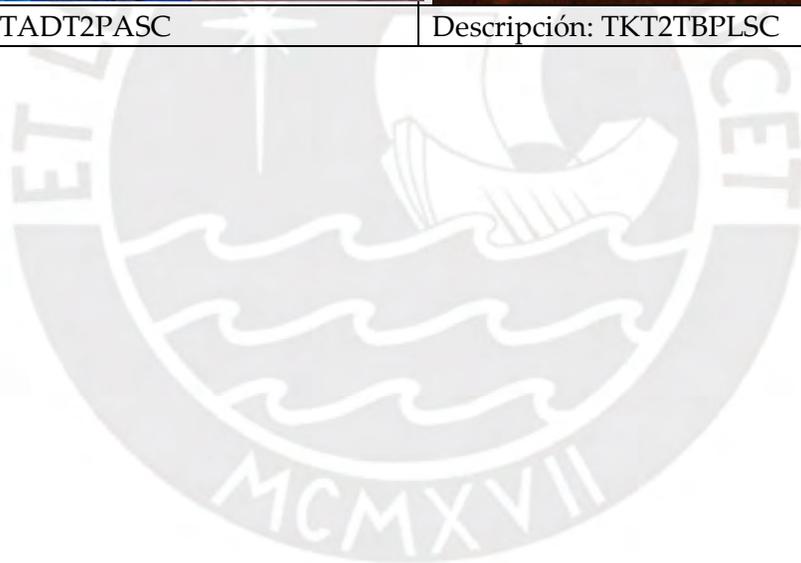
Descripción: TADT2PASC



Descripción: TADT2PASC



Descripción: TKT2TBPLSC



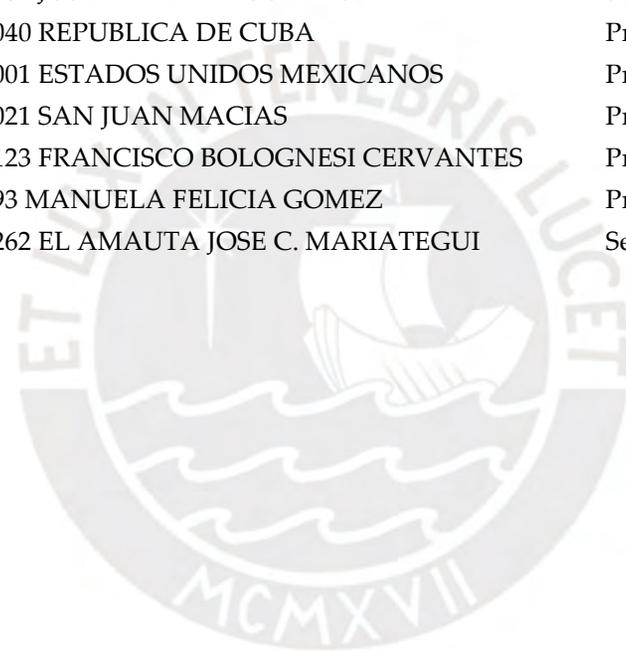
**ANEXO 9: Relación de centros educativos en zonas vulnerables**

Provincia	Distrito	Centro Educativo	Nivel Modular	n° Alumnos	n° Docentes
LIMA	RIMAC	MERCEDES CABELLO DE CARBONERA	Secundaria	1717	105
LIMA	SAN JUAN DE LURIGANCHO	145 INDEPENDENCIA AMERICANA	Primaria	1268	48
LIMA	ATE	1237 JORGE D. GILES LLANOS	Primaria	1240	43
LIMA	VILLA EL SALVADOR	REPUBLICA DE BOLIVIA	Secundaria	1206	62
CALLAO	VENTANILLA	5130 PACHACUTEC	Primaria	968	33
LIMA	MAGDALENA DEL MAR	MIGUEL GRAU	Secundaria	922	62
LIMA	SAN JUAN DE LURIGANCHO	1190 FELIPE HUAMAN POMA DE AYALA	Secundaria	916	51
LIMA	SAN JUAN DE LURIGANCHO	0158 SANTA MARIA	Primaria	910	32
LIMA	SAN JUAN DE LURIGANCHO	0159 10 DE OCTUBRE	Primaria	892	33
CALLAO	SAN JUAN DE VENTANILLA	5130 PACHACUTEC	Secundaria	891	34
LIMA	SAN JUAN DE LURIGANCHO	0171-10	Primaria	882	39
LIMA	SAN JUAN DE VILLA EL SALVADOR	REPUBLICA DE BOLIVIA	Primaria	846	27
LIMA	SAN JUAN DE LURIGANCHO	0145 INDEPENDENCIA AMERICANA	Secundaria	834	43
LIMA	SAN JUAN DE LURIGANCHO	0159 10 DE OCTUBRE	Secundaria	816	38
LIMA	VILLA MARIA DEL COMAS	2060	Primaria	801	35
LIMA	TRIUNFO	6081 MANUEL SCORZA TORRES	Secundaria	783	41
LIMA	SAN JUAN DE LOS OLIVOS	2087 REPUBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY	Primaria	774	36
LIMA	SAN JUAN DE LURIGANCHO	0158 SANTA MARIA	Secundaria	723	29

CALLAO	CALLAO	5005 GENMO DON JOSE DE SAN MARTIN	Primaria	722	31
LIMA	LIMA	NUESTRA SEÑORA DE MONTSERRAT	Secundaria	706	40
CALLAO	VENTANILLA	5122 JOSE ANDRES RAZURI ESTEVEZ	Secundaria	686	33
	VILLA MARIA DEL				
LIMA	TRIUNFO	6081 MANUEL SCORZA TORRES	Primaria	682	33
	SAN JUAN DE				
LIMA	LURIGANCHO	131 MONITOR HUASCAR	Primaria	660	20
LIMA	LIMA	1168 HEROES DEL CENEP	Secundaria	651	40
LIMA	RIMAC	LUCIE RYNNING DE ANTUNEZ DE MAYOLO	Secundaria	645	43
LIMA	LURIGANCHO	1190 F.HUAMAN POMA DE AYALA	Primaria	642	27
LIMA	PACHACAMAC	7265	Primaria	625	21
LIMA	LURIGANCHO	58	Primaria	624	24
LIMA	COMAS	2047	Primaria	621	24
LIMA	SAN JUAN DE MIRAFLORES	6151 SAN LUIS GONZAGA	Primaria	620	33
LIMA	ATE	AKIRA KATO	Secundaria	615	30
	SAN JUAN DE				
LIMA	LURIGANCHO	0171-04	Primaria	607	19
LIMA	BARRANCO	7053 REINO DE ESPAÑA	Secundaria	593	33
LIMA	SAN JUAN DE MIRAFLORES	7221	Primaria	592	30
LIMA	LIMA	1168 HEROES DEL CENEP	Primaria	587	33
	SAN JUAN DE				
LIMA	LURIGANCHO	0087 JOSE MARIA ARGUEDAS	Primaria	587	21
CALLAO	VENTANILLA	5122 JOSE ANDRES RAZURI ESTEVEZ	Primaria	583	19
LIMA	CARABAYLLO	2051	Primaria	580	22
LIMA	INDEPENDENCIA	2041 INCA GARCILASO DE LA VEGA	Primaria	579	25
LIMA	ATE	1262 EL AMAUTA JOSE C. MARIATEGUI	Primaria	577	22
	VILLA MARIA DEL				
LIMA	TRIUNFO	7220	Primaria	557	20
LIMA	SAN JUAN DE MIRAFLORES	6151 SAN LUIS GONZAGA	Secundaria	552	35
LIMA	CARABAYLLO	8184 SAN BENITO	Primaria	537	20

LIMA	BARRANCO	7047 TACNA	Secundaria	521	38
LIMA	CARABAYLLO	3054 LA FLOR	Primaria	518	21
LIMA	CARABAYLLO	SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO	Secundaria	518	38
CALLAO	VENTANILLA	5121 PEDRO PLANAS 6153 CAP.EP. AUGUSTO J GUTIERREZ	Primaria	514	22
LIMA	CHORRILLOS	MENDOZA	Primaria	512	24
LIMA	COMAS	2040 REPUBLICA DE CUBA	Secundaria	509	29
LIMA	LURIGANCHO	157 CAPITAN F.A.P. JOSE ABELARDO QU	Secundaria	508	35
LIMA	BARRANCO	7048 MANUEL MONTERO BERNALES	Primaria	508	26
LIMA	INDEPENDENCIA	2054 NUESTRA SEÑORA DE FATIMA	Primaria	506	21
LIMA	PACHACAMAC	7265	Secundaria	504	21
LIMA	LURIGANCHO	0131 MONITOR HUASCAR	Secundaria	503	27
CALLAO	VENTANILLA	5121 PEDRO PLANAS SILVA	Secundaria	485	29
LIMA	COMAS	3077 EL ALAMO	Primaria	484	20
LIMA	BARRANCO	7050 NICANOR RIVERA CACERES	Primaria	475	22
LIMA	INDEPENDENCIA	2039 JORGE VICTOR CASTILLA MONTERO	Primaria	465	25
LIMA	SAN MIGUEL	16 ALMIRANTE MIGUEL GRAU	Secundaria	465	31
LIMA	INDEPENDENCIA	2053 FRANCISCO BOLOGNESI CERVANTES	Secundaria	461	31
LIMA	LURIGANCHO	117 SIGNOS DE FE	Primaria	461	14
LIMA	LURIGANCHO	102	Inicial - Jardín	449	19
LIMA	LURIGANCHO	0090 DANIEL ALCIDES CARRION	Primaria	448	14
LIMA	TRIUNFO	6056	Primaria	438	20
LIMA	BARRANCO	7050 NICANOR RIVERA CACERES	Secundaria	438	25
LIMA	RIMAC	3017 INMACULADA CONCEPCION	Primaria	436	20
LIMA	SAN JUAN DE MIRAFLORES	7221	Secundaria	434	25

CALLAO	MI PERU	5151	Secundaria	431	20
LIMA	INDEPENDENCIA	2053 FRANCISCO BOLOGNESI CERVANTES	Primaria	426	19
LIMA	LA VICTORIA	1123 SAGRADO CORAZON DE JESUS	Primaria	411	20
LIMA	VILLA MARIA DEL TRIUNFO	7214	Primaria	410	17
LIMA	SAN JUAN DE LURIGANCHO	0087 JOSE MARIA ARGUEDAS	Secundaria	399	24
LIMA	COMAS	2040 REPUBLICA DE CUBA	Primaria	398	18
LIMA	RIMAC	3001 ESTADOS UNIDOS MEXICANOS	Primaria	395	19
LIMA	RIMAC	3021 SAN JUAN MACIAS	Primaria	394	23
CALLAO	VENTANILLA	5123 FRANCISCO BOLOGNESI CERVANTES	Primaria	393	15
LIMA	LA VICTORIA	093 MANUELA FELICIA GOMEZ	Primaria	390	19
LIMA	ATE	1262 EL AMAUTA JOSE C. MARIATEGUI	Secundaria	383	20



### ANEXO 10: Relación de los establecimientos de salud en zonas vulnerables

Provincia	Distrito	Establecimiento de salud
LIMA	SAN ISIDRO	CENTRO S. ESPECIALIZ. VACUNACION INTERNACION
LIMA	SAN JUAN DE LURIGANCHO	GANIMEDES
LIMA	RIMAC	SAN JUAN DE AMANCAES
LIMA	RIMAC	FLOR DE AMANCAES
LIMA	CARABAYLLO	LA FLOR
LIMA	COMAS	SANGARARA
LIMA	INDEPENDENCIA	ERMITAÑO ALTO
LIMA	INDEPENDENCIA	MILAGRO DE LA FRATERNIDAD
LIMA	INDEPENDENCIA	TAHUANTINSUYO ALTO
LIMA	SAN MARTIN DE PORRES	INFANTAS
LIMA	LURIGANCHO (CHOSICA)	MOYOPAMPA
LIMA	LURIGANCHO (CHOSICA)	SANTA MARIA DE HUACHIPA
LIMA	LURIGANCHO (CHOSICA)	NIEVERIA DEL PARAISO
LIMA	CHACLACAYO	MORON
LIMA	EL AGUSTINO	SANTA MAGDALENA SOFIA
LIMA	EL AGUSTINO	7 DE OCTUBRE
LIMA	LURIGANCHO (CHOSICA)	CENTRO REFERENCIAL ESPECIALIZADO EN REHABILITACION Y TERAPIA FISICA DE CHOSICA
LIMA	BARRANCO	GAUDENCIO BERNASCONI
LIMA	BREÑA	CHACRA COLORADA
LIMA	SAN ISIDRO	SAN ISIDRO
CALLAO	CALLAO	C.S. MANUEL BONILLA
CALLAO	CALLAO	ALBERTO BARTON
	CARMEN DE LA LEGUA	
CALLAO	REYNOSO	VILLA SR. DE LOS MILAGROS

CALLAO VENTANILLA

LIMA COMAS

LIMA CARABAYLLO

LIMA LOS OLIVOS

LIMA RIMAC

LIMA ATE

LIMA VILLA MARIA DEL TRIUNFO

CALLAO VENTANILLA

LIMA LIMA

LIMA LIMA

VILLA LOS REYES

EL ALAMO

JUAN PABLO II

CLAS JUAN PABLO II

PIEDRA LIZA

SAN FERNANDO

VILLA MARIA DEL TRIUNFO

CENTRO DE SALUD VILLA LOS REYES

NACIONAL DOS DE MAYO

INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS NEUROLOGICAS



