

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7360

IMPACTO DE LA CENIZA VOLCÁNICA EN LA SALUD DE LA POBLACIÓN ASENTADA ALREDEDOR DEL VOLCÁN SABANCAYA 2015 – 2020

Departamento Arequipa
Provincia Caylloma



FEBRERO
2023

IMPACTO DE LA CENIZA VOLCÁNICA EN LA SALUD DE LA POBLACIÓN ASENTADA ALREDEDOR DEL VOLCÁN SABANCAYA 2015 – 2020

Provincia Caylloma, Departamento Arequipa

Elaborado por la Dirección
de Geología Ambiental y
Riesgo Geológico del
Ingemmet

Equipo de investigación:

Saida Japura

David Valdivia

Fredy Apaza

Haydee Huamani

Edu Taipe

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2023). Impacto de la ceniza volcánica en la salud de la población asentada alrededor del volcán Sabancaya 2015 – 2020. Provincia Caylloma, departamento Arequipa: Ingemmet, Informe Técnico N° A7360, 48 p.

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Objetivo	2
1.3	Ubicación y acceso.....	2
1.4	Aspectos Socioeconómicos	3
1.5	Red de cenizómetros.....	3
1.6	Marco teórico.....	4
1.6.1	Factores de afectación	4
1.6.2	Efectos en la salud	5
2	CLIMA DE LA ZONA	6
2.1	Análisis de temperatura de las estaciones meteorológicas de Chivay	6
2.2	Análisis de temperatura de las estaciones meteorológicas de Cabanaconde	7
2.3	Análisis de temperatura de las estaciones meteorológicas de Huanca.....	8
3	FACTORES DE AFECTACIÓN.....	9
3.1	Características de las columnas eruptivas 2015 – 2020.....	9
3.1.1	Fase 1, febrero 2013-2015 (desgasificación).....	10
3.1.2	Fase 2, 06 de noviembre de 2016 hasta la actualidad (vulcaniana).....	11
3.2	Energía de la explosiones	16
3.3	Análisis granulométrico de la ceniza	18
3.3.1	Análisis de parámetros estadísticos.....	18
3.3.2	Análisis de partículas menores a 32 micras.....	21
4	CASOS REPORTADOS POR LA RED DE SALUD DE AREQUIPA - CAYLLOMA.....	22
4.1	Micro Red de Salud de Chivay.....	24
4.1.1	Promedio de tasa anual en el centro de salud de Achoma.....	25
4.1.2	Promedio de tasa anual en el centro de salud de Chivay.....	25
4.1.3	Promedio de tasa anual en el centro de salud de Coporaque	26
4.1.4	Promedio de tasa anual en el centro de salud de Ichupampa	26
4.1.5	Promedio de tasa anual en el centro de salud de Lari	27
4.1.6	Promedio de tasa anual en el centro de salud de Maca	27
4.1.7	Promedio de tasa anual en el centro de salud de Madrigal	28
4.1.8	Promedio de tasa anual en el centro de salud de Yanque	29
4.2	Micro Red de Salud de Ciudad de Dios	29
4.2.1	Promedio de tasa anual en el centro de salud de Huanca	29
4.2.2	Promedio de tasa anual en el centro de salud de Lluta	30
4.3	Micro Red de Salud de Cabanaconde	30

4.3.1	Promedio de tasa anual en el centro de salud de Cabanaconde	31
4.3.2	Promedio de tasa anual en el centro de salud de Tapay	31
4.3.3	Promedio de tasa anual en el centro de salud de Huambo	32
5	IMPACTO DE LAS CENIZAS DEL EN LA SALUD	33
5.1	Análisis anual de casos de IRAS, EDAS, conjuntivitis y dermatitis según Micro Red de Salud	33
5.2	Análisis mensual de casos de IRAS, EDAS, conjuntivitis y dermatitis	35
5.2.1	Casos de IRAS en población mayor a 5 años	36
5.2.2	Casos de IRAS en población menor a 5 años	37
5.2.3	Casos de EDAS en población mayor a 5 años	38
5.2.4	Casos de EDAS en población menor a 5 años	39
5.2.5	Casos de conjuntivitis en población mayor a 5 años	40
5.2.6	Casos de conjuntivitis en población menor a 5 años	40
5.2.7	Casos de dermatitis en población mayor a 5 años	41
5.2.8	Casos de dermatitis en población menor a 5 años	42
	CONCLUSIONES.....	44
	RECOMENDACIONES	46
	BIBLIOGRAFÍA.....	47

TABLA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de ubicación del volcán Sabancaya.....	2
Figura 2: Ubicación de la red de cenizómetros en el volcán Sabancaya.	4
Figura 3: Efectos de la ceniza en la salud modificado de Howell and Baxter (2006).	5
Figura 4: Distribución temporal de las temperaturas del aire y la precipitación de la estación Chivay (SENAMHI, 2020).....	7
Figura 5: Distribución temporal de las temperaturas del aire y la precipitación de la estación Cabanaconde (Senamhi, 2020).	8
Figura 6: Distribución temporal de las temperaturas del aire y la precipitación de la estación Huanca (Senamhi, 2020).	9
Figura 7: Desarrollo de la actividad eruptiva desde el año 2015 al 2020.	10
Figura 8: Columnas de ceniza y gases con 2000 msc. de altura en dirección sur, formada después de la explosión del 26 de junio del 2015.....	11
Figura 9: Columnas de ceniza y gases con 1300 msc. de altura en dirección sur, formada después de la explosión del 27 de junio del 2015.....	11
Figura 10: Columnas de ceniza y gases de aproximadamente 3000 msc. de altura, formada después de la explosión del 13 de noviembre de 2016.	12
Figura 11: Columnas de ceniza y gases con 4500 msc. de altura en dirección sur-sureste, formada después de la explosión del 28 de julio del 2017.	13
Figura 12: Columnas de ceniza y gases con 4000 msc. de altura en dirección norte-suroeste, formada después de la explosión del 10 de julio del 2017.	13
Figura 13: Columnas de ceniza y gases con 4200 msc. de altura en dirección sureste, formada después de la explosión del 30 de mayo del 2018.....	14
Figura 14: Columnas de ceniza y gases con 5000 msc. de altura en dirección este-noreste, formada después de la explosión del 24 de marzo del 2018.....	14
Figura 15: Columnas de ceniza y gases con 3800 msc. de altura en dirección sureste, formada después de la explosión del 08 de agosto del 2019.	15
Figura 16: Columnas de ceniza y gases con 4000 msc. de altura en dirección noreste, formada después de la explosión del 02 de julio del 2019.	15
Figura 17: Columnas de ceniza y gases con 3000 msc. de altura en dirección sureste, formada después de la explosión del 11 de enero del 2020.	16
Figura 18: Columnas de ceniza y gases con 2800 msc. de altura en dirección sureste, formada después de la explosión del 19 de enero del 2020.	16
Figura 19: actividad eruptiva dividida en dos Fases tanto para la actividad símica y altura de la columna eruptiva.	18
Figura 20: Análisis de los parámetros estadísticos de muestras del volcán Sabancaya desde el año 2016 a 2021.....	19
Figura 21: A) Histogramas de frecuencia y B) curvas de frecuencia de Sab-16-03.....	19
Figura 22: A) Histogramas de frecuencia y B) curvas de frecuencia de Sab-17-28.....	20
Figura 23: A) Histogramas de frecuencia y B) curvas de frecuencia de Sab-18-32.....	20
Figura 24: A) Histogramas de frecuencia y B) curvas de frecuencia de Sab-19-32.....	21
Figura 25: A) Histogramas de frecuencia y B) curvas de frecuencia de Sab-20-09.....	21
Figura 26: Serie temporal del porcentaje de partículas menores a 32 micras del volcán Sabancaya desde el año 2019 a 2021.....	22
Figura 27: Promedio de tasa anual entre el 2015 al 2020 de casos atendidos de IRAS, EDAS, dermatitis y conjuntivitis de menores y mayores a 5 años del puesto de salud de Achoma y anexos.	25

Figura 28: Promedio de tasa anual entre el 2015 al 2020 de casos atendidos de IRAS, EDAS, dermatitis y conjuntivitis de menores y mayores a 5 años del centro de salud de Chivay y anexos.	26
Figura 29: Promedio de tasa anual entre el 2015 al 2020 de casos atendidos de IRAS, EDAS, dermatitis y conjuntivitis de menores y mayores a 5 años del centro de salud de Coporaque y sus anexos.	26
Figura 30: Promedio de tasa anual entre el 2015 al 2020 de casos atendidos de IRAS, EDAS, dermatitis y conjuntivitis de menores y mayores a 5 años del centro de salud de Ichupampa y sus anexos.	27
Figura 31: Promedio de tasa anual entre el 2015 al 2020 de casos atendidos de IRAS, EDAS, dermatitis y conjuntivitis de menores y mayores a 5 años del centro de salud de Lari y sus anexos.	27
Figura 32: Promedio de tasa anual entre el 2015 al 2020 de casos atendidos de IRAS, EDAS, dermatitis y conjuntivitis de menores y mayores a 5 años del centro de salud de Maca y sus anexos.	28
Figura 33: Promedio de tasa anual entre el 2015 al 2020 de casos atendidos de IRAS, EDAS, dermatitis y conjuntivitis de menores y mayores a 5 años del centro de salud de Madrigal y sus anexos.	28
Figura 34: Promedio de tasa anual entre el 2015 al 2020 de casos atendidos de IRAS, EDAS, dermatitis y conjuntivitis de menores y mayores a 5 años del centro de salud de Yanque y sus anexos.	29
Figura 35: Promedio de tasa anual entre el 2015 al 2020 de casos atendidos de IRAS, EDAS, dermatitis y conjuntivitis de menores y mayores a 5 años del centro de salud de Huanca.	30
Figura 36: Promedio de tasa anual entre el 2015 al 2020 de casos atendidos de IRAS, EDAS, dermatitis y conjuntivitis de menores y mayores a 5 años del centro de salud de Lluta y anexos...	30
Figura 37: Promedio de tasa anual entre el 2015 al 2020 de casos atendidos de IRAS, EDAS, dermatitis y conjuntivitis de menores y mayores a 5 años del centro de salud de Cabanaconde y anexos.	31
Figura 38: Promedio de tasa anual entre el 2015 al 2020 de casos atendidos de IRAS, EDAS, dermatitis y conjuntivitis de menores y mayores a 5 años del centro de salud distrito de Tapa y anexos.	32
Figura 39: Promedio de tasa anual entre el 2015 al 2020 de casos atendidos de IRAS, EDAS, dermatitis y conjuntivitis de menores y mayores a 5 años del centro de salud de Huambo y anexos.	32
Figura 40: Muestra el número de casos de IRAS en personas > 5 años reportados en las Micro Redes de Salud de Ciudad de Dios (línea rosada), Cabanaconde (línea de color amarillo) y Chivay (línea de color morado), los cuales se correlacionaron con las temporadas de heladas (sombreada de color amarilla), precipitaciones (sombreado de color verde) y actividad volcánica (sombreado de color rojo).	37
Figura 41: Muestra el número de casos de IRAS en personas < 5 años reportados en las Micro Redes de Salud de Ciudad de Dios (línea rosada), Cabanaconde (línea de color amarillo) y Chivay (línea de color morado), los cuales se correlacionaron con las temporadas de heladas (sombreada de color amarilla), precipitaciones (sombreado de color verde) y actividad volcánica (sombreado de color rojo).	37
Figura 42: Muestra el número de casos de EDAS en personas > 5 años reportados en las Micro Redes de Salud de Ciudad de Dios (línea rosada), Cabanaconde (línea de color amarillo) y Chivay (línea de color morado), los cuales se correlacionaron con las temporadas de heladas (sombreada de color amarilla), precipitaciones (sombreado de color verde) y actividad volcánica (sombreado de color rojo).	38
Figura 43: Muestra el número de casos de EDAS en personas < 5 años reportados en las Micro Redes de Salud de Ciudad de Dios (línea rosada), Cabanaconde (línea de color amarillo) y Chivay	

(línea de color morado), los cuales se correlacionaron con las temporadas de heladas (sombreada de color amarilla), precipitaciones (sombreado de color verde) y actividad volcánica (sombreado de color rojo)..... 39

Figura 44: Muestra el número de casos de conjuntivitis en personas > 5 años reportados en las Micro Redes de Salud de Ciudad de Dios (línea rosada), Cabanaconde (línea de color amarillo) y Chivay (línea de color morado), los cuales se correlacionaron con las temporadas de heladas (sombreada de color amarilla), precipitaciones (sombreado de color verde) y actividad volcánica (sombreado de color rojo). 40

Figura 45: Muestra el número de casos de conjuntivitis en personas < 5 años reportados en las Micro Redes de Salud de Ciudad de Dios (línea rosada), Cabanaconde (línea de color amarillo) y Chivay (línea de color morado), los cuales se correlacionaron con las temporadas de heladas (sombreada de color amarilla), precipitaciones (sombreado de color verde) y actividad volcánica (sombreado de color rojo). 41

Figura 46: Muestra el número de casos de dermatitis en personas > 5 años reportados en las Micro Redes de Salud de Ciudad de Dios (línea rosada), Cabanaconde (línea de color amarillo) y Chivay (línea de color morado), los cuales se correlacionaron con las temporadas de heladas (sombreada de color amarilla), precipitaciones (sombreado de color verde) y actividad volcánica (sombreado de color rojo). 42

Figura 47: Muestra el número de casos de dermatitis en personas < 5 años reportados en las Micro Redes de Salud de Ciudad de Dios (línea rosada), Cabanaconde (línea de color amarillo) y Chivay (línea de color morado), los cuales se correlacionaron con las temporadas de heladas (sombreada de color amarilla), precipitaciones (sombreado de color verde) y actividad volcánica (sombreado de color rojo). 43

RESUMEN

El volcán Sabancaya forma parte del complejo volcánico Ampato-Sabancaya, es el segundo volcán más activo del Perú. Este estrato volcán fue edificado durante los últimos 10 mil años y su actividad estuvo caracterizada por erupciones efusivas y explosivas moderadas. Las últimas erupciones han sido de tipo vulcanianas, como la ocurrida entre los años 1986 y 1998 (Gerbe y Thouret, 2004).

A partir del 06 de noviembre del 2016, se aprecian columnas de gases y ceniza densas de color gris, generadas luego de las continuas explosiones volcánicas, con alturas variables entre los 3000 y 4500 metros sobre el nivel del cráter (msc) con dirección predominante hacia el este y sur. Este evento marcó el comienzo de una nueva fase de actividad eruptiva del Sabancaya, las cuales están divididas en dos partes: fase 1 - desgasificación (2013-2015) y fase 2 - vulcaniana (2016 - actualidad). Durante el proceso eruptivo se han observado varios incrementos en la sismicidad, siendo el más importante de ellos, el ocurrido durante el año 2019, donde se registró el incremento del número y energía de los diferentes tipos de sismos volcánicos; durante el año 2020 predominó la sismicidad de baja frecuencia, seguida por sismicidad de alta frecuencia y finalmente por sismicidad tremórica. En cuanto al clima de la zona, desde el año 2017 al 2020 la temperatura máxima se encontró entre los meses de julio a enero y la temperatura mínima (heladas) entre los meses de mayo a octubre. Mientras que la temporada de lluvias, se dieron entre los meses de diciembre y mayo. El análisis granulométrico de las muestras tamizadas desde el año 2016 al 2020 indica que el porcentaje de partículas menores de 32 micras alcanzo el 69 % en el año 2016.

Actualmente se cuenta con aproximadamente 20 mil habitantes (RSAC, 2020) asentados alrededor del volcán Sabancaya expuestos a la ceniza volcánica. Por tal razón se realizó la correlacionando los datos de IRAS (infecciones respiratorias agudas), EDAS (enfermedades diarreicas agudas), conjuntivitis y dermatitis reportadas por la Defensa Nacional de la Red de Salud de Arequipa - Caylloma con la actividad eruptiva del volcán Sabancaya (altura de la columna, energía de explosiones y tamaño de partículas), donde se identificó el incremento de casos de IRAS entre los meses de abril a agosto del 2017, así también en el 2019 durante los meses de abril a junio y de agosto a noviembre que podría indicar efectos de la ceniza volcánica en las vías respiratorias. En cuanto a los casos de EDAS se identificó el incremento relacionado a la ceniza volcánica durante meses enero a julio del año 2017, así también en enero a noviembre del 2019. Mientras el incremento de casos de conjuntivitis a causa de la ceniza fue durante los meses de enero a julio del 2017, así también en los meses de enero a noviembre del 2019. Finalmente, el incremento de casos de dermatitis se dio en los meses de enero a junio del 2017; noviembre a diciembre del 2018, así también en los meses de enero a julio y octubre del 2019.

GLOSARIO

Asimetría: Es un parámetro que permite medir la desigualdad de la curva de frecuencia, la cual se establece graficando el tamaño de grano y frecuencia de ocurrencia en la muestra de ceniza. Un valor positivo indica el desvanecimiento de la curva a la derecha de la media, con un exceso de partículas finas. Un valor negativo indica un desvanecimiento de la curva a la izquierda de la media, con un exceso de gruesos.

Ceniza volcánica: Partículas menores a 2 mm de tamaño producto de la fragmentación del magma y expulsada durante las erupciones volcánicas.

Cenizómetro: Instrumento utilizado para la estimación de espesores de caída de ceniza volcánica.

Conjuntivitis: Es una inflamación o infección de la membrana transparente entre el párpado y el globo ocular.

Curtosis: Es una característica la cual proporciona información acerca de la concentración y distribución de los pesos alrededor de los valores centrales, es decir, acerca de las mallas correspondientes a tamaños medios de las partículas.

Desviación Estándar: Es la medida que indica qué tan dispersos están los datos con respecto a la media.

Dermatitis: Es un término general que describe una irritación común de la piel, causada por reacción de la piel a una sustancia o fricción irritante.

EDAS: Abreviatura de Enfermedades Diarreicas Agudas, que consiste en deposiciones de tres o más veces al día (o con una frecuencia mayor que la normal para la persona) de heces sueltas o líquidas. La diarrea suele ser signo de una infección del tracto digestivo, que puede ser ocasionada por diversos organismos bacterianos, tóxicos, víricos y parásitos. La infección se transmite por alimentos o agua de consumo contaminado, o bien de una persona a otra, como resultado de una higiene deficiente.

IRAS: Abreviatura de Infección Respiratoria Aguda, constituye un grupo de enfermedades que se producen en el aparato respiratorio, causadas por diferentes microorganismos como virus, material particulado y bacterias, que comienzan de forma repentina y duran menos de 2 semanas. Es la infección más frecuente en el mundo y dependiendo del estado general de la persona pueden complicarse y llegar a amenazar la vida, como en el caso de las neumonías.

Msc.: Abreviatura de la altura en metros sobre el cráter del volcán.

Mediana: Es el valor estadístico que ocupa el lugar central de todos los datos cuando éstos están ordenados de menor a mayor.

Media: También conocida como promedio, es el valor que se obtiene al dividir la suma de un conglomerado de números entre la cantidad de ellos.

Refus: Son las proporciones de muestra de ceniza retenidas en cada malla cuando se realiza el ensayo granulométrico.

Removilización de ceniza volcánica: Es la ceniza que ya estando depositada en el suelo es retransportada por acción del viento.

Tamiz: Instrumento compuesto por una malla de filamentos que se entre cruza dejando unos huecos cuadrados, utilizado para separar partículas de ceniza de diferentes diámetros.

Explosiones (EXP): estos eventos se caracterizaron primero por presentar una onda de muy baja frecuencia (VLF) la cual se asoció al movimiento de fluidos en profundidad (frecuencia dominante en 1.6 Hz.) y seguidamente se tenía la ocurrencia de tremor de altas frecuencias (10 Hz.), dicho tremor se asoció propiamente a la salida del material particulado, que ente caso sería la ceniza.

Sismo Largo Periodo (LP): estos eventos están asociados al movimiento de fluidos y/o gases, se caracterizaron por presentar formas de ondas regulares; con frecuencias dominantes entre 1 y 3 Hz.

Sismo volcano tectónico (VT): estos eventos asociados al fracturamiento de material rocoso en el interior del edificio volcánico, se caracterizaron por presentar en su mayoría fases impulsivas P y S; con frecuencias dominantes entre los 5 y 8 Hz, duraciones de hasta 113 segundos y energías de hasta 6.5 MJ.

Tremor volcánico (TRE): el tremor espasmódico se asoció principalmente a la emisión de gases y ceniza y se caracterizó por presentar frecuencias dominantes entre 1 y 17 Hz. Por otra parte, se identificaron 6 episodios de tremor armónico, los cuales, se asociaron al movimiento y/o ascenso de magma a la superficie, con frecuencias dominantes en 1 Hz.

Megajoules (mj): es un múltiplo decimal de las unidades del Sistema Internacional de Unidades derivadas de energía, trabajo y cantidad de calor.

Desplazamiento reducido (dr): parámetro que indica el tamaño de señal producida durante un movimiento de fluidos al interior del edificio volcánico, es útil para determinar el tamaño y energía de la señal sísmica en la fuente.

IMPACTO DE LA CENIZA VOLCÁNICA EN LA SALUD DE LA POBLACIÓN ASENTADA ALREDEDOR DEL VOLCÁN SABANCAYA 2015 - 2020

Provincia de Caylloma, departamento Arequipa

1 INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) es la entidad rectora de la geología en el país, la cual tiene como una de sus funciones encargarse de “**Identificar, estudiar y monitorear los peligros asociados a movimientos en masa, actividad volcánica, aluviones, tsunamis y otros**”. En tal sentido, a través de su Observatorio Vulcanológico (OVI), el INGEMMET elabora mapas de peligros volcánicos y desarrolla actividades de monitoreo multidisciplinario en tiempo real en los volcanes activos.

El volcán Sabancaya inicio su proceso eruptivo en noviembre del 2016 el cual se encuentra activo hasta la actualidad, el INGEMMET viene realizando el monitoreo multidisciplinario y permanente de la actividad volcánica informando a las autoridades sobre el estado del volcán y los peligros volcánicos asociados a esta erupción. En el presente trabajo se realizó la evaluación de los impactos que tiene la ceniza volcánica en la salud de la población asentada alrededor del volcán Sabancaya, correlacionándola con la información proporcionada por la Defensa Nacional de la Red de Salud de Arequipa Caylloma que comprende las Micro Red de Salud de Ciudad de Dios, Cabanaconde y Chivay. Esta institución tiene como política sectorial optimizar la gestión del riesgo y la Atención de Emergencias y Desastres a nivel nacional, regional y local para reducir el impacto de los eventos adversos en la salud de la población.

En este contexto, las comunidades que residen en áreas urbanas ubicadas cerca de volcanes activos pueden experimentar exposiciones a cenizas volcánicas durante y después de una erupción (Tomasek et al 2018). A pesar de que las erupciones volcánicas sean de corta duración, la ceniza puede mantenerse en el aire por años, siendo finalmente removidas por el viento y significar un riesgo para las personas.

El desarrollo de síntomas de problemas respiratorios a partir de la inhalación de cenizas volcánicas depende de varios factores como la concentración de partículas en el aire, la proporción de partículas finas en la ceniza, condiciones meteorológicas, la frecuencia y duración de la exposición (Howell and Baxter, 2006).

1.1 Antecedentes

Lo estudios efectuados por Gerbe y Thouret (2004); Mariño, (2012); Samaniego et al., (2016); Rivera et al., (2016), entre otros, describen el comportamiento eruptivo pasado del volcán Sabancaya, en los últimos 10 mil años. De acuerdo a su actividad recurrente en el pasado histórico, este volcán ha presentado erupciones efusivas lávicas y actividad explosiva moderada con considerables emisiones de ceniza. La actividad eruptiva del Sabancaya ocurrida durante los últimos 400 años consistió en erupciones explosivas de leves a moderadas (IEV =1-2), durante este periodo presentó tres erupciones explosivas de leves a moderadas ocurridas en los años 1750, 1784 y entre 1990 - 1998, caracterizados por una intensa actividad fumarólica y emisiones de ceniza (Rodríguez y Uribe, 1994; Gerbe

y Thouret, 2004). Durante la erupción 1990-1998, se midió depósitos de ceniza volcánica hasta 3 cm de espesor a 8 km al este del volcán.

A raíz de la última erupción del volcán Sabancaya iniciada el año 2016, el OVI desplegó una red conformada por 43 cenizómetros en los alrededores y en el mismo edificio volcánico. Los cenizómetros son dispositivos que se utilizan para recolectar ceniza y medir espesores, densidad de área y densidad total de ceniza (>20 mm) utilizando la técnica descrita por Bernard (2013).

1.2 Objetivo

Identificar si la ceniza emitida por el volcán Sabancaya durante el 2016 al 2020 ha generado un impacto en la salud de los poblados asentados alrededor del volcán Sabancaya, correlacionando la actividad eruptiva con los casos de IRAS, EDAS, conjuntivitis y dermatitis reportados por la Micro Red de Salud de Arequipa – Caylloma.

1.3 Ubicación y acceso

El volcán Sabancaya (Figura 1) está ubicado en la provincia de Caylloma, departamento Arequipa a 75 km al NO de la ciudad de Arequipa y 20 km al sur del valle del Colca, el circuito turístico más importante de Arequipa. El centro de este volcán tiene las coordenadas: Este: 193987 y Norte: 8252557, zona 19L. La cumbre del volcán Sabancaya alcanza 5980 msc. y el edificio volcánico cubre un área de 65 a 70 km².

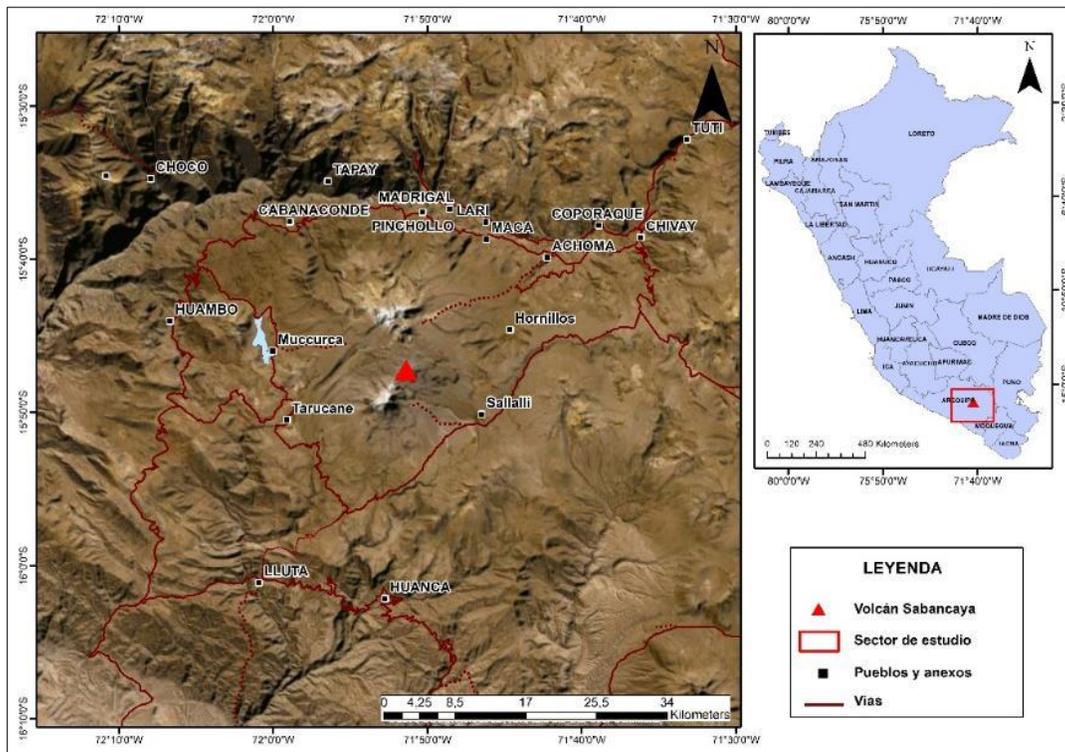


Figura 1: Mapa de ubicación del volcán Sabancaya.

1.4 Aspectos Socioeconómicos

Los datos de población del área de influencia del volcán Sabancaya han sido tomados de la población estimada por edades, según departamento, provincia y distrito del 2015 al 2020 de la estadística poblacional de la Red de Salud de Arequipa Caylloma (RSAC, 2020) (Cuadro 1).

Cuadro 1: Población del valle del Colca desde el 2015 a 2020 (RSAC, 2020).

Distrito	2015		2016		2017		2018		2019		2020	
	<5	>5	<5	>5	<5	>5	<5	>5	<5	>5	<5	>5
Chivay	747	6941	705	7067	616	6362	676	7246	662	7425	731	5711
Achoma	51	857	53	865	54	1181	62	880	56	917	51	861
Cabanaconde	167	2239	167	2265	131	2283	144	2300	197	2324	137	2279
Coporaque	104	1416	102	1435	52	1031	46	1463	98	1531	91	1136
Huambo	54	560	53	568	46	859	49	588	64	592	56	686
Huanca	83	1367	82	1384	55	1518	58	1413	91	1426	64	1113
Ichupampa	54	609	55	615	32	806	38	640	40	665	34	554
Lari	144	1382	143	1400	65	1199	81	1442	123	1485	70	899
Lluta	102	1173	101	1188	55	1677	69	1188	169	1181	60	771
Maca	56	667	53	678	55	993	61	692	49	713	34	730
Madrigal	36	462	35	468	30	768	30	471	42	485	38	654
Tapay	55	490	57	494	38	894	38	495	67	519	50	762
Yanque	157	1980	156	2004	120	2320	135	2029	201	2050	184	2140
Choco	89	920	86	934	34	917	36	942	96	969	27	746
Total	1899	21063	1848	21365	1383	22808	1523	21789	1955	22282	1627	19042

1.5 Red de cenizómetros

El OVI implementó una red de monitoreo y muestreo de ceniza con cenizómetros ubicados en los alrededores del volcán Sabancaya. Se instaló 33 cenizómetros en el año 2018 y 10 cenizómetros en setiembre del 2019 con el apoyo de los voluntarios de pueblos del valle del Colca, el Centro de Estudios y Prevención de Desastres (PREDES) y la Agencia Adventista para el Desarrollo y Recursos Asistenciales (ADRA) (Figura 2). Estos instrumentos permiten medir espesores, densidad de área y densidad total de pequeños depósitos de cenizas < 20 msc. Su fabricación está basada en el modelo de cenizómetros elaborados por Bernard (2013). Las muestras recolectadas permiten realizar análisis mineralógicos, granulométricos, petrográficos y geoquímicos, con el fin de hacer el seguimiento de las características de la actividad y los mecanismos eruptivos involucrado en el proceso eruptivo actual del volcán Sabancaya.

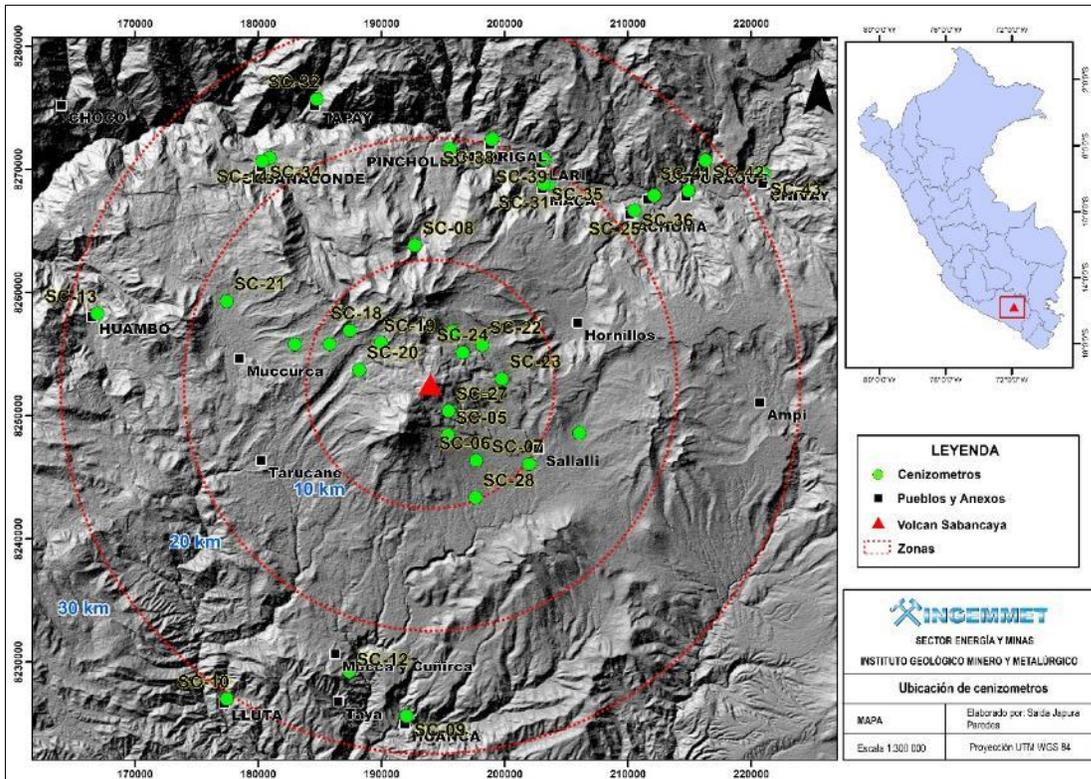


Figura 2: Ubicación de la red de cenizómetros en el volcán Sabancaya.

1.6 Marco teórico

En términos de evaluar el posible efecto en las poblaciones humanas, la proximidad al sitio de erupción es importante para determinar el riesgo. Poblaciones que se encuentran a menor distancia de un volcán están expuestas casi a la totalidad del material eyectado (Selinus et al., 2005). La duración de la exposición tiene un papel fundamental en la determinación de las consecuencias en la salud. Algunas afecciones pueden ser de corto plazo y reversibles como es el caso de la irritación de la conjuntiva; otras son crónicas e irreversibles como la inhalación de partículas de sílice que puede resultar en problemas como silicosis. (Selinus et al., 2005). Las propiedades del ambiente, como el clima, afectan también los patrones de dispersión y asentamiento de los productos volcánicos (Selinus et al., 2005).

1.6.1 Factores de afectación

Para valorar los riesgos que tiene la ceniza en la salud son importantes 5 factores (Seaman et al., 1989): a) Existen tres fracciones de ceniza dañinas para las vías respiratorias, la fracción inhalable (< 15 micras) generan fenómenos inflamatorios en la región extratorácica, la fracción torácica (< 10 micras) afecta a la región traqueobronquial y la fracción respirable (< 4 micras) penetra profundamente en los pulmones (alveolos) (Howell y Baxter, 2006) (Figura 3) (b) Según Howell and Baxter (2006) en casos de exposición prolongada a niveles excesivos de ceniza fina y su acumulación a largo plazo, puede ocasionar efectos

irreversibles sobre la salud. El personal que labora en áreas externas presenta una marcada disminución en los niveles séricos de C3, C4 e IgG en comparación con trabajadores no expuestos (Olenchock et al., 1983). c) Las personas que representa riesgos de complicaciones respiratorias son los que padecen alguna enfermedad pulmonar crónica, pacientes que sufren de hiperreactividad bronquial, bronquíticos crónicos, pacientes asmáticos y los que padecen enfermedad pulmonar obstructiva crónica (OPS, 2005). d) La ceniza volcánica a menudo contiene sílice cristalina que en exposición prolongada y en grandes cantidades puede ser perjudicial para la salud.

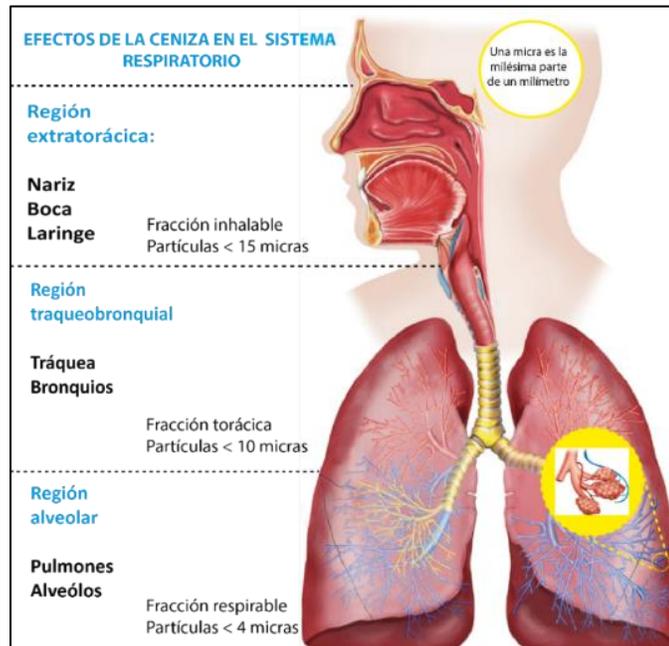


Figura 3: Efectos de la ceniza en la salud modificado de Howell and Baxter (2006).

1.6.2 Efectos en la salud

- Enfermedades respiratorias: se producen en el aparato respiratorio por inhalación de partículas de ceniza (con alto contenido de sílice) menores a 15 micras las cuales tienen la capacidad de ingresar al sistema respiratorio (Howell and Baxter, 2006), lo que puede causar asma, Infección Respiratoria Aguda (IRAS) y recrudescimiento de enfermedades pulmonares previas e incluso silicosis con una exposición contante y continua a la ceniza (años) (Boischio, 2012).
- Enfermedades gastrointestinales: consiste en ingestión de agua contaminada con contenido de ceniza o alimentos con ceniza, que pueden causar malestares gastrointestinales, Enfermedades Diarreicas Agudas (EDAS) e incluso causar la muerte en personas vulnerables con enfermedades crónicas preexistente (www.paho.org/spanish/dd/ped/te_volc.htm).
- Conjuntivitis: presencia de partículas de ceniza en los ojos, que genera molestias o irritación durante y después de la caída de cenizas, debido a que la ceniza volcánica es abrasiva (Boischio, 2012).

- d) Dermatitis: se ha observado en algunas personas que las cenizas volcánicas produzcan irritación en la piel, enrojecimiento de la piel, dermatitis con proceso inflamatorio, exantemas, descamación e infecciones secundarias por rascado (Caselli et al., 2010).

2 CLIMA DE LA ZONA

En este sector de los Andes del sur peruano la temporada seca corresponde a los meses de abril a noviembre, las heladas meteorológicas generalmente inician en abril y terminan en setiembre, mientras que los regímenes de lluvias ocurren durante el verano (diciembre a marzo); por lo tanto, los Andes del Sur tienen una sola estación húmeda, lo que repercute en el régimen de los ríos. El 60 % y 75 % de la precipitación se concentra en los meses de enero a marzo, con períodos críticos secos entre junio y julio. De acuerdo a registro pluviométricos, al noreste del volcán Sabancaya, sobre los 3900 msnm, en la zona geográfica investigada, la precipitación anual total varía entre 480 a 926 mm Lamadon, (1999).

2.1 Análisis de temperatura de las estaciones meteorológicas de Chivay

Según los datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) de la estación de Chivay ubicada al noreste del volcán Sabancaya, muestran que entre los años 2017 y 2020 las temperaturas máximas varían entre 8.4 a 26.9 °C (la más alta en noviembre) y las temperaturas mínimas, alrededor de 9.2 a -4.3°C (la más baja en agosto). La precipitación total anual es de 2034.4 mm, mayormente en el verano, con 30.1 mm en enero (Figura 4).

En el 2017 la temporada de heladas (temperaturas por debajo de 0 °C) se ubica entre los meses de mayo a octubre, en el 2018 entre los meses de mayo a inicios de diciembre, durante el 2019 entre mayo a octubre y en el 2020 las heladas se ubican entre los meses de agosto a noviembre. La temporada de lluvias en el año 2017 se dio entre los meses de enero a marzo y noviembre a diciembre, durante el 2018 se dio en los meses de enero y marzo a abril, mientras que en el 2019 se ubica en los meses de enero a marzo y octubre, en el 2020 se dio en los meses de enero a marzo, octubre y diciembre.

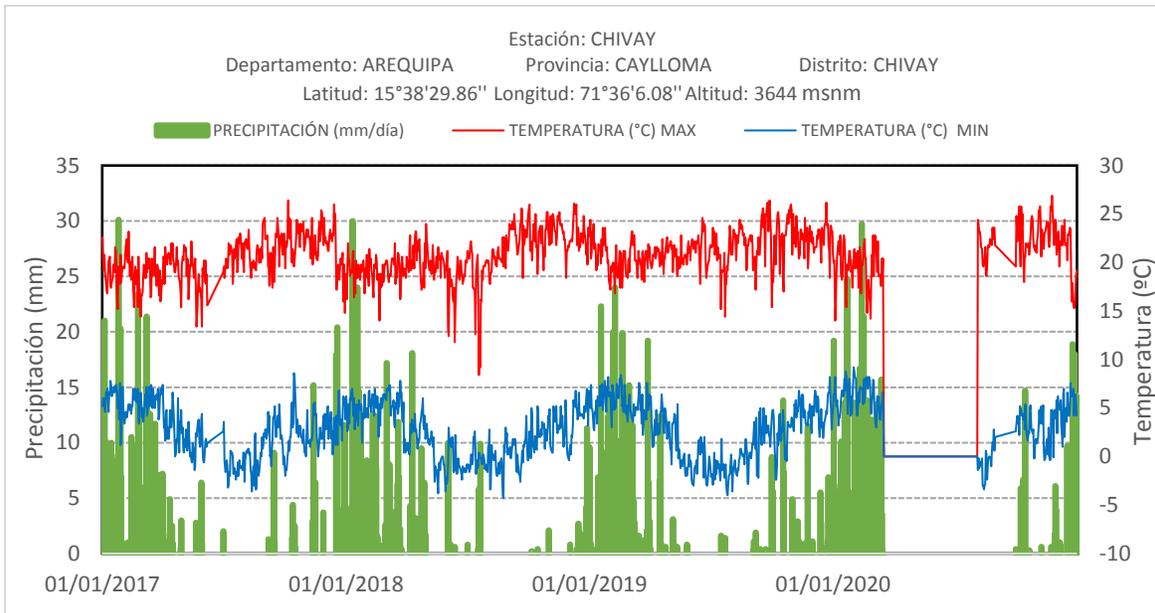


Figura 4: Distribución temporal de las temperaturas del aire y la precipitación de la estación Chivay (SENAMHI, 2020).

2.2 Análisis de temperatura de las estaciones meteorológicas de Cabanaconde

Según los datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) de la estación de Cabanaconde ubicada al noroeste del volcán Sabancaya, muestras que entre los años 2017 y 2020 las temperaturas máximas variaron entre 9.2 a 24 °C (las más altas en los meses de agosto, octubre, diciembre y enero) y las temperaturas mínimas, alrededor de 1.8 a 11 °C (la más baja en julio). La precipitación total anual es de 1925.2 mm, mayormente en el verano, con 41.9 mm en enero (Figura 5).

En la estación de Cabanaconde no presento temporada de heladas (temperaturas por debajo de 0 °C). La temporada de lluvias en el 2017 se ubica en los meses de enero a marzo y diciembre, en el 2018 se dio en entre los meses de enero a marzo, durante el 2019 se dio en los meses de enero a febrero y en el 2020 la temporada de lluvias se encuentra en los meses de enero a marzo y diciembre.

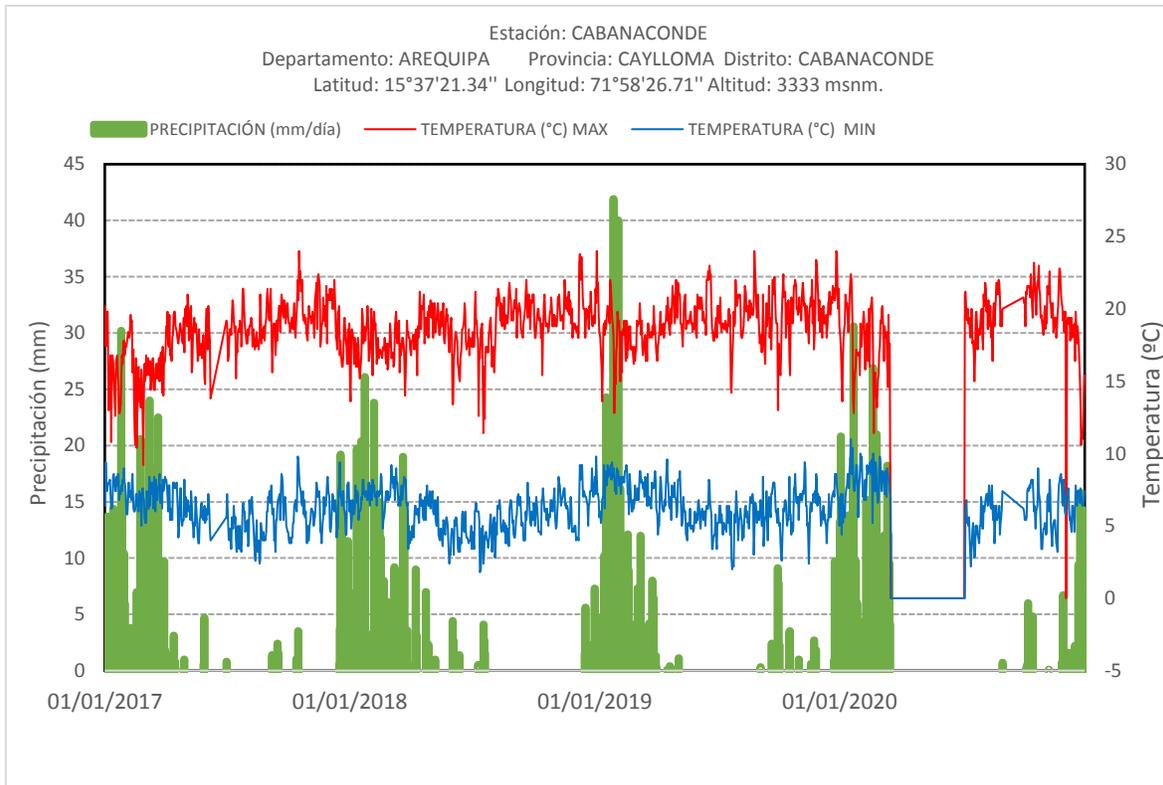


Figura 5: Distribución temporal de las temperaturas del aire y la precipitación de la estación Cabanaconde (Senamhi, 2020).

2.3 Análisis de temperatura de las estaciones meteorológicas de Huanca

Según los datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) de la estación de Huanca ubicada al sur del volcán Sabancaya, muestra que entre los años 2017 y 2020 las temperaturas máximas varían entre 10.9 a 25 °C (la más alta en el mes de octubre) y las temperaturas mínimas, alrededor de 1 a 11.2 °C (la más baja en el mes de agosto). La precipitación total anual es de 720 mm, mayormente en el verano, con 23.5 mm en febrero (Figura 6).

En la estación de Huanca no presento temporada de heladas (temperaturas por debajo de 0 °C). La temporada de lluvias en el 2017 se ubica en los meses de enero y marzo, en el 2018 se dio en el mes de abril, durante el 2019 se dio en los meses de enero a febrero y en el 2020 la temporada de lluvias se encuentra en los meses de enero a marzo.

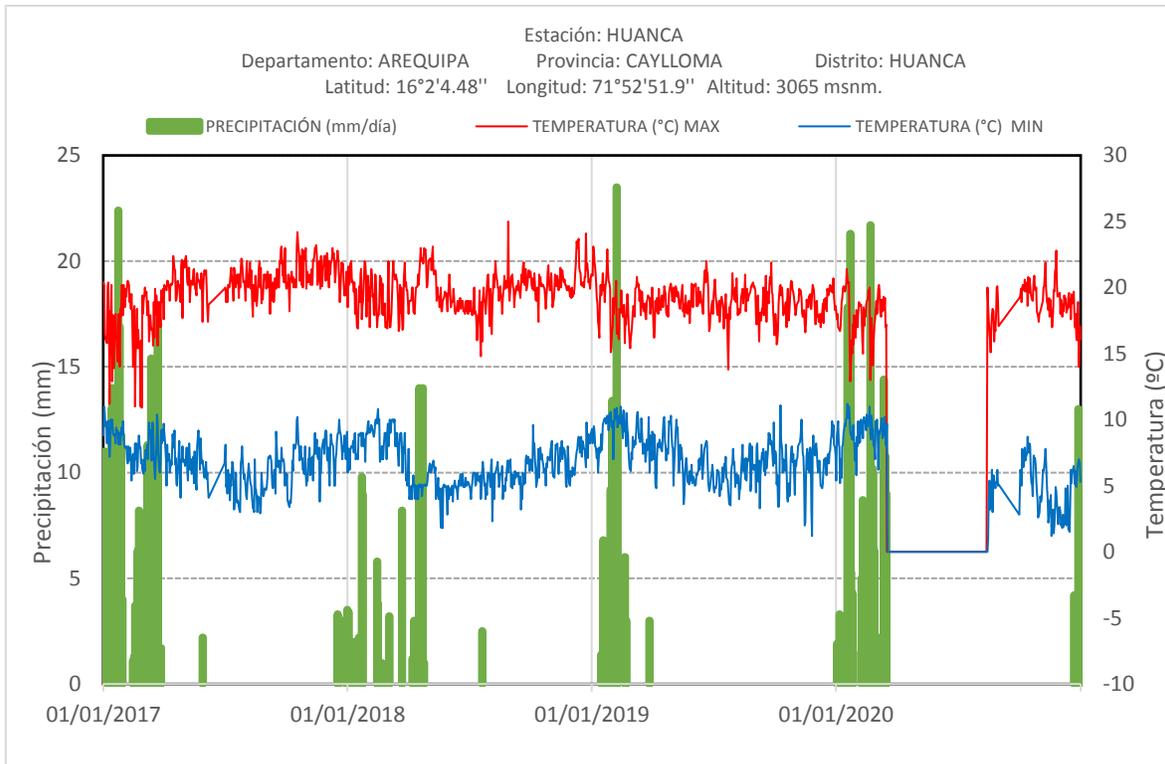


Figura 6: Distribución temporal de las temperaturas del aire y la precipitación de la estación Huanca (Senamhi, 2020).

3 FACTORES DE AFECTACIÓN

Para realizar la correlación de casos de IRAS, EDAS, dermatitis y conjuntivitis se tomó en cuenta 3 factores de la actividad eruptiva del volcán Sabancaya.

3.1 Características de las columnas eruptivas 2015 – 2020

Basado en los datos obtenidos del proceso eruptivo actual del volcán Sabancaya, el episodio eruptivo 2015 - 2020 se divide en 2 fases (Cuadro 3 y Figura 7):

Cuadro 2: Características de las 2 fases identificadas: altura de la emisión de ceniza y balísticos, distancia y dirección de la pluma y tipo de actividad ocurrida.

	Periodo	Altura de las emisiones volcánicas (m)	Distancia y dirección de las emisiones	Tipo de actividad
FASE I	2013 - 2015	< 2000	Las emisiones de gases se dispersaron a más de 20 km en dirección SE-NO del volcán.	Fumarólica

FASE II	2016 abril		< 500 (altura en los puntos)	Las emisiones de gases se dispersaron hacia el SE del volcán.	Fumarólica
	2016	27-ago	>1000	Radio de dispersión de los gases < 10 km al E del volcán.	Explosión
		06-nov	4500	Radio de dispersión < 20 km al NE del volcán.	Explosiones con emisiones de cenizas.
		24-nov	>4000	Radio de dispersión < 40 km al cono del volcán.	Explosiones con emisiones de cenizas.
	2017	04-jul	5500	Radio de dispersión < 60 km al S del volcán.	Explosiones con emisiones de cenizas.
	2018	09-mar	5300	Radio de dispersión < 60 km al E del volcán.	Explosiones con emisiones de cenizas.
	2019	01 - ago	4400	Radio de dispersión 30 km al SE del volcán	Explosiones con emisiones de cenizas.
2020	06 - ago	3600	Radio de dispersión 62 km al E - SE del volcán	Explosiones con emisiones de cenizas.	

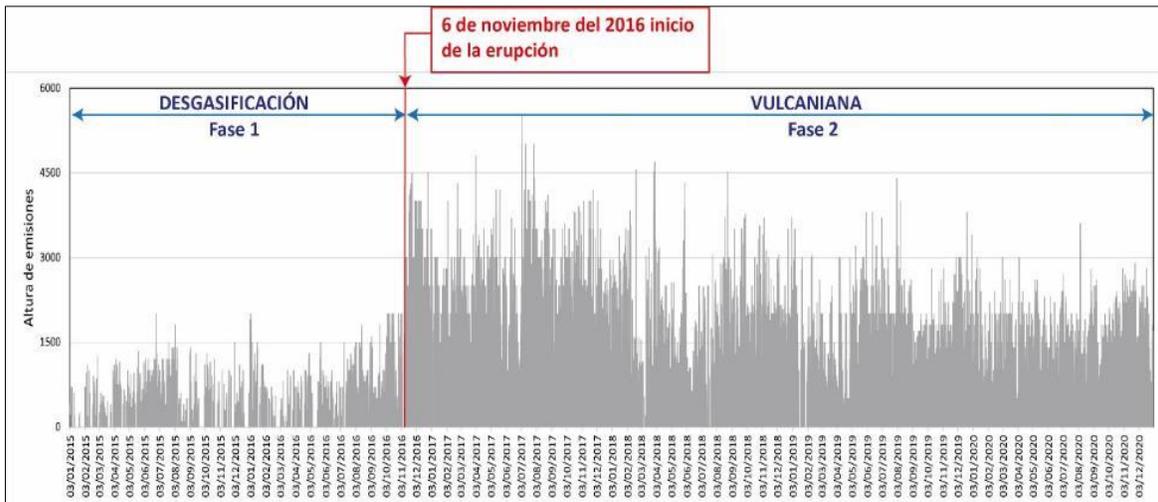


Figura 7: Desarrollo de la actividad eruptiva desde el año 2015 al 2020.

3.1.1 Fase 1, febrero 2013-2015 (desgasificación)

De acuerdo al cuadro (1), las emisiones entre el 2013 al 2015 son principalmente vapor de agua debido al calentamiento del sistema hidrotermal, en mayo 2016 las emisiones de vapor de agua se incrementaron a 6 veces más (Kern et al, 2017). En ocasiones se presentaron en mayor proporción gases magmáticos (por ej. SO₂) que toman tonalidades azulinas debido a la cercanía del magma a la superficie, formando aerosoles con compuestos de azufre. Estas emisiones eventualmente ascienden hasta los 2000 msc. en dirección suroeste, noreste y eventualmente hacia el oeste (Figura 8 y 9).



Figura 8: Columnas de ceniza y gases con 2000 msc. de altura en dirección sur, formada después de la explosión del 26 de junio del 2015.



Figura 9: Columnas de ceniza y gases con 1300 msc. de altura en dirección sur, formada después de la explosión del 27 de junio del 2015.

En abril de 2016 se observaron cinco nuevas fuentes fumarólicas en el flanco norte del volcán Sabancaya, que superaban los 700 msc. El 27 de agosto del 2016, el Sabancaya registró una explosión, seguida de una emisión de cenizas y gases con una columna de color gris, que llegó a 1000 msc. la cual fue dispersada < 10 km en dirección este del Sabancaya.

3.1.2 Fase 2, 06 de noviembre de 2016 hasta la actualidad (vulcaniana)

A partir del 06 de noviembre de 2016, se aprecian columnas de gases y ceniza densas de color gris, generadas luego de las continuas explosiones volcánicas, con alturas variables entre los 3000 y 4500 msc con dirección predominante hacia el este y sur (Figura 10).



Figura 10: Columnas de ceniza y gases de aproximadamente 3000 msc. de altura, formada después de la explosión del 13 de noviembre de 2016.

En el año 2017, desde mediados de enero hasta el mes de marzo, la actividad fue moderada, alcanzando alturas de hasta 4200 msc., las cuales, fueron dispersadas por el viento en dirección noroeste y oeste del Sabancaya, llegando hasta 50 km de distancia afectando a los poblados de: Huambo, Cabanaconde, Tapay, Pinchollo, Maca y Achoma. Otras direcciones predominantes de la dispersión de cenizas fueron hacia los sectores sur y suroeste del volcán, afectando los poblados de: Lluta y Huanca. Durante los meses de abril, mayo hasta mediados del mes de junio, la actividad fue moderada, las emisiones se mantuvieron con una altura promedio de 2500 msc., las cuales, fueron dispersadas por el viento, hacia el sector este del Sabancaya, afectando principalmente al distrito de: Achoma y sus anexos (Sallalli, Parco, etc.). Otras direcciones predominantes de la dispersión de cenizas fueron hacia los sectores sureste, afectando al poblado de Huanca, las cenizas han logrado llegar hasta a un radio de 50 km de distancia.

En la segunda quincena de junio, la actividad disminuyó ligeramente, con columnas por debajo de 200 msc. Posteriormente, el día 4 de julio de 2017 las columnas eruptivas alcanzaron alturas máximas de 5500 msc., siendo dispersadas por el viento, en dirección sur, afectando principalmente los distritos de: Lluta y Huanca, incluso llegando hasta el norte de la ciudad de Arequipa, las cenizas han logrado superar los 60 km de distancia en suspensión (Figura 11 y 12). A partir del mes de agosto hasta diciembre, la actividad fue moderada; las emisiones de vapor de agua, gases y ceniza se mantuvieron constantes, alcanzando alturas de 4200 msc., las cuales fueron dispersadas por el viento en dirección noroeste, sureste del Sabancaya.



Figura 11: Columnas de ceniza y gases con 4500 msc. de altura en dirección sur-sureste, formada después de la explosión del 28 de julio del 2017.



Figura 12: Columnas de ceniza y gases con 4000 msc. de altura en dirección norte-suroeste, formada después de la explosión del 10 de julio del 2017.

En el 2018 durante los meses de enero, febrero y marzo, se presentaron emisiones con alturas máximas de hasta 5300 msc.; la dirección predominante de dichas emisiones durante este periodo fue hacia el suroeste, noroeste (Figura 13). Entre los meses de abril y finales de agosto, la altura de las emisiones de gases y ceniza, bajaron levemente, llegando a alturas máximas de 4500 msc aproximadamente (Figura 14). La dispersión de este material se produjo en un radio 60 km, principalmente, en dirección sur, sureste, noreste; afectando los poblados de Cabanaconde, Achoma, Chivay, Huanca y Huambo, donde se reportó caída de ceniza. Desde septiembre hasta finales de diciembre de 2018, el comportamiento de las emisiones de ceniza se mantuvo con una altura máxima de 3800 msc., se dispersó con dirección sur, sureste, noreste hasta 40 km de distancia.

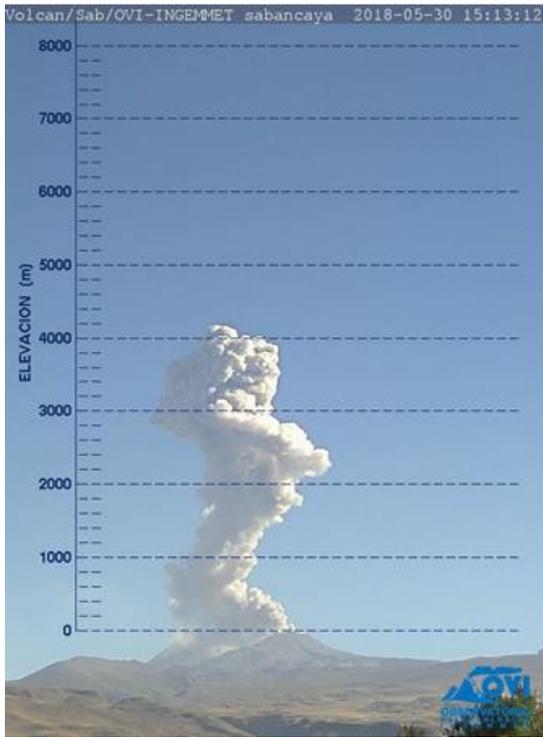


Figura 13: Columnas de ceniza y gases con 4200 msc. de altura en dirección sureste, formada después de la explosión del 30 de mayo del 2018.

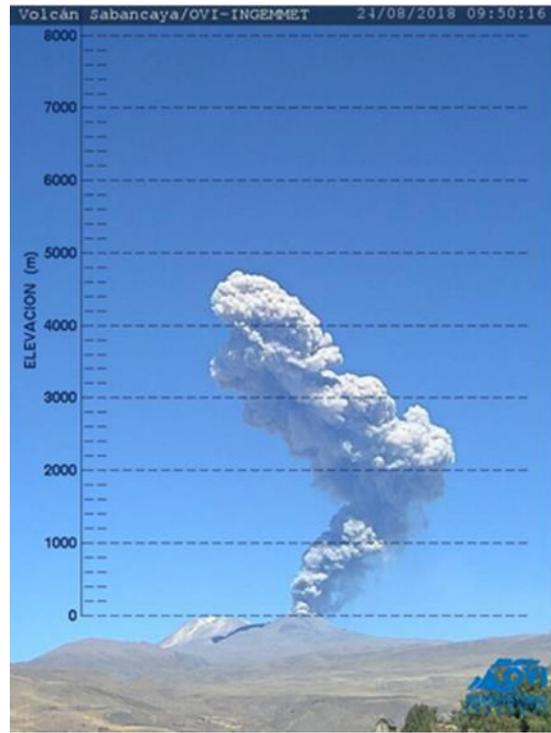


Figura 14: Columnas de ceniza y gases con 5000 msc. de altura en dirección este-noreste, formada después de la explosión del 24 de marzo del 2018.

Durante el 2019 entre enero a marzo se observaron emisiones que alcanzaron una altura máxima de 3700 msc., con dirección de dispersión predominante al noreste suroeste, las cuales afectaron a los pueblos de Lluta, Huambo y Huanca, y el sector de Muccurca además de los anexos ubicados en un radio de 30 km alrededor del volcán. En el segundo trimestre (abril - junio) alcanzando una altura máxima de 3800 msc., dispersada en dirección sureste, llegando hasta 50 km, afectando al sector de Sallali. En el periodo de julio a setiembre se han registrado columnas que alcanzan en promedio 1500 msc., sin embargo, en agosto se presentó una explosión donde las columnas fumarólicas alcanzaron hasta 4400 msc., teniendo una dirección de dispersión de las emisiones predominantemente al noroeste, sureste, suroeste y noreste alcanzando un radio de dispersión de 30 km, y afectando los pueblos del valle del Colca y Huambo (Figura 15 y 16). Finalmente, entre octubre y diciembre se han registrado columnas eruptivas que han alcanzado alturas de 2800 y 3000 msc., siendo la dirección predominante de las emisiones sureste, suroeste, noreste y noroeste, con un alcance de 30 km afectando a los centros poblados de Huambo, Achoma, Maca, Madrigal, Muccurca, Ichupampa y pueblos del valle del Colca.

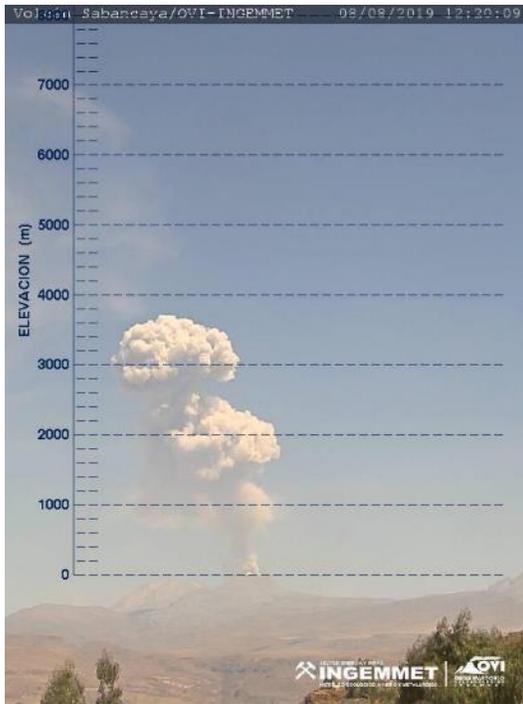


Figura 15: Columnas de ceniza y gases con 3800 msc. de altura en dirección sureste, formada después de la explosión del 08 de agosto del 2019.

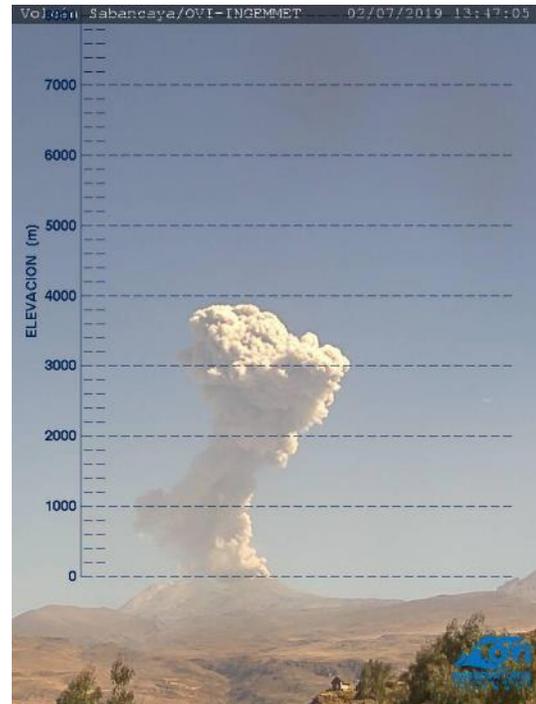


Figura 16: Columnas de ceniza y gases con 4000 msc. de altura en dirección noreste, formada después de la explosión del 02 de julio del 2019.

En el 2020 desde enero hasta marzo la actividad fue leve; en estos meses las emisiones de gases y ceniza se mantuvieron constantes con alturas que alcanzaron los 3000 msc. las cuales, fueron dispersadas con dirección al sureste, noroeste, suroeste y oeste, reportándose caída de ceniza en los poblados de Chivay, Achoma, Huambo, Madrigal, Lari, Maca y anexo de Sallalli (Figura 17 y 18). Desde abril hasta junio, la actividad se mantuvo leve con altura máxima de 3000 msc. las cuales, fueron dispersadas principalmente en dirección este, sureste y noreste del volcán, reportándose caída de ceniza en Ichupampa, Yanque, Coporaque, Chivay, Pinchollo, Madrigal, Lari y anexo de Hornillos. Desde julio hasta septiembre estos meses las emisiones se mantuvieron constantes con alturas 3600 msc. las cuales, fueron dispersadas en dirección sureste, este y suroeste del Sabancaya, reportándose caída de ceniza en los poblados de Maca, Achoma, Lari, Chivay, Ichupampa, Yanque, Coporaque, Madrigal y los anexos de Sallalli y Hornillos.

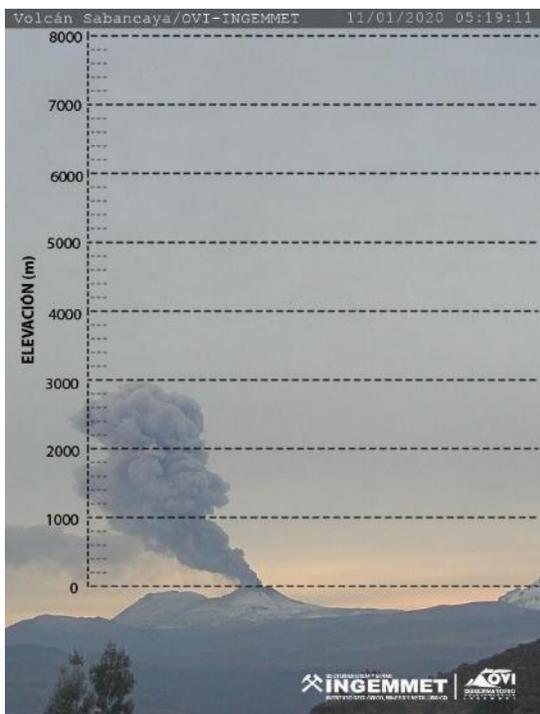


Figura 17: Columnas de ceniza y gases con 3000 msc. de altura en dirección sureste, formada después de la explosión del 11 de enero del 2020.

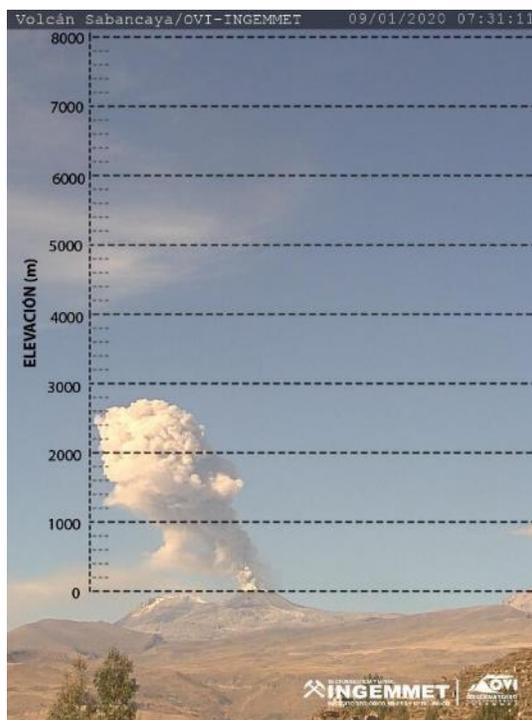


Figura 18: Columnas de ceniza y gases con 2800 msc. de altura en dirección sureste, formada después de la explosión del 19 de enero del 2020.

3.2 Energía de las explosiones

Las señales sísmicas correspondientes a las explosiones, se caracterizan principalmente por la liberación considerable de energía sísmica (< 1 MJ), además de presentar al inicio una componente de muy baja frecuencia (VLP), generalmente menor a 0.5 Hz, lo que indica la dinámica de un fluido a cierta profundidad. En este caso el fluido vendría a ser propiamente el magma, en la mayoría de las señales de explosiones, éstas fueron seguidas por actividad tremórica, indicando la salida de ceniza por el conducto hacia la superficie.

En el 2016 se registró un total de 44 065 eventos sísmicos asociados principalmente al fracturamiento de roca y a la actividad de gases y fluidos en el interior del volcán. Asimismo, se registraron pulsos de tremor espasmódico de baja energía. El día 27 de agosto a las 06:51 h del año 2016, se registró la primera explosión en el volcán Sabancaya con una energía sísmica de 1.0 MJ, dicha explosión fue considerada como la que abrió parcialmente el conducto del volcán. El posterior 07 de noviembre, inició el proceso eruptivo del volcán con la ocurrencia de continuas explosiones con energías sísmicas de hasta 1.3 MJ alcanzando el registro de 2507 explosiones en este periodo (Figura 19).

En el 2017 el volcán mostró un comportamiento moderado, caracterizado por la ocurrencia de explosiones con energías que alcanzaron los 49 MJ (Figura 19), sin embargo, generaron importantes columnas eruptivas de gases y considerable contenido de ceniza.

Sísmicamente, la explosión más importante durante el año se registró el día 10 de agosto a las 20:11 h con una energía de 5.6 MJ y un desplazamiento reducido de 117 cm². Entre los meses de junio y julio, se observó un importante descenso en la actividad explosiva y posiblemente esto sea a causa de que no había material suficiente que sea expulsado a la superficie.

Según el informe técnico N° A6951 en el 2018 la actividad sísmica tuvo un comportamiento de moderado con explosiones que alcanzaron hasta 30.2 MJ (Megajoules) (Figura 19), dichas explosiones generaron importantes columnas eruptivas de ceniza, gases y vapor de agua. Sísmicamente, la explosión más importante durante el año se registró el día 01 de enero a las 02: 26 h, con una energía de 3.3 MJ y un desplazamiento reducido de 102 cm². Asimismo, se aprecia que, en el mes de enero, el volcán presentó mayor tasa de ocurrencia de explosiones, registrando un promedio de 47 explosiones/día; posterior a esta fecha, desde febrero hasta fines de año, la actividad explosiva disminuyó, registrando 21 explosiones/día en promedio y con energías menores a 1 MJ (Figura 19).

Según el informe técnico N° A6998, durante el año 2019 la actividad explosiva mostró un incremento importante comparable con el inicio del proceso eruptivo y significativamente alto respecto a los años 2017 y 2018 con explosiones que alcanzaron hasta 88.49 MJ (Figura 19). Se registraron periodos de incremento en la energía de dichas explosiones, los cuales, indicaron un importante crecimiento del domo de lava, el periodo más resaltante fue identificado entre agosto y mediados de noviembre del presente año, sin embargo, a inicios del año 2020 se identificó un descenso en este tipo de actividad, probablemente asociado a crecimiento relativamente lento del domo.

Según el informe técnico N° A7136, En el 2020 se registró un total de 7059 explosiones con energía que alcanzaron hasta 46 MJ (Figura 19). Entre el 31 de julio y el 16 de agosto se registró una inflación acelerada en las proximidades al cráter y posterior al conjunto de eventos sísmicos (enjambre) del 14 de agosto, se comenzó a registrar un incremento en la sismicidad más cercana al volcán (LP y EXP – eventos LF acoplados). Esta actividad estaría asociada a la migración de fluidos (gases, magma) a través de los conductos volcánicos hacia profundidades someras y cercanas al ventó eruptivo.

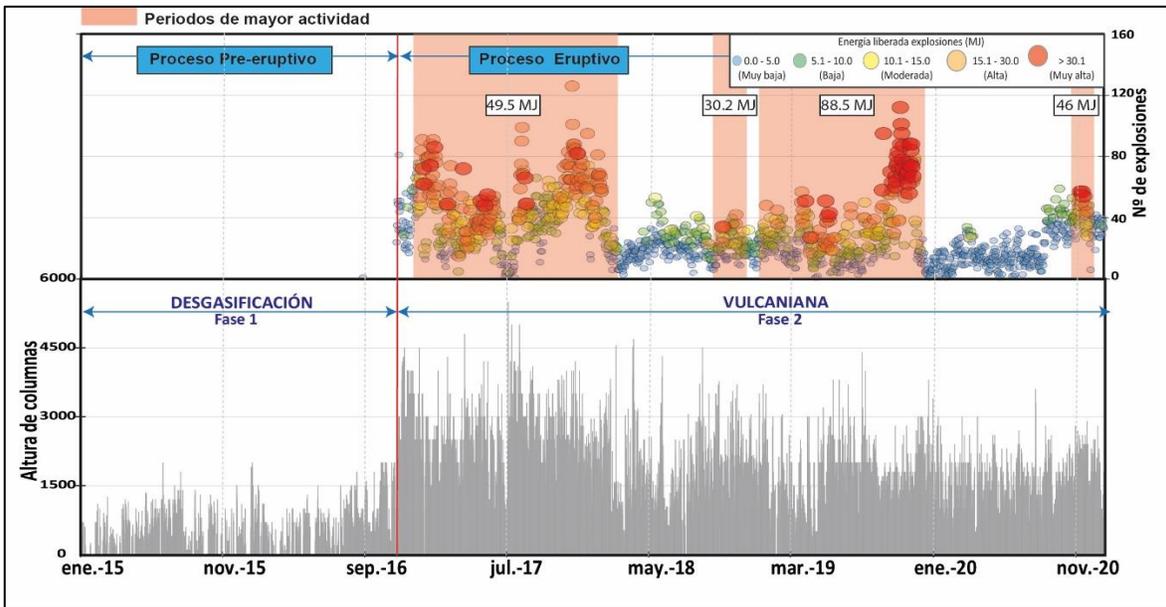


Figura 19: actividad eruptiva dividida en dos Fases tanto para la actividad sísmica y altura de la columna eruptiva.

3.3 Análisis granulométrico de la ceniza

El análisis granulométrico se usa como principal fuente de datos para caracterizar la población de granos y examinar las variaciones en el tamaño de grano en los depósitos de ceniza (Walker, 1971). El objetivo es conocer las condiciones de sedimentación mediante la cuantificación de los parámetros granulométricos, que nos permiten establecer su grado de selección, distancia recorrida, niveles de energía, etc. (Spalletti, 1980). El método utilizado para el análisis granulométrico, consiste en hacer pasar una muestra a través de una serie de mallas (tamices) con diferentes diámetros de apertura, que van desde 1 mm hasta 0.032 mm.

Para llevar a cabo el análisis estadístico, previamente se convierte los diámetros de las partículas expresadas en milímetros (mm) a unidades Phi (Φ). La escala phi, fue definida por Krumbein (1934) como el logaritmo negativo de base 2 del tamaño de grano en milímetros según la formula (1).

$$\Phi (\Phi) = -\log_2 N \quad (1)$$

Dónde: N = tamaño de grano en mm ó la apertura de cada malla en mm.

3.3.1 Análisis de parámetros estadísticos

Los datos obtenidos son representados gráficamente en histogramas, donde el eje “Y” representa los diámetros de las partículas expresadas en unidades (Φ), mientras que, en que el eje “X” representa los pesos en cada fracción retenida expresados en porcentaje (%). Para graficar los histogramas se utilizó el programa SFT Kware de acuerdo con el

método de fragmentación y transporte secuencial (Sequential Fragmentation SFT por su sigla en inglés) (Brown, 1989).

Los parámetros estadísticos según Folk (1966) e Imman (1952), incluyen la mediana (Md), media (Mz), desviación estándar (σ), asimetría (Sk) y curtosis (K).

Se realizó el tamizado y análisis granulométrico de muestras de ceniza, con la finalidad de analizar la distribución de tamaño y distancia recorrida de las partículas para identificar las zonas afectadas alrededor del volcán Sabancaya entre los años 2016 y 2021 (Figura 20).

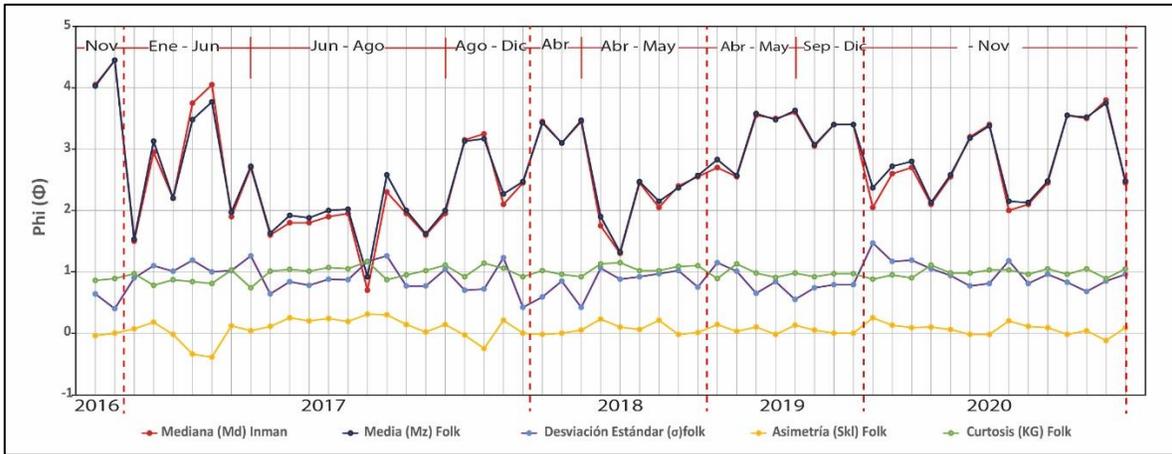


Figura 20: Análisis de los parámetros estadísticos de muestras del volcán Sabancaya desde el año 2016 a 2021.

Del análisis temporal de la ceniza (Figura 20) podemos identificar que:

- a) En el año 2016, la ceniza presenta una tendencia unimodal y bimodal lo que indica una mala a moderada distribución de las partículas, con un ordenamiento moderado en las muestras cercanas al cráter a bien ordenadas en las muestras alejadas del volcán (Figura 21). Así también se observa un equilibrio entre las partículas finas y gruesas con curvas de forma platocúrticas.

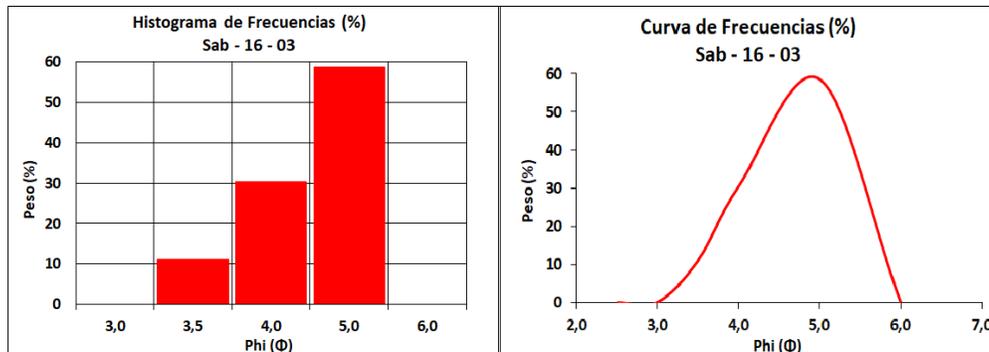


Figura 21: A) Histogramas de frecuencia y B) curvas de frecuencia de Sab-16-03.

- b) En el año 2017, la ceniza tamizada presenta una tendencia multimodal lo que indica una mala distribución de las partículas con un mal ordenamiento a moderadamente ordenado. En cuanto a la asimetría, presenta un equilibrio de partículas con una ligera tendencia hacia las partículas finas con curvas mayormente mesocúrticas (Figura 22). En cuanto a los valores de la mediana y media, los meses de enero a junio las partículas presentan una tendencia hacia los finos, mientras que en los meses de junio a agosto las partículas tienden a los gruesos y en los meses de agosto a diciembre las partículas tienden hacia los finos.

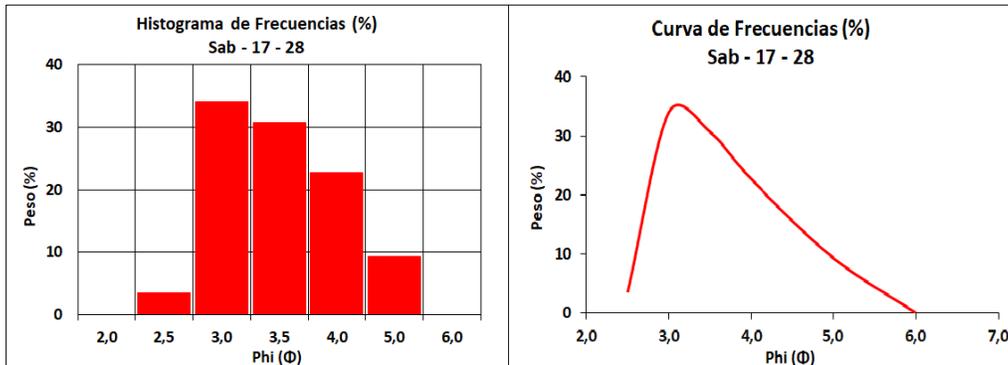


Figura 22: A) Histogramas de frecuencia y B) curvas de frecuencia de Sab-17-28.

- c) En el año 2018, la ceniza tamizada presenta una tendencia multimodal lo que indica una mala distribución de las partículas con un ordenamiento moderado. En cuanto a la asimetría, presenta un equilibrio de partículas con una ligera tendencia hacia las partículas finas con curvas mayormente mesocúrticas (Figura 23). En cuanto a los valores de la mediana y media en el mes de abril las partículas presentan una tendencia hacia los finos, mientras que en los meses de abril a mayo las partículas tienden a los gruesos.

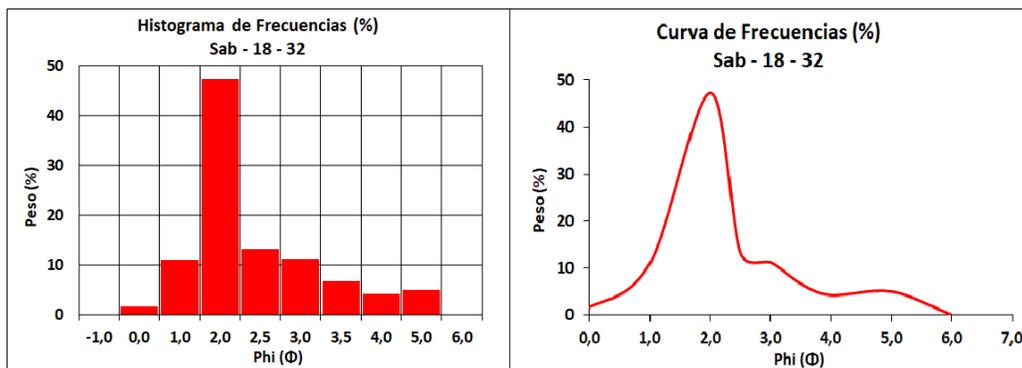


Figura 23: A) Histogramas de frecuencia y B) curvas de frecuencia de Sab-18-32.

- d) En el año 2019, la ceniza tamizada presenta una tendencia unimodal a bimodal lo que indica una mala distribución de las partículas con un mal ordenamiento a

moderadamente ordenado. En cuanto a la asimetría, presenta un equilibrio de partículas con una ligera tendencia hacia las partículas finas con curvas mayormente mesocúrticas (Figura 24). En cuanto a los valores de la mediana y media en los meses de abril a mayo las partículas presentan una tendencia hacia los finos, mientras que en los meses de septiembre a diciembre las partículas tienden ligeramente a valores gruesos.

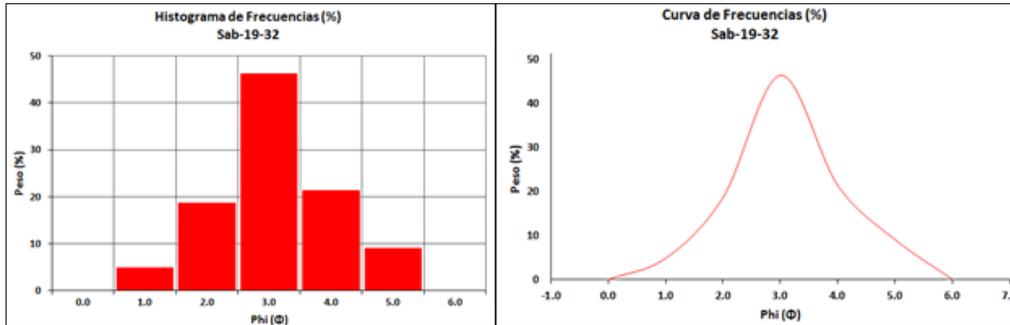


Figura 24: A) Histogramas de frecuencia y B) curvas de frecuencia de Sab-19-32.

e) En el año 2020, la ceniza tamizada presenta una tendencia multimodal lo que indica una mala distribución de las partículas con un pésimo ordenamiento a moderadamente ordenado. En cuanto a la asimetría, presenta un equilibrio de partículas con una ligera tendencia hacia las partículas finas con curvas mayormente mesocúrticas (Figura 25). En cuanto a los valores de la mediana y media en los meses de enero a septiembre las partículas presentan una tendencia hacia los gruesos, mientras que en los meses de octubre a noviembre las partículas tienden a los finos.

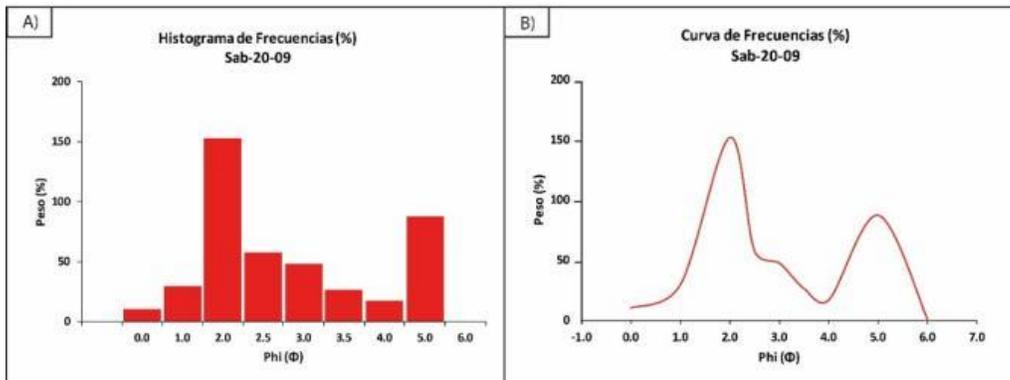


Figura 25: A) Histogramas de frecuencia y B) curvas de frecuencia de Sab-20-09.

3.3.2 Análisis de partículas menores a 32 micras

La ceniza fina puede llegar a viajar a grandes distancias y ser perjudicial para la salud a largo plazo, llegando afectar al sistema respiratorio, ojos y piel. Por esta razón se analiza el

porcentaje de partículas menores a 32 micras, para esto se utilizó los tamices de 1 hasta 0.032 mm, donde las partículas menores a 0.032 mm (32 micras) podrían afectar al sistema respiratorio, sin embargo, se requiere realizar un análisis de las partículas menores a 15 micras para tener mejores resultados.

Según la Figura 26, en el año 2016 el promedio de porcentaje de partículas menores de 32 micras alcanzo un pico de 69% en el mes de noviembre. Durante el año 2017, el promedio de porcentaje de partículas finas disminuyó hasta el 13 % con picos en los meses de marzo, abril, mayo, junio y agosto. En el año 2018, el promedio de partículas finas continuó disminuyendo hasta el 6% con picos en los meses de abril y mayo. Durante el año 2019, el promedio de porcentaje de partículas finas incrementó hasta el 12 % con picos en los meses de agosto y noviembre. En el año 2020, el promedio de porcentaje de partículas finas incrementó ligeramente hasta el 15 % con picos en los meses de octubre, septiembre y diciembre.

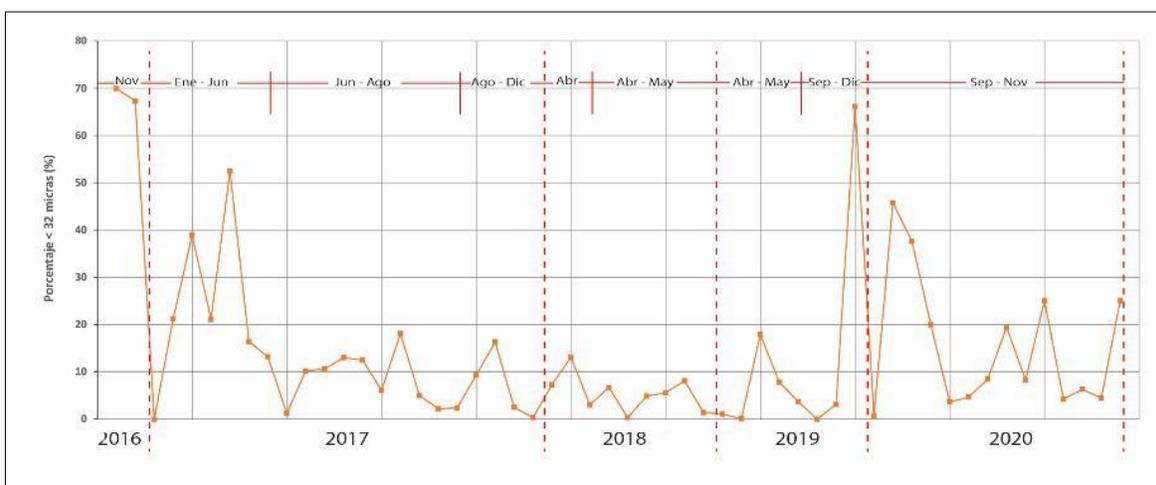


Figura 26: Serie temporal del porcentaje de partículas menores a 32 micras del volcán Sabancaya desde el año 2016 a 2021.

4 CASOS REPORTADOS POR LA RED DE SALUD DE AREQUIPA - CAYLLOMA

Para el estudio se utilizó datos proporcionado por la Defensa Nacional de la Red de Salud Arequipa Caylloma entre los años 2015 y 2020 sobre el número de casos de IRAS (infecciones respiratorias agudas), EDAS (enfermedades diarreicas agudas), dermatitis y conjuntivitis reportadas por la Red de Salud de Arequipa – Caylloma, la cual conformaba las Micro Red de Salud de Ciudad de Dios, Cabanaconde y Chivay (Cuadro 4).

Cuadro 4: Puestos de salud (P.S.) y centros de salud (C.S.) de las Micro de Salud de Chivay, Cabanaconde y Ciudad de Dios.

MICRO RED CHIVAY	MICRO RED CABANACONDE	MICRO RED CIUDAD DE DIOS
C.S.Chivay	C.S.Cabanaconde	C.S Huanca

P.S.Canocota		
P.S Coporaque	P.S.Pinchollo	
P.S Ichupampa		
P.S. Lari	P.S Huambo	P.S.Lluta
P.S Madrigal		
P.S.Yanque	P.S Tapay	P.S.Taya
P.S Achoma		
P.S Maca	P.S Choco	

Se analizaron 8064 datos de 17 centros de salud, de los cuales se calculó el promedio de la tasa anual, donde se dividió el número de casos sobre número de habitantes, que significa el número de consultas anuales por habitante (c/h). Este cálculo se realizó para los casos de IRAS, EDAS, conjuntivitis y dermatitis entre el 2015 al 2020.

De acuerdo al cuadro 5, la mayor tasa anual de casos de IRAS durante el 2015 lo presento la Micro Red de salud de Cabanaconde en habitantes mayores a 5 años, mientras que en habitantes menores de 5 años fue la Micro Red de Salud Chivay. En el 2016 lo presento la Micro Red de Salud de Cabanaconde en mayores a 5 años, en cuanto a habitantes menores de 5 años fue la Micro Red de Salud de Chivay. En el 2017 lo presento la Micro Red de Salud de Chivay en mayores y menores a 5 años. En el 2018 lo presento la Micro Red de Salud de Chivay en mayores y menores a 5 años. En el 2019 lo presento la Micro Red de Salud de Chivay y Cabanaconde en mayores a 5 años y la Micro Red de Salud de Chivay en menores a 5 años. En el 2020 lo presento la Micro Red de Salud de Chivay en mayores y menores a 5 años respectivamente.

Según el cuadro 5, la mayor tasa anual de casos de EDAS durante el 2015 lo presento la Micro Red de Salud de Chivay en mayores de 5 años y La Micro Red de Salud de Cabanaconde en menores a 5 años. En el 2016 lo presento la Micro Red de Salud de Chivay en mayores a 5 años y la Micro Red de Salud de Cabanaconde en menores a 5 años. En el 2017 lo presento la Micro Red de Salud de Cabanaconde en habitantes mayores y menores de 5 años. En el 2018 lo presento la Micro Red de Salud Chivay en mayores y menores a 5 años. En el 2019 lo presento la Micro Red de Salud de Cabanaconde en mayores y menores a 5 años. En el 2020 Lo presento la Micro Red de Salud de Chivay en habitantes mayores y menores a 5 años.

Según el cuadro 5, la mayor tasa anual de casos de conjuntivitis en el 2015 lo presento la Micro Red de Salud de Chivay y Cabanaconde. En el 2016 lo presento la Micro Red de Salud de Chivay y Cabanaconde en habitantes mayores y menores a 5 años. En el 2017 lo presento la Micro Red de Salud de Chivay y Cabanaconde en mayores de 5 años y la Micro Red de Salud de Chivay en menores de 5 años. En el 2018 lo presento la Micro Red de Salud de Chivay en habitantes mayores a 5 años y la Micro Red de Salud de Cabanaconde en mayores a 5 años. En el 2018 lo presento la Micro Red de Salud Chivay en mayores de 5 años y la Red de Salud de Cabanaconde en menores de 5 años. En el 2019 la mayor tasa lo presento las tres Red de Salud en mayores de 5 años y en habitantes menores a 5 años lo presento la Micro Red de Salud de Chivay y Cabanaconde en menores

a 5 años. En el 2019 la mayor tasa lo presento las tres Red de Salud en mayores de 5 años y en habitantes menores a 5 años lo presento la Micro Red de Salud de Cabanaconde.

Según el cuadro 5, la mayor tasa anual de casos de dermatitis en el 2015 lo presento la Micro Red de Salud de Chivay y Cabanaconde en mayores de 5 años y la Micro Red de Salud de Chivay en menores a 5 años. En el 2016 y 2017 lo presento la Micro Red de Salud de Chivay en menores y mayores a 5 años. En el 2018 lo presento la Micro Red de Salud de Chivay y Cabanaconde en mayores de 5 años y la Micro Red de Salud de Chivay en menores a 5 años. En el 2019 lo presento la Micro Red de Salud de Chivay en menores y mayores a 5 años. En el 2020 lo Presento la Micro Red de Salud de Chivay y Cabanaconde en mayores y menores a 5 años.

Cuadro 5: Tasa anual de Casos de IRAS, EDAS conjuntivitis y dermatitis por años.

Micro Red de Salud	Tasa anual de IRAS											
	2015		2016		2017		2018		2019		2020	
	> 5 años	< 5 años	> 5 años	< 5 años	> 5 años	< 5 años	> 5 años	< 5 años	> 5 años	< 5 años	> 5 años	< 5 años
Micro Red de Salud de Chivay	0,46	2,05	0,45	1,98	0,41	2,72	0,54	2,66	0,48	1,87	0,14	0,43
Micro Red de Salud de Ciudad de Dios	0,29	1,19	0,27	1,27	0,24	2,14	0,45	2,06	0,14	0,27	0,07	0,18
Micro Red de Salud de Cabanaconde	0,49	1,69	0,50	1,75	0,39	2,54	0,26	1,87	0,48	0,99	0,11	0,27
	Tasa anual de EDAS											
Micro Red de Salud de Chivay	0,08	0,40	0,07	0,39	0,05	0,53	0,09	0,46	0,07	0,34	0,03	0,16
Micro Red de Salud de Ciudad de Dios	0,05	0,12	0,03	0,15	0,02	0,28	0,05	0,17	0,02	0,05	0,02	0,09
Micro Red de Salud de Cabanaconde	0,08	0,32	0,10	0,42	0,08	0,61	0,07	0,44	0,08	0,18	0,02	0,13
	Tasa anual de Conjuntivitis											
Micro Red de Salud de Chivay	0,02	0,03	0,02	0,04	0,02	0,11	0,02	0,06	0,02	0,03	0,01	0,03
Micro Red de Salud de Ciudad de Dios	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01	0,10	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02
Micro Red de Salud de Cabanaconde	0,01	0,03	0,02	0,04	0,02	0,08	0,01	0,07	0,02	0,03	0,01	0,06
	Tasa anual de Dermatitis											
Micro Red de Salud de Chivay	0,01	0,03	0,01	0,02	0,02	0,07	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02
Micro Red de Salud de Ciudad de Dios	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01
Micro Red de Salud de Cabanaconde	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,05	0,01	0,02	0,00	0,01	0,01	0,02

4.1 Micro Red de Salud de Chivay

La Micro Red de salud de Chivay comprende los centros de salud de Madrigal, Lari, Maca, Ichupampa, Achoma, Yanque, Coporaque, Chivay y anexos, los cuales se ubican al noreste del volcán Sabancaya. Se calculó el promedio de tasa anual de casos de IRAS, EDAS, conjuntivitis y dermatitis para cada centro de salud desde el 2015 al 2020.

4.1.1 Promedio de tasa anual en el centro de salud de Achoma

Según la Figura 27, para los pobladores menores a 5 años los casos de IRAS reportados alcanzaron un promedio de tasa anual de 2.85 consultas por cada habitante, para los casos de EDAS se tuvieron 0.51 consultas por cada habitantes, así también para los casos de dermatitis se reportaron 0.07 consultas por cada habitante y 0.05 consultas por cada habitante para casos de conjuntivitis. Para los pobladores mayores a 5 años los casos de IRAS presentaron 0.58 consultas por cada habitante, para los casos de EDAS se registró 0.08 consultas por cada habitante, para los casos de conjuntivitis alcanzo 0.02 consultas por cada habitante y 0.01 consultas por cada habitante para el caso de dermatitis.

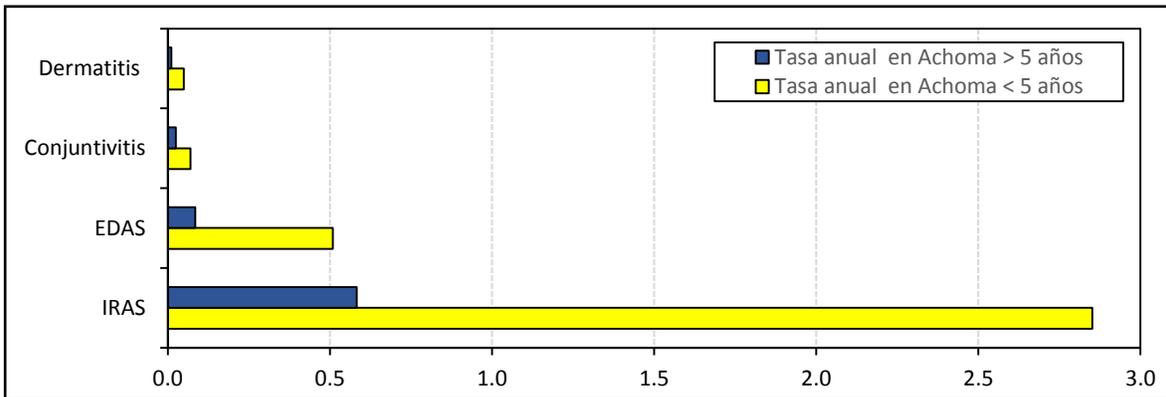


Figura 27: Promedio de tasa anual entre el 2015 al 2020 de casos atendidos de IRAS, EDAS, dermatitis y conjuntivitis de menores y mayores a 5 años del puesto de salud de Achoma y anexos.

4.1.2 Promedio de tasa anual en el centro de salud de Chivay

Según la figura 28, para los pobladores menores a 5 años los casos de IRAS reportados alcanzaron un promedio de tasa anual de 1.94 consultas por cada habitante, para los casos de EDAS presentaron 0.28 consultas por cada habitantes, así también para los casos de dermatitis se reportaron 0.05 consultas por cada habitante y 0.01 consultas por cada habitante para casos de conjuntivitis. Para los pobladores mayores a 5 años los casos de IRAS presentaron 0.32 consultas por cada habitante, para los casos de EDAS se registró 0.03 consultas por cada habitante y 0.01 consultas por cada habitante para el caso de conjuntivitis.

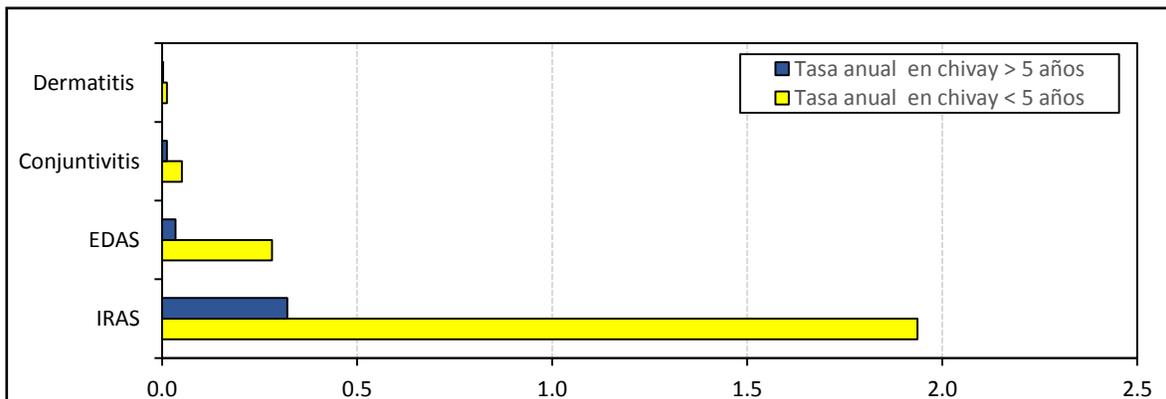


Figura 28: Promedio de tasa anual entre el 2015 al 2020 de casos atendidos de IRAS, EDAS, dermatitis y conjuntivitis de menores y mayores a 5 años del centro de salud de Chivay y anexos.

4.1.3 Promedio de tasa anual en el centro de salud de Coporaque

Según la Figura 29, para los pobladores menores a 5 años los casos de IRAS reportados alcanzo un promedio de tasa anual de 2.19 consultas por cada habitante, para los casos de EDAS se tuvieron 0.40 consultas por cada habitantes, así también para los casos de dermatitis se reportaron 0.06 consultas por cada habitante y 0.01 consultas por cada habitante para casos de dermatitis. Para los pobladores mayores a 5 años los casos de IRAS presentaron 0.32 consultas por cada habitante, para los casos de EDAS se registró 0.05 consultas por cada habitante y 0.01 consultas por cada habitante para el caso de conjuntivitis.

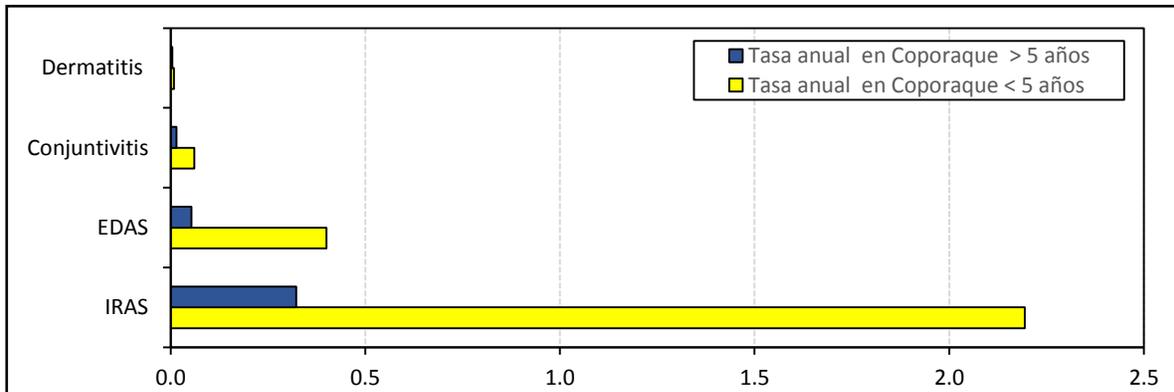


Figura 29: Promedio de tasa anual entre el 2015 al 2020 de casos atendidos de IRAS, EDAS, dermatitis y conjuntivitis de menores y mayores a 5 años del centro de salud de Coporaque y sus anexos.

4.1.4 Promedio de tasa anual en el centro de salud de Ichupampa

Según la Figura 30, para los pobladores menores a 5 años los casos de IRAS reportados alcanzo un promedio de tasa anual de 2.06 consultas por cada habitante, para los casos de EDAS se tuvieron 0.46 consultas por cada habitantes, así también para los casos de dermatitis se reportaron 0.06 consultas por cada habitante y 0.07 consultas por cada habitante para casos de dermatitis. Para los pobladores mayores a 5 años los casos de IRAS presentaron 0.51 consultas por cada habitante, para los casos de EDAS se registró 0.10 consultas por cada habitante, para los casos de conjuntivitis alcanzo 0.03 consultas por cada habitante y 0.03 consultas por cada habitante para el caso de dermatitis.

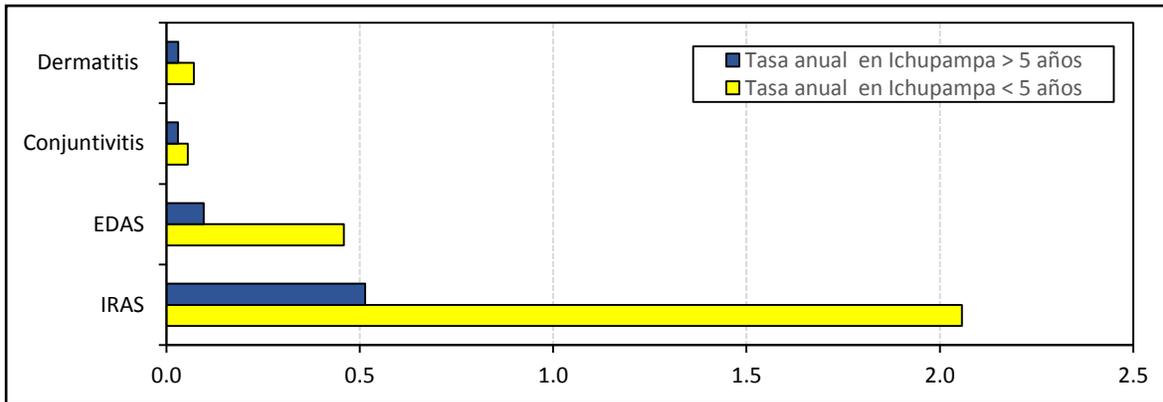


Figura 30: Promedio de tasa anual entre el 2015 al 2020 de casos atendidos de IRAS, EDAS, dermatitis y conjuntivitis de menores y mayores a 5 años del centro de salud de Ichupampa y sus anexos.

4.1.5 Promedio de tasa anual en el centro de salud de Lari

Según la Figura 31, para los pobladores menores a 5 años los casos de IRAS reportados alcanzaron un promedio de tasa anual de 1.39 consultas por cada habitante, para los casos de EDAS presentaron 0.27 consultas por cada habitantes, así también para los casos de dermatitis se reportaron 0.05 consultas por cada habitante y 0.02 consultas por cada habitante para casos de dermatitis. Para los pobladores mayores a 5 años los casos de IRAS presentaron 0.25 consultas por cada habitante, para los casos de EDAS se registró 0.03 consultas por cada habitante, para los casos de conjuntivitis alcanzo 0.01 consultas por cada habitante y 0.01 consultas por cada habitante para el caso de dermatitis.

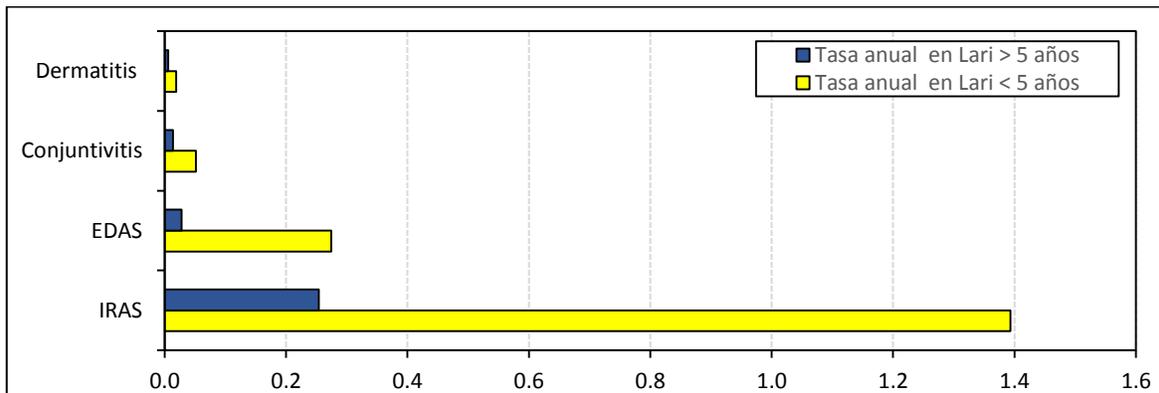


Figura 31: Promedio de tasa anual entre el 2015 al 2020 de casos atendidos de IRAS, EDAS, dermatitis y conjuntivitis de menores y mayores a 5 años del centro de salud de Lari y sus anexos.

4.1.6 Promedio de tasa anual en el centro de salud de Maca

Según la Figura 32, para los pobladores menores a 5 años los casos de IRAS reportados alcanzaron un promedio de tasa anual de 1.66 consultas por cada habitante, para los casos de EDAS se tuvieron 0.32 consultas por cada habitantes, así también para los casos de

dermatitis se reportaron 0.02 consultas por cada habitante y 0.03 consultas por cada habitante para casos de dermatitis. Para los pobladores mayores a 5 años los casos de IRAS presentaron 0.44 consultas por cada habitante, para los casos de EDAS se registró 0.09 consultas por cada habitante, para los casos de conjuntivitis alcanzo 0.02 consultas por cada habitante y 0.01 consultas por cada habitante para el caso de dermatitis.

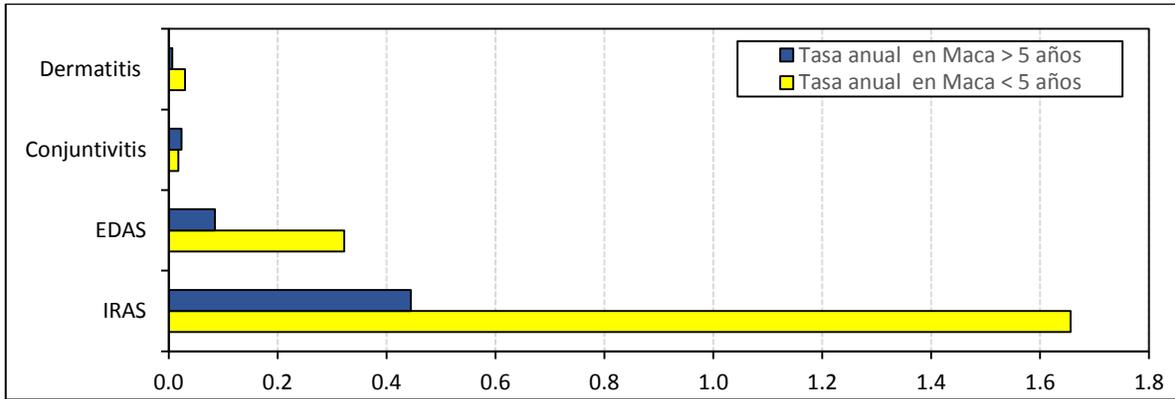


Figura 32: Promedio de tasa anual entre el 2015 al 2020 de casos atendidos de IRAS, EDAS, dermatitis y conjuntivitis de menores y mayores a 5 años del centro de salud de Maca y sus anexos.

4.1.7 Promedio de tasa anual en el centro de salud de Madrigal

Según la Figura 33, para los pobladores menores a 5 años los casos de IRAS reportados alcanzaron un promedio de tasa anual de 2.03 consultas por cada habitante, para los casos de EDAS se tuvieron 0.48 consultas por cada habitantes, así también para los casos de dermatitis se reportaron 0.06 consultas por cada habitante y 0.06 consultas por cada habitante para casos de dermatitis. Para los pobladores mayores a 5 años los casos de IRAS presentaron 0.56 consultas por cada habitante, para los casos de EDAS se registró 0.11 consultas por cada habitante, para los casos de conjuntivitis alcanzo 0.01 consultas por cada habitante y 0.02 consultas por cada habitante para el caso de dermatitis.

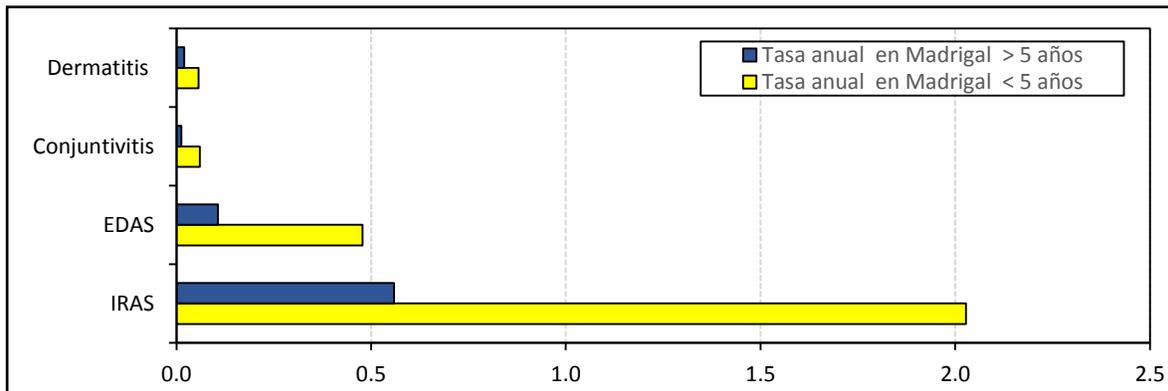


Figura 33: Promedio de tasa anual entre el 2015 al 2020 de casos atendidos de IRAS, EDAS, dermatitis y conjuntivitis de menores y mayores a 5 años del centro de salud de Madrigal y sus anexos.

4.1.8 Promedio de tasa anual en el centro de salud de Yanque

Según la Figura 34, para los pobladores menores a 5 años los casos de IRAS reportados alcanzaron un promedio de tasa anual de 1.51 consultas por cada habitante, para los casos de EDAS presentaron 0.32 consultas por cada habitantes, así también para los casos de dermatitis se reportaron 0.04 consultas por cada habitante y 0.01 consultas por cada habitante para casos de dermatitis. Para los pobladores mayores a 5 años los casos de IRAS presentaron 0.30 consultas por cada habitante, para los casos de EDAS se registró 0.04 consultas por cada habitante y 0.01 consultas por cada habitante para el caso de conjuntivitis.

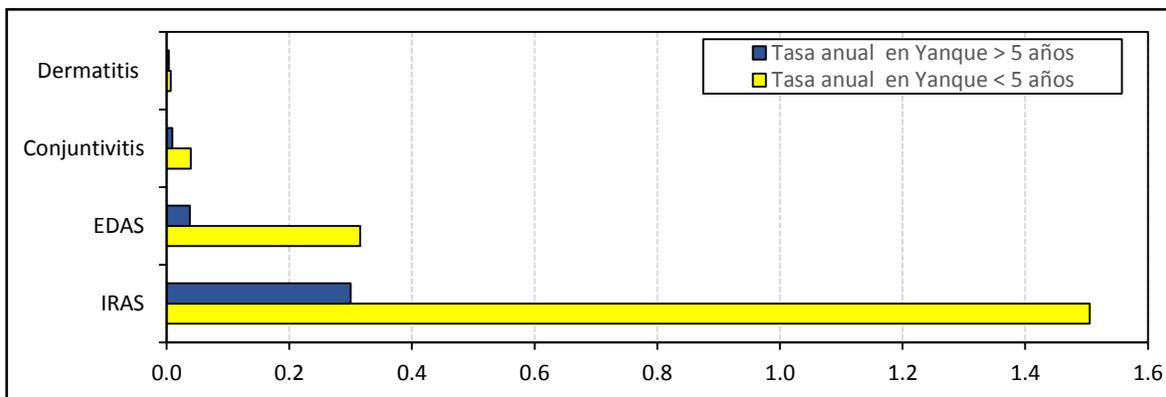


Figura 34: Promedio de tasa anual entre el 2015 al 2020 de casos atendidos de IRAS, EDAS, dermatitis y conjuntivitis de menores y mayores a 5 años del centro de salud de Yanque y sus anexos.

4.2 Micro Red de Salud de Ciudad de Dios

La Micro Red de salud de Ciudad de Dios comprende los poblados de Huanca, Lluta y anexos los cuales se ubican al sur y suroeste del volcán Sabancaya. Se calculó el promedio de tasa anual de casos de IRAS, EDAS, conjuntivitis y dermatitis para cada centro de salud desde el 2015 al 2020.

4.2.1 Promedio de tasa anual en el centro de salud de Huanca

Según la figura 35, para los pobladores menores a 5 años los casos de IRAS reportados alcanzaron un promedio de tasa anual de 1.45 consultas por cada habitante, para los casos de EDAS se tuvieron 0.17 consultas por cada habitantes, así también para los casos de dermatitis se reportaron 0.03 consultas por cada habitante y 0.01 consultas por cada habitante para casos de dermatitis. Para los pobladores mayores a 5 años los casos de IRAS presentaron 0.24 consultas por cada habitante, para los casos de EDAS se registró 0.02 consultas por cada habitante y 0.01 consultas por cada habitante para el caso de conjuntivitis.

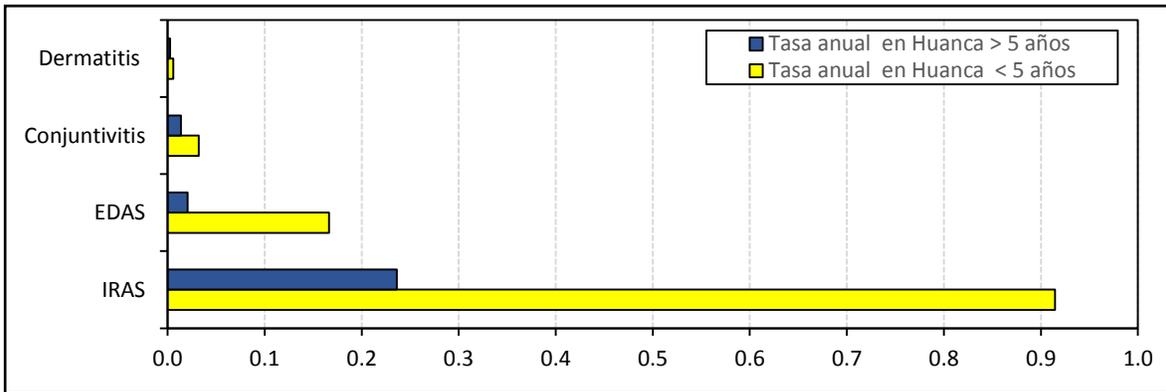


Figura 35: Promedio de tasa anual entre el 2015 al 2020 de casos atendidos de IRAS, EDAS, dermatitis y conjuntivitis de menores y mayores a 5 años del centro de salud de Huanca.

4.2.2 Promedio de tasa anual en el centro de salud de Lluta

Según la figura 36, para los pobladores menores a 5 años los casos de IRAS reportados alcanzaron un promedio de tasa anual de 0.91 consultas por cada habitante, para los casos de EDAS presentaron 0.12 consultas por cada habitantes, así también para los casos de dermatitis se reportaron 0.04 consultas por cada habitante y 0.01 consultas por cada habitante para casos de dermatitis. Para los pobladores mayores a 5 años los casos de IRAS presentaron 0.25 consultas por cada habitante, para los casos de EDAS se registró 0.04 consultas por cada habitante y 0.01 consultas por cada habitante para el caso de conjuntivitis.

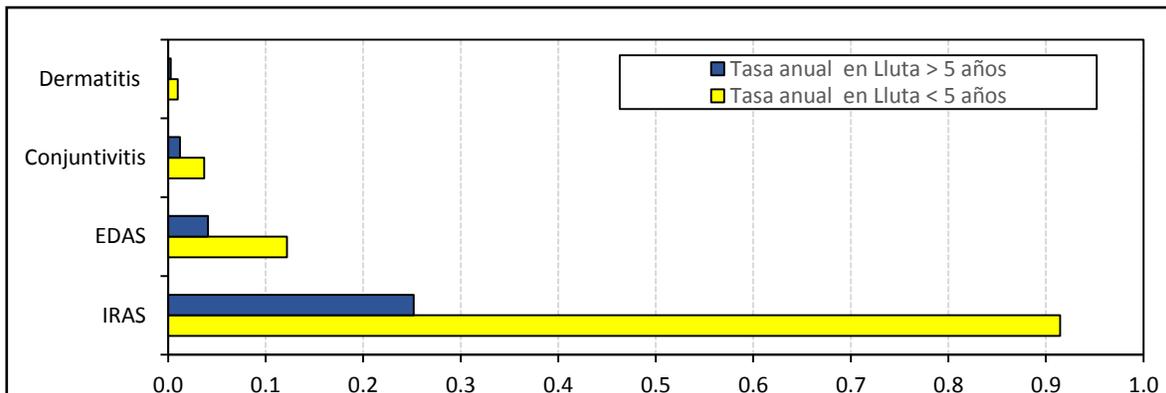


Figura 36: Promedio de tasa anual entre el 2015 al 2020 de casos atendidos de IRAS, EDAS, dermatitis y conjuntivitis de menores y mayores a 5 años del centro de salud de Lluta y anexos.

4.3 Micro Red de Salud de Cabanaconde

La Micro Red de salud de Cabanaconde que comprende los poblados de Cabanaconde, Tapay, Huambo, Choco y anexos los cuales se ubican al N, NO y O del volcán Sabancaya.

Se calculó el promedio de tasa anual de casos de IRAS, EDAS, conjuntivitis y dermatitis para cada centro de salud desde el 2015 al 2020.

4.3.1 Promedio de tasa anual en el centro de salud de Cabanaconde

Según la figura 37, para los pobladores menores a 5 años los casos de IRAS reportados alcanzaron un promedio de tasa anual de 1.88 consultas por cada habitante, para los casos de EDAS se tuvieron 0.41 consultas por cada habitantes, así también para los casos de dermatitis se reportaron 0.10 consultas por cada habitante y 0.03 consultas por cada habitante para casos de dermatitis. Para los pobladores mayores a 5 años los casos de IRAS presentaron 0.29 consultas por cada habitante, para los casos de EDAS se registró 0.06 consultas por cada habitante, para los casos de conjuntivitis alcanzo 0.02 consultas por cada habitante y 0.01 consultas por cada habitante para el caso de dermatitis.

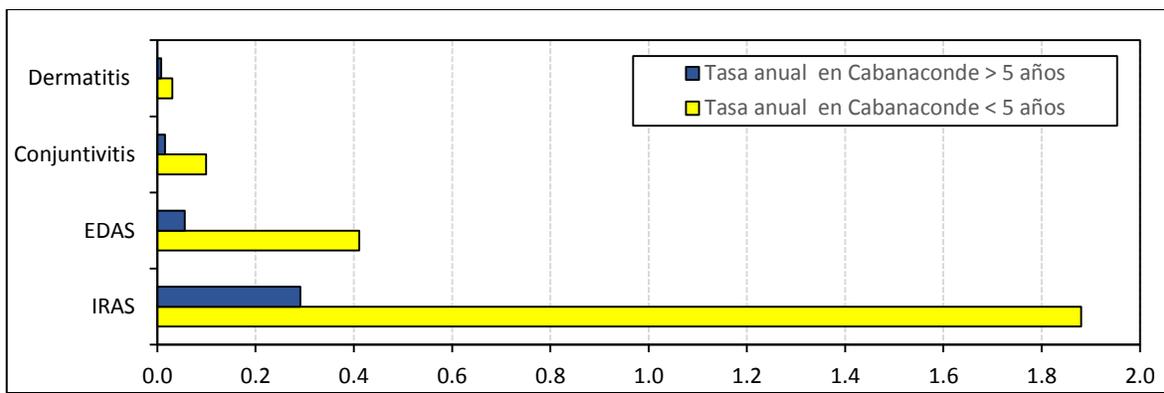


Figura 37: Promedio de tasa anual entre el 2015 al 2020 de casos atendidos de IRAS, EDAS, dermatitis y conjuntivitis de menores y mayores a 5 años del centro de salud de Cabanaconde y anexos.

4.3.2 Promedio de tasa anual en el centro de salud de Tapay

Según la figura 38, para los pobladores menores a 5 años los casos de IRAS reportados alcanzaron un promedio de tasa anual de 2.18 consultas por cada habitante, para los casos de EDAS presentaron 0.49 consultas por cada habitantes, así también para los casos de dermatitis se reportaron 0.04 consultas por cada habitante y 0.01 consultas por cada habitante para casos de dermatitis. Para los pobladores mayores a 5 años los casos de IRAS presentaron 0.06 consultas por cada habitante, para los casos de EDAS se registró 0.10 consultas por cada habitante y 0.02 consultas por cada habitante para el caso de conjuntivitis.

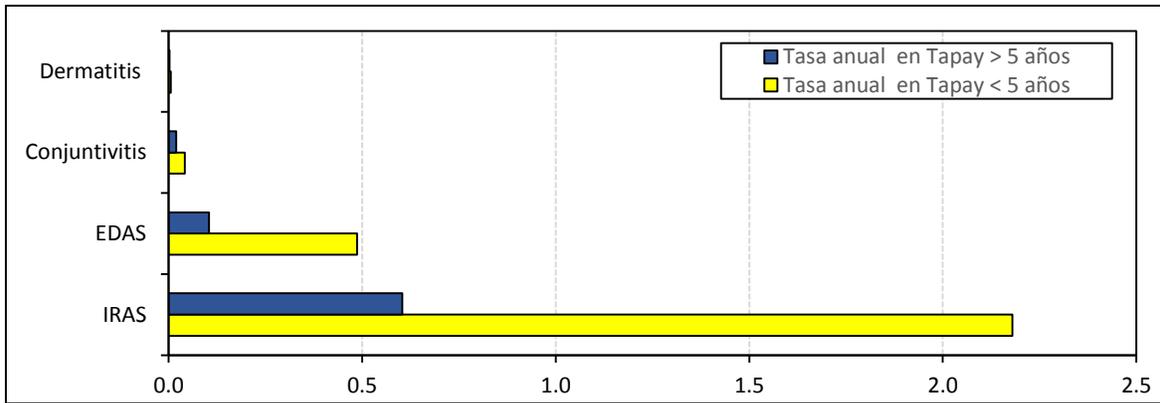


Figura 38: Promedio de tasa anual entre el 2015 al 2020 de casos atendidos de IRAS, EDAS, dermatitis y conjuntivitis de menores y mayores a 5 años del centro de salud distrito de Tapa y anexos.

4.3.3 Promedio de tasa anual en el centro de salud de Huambo

Según la figura 39, para los pobladores menores a 5 años los casos de IRAS reportados alcanzaron un promedio de tasa anual de 1.31 consultas por cada habitante, para los casos de EDAS se tuvieron 0.34 consultas por cada habitantes, así también para los casos de dermatitis se reportaron 0.02 consultas por cada habitante y 0.01 consultas por cada habitante para casos de dermatitis. Para los pobladores mayores a 5 años los casos de IRAS presentaron 0.39 consultas por cada habitante, para los casos de EDAS se registró 0.10 consultas por cada habitante, para los casos de conjuntivitis alcanzo 0.02 consultas por cada habitante y 0.01 consultas por cada habitante para el caso de dermatitis

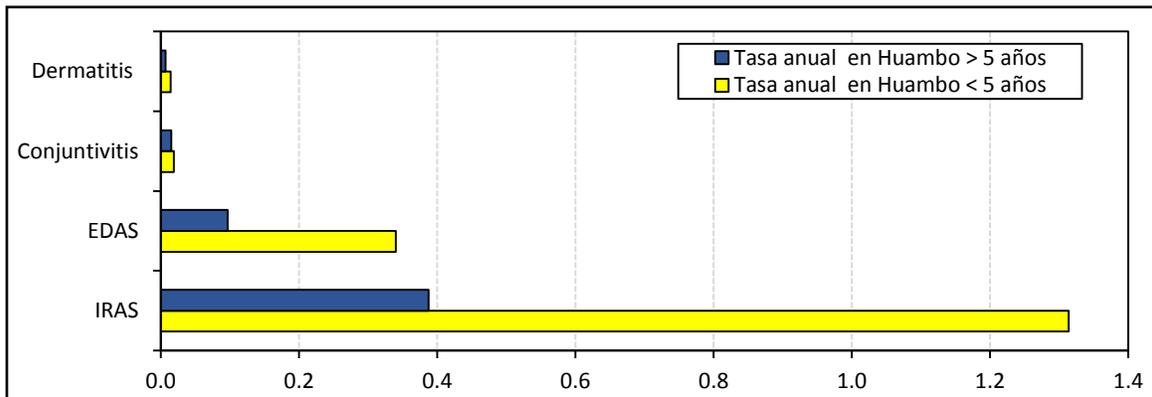


Figura 39: Promedio de tasa anual entre el 2015 al 2020 de casos atendidos de IRAS, EDAS, dermatitis y conjuntivitis de menores y mayores a 5 años del centro de salud de Huambo y anexos.

5 IMPACTO DE LAS CENIZAS DEL EN LA SALUD

Para el análisis anual se calculó el promedio de la tasa anual (número de casos/número de habitantes) de casos de IRAS, EDAS, conjuntivitis y dermatitis entre el 2015 al 2020 para correlacionar con los parámetros mencionados anteriormente.

5.1 Análisis anual de casos de IRAS, EDAS, conjuntivitis y dermatitis según Micro Red de Salud

En el 2015 se registró un total de 44 065 eventos sísmicos asociados principalmente al fracturamiento de roca y a la actividad de gases y fluidos en el interior del volcán Sabancaya, con emisiones de gases y vapor de agua de hasta 2000 msc en dirección noroeste y sureste sin presencia de ceniza, por esta razón el promedio de tasa anual de IRAS, EDAS, conjuntivitis, dermatitis no están relacionadas con la actividad volcánica.

En el 2016 el 06 de noviembre inicio el proceso eruptivo en el volcán Sabancaya con la ocurrencia de continuas explosiones con energías sísmicas de hasta 17 MJ (Megajoules), con emisiones de gases y vapor de agua de hasta 4,500 msc en dirección predominante al sur-sureste, noreste- norte y 69 % de partículas menores a 32 micras. De acuerdo con los parámetros se identificó el mayor promedio de tasa anual de casos de IRAS en la Micro Red de Salud de Chivay con 1.98 c/h en personas <5 años con altas tasas de casos en el poblado de Achoma, para pobladores > 5 años el mayor promedio de tasa anual fue de 0.50 c/h en la Micro Red de Salud de Cabanaconde con altas tasas de casos en el poblado de Tapay. El mayor promedio de tasa anual de casos de Conjuntivitis lo presentó la Micro Redes de Salud de Chivay y Cabanaconde con 0.04 c/h en personas <5 años con altas tasas de casos en los poblados de Achoma y Cabanaconde respectivamente, para pobladores >5 años el mayor promedio de tasa anual fue de 0.02 c/h en la Micro Red de Salud de Chivay con altas tasas de casos en los poblados de Achoma y Cabanaconde respectivamente. El mayor promedio de tasa anual de casos de dermatitis lo presentó la Micro Red de salud de Chivay con 0.02 c/h en personas <5 con altas tasas de casos en el poblado de Madrigal, para pobladores >5 años el mayor promedio de tasa anual fue de 0.01 c/h en la Micro Red de Salud Chivay con altas tasas de casos en el poblado de Ichupampa.

En el 2017 el volcán Sabancaya presento un comportamiento moderado, caracterizado por explosiones con energías que alcanzaron los 49 MJ (Megajoules), sin embargo, generaron importantes columnas eruptivas de gases y considerable contenido de ceniza, con columnas que alcanzaron hasta 5,500 msc en dirección predominante al sur, noroeste, oeste y sureste, y 13 % de partículas menores a 32 micras. De acuerdo con los parámetros se identificó el mayor promedio de tasa anual de casos de IRAS en la Micro Red de Salud de Chivay con 2.72 c/h en personas <5 años con altas tasas de casos en el poblado de Coporaque, para los pobladores >5 años el mayor promedio de tasa anual fue de 0.41 c/h en Micro Red de salud de Chivay con altas tasas de casos en el poblado de Coporaque. El mayor promedio de tasa anual de casos de EDAS lo presentó la Micro Red de Salud de Cabanaconde con 0.61 c/h en personas <5 años con altas tasas de casos en el poblado de Tapay, para los pobladores >5 años el mayor promedio de tasa anual fue de 0.08 c/h en la Micro Red de salud de Cabanaconde con altas tasas de casos en el poblado de Tapay. El mayor promedio de tasa anual de casos de Conjuntivitis lo presentó la Micro Red de Salud de Chivay con 0.11 c/h en personas <5 años con altas tasas de casos en los poblados de

Ichupampa, para los pobladores >5 años el mayor promedio de tasa anual fue de 0.02 c/h en la Micro Red de salud de Chivay con altas tasas de casos en los poblados de Coporaque e Ichupampa. El mayor promedio de tasa anual de casos de dermatitis lo presentó la Micro Red de Salud de Chivay con 0.07 c/h en personas <5 años con altas tasas de casos en el poblado de Ichupampa, para los pobladores >5 años el mayor promedio de tasa anual fue de 0.02 c/h en la Micro Red de salud de Chivay con altas tasas de casos en el poblado de Ichupampa.

En el 2018 mostraron un comportamiento de moderado (explosiones de 2 a 3 MJ) a leve (explosiones < 2 MJ), dichas explosiones generaron importantes columnas eruptivas de ceniza, gases y vapor de agua, con columnas que alcanzaron hasta 4500 msc en dirección predominante al este y con 6 % de partículas menores a 32 micras. El mayor promedio de tasa anual de casos de IRAS lo presento la Micro Red de Salud de Chivay con 2.66 c/h menores a 5 años con altas tasas de casos en el poblado de Coporaque, para los pobladores mayores a 5 años el mayor promedio de tasa anual fue de 0.54 c/h lo presento la Micro Red de salud de Chivay con altas tasas de casos en el poblado de Madrigal. El mayor promedio de tasa anual de casos de EDAS lo presento la Micro Red de Salud de Chivay con 0.46 c/h menores a 5 años con altas tasas de casos en el poblado de Ichupampa, para los pobladores mayores a 5 años el mayor promedio de tasa anual fue de 0.09 c/h lo presento la Micro Red de salud de Chivay con altas tasas de casos en los poblados de Achoma e Ichupampa. El mayor promedio de tasa anual de casos de Conjuntivitis lo presento la Micro Red de Salud de Cabanaconde con 0.07 c/h menores a 5 años con altas tasas de casos en los poblados de Cabanaconde, para los pobladores mayores a 5 años el mayor promedio de tasa anual fue de 0.02c/h lo presentaron la Micro Red de salud de Chivay con altas tasas de casos en los poblados de Achoma, Ichupampa y Maca. El mayor promedio de tasa anual de casos de dermatitis lo presento la Micro Red de Salud de Chivay con 0.03 c/h menores a 5 años con altas tasas de casos en el poblado de Ichupampa, para los pobladores mayores a 5 años el mayor promedio de tasa anual fue de 0.01 c/h lo presentaron la Micro Red de salud de Chivay con altas tasas de casos en el poblado de Ichupampa, y la Micro Red de Salud de Cabanaconde con una tasa anual de 0.01 c/h con altas tasas de casos en el poblado de Cabanaconde.

En el 2019 la actividad explosiva mostró un incremento importante comparable con el inicio del proceso eruptivo y significativamente alto, respecto a los años 2017 y 2018, tanto en número como en energía sísmica liberada, las energías que presentaron estas señales fueron de hasta 6.0 MJ y desplazamiento reducidos que oscilaron entre 0 y 273 cm², con columnas que alcanzaron hasta 3700 msc en dirección predominante al sureste y con 12 % de partículas menores a 32 micras. El mayor promedio de tasa anual de casos de IRAS lo presento la Micro Red de Salud de Chivay con 1.87 c/h menores a 5 años con altas tasas de casos en el poblado de Achoma, para los pobladores mayores a 5 años el mayor promedio de tasa anual fue de 0.48 c/h lo presentaron la Micro Red de salud de Chivay con altas tasas de casos en el poblado de Achoma y la Micro Red de Salud de Cabanaconde con una tasa anual de 0.02 c/h con altas tasas de casos en el poblado de Huambo. El mayor promedio de tasa anual de casos de EDAS lo presento la Micro Red de Salud de Cabanaconde con 0.18 c/h menores a 5 años con altas tasas de casos en el poblado de Huambo, para los pobladores mayores a 5 años el mayor promedio de tasa anual fue de

0.08 c/h lo presento la Micro Red de salud de Cabanaconde con altas tasas de casos en el poblado de Huambo. El mayor promedio de tasa anual de casos de Conjuntivitis lo presentaron la Micro Red de Salud de Cabanaconde con 0.03 c/h menores a 5 años con altas tasas de casos en los poblados de Cabanaconde y la Micro Red de Salud de Chivay con 0.03 c/h menor a 5 años con altas tasas de casos en los poblados de Chivay y Yanque, para los pobladores mayores a 5 años el mayor promedio de tasa anual fue de 0.02 c/h lo presentaron la Micro Red de salud de Chivay con altas tasas de casos en los poblados de Ichupampa y Maca, la Micro Red de Salud de Ciudad de Dios con altas tasas de casos en el poblado de Lluta, así también en el la Micro Red de Salud de Cabanaconde con mayor tasa de casos en los poblados de Huambo y Tapay. El mayor promedio de tasa anual de casos de dermatitis lo presento la Micro Red de Salud de Chivay con 0.02 c/h menores a 5 años con altas tasas de casos en los poblados de Ichupampa y Madrigal, para los pobladores mayores a 5 años el mayor promedio de tasa anual fue de 0.01 c/H lo presentaron la Micro Red de salud de Chivay con altas tasas de casos en el poblado de Ichupampa.

En el 2020 se registró un total de 7059 explosiones con energía que promedio de 1002 MJ (Megajoules), con columnas que alcanzaron hasta 2400 msc en dirección predominante al sureste y con 15 % de partículas menores a 32 micras. El mayor promedio de tasa anual de casos de IRAS lo presento la Micro Red de Salud de Chivay con 0.43 c/h habitante menores a 5 años con altas tasas de casos en el poblado de Achoma, para los pobladores mayores a 5 años el mayor promedio de tasa anual fue de 0.14 c/h lo presentaron la Micro Red de salud de Chivay con altas tasas de casos en el poblado de Achoma. El mayor promedio de tasa anual de casos de EDAS lo presento la Micro Red de Salud de Chivay con 0.16 c/h menores a 5 años con altas tasas de casos en el poblado de Ichupampa, para los pobladores mayores a 5 años el mayor promedio de tasa anual fue de 0.03 c/h lo presento la Micro Red de salud de Chivay con altas tasas de casos en el poblado de Achoma. El mayor promedio de tasa anual de casos de Conjuntivitis lo presento la Micro Red de Salud de Cabanaconde con 0.06 c/h menores a 5 años con altas tasas de casos en el poblado de Cabanaconde, para los pobladores mayores a 5 años el mayor promedio de tasa anual fue de 0.01 c/h lo presentaron la Micro Red de salud de Chivay con altas tasas de casos en los poblados de Achoma e Ichupampa, la Micro Red de Salud de Ciudad de Dios con altas tasas de casos en el poblado de Huanca, así también en el la Micro Red de Salud de Cabanaconde con mayor tasa de casos en los poblados de Huambo, Cabanaconde, Tapay y Choco. El mayor promedio de tasa anual de casos de dermatitis lo presento la Micro Red de Salud de Chivay con 0.02 c/h menores a 5 años con altas tasas de casos en el poblado de Madrigal y la Micro Red de Salud de Cabanaconde con 0.02 c/h menores a 5 años con altas tasas de casos en el poblado de Cabanaconde, para los pobladores mayores a 5 años el mayor promedio de tasa anual fue de 0.01 c/h lo presentaron la Micro Red de salud de Chivay con altas tasas de casos en el poblado de Ichupampa y la Micro Red de Salud de Cabanaconde con altas tasas de casos en el poblado de Choco.

5.2 Análisis mensual de casos de IRAS, EDAS, conjuntivitis y dermatitis

Se correlaciono la energía de las explosiones, altura de las emisiones y el clima de la zona con el número de casos de IRAS, EDAS, conjuntivitis y dermatitis en pobladores mayores

y menores a 5 años entre los años 2015 al 2020, para identificar cuáles fueron los meses donde la ceniza emitida afecto a la salud de la población. Para comprender el impacto que tuvo la ceniza, los datos se clasifco de la siguiente manera: la línea rosada indica el número de casos reportados por la Red de Salud de Ciudad de Dios por mes, la línea de color amarillo muestra el número de casos de la Micro red de Salud de Cabanaconde y la línea de color morado son los casos de la Micro Red de salud de Chivay. Mientras que la temporada de heladas esta sombreada de color amarillo y la temporada de fuertes precipitaciones esta de color verde; los periodos donde se identificó correlación de la actividad volcánica con el número de casos reportados esta sombreada de color rojo:

5.2.1 Casos de IRAS en población mayor a 5 años

Según la Figura 41, se identificó el aumento de casos de IRAS en personas > 5 años relacionada con la ceniza volcánica en los siguientes meses: En el 2017 durante los meses de mayo a agosto (sombreada de color rojo) se incrementó los casos debido a explosiones con energías que alcanzaron los 44 MJ (muy alta energía) y columnas que llegaron hasta 5500 msc en dirección este, noreste y sur, posiblemente afectando a los poblados de Achoma, Huanca y Lluta. Durante el 2019 se idéntico incremento de casos en los meses de abril a junio (sombreada de color rojo) a causa de explosiones con energías de hasta 56 MJ (muy alta energía) y columnas que alcanzaron 3800 msc en dirección sureste afectando a los anexos de Sallalli, así mismo entre los meses de agosto a octubre (sombreada de color rojo) hubo incremento debido a explosiones que alcanzaron 82 MJ (muy alta energía) y alturas que llegaron a 4400 en dirección noroeste, noreste, sureste y suroeste, posiblemente afectando a los poblados de Achoma, Maca, Madrigal, Ichupampa. También se identificó aumento de casos de IRAS en los meses de enero a abril 2018 debido a la temporada de fuertes precipitaciones (sombreado de color verde), así también durante los meses de mayo a diciembre del 2018 y junio a agosto del 2019 debido a la temporada de heladas (sombreado de color amarillo).

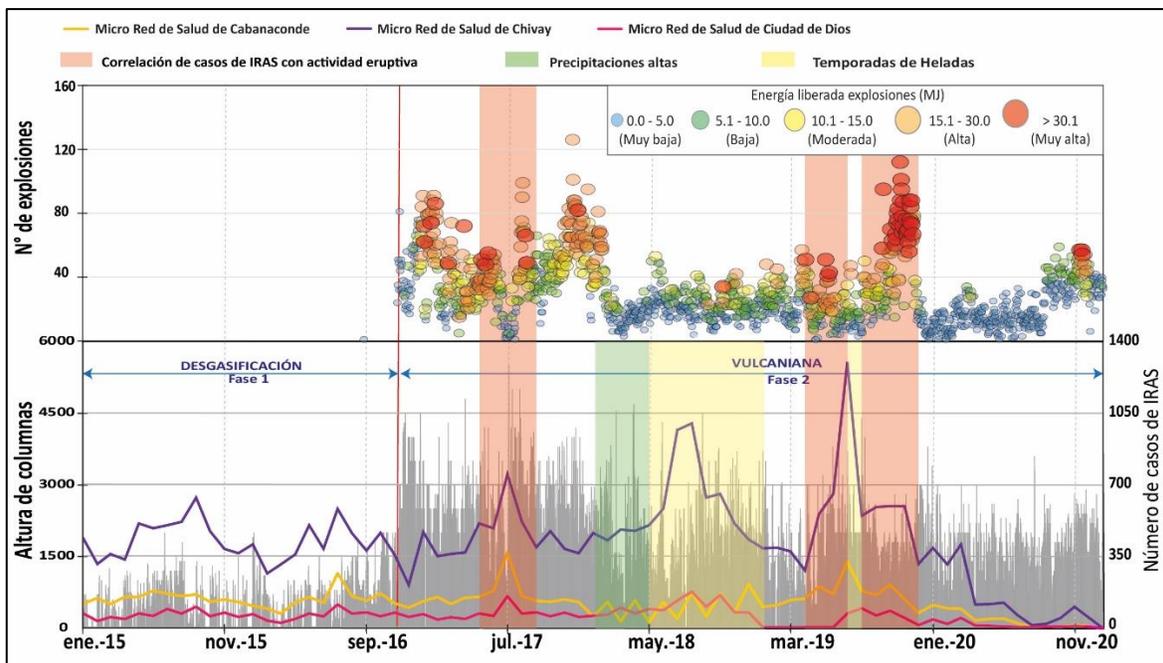


Figura 40: Muestra el número de casos de IRAS en personas > 5 años reportados en las Micro Redes de Salud de Ciudad de Dios (línea rosada), Cabanaconde (línea de color amarillo) y Chivay (línea de color morado), los cuales se correlacionaron con las temporadas de heladas (sombreada de color amarilla), precipitaciones (sombreado de color verde) y actividad volcánica (sombreado de color rojo).

5.2.2 Casos de IRAS en población menor a 5 años

Según el grafico 42 se identificó el aumento de casos de IRAS en personas > 5 años relacionada con la ceniza volcánica en los siguientes meses: En el 2017 se registró un aumento de casos en los meses de abril a julio (sombreada de color rojo) debido a explosiones con energía que alcanzaron 34 MJ (muy alta energía) y columnas que llegaron a 5500 msc en dirección este y sur, posiblemente afectando al poblado de Huanca. En el 2019 se registró aumento de casos en el mes de abril (sombreada de color rojo) debido a explosiones con energía que alcanzaron 34 MJ (muy alta energía) y columnas que llegaron a 3000 msc en dirección sureste, posiblemente afectando a los anexos de Achoma; este aumento también se registró en los meses de octubre a noviembre (sombreada de color rojo) debido a explosiones con energías que alcanzaron 88 MJ (muy alta energía) y columnas que llegaron a 3000 msc en dirección suroeste y sureste, posiblemente afectando al poblado de Achoma, Maca, Madrigal e Ichupampa. Así también se identificó aumento de casos en los meses noviembre del 2017 a abril del 2018 debido a la temporada de fuertes precipitaciones (sombreado de color verde), durante noviembre del 2017 a marzo del 2018, mayo a noviembre 2018 y mayo a octubre 2019 debido a la temporada de heladas (sombreado de color amarillo).

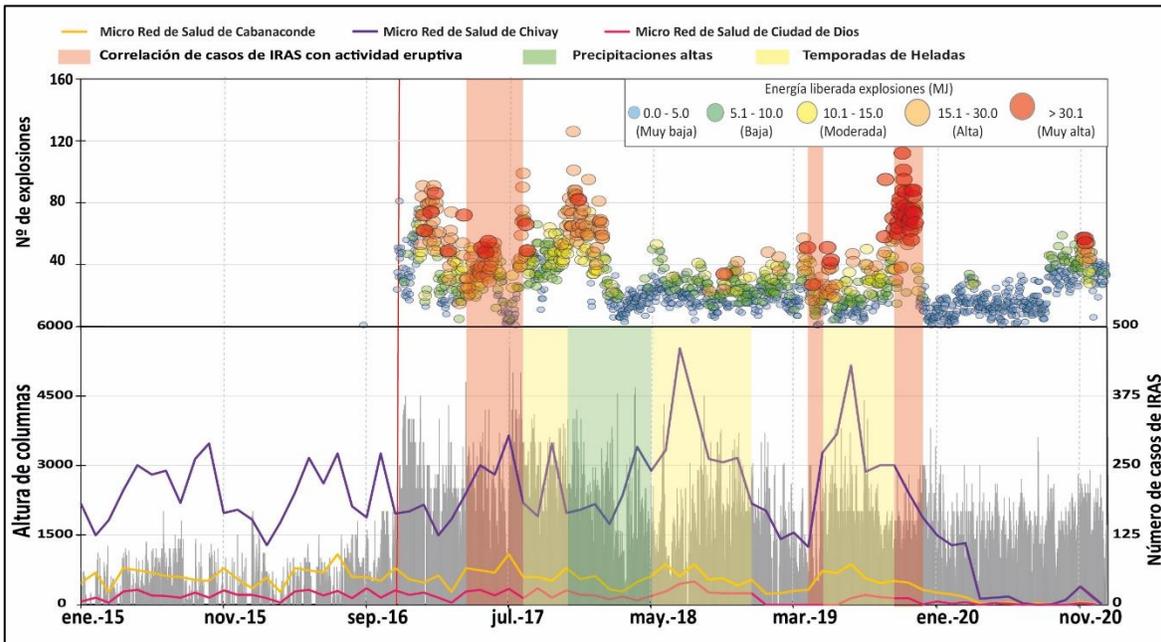


Figura 41: Muestra el número de casos de IRAS en personas < 5 años reportados en las Micro Redes de Salud de Ciudad de Dios (línea rosada), Cabanaconde (línea de color amarillo) y Chivay (línea de color morado), los cuales se correlacionaron con las temporadas de heladas (sombreada

de color amarilla), precipitaciones (sombreado de color verde) y actividad volcánica (sombreado de color rojo).

5.2.3 Casos de EDAS en población mayor a 5 años

Según la figura 43 se identificó el aumento de casos de EDAS en personas > 5 años relacionada con la ceniza volcánica en los siguientes meses: En el 2017 se identificó un incremento de casos entre enero a febrero (sombreada de color rojo) debido a explosiones con energía de hasta 50 MJ (muy alta energía) con columnas que alcanzaron 4300 msc en dirección noroeste y oeste, posiblemente afectando a poblados de Huambo, Cabanaconde y Tapay; esto también se identificó en los meses de junio a julio (sombreada de color rojo) a causa de explosiones con energía 26 MJ (alta energía) y columnas que alcanzan 5500 msc en dirección sur y suroeste, posiblemente afectando a los poblados de Huanca y Lluta. En el 2019 se presentaron aumento de casos durante los meses de enero a mayo (sombreada de color rojo) con energía de explosiones de hasta 56 MJ (muy alta energía) y altura de columnas que alcanzaron 3800 msc en dirección noreste y suroeste posiblemente afectando a los poblados de Lluta; igualmente en los meses de julio a noviembre (sombreada de color rojo) se presentó explosiones con energía de hasta 88 MJ (muy alta energía) y columnas que alcanzaron 4400 msc en dirección sureste, suroeste, noreste y noroeste posiblemente afectando a los poblados de Achoma, Maca, Madrigal, Ichupampa. Así también se identificó aumento de casos durante los meses de noviembre del 2017 a abril 2018 y diciembre 2019 a marzo 2020 debido a la temporada de fuertes precipitaciones (sombreado de color verde), durante septiembre a octubre del 2017 y mayo a diciembre del 2018 debido a la temporada de heladas (sombreado de color amarillo).

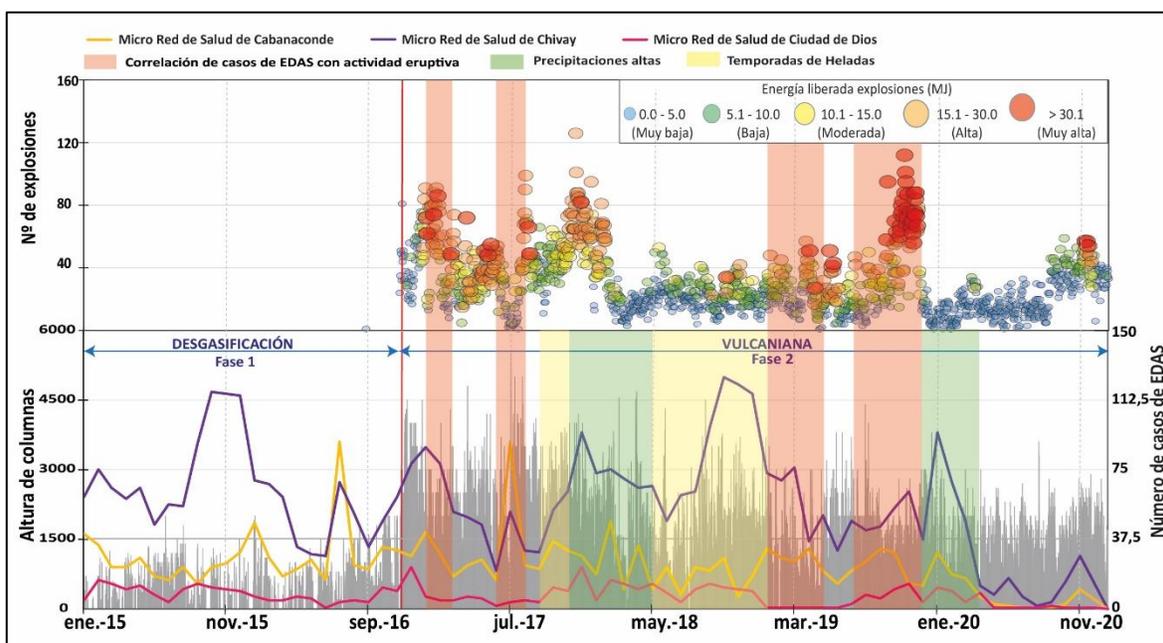


Figura 42: Muestra el número de casos de EDAS en personas > 5 años reportados en las Micro Redes de Salud de Ciudad de Dios (línea rosada), Cabanaconde (línea de color amarillo) y Chivay (línea de color morado), los cuales se correlacionaron con las temporadas de heladas (sombreada

de color amarilla), precipitaciones (sombreado de color verde) y actividad volcánica (sombreado de color rojo).

5.2.4 Casos de EDAS en población menor a 5 años

Según los gráficos 44 se identificó el aumento de casos de EDAS en personas < 5 relacionada con la ceniza volcánica en los siguientes meses: En el 2017 entre los meses de enero a abril (sombreada de color rojo) la energía de explosiones alcanzo 50 MJ (muy alta energía) con columnas que llegaron a los 4800 msc en dirección noroeste y oeste, posiblemente afectando a los poblados Huambo, Cabanaconde y Tapay. En el 2019 el aumento de casos se registró en los meses de enero a junio (sombreada de color rojo) debido a explosiones con energía de hasta 56 MJ (muy alta energía) con columnas que llegaron 3800 msc en dirección suroeste, noroeste y sureste, posiblemente afectando al poblado de Lluta, de la misma manera en los meses de septiembre a noviembre (sombreada de color rojo) debido a explosiones con energía 88 MJ (muy alta energía) con columnas que alcanzaron 4200 msc en dirección noroeste, sureste, suroeste y noreste afectando a los poblados Achoma, Maca, Madrigal e Ichupampa. Así también se identificó aumento de casos en los meses de octubre del 2017 a abril del 2018 y diciembre del 2019 a febrero del 2020 debido a la temporada de fuertes precipitaciones (sombreado de color verde), durante los meses de mayo a octubre 2017, mayo a diciembre del 2018 y julio a agosto del 2019 debido a la temporada de heladas (sombreado de color amarillo).

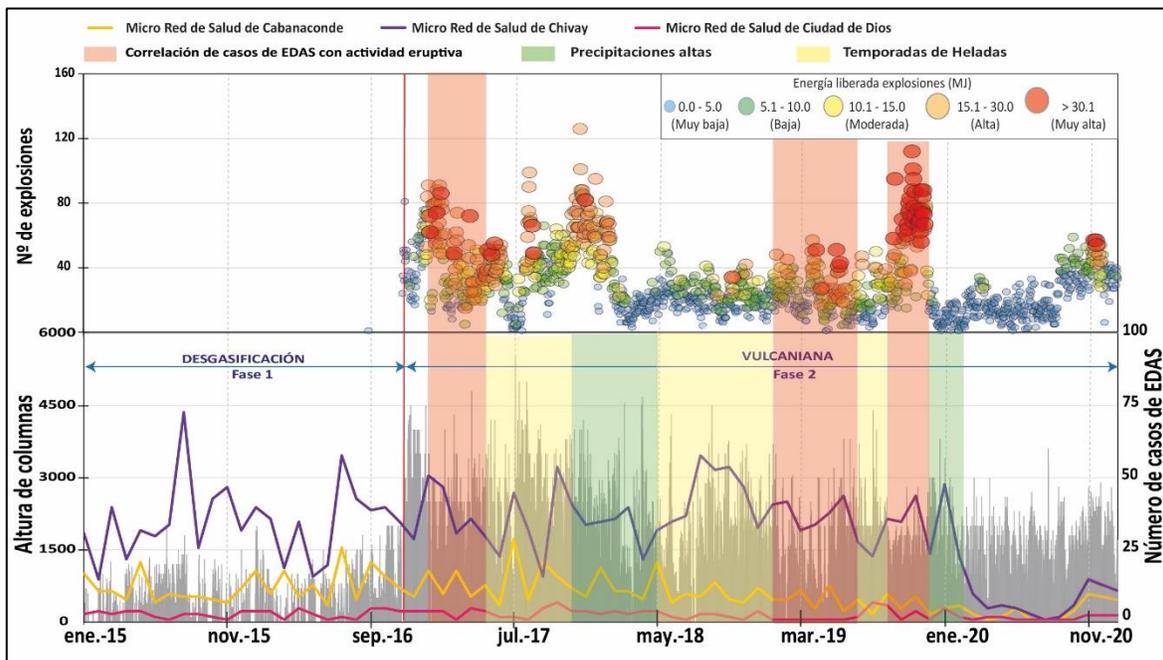


Figura 43: Muestra el número de casos de EDAS en personas < 5 años reportados en las Micro Redes de Salud de Ciudad de Dios (línea rosada), Cabanaconde (línea de color amarillo) y Chivay (línea de color morado), los cuales se correlacionaron con las temporadas de heladas (sombreada de color amarillo), precipitaciones (sombreado de color verde) y actividad volcánica (sombreado de color rojo).

5.2.5 Casos de conjuntivitis en población mayor a 5 años

Según la figura 45 se identificó el aumento de casos de conjuntivitis en personas > 5 años relacionada con la ceniza volcánica en los siguientes meses: Durante el 2017 entre los meses de enero a julio (sombreado de color rojo) se incrementaron los casos debido a explosiones con energías de hasta 50 MJ (muy alta energía) y alturas de columnas que alcanzaron 5500 msc en dirección noroeste, oeste, sur y este, posiblemente afectando a los poblados Huambo, Cabanaconde, Tapay y Huanca. En el 2019 los casos incrementaron en los meses de enero a noviembre (sombreado de color rojo) debido a energía de explosiones de hasta 88 MJ (muy alta energía) con altura de columnas que alcanzaron 4400 msc con dirección al noroeste, noreste, suroeste y sureste, posiblemente afectando a los poblados de Lluta, Achoma, Maca y Madrigal. Así también se identificó aumento de casos en los meses de noviembre a diciembre del 2017, mayo a diciembre del 2018 y enero a abril del 2020 debido a la temporada de fuertes precipitaciones (sombreado de color verde), durante agosto a noviembre del 2017, marzo a diciembre del 2018, enero del 2019 y mayo a junio del 2020 debido a la temporada de heladas (sombreado de color amarillo).

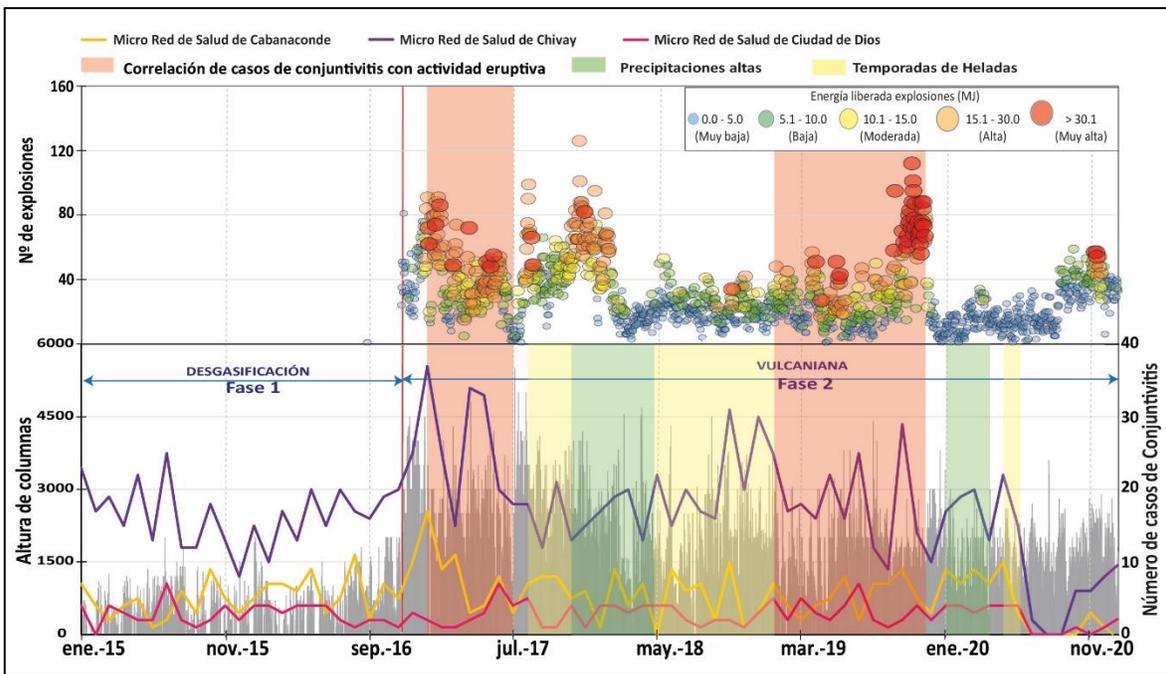


Figura 44: Muestra el número de casos de conjuntivitis en personas > 5 años reportados en las Micro Redes de Salud de Ciudad de Dios (línea rosada), Cabanaconde (línea de color amarillo) y Chivay (línea de color morado), los cuales se correlacionaron con las temporadas de heladas (sombreada de color amarilla), precipitaciones (sombreado de color verde) y actividad volcánica (sombreado de color rojo).

5.2.6 Casos de conjuntivitis en población menor a 5 años

Según la figura 46 se identificó el aumento de casos de conjuntivitis en personas < 5 años relacionada con la ceniza volcánica en los siguientes meses: En el 2017 se identificó

aumento de casos en los meses de enero a junio (sombreada de color rojo) debido a explosiones con energías alcanzaron 50 MJ (muy alta energía) y columnas que llegaron a 4800 msc en dirección noroeste y oeste posiblemente afectando a los poblados Huambo, Cabanaconde, Tapay y Huanca. En el 2019 el aumento de casos se registró en el mes de enero (sombreada de color rojo) debido a explosiones con energía de hasta 20 MJ (alta energía) y columnas que alcanzaron 3700 msc en dirección suroeste y noreste afectando al poblado de Lluta, así mismo se registró un aumento de casos durante los meses de abril a diciembre (sombreada de color rojo) debido a explosiones con energía de 88 MJ (muy alta energía) y columnas que llegaron a 4400 msc en dirección sureste, noroeste, suroeste y noreste afectando al poblado de Huambo, Achoma, Maca, Madrigal. Así también se identificó aumento de casos en los meses de noviembre del 2017 a abril del 2018 y enero a marzo del 2020 temporada de fuertes precipitaciones (sombreado de color verde), durante febrero a octubre del 2017, mayo a diciembre del 2018 y abril a junio del 2020 debido a la temporada de heladas (sombreado de color amarillo).

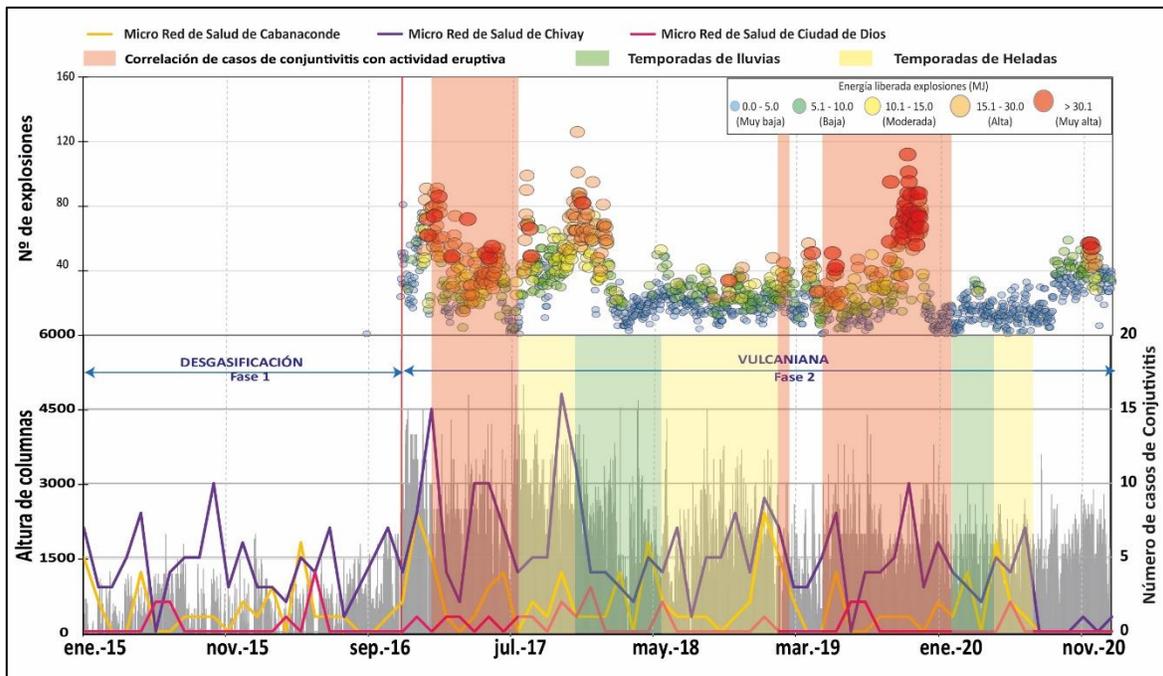


Figura 45: Muestra el número de casos de conjuntivitis en personas < 5 años reportados en las Micro Redes de Salud de Ciudad de Dios (línea rosada), Cabanaconde (línea de color amarillo) y Chivay (línea de color morado), los cuales se correlacionaron con las temporadas de heladas (sombreada de color amarilla), precipitaciones (sombreado de color verde) y actividad volcánica (sombreado de color rojo).

5.2.7 Casos de dermatitis en población mayor a 5 años

Según la figura 47 se identificó el aumento de casos de dermatitis en personas > 5 años en relacionada con la ceniza volcánica en los siguientes meses: Durante el 2017 se identificó aumento de casos en los meses de enero a junio (sombreado de color rojo) debido a explosiones con energía de hasta 56 MJ (muy alta energía) y columnas que llegaron a 5500

msc en dirección noroeste, oeste y este, posiblemente afectando a los poblados de Huambo, Cabanaconde y Tapay. En el 2019 durante el mes de enero (sombreada de color rojo) presento un incremento debido a explosiones con energía de hasta 20 MJ (energía alta) y columnas que alcanzaron 3700 mscn en dirección noreste y suroeste, posiblemente afectación en los poblados de Lluta; igualmente este aumento se presentó entre abril a julio (sombreada de color rojo) con energías de explosiones de hasta 56 MJ (muy alta energía) y columnas que alcanzaron 4400 msc en dirección sureste, noroeste y oeste, posiblemente afectando al poblado de Huambo; el aumento de casos se vio también en octubre (sombreada de color rojo) con explosiones de energía que alcanzaron 82 MJ (muy alta energía) y altura de columnas que llegaron a 2800 msc en dirección noroeste, noreste, sureste y suroeste, posiblemente afectando al poblado de Achoma, Maca, Madrigal. Así también se identificó aumento de casos en los meses de noviembre del 2017 a abril del 2018 y diciembre 2019 a marzo 2020 debido a la temporada de fuertes precipitaciones (sombreado de color verde), durante julio a octubre del 2017, noviembre del 2017 a abril del 2018 y abril a junio del 2020 debido a la temporada de heladas (sombreado de color amarillo).

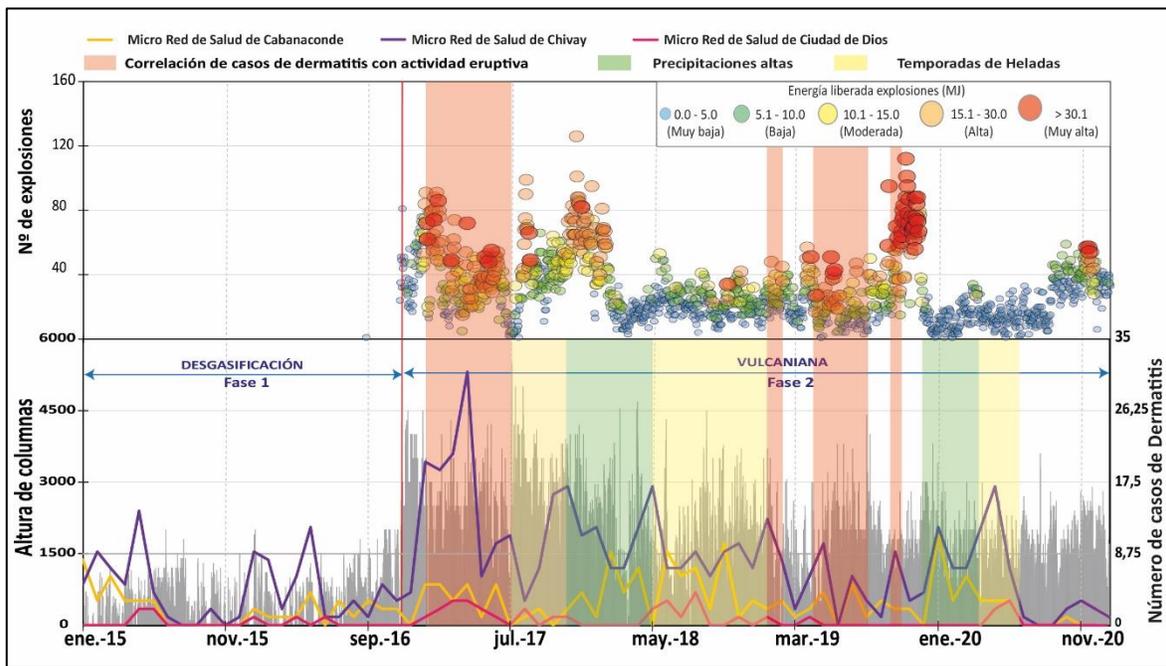


Figura 46: Muestra el número de casos de dermatitis en personas > 5 años reportados en las Micro Redes de Salud de Ciudad de Dios (línea rosada), Cabanaconde (línea de color amarillo) y Chivay (línea de color morado), los cuales se correlacionaron con las temporadas de heladas (sombreada de color amarilla), precipitaciones (sombreado de color verde) y actividad volcánica (sombreado de color rojo).

5.2.8 Casos de dermatitis en población menor a 5 años

Según la figura 48 se identificó el aumento de casos de dermatitis en personas < 5 años en relacionada con la ceniza volcánica en los siguientes: En el 2017 entre los meses de enero

a junio (sombreada de color rojo) se identificó aumento de casos debido a explosiones con energías de hasta 50 MJ (muy alta energía) y columnas que alcanzaron 4800 msc en dirección noroeste, oeste y este, posiblemente afectando a los poblados de Huambo, Cabanaconde y Tapay. En el 2018 el aumento de casos se registró en los meses de noviembre a diciembre (sombreada de color rojo) debido a explosiones con energías de hasta 20MJ (alta energía) y columnas que alcanzaron 3700 msc en dirección sureste, sur, noreste, posiblemente afectando al poblado de Achoma. En el 2019 se identificó un aumento en los meses de enero a junio (sombreada de color rojo) debido a explosiones con energía de hasta 56 MJ (muy alta energía) con columnas que alcanzaron hasta 3800 msc en dirección suroeste, noreste y sureste, posiblemente afectando al poblado Lluta. Así también se identificó aumento de casos en los meses de octubre del 2017 a abril 2018 y enero a marzo 2020 debido a la temporada de fuertes precipitaciones (sombreado de color verde), durante julio a septiembre 2017 y mayo a octubre 2018 debido a las temporadas heladas (sombreado de color amarillo).

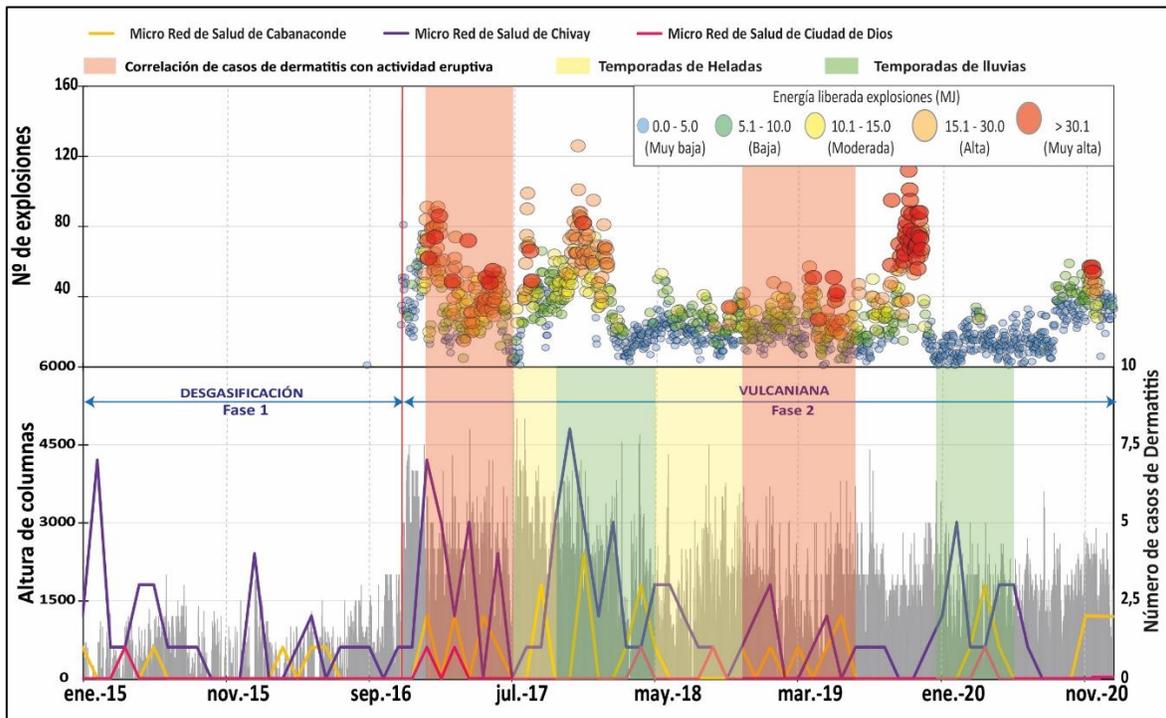


Figura 47: Muestra el número de casos de dermatitis en personas < 5 años reportados en las Micro Redes de Salud de Ciudad de Dios (línea rosada), Cabanaconde (línea de color amarillo) y Chivay (línea de color morado), los cuales se correlacionaron con las temporadas de heladas (sombreada de color amarilla), precipitaciones (sombreado de color verde) y actividad volcánica (sombreado de color rojo).

CONCLUSIONES

1. Se identificó impacto de la ceniza a través de la correlación de la actividad eruptiva con los casos de IRAS en personas mayores a 5 años: En el 2017 durante los meses de mayo a agosto posiblemente afectando a los poblados de Achoma, Huanca y Lluta. Durante el 2019 se idéntico incremento de casos en los meses de abril a junio afectando a los anexos de Sallalli, así mismo entre los meses de agosto a octubre posiblemente afectando a los poblados de Achoma, Maca, Madrigal, Ichupampa.
2. Se identificó impacto de la ceniza a través de la correlación de la actividad eruptiva con los casos de IRAS en personas menores a 5 años: En el 2017 se registró un aumento de casos en los meses de abril a julio posiblemente afectando al poblado de Huanca. En el 2019 se registró aumento de casos en el mes de abril afectando a los anexos de Achoma; este aumento también se registró en los meses de octubre a noviembre, posiblemente afectando al poblado de Achoma, Maca, Madrigal e Ichupampa.
3. Se identificó impacto de la ceniza a través de la correlación de la actividad eruptiva con los casos de EDAS en población mayor a 5 años: En el 2017 se identificó un incremento de casos entre enero a febrero posiblemente afectando a poblados de Huambo, Cabanaconde y Tapay; esto también se identificó en los meses de junio a julio posiblemente afectando a los poblados de Huanca y Lluta. En el 2019 se presentaron aumento de casos durante los meses de enero a mayo posiblemente afectando a los poblados de Lluta; igualmente en los meses de julio a noviembre posiblemente afectando a los poblados de Achoma, Maca, Madrigal, Ichupampa.
4. Se identificó impacto de la ceniza a través de la correlación de la actividad eruptiva con los casos de EDAS en población menor a 5 años: En el 2017 entre los meses de enero a abril posiblemente afectando a los poblados Huambo, Cabanaconde y Tapay. En el 2019 el aumento de casos se registró en los meses de enero a junio principalmente afectando al poblado de Lluta, de la misma manera en los meses de septiembre a noviembre afectando a los poblados Achoma, Maca, Madrigal e Ichupampa.
5. Se observa una correlación de la actividad volcánica con los casos de conjuntivitis en población mayor a 5 años: Durante el 2017 entre los meses de enero a julio posiblemente afectando a los poblados Huambo, Cabanaconde, Tapay y Huanca. En el 2019 los casos incrementaron en los meses de enero a noviembre posiblemente afectando a los poblados de Lluta, Achoma, Maca y Madrigal.
6. Se observa una correlación de la actividad volcánica con los casos de conjuntivitis en población menor a 5 años: En el 2017 se identificó aumento de casos en los meses de enero a junio posiblemente afectando a los poblados Huambo, Cabanaconde, Tapay y Huanca. En el 2019 el aumento de casos se registró en el mes de enero afectando al poblado de Lluta, así mismo se registró un aumento de

casos durante los meses de abril a diciembre afectando al poblado de Huambo, Achoma, Maca, Madrigal.

7. Se observa una correlación de la actividad volcánica con los casos de dermatitis en población mayor a 5 años: Durante el 2017 se identificó aumento de casos en los meses de enero a junio posiblemente afectando a los poblados de Huambo, Cabanaconde y Tapay. En el 2019 los casos incrementaron durante el mes de enero posiblemente afectación en los poblados de Lluta; igualmente este aumento se presentó entre abril a julio posiblemente afectando al poblado de Huambo; el aumento de casos se vio también en octubre, posiblemente afectando al poblado de Achoma, Maca, Madrigal.
8. Se observa una correlación de la actividad volcánica con los casos de conjuntivitis en población menor a 5 años: En el 2017 se identificó aumento de casos entre los meses de enero a junio posiblemente afectando a los poblados de Huambo, Cabanaconde y Tapay. En el 2018 el aumento de casos se registró en los meses de noviembre a diciembre posiblemente afectando al poblado de Achoma. En el 2019 se identificó un aumento en los meses de enero a junio posiblemente afectando al poblado Lluta.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que la Defensa Nacional de la Red de Salud Arequipa - Caylloma continúe con los reportes diarios del número de casos de IRAS, EDAS, conjuntivitis y dermatitis en población, así también los reportes sobre la cantidad de caída de ceniza que se presentan durante el día. Información que será muy importante para la evaluación del impacto de la ceniza volcánica en la salud de la población asentada alrededor del volcán Sabancaya.
2. Las cenizas pueden causar problemas respiratorios, molestias oculares, irritación de la piel y efectos indirectos (colapso de techos, poca visibilidad, Afecta los sistemas de ventilación, puede ocasionar paros eléctricos, dañar los equipos y plantas de tratamiento) por lo cual la gerencia de salud debe brindar una atención médica adecuada a las personas afectadas por estos males y además incrementar las campañas de prevención y protección en las zonas aledañas al volcán para preservar la salud de la población.
3. En caso de caída de ceniza se recomienda cubrirse la mayor parte de la piel, usar lentes y mascarillas; así también mantenga siempre un suministro de agua limpia y cubrir los alimentos que se van a consumir.
4. Las cenizas puede afectar a los canales de agua abiertos, por lo que se recomienda encauzar a través de tuberías de PVC para mitigar la afectación de las fuentes de agua de consumo de los poblados asentados alrededor del volcán Sabancaya.
5. Continuar con el monitoreo de productos volcánicos emitidos y la evaluación del impacto de la ceniza volcánica durante una erupción y en momentos de calma.
6. Realizar un análisis más exhaustivo de la ceniza del volcán Sabancaya, por ejemplo el análisis de las partículas más finas, los cambios en la composición química desde el inicio de la erupción y textura de la ceniza volcánica.
7. Mantenerse informado sobre la actividad del volcán Sabancaya a través de las avisos, pronósticos, mapa de peligros volcánicos y reportes de monitoreo del INGEMMET.



Ing. LIONEL V. FIDEL SMOLL
Director
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET



Lic. Fredy Apaza Choquehuayta

BIBLIOGRAFÍA

- Bernard B. (2013). Homemade ashmeter: a low-cost, high-efficiency solution to improve tephra field-data collection for contemporary explosive eruptions. *Journal of Applied Volcanology* 2:1.
- Boischio A. (2012). Los impactos a la salud asociados con las cenizas de los volcanes. Organización Panamericana de Salud
- Brown W.K., (1989). A theory of sequential fragmentation and its astronomical applications. - *J. Astrophys. Astr.* 10: 89- 112.
- Caselli A., Velez M., Agosto M. and Jover M. (2010.) Manuel de procedimientos ante caída de cenizas volcánicas. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales – Universidad de Buenos Aires
- Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional (2020)
<https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>
- Folk R. L. (1966) - A review of grain size parameters. *Sedimentology* 6, 73 - 93 p.
- Gerbe MSC.-C., Thouret J.-C. (2004). Role of magma mixing in the petrogenesis of lavas erupted through the 1990-98 explosive activity of Nevado Sabancaya in south Peru. *Bulletin of Volcanology*, 66, 541-561.
- Howell C. & Baxter P. (2006) - "The respiratory health hazards of volcanic ash: a review for volcanic risk mitigation. *Bull Volcanol* DOI 10.1007/s00445-006-0052.
- Inman D. L. (1952) - Measures of describing the size distribution of sediments. *Jour. Sed. Petrol*, 22, 125 – 145 p.
- Informe técnico anual N° A6998: vigilancia del volcán Sabancaya, periodo 2019. Región Arequipa, provincia Cailloma
<https://hdl.handle.net/20.500.12544/2578>
- Informe técnico anual N° A6951 del volcán Sabancaya, periodo 2018. Región Arequipa, provincia Caylloma, distrito Achoma.
<https://hdl.handle.net/20.500.12544/2487>
- Informe técnico anual N° A7136: vigilancia del volcán Sabancaya, periodo 2020
<https://hdl.handle.net/20.500.12544/3104>
- Olenchock, S.A., Castellan, R.M., Cocke, J.B., Rodak, D.J., Hankinson, J.L., and Mull, J.C. (1983a). Endotoxins and acute pulmonary function changes during cotton dust exposures, In: *Proc. Seventh Cotton Dust Res. Conf.*, pp. 70–71 (P.J. Wakelyn and R.R. Jacobs, eds.), National Cotton Council, Memphis, TN.
- Organización Panamericana de la Salud (2005) - Guía de preparativos de salud frente a erupciones volcánicas, Módulo 4: Salud ambiental y el riesgo volcánico. ISBN 9978-44-054-2
- Mariño J. (2012). Escenarios eruptivos y mapa de peligros del complejo volcánico Ampato-Sabancaya. Tesis Maestría, Universidad de Nice, Francia, 87 p.
- Población estimada por edades de la Red de Salud de Arequipa – Caylloma (2021) Estadística Población – Red de Salud Arequipa Caylloma (redperifericaaqp.gob.pe)

- Rivera M.; Mariño J.; Samaniego P.; Delgado R. & Manrique N. (2016). Geología y evaluación de peligros del complejo volcánico Ampato - Sabancaya (Arequipa), INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 61, 122 p., 2 mapas.
- Rodríguez A. & Uribe MSC. (1994). Participación del Instituto Geofísico del Perú en relación con la reactivación del Volcán Sabancaya, provincia de Caylloma, región de Arequipa. Informe interno OVS-IGP, Oficina de Arequipa, 28 pags
- Samaniego P., Rivera M., Mariño J., Guillou H., Liorzou C., Zerathe S., Delgado R., Valderrama P. (2016). The eruptive chronology of the Ampato-Sabancaya volcanic complex (Southern Peru). Journal of Volcanology and Geothermal Research. Vol. 323, p. 110-128.
- Spalletti, L.A., 1980. Paleoambientes sedimentarios en secuencias silicoclásticas. Serie B Didáctica y Complementaris Nro. 8. Asoc.Geol.Arg. 175 pags.
- Walker, G. 1971. Grain-size characteristics of pyroclastic deposits. J. Geol., 79, 696-714 p.
- Tomašek, I., Horwell, C.J., Bisig, C., Damby, D.E., Comte, P., Czerwinski, J., et al., 2018. Respiratory hazard assessment of combined exposure to complete gasoline exhaust and respirable volcanic ash in a multicellular human lung model at the air-liquid interface. Environ. Pollut. 238, 977-987.