



---

# **EVALUACIÓN DEL RIESGO QUÍMICO EN EL SECTOR PRIMARIO DE LA PALMA TRAS LA ERUPCIÓN VOLCÁNICA DEL AÑO 2021**

---

MÁSTER UNIVERSITARIO EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES



**AUTORA: CAROLINA HERNÁNDEZ MARTÍN**

**TUTOR: BORJA GARRIDO ARIAS**

**CURSO ACADÉMICO: 2024/2025**



**INFORME DEL DIRECTOR DEL TRABAJO FIN MÁSTER DEL MÁSTER  
UNIVERSITARIO EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES**

D. Borja Garrido Arias, Tutor del Trabajo Fin de Máster, titulado “**EVALUACIÓN DEL RIESGO QUÍMICO EN EL SECTOR PRIMARIO DE LA PALMA TRAS LA ERUPCIÓN VOLCÁNICA DEL AÑO 2021**” y realizado por la estudiante Carolina Hernández Martín.

Hace constar que el TFM ha sido realizado bajo mi supervisión y reúne los requisitos para ser evaluado.

Fecha de la autorización: 15/05/2025

---

MASTER UNIVERSITARIO EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES  
Campus de Sant Joan - Carretera Alicante-Valencia Km. 87  
03550 San Juan (Alicante) ESPAÑA Tfno: 965919525  
E-mail: [masterprl@umh.es](mailto:masterprl@umh.es)

- **Resumen**

Una erupción volcánica es un acontecimiento propio de la naturaleza que puede tener por un lado un efecto devastador en la población y por otro un efecto enriquecedor en otros ámbitos, como puede ser el interés científico. En este caso, nos centraremos en la más reciente erupción que hemos tenido en España en los últimos años, concretamente entre el 19 de septiembre de 2021 y dándolo por finalizado el 13 de diciembre del mismo año, localizado en la isla de La Palma, Canarias y su afección tanto a nivel poblacional como su efecto en el sector primario, principalmente el sector agrícola, ya que ocupa la mayor parte de la zona afectada. Los trabajadores del campo se han expuesto a riesgos verdaderamente importantes durante y después de dicha erupción. Por un lado, el riesgo de inhalación de ceniza volcánica que puede llegar a causar problemas respiratorios de mayor o menor gravedad y por otro, el contacto con algunas sustancias químicas que pueden ser tóxicas puede ocasionarnos graves problemas de salud. Fue y sigue siendo importante tener en cuenta medidas de protección a la hora de entrar en contacto con estas sustancias, por ejemplo, implementando el uso de mascarillas o ropa adecuada, que ayuden a mitigar estos riesgos.

Las cenizas y la lava cubrieron enormes zonas de cultivo, dañando el entorno y alterando el proceso químico del suelo, agua y aire. Se han llegado a percibir numerosos elementos tóxicos como el azufre, lo que no solo daña la salud de las personas, sino también afecta a la calidad de las tierras para el cultivo, dañando así también su fertilidad y composición.

Hoy en día, 4 años después de aquel desastre natural, seguimos padeciendo algunas de sus consecuencias, con personas que siguen sin hogar y sin ayuda, e incluso algunas aún alejadas de sus viviendas, que, pese a no haber sido arrasadas por la lava, son prácticamente incomunicables debido a la fuerte presencia de gases tóxicos en su interior.

En base a la Prevención de Riesgos laborales es esencial la evaluación de estos riesgos para muchas empresas e incluso la Administración, teniendo especial relevancia para el medio ambiente. El objetivo de este estudio trata no solo para proteger la salud de los trabajadores del sector primario, sino también trata de fomentar la sostenibilidad y seguridad ambiental, tanto de los productos, como de cualquier actividad a realizar en la zona afectada, a través de la evaluación de los riesgos químicos reales, tomando en consideración los objetivos específicos que nos hemos fijado. En este documento vamos a observar el apoyo a la Gestión Ambiental, desde una visión integral, de cómo la Prevención de Riesgos Laborales puede integrarse en la gestión de ciertos desastres naturales y las consecuencias que se puedan acarrear. Las medidas a implantar son fundamentales para mitigar los riesgos y garantizar un entorno de trabajo lo más saludable y seguro posible.

- **Palabras clave**

Evaluación – Químico – Volcán – Agricultura - Riesgo

## ÍNDICE

<b>APARTADO 1: INTRODUCCIÓN, MARCO NORMATIVO .....</b>	<b>5</b>
<b>CAPÍTULO 1.1. MARCOS REGULATORIOS Y POLÍTICAS PÚBLICAS .....</b>	<b>5</b>
1.1.1. Normativas nacionales e internacionales sobre calidad del suelo y agua .....	7
1.1.2. Políticas de gestión de riesgos volcánicos en la agricultura .....	8
1.1.3 Programas de apoyo a agricultores afectados.....	9
<b>APARTADO 2: JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>11</b>
Capítulo 2.1. Justificación y contexto .....	11
2.1.1. Introducción, justificación, propósito y alcance del documento .....	11
2.1.2. Contexto general de la actividad volcánica y sus impactos .....	11
<b>APARTADO 3: OBJETIVOS .....</b>	<b>17</b>
Capítulo 3.1. Fundamentos de la Vulcanología y Geoquímica.....	21
3.1.1. Tipos de erupciones volcánicas y sus productos .....	21
3.1.2. Composición química de la ceniza volcánica y gases .....	23
3.1.3. Procesos geoquímicos post-erupción .....	24
Capítulo 3.2. Identificación de Peligros Químicos en la Agricultura .....	26
3.2.1. Ceniza volcánica: componentes y riesgos .....	26
3.2.2. Gases volcánicos: toxicidad y efectos en cultivos .....	29
3.2.3. Contaminación del suelo y agua por metales pesados.....	30
3.2.4. Lluvia ácida y sus efectos .....	33
Capítulo 3.3. Evaluación de la Exposición y Vulnerabilidad .....	34
3.3.1. Vías de exposición .....	34
3.3.2. Poblaciones vulnerables .....	35
3.3.3. Factores que influyen en la exposición .....	36
Capítulo 3.4. Impacto en Cultivos y Seguridad Alimentaria.....	38
3.4.1. Efectos de la ceniza y gases en la fisiología de las plantas .....	38
3.4.2. Contaminación de cultivos con metales pesados y otros tóxicos .....	40
3.4.3. Efectos en la cadena alimentaria .....	42
<b>APARTADO 4: MATERIAL Y MÉTODOS .....</b>	<b>44</b>
Capítulo 4.1. Metodologías de Monitoreo y Análisis Químico .....	44
4.1.1. Técnicas de muestreo de suelo, agua y cultivos .....	44
4.1.2. Análisis de laboratorio para metales pesados y otros contaminantes .....	45
4.1.3 Monitoreo de gases volcánicos y calidad del aire .....	46
Capítulo 4.2. Estrategias de Mitigación y Control de Riesgos .....	49
4.2.1. Equipos de protección personal para trabajadores agrícolas .....	49
4.2.2. Técnicas de descontaminación de suelos y cultivos.....	52
4.2.3. Manejo integrado de plagas y enfermedades post-erupción .....	53
4.2.4. Control de la calidad del agua.....	54
Capítulo 4.3. Estudios de Caso y Lecciones Aprendidas .....	56
4.3.1. Análisis de erupciones volcánicas pasadas y sus impactos agrícolas.....	56
4.3.2. Evaluación de la efectividad de las medidas de mitigación .....	57
4.3.3. Lecciones aprendidas para la gestión de futuros eventos .....	58
<b>APARTADO 5: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>60</b>
Capítulo 5.1. Conclusiones, Resultados, Discusión y Recomendaciones.....	60
5.1.1. Resumen de los principales hallazgos .....	60
5.1.2. Recomendaciones para la investigación futura .....	62
5.1.3. Recomendaciones para la creación de protocolos de actuación.....	63

APARTADO 6: CONCLUSIONES .....	66
APARTADO 7: BIBLIOGRAFÍA .....	68
ANEXO I – Glosario de términos.....	71
ANEXO II – Zonas de riesgo volcánico de La Palma.....	72
ANEXO III – Gases volcánicos.....	73
ANEXO IV – Informe IGN-INVOLCAN 20/03/2025 .....	74
ANEXO V – Contaminantes del sector primario.....	79

## TABLAS

Tabla 1 - Valore límite de exposición (VLA).....	28
Tabla 2 - Valores límite de exposición (VLA).....	30
Tabla 3 - Valore límite de exposición (VLA).....	32
Tabla 4 - Equipos de Protección Individual (EPIs) .....	50
Tabla 3 - Glosario de términos .....	71
Tabla 4 - Gases volcánicos y sus propiedades químicas .....	73
Tabla 5 - Contaminantes del sector primario.....	79

## ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - Zona afectada por el volcán Tajogaite .....	13
Ilustración 2 - Casa enterrada en ceniza volcánica.....	60
Ilustración 3 - Cosecha de plátanos sobre la lava.....	61
Ilustración 4 - Sensor de medición de gases en vivienda de Puerto Naos .....	61
Ilustración 5 - Zona propensa a erupciones volcánicas de La Palma .....	72

## APARTADO 1: INTRODUCCIÓN, MARCO NORMATIVO

Uno de los fenómenos naturales que más impacto genera en el medio ambiente y que afecta a la actividad humana, son las erupciones volcánicas. En este caso concreto, vamos a centrarnos en la agricultura, ya que el sector primario es uno de los grandes afectados por la proliferación de ciertas sustancias químicas y la liberación de cenizas volcánicas. Todo esto no afecta solo a las aguas y la calidad de los suelos, sino también representan un riesgo directo para la calidad de vida de los trabajadores de la zona (y alrededores), además de la seguridad de los productos que se cultivan.

### CAPÍTULO 1.1. MARCOS REGULATORIOS Y POLÍTICAS PÚBLICAS

La normativa a tener en cuenta para llevar a cabo este Informe se basa en:

- **Ley 31/1995 de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales**, norma primaria y fundamental que establece el marco legal en el que garantizar la seguridad y salud de los trabajadores en España. Fundamentalmente busca evitar y/o minimizar los riesgos de accidente o enfermedades provenientes de la actividad laboral, llevando a cabo las estrategias y medidas necesarias.
- **Real Decreto 374/2001 de 6 de abril**, que versa sobre la protección de las personas trabajadoras contra el riesgo relacionado con los agentes químicos durante su actividad laboral, obligando al empresario a evaluar dichos riesgos con objeto de determinar el nivel de riesgo existente al que se exponen los trabajadores, para así poder eliminarlo o minimizarlo en lo máximo de lo posible. Este RD deja una ventana abierta para la no obligación de esta medición por parte del empresario, si este puede demostrar que lo tiene controlado por otros medios (último párrafo del apartado 5 del artículo 3 “Evaluación de los Riesgos” de este RD). Además, estos métodos cualitativos o simplificados de evaluación no están pensados como una alternativa a la evaluación cuantitativa de la exposición a agentes químicos, sino como una herramienta extra de ayuda en el proceso evaluativo, considerándose, así como una aproximación o diagnóstico inicial de la situación higiénica procedente de los agentes químicos encontrados y las medidas preventivas a llevar a cabo.

Existen a día de hoy y en la práctica, valores límite para unas 800 sustancias, muy pocas teniendo en cuenta que en el mercado hay más de 100.000 y muchas más de esas 800 están clasificadas como peligrosas (Reglamento CE nº1272/2008 de 16 de diciembre de 2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas). Por tanto, en muchas ocasiones se usarán estrategias de evaluación que no impliquen medición, para poder dar cumplimiento a la normativa vigente, y por eso hemos de utilizar distintas metodologías cualitativas.

- **Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo (INSST)**, que nos proporciona recomendaciones y criterios que ayuda a los empresarios a interpretar y aplicar el RD 374/2001, mencionado anteriormente.
- **Reglamento (CE) no 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008**, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas, y por el que se modifican y derogan las Directivas 67/548/CEE y 1999/45/CE y se modifica el Reglamento (CE) no 1907/2006. Establece un procedimiento armonizado para la clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas químicas de la Unión Europea.
- **NTP-897 Exposición dérmica a sustancias químicas: metodología simplificada para su determinación (INSST)**. Esta guía destaca en la absorción de sustancias químicas por la vía dérmica, donde se usan productos menos volátiles para reducir la exposición inhalatoria, lo que puede producir un aumento de la exposición dérmica.
- **NTP-937 Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (III)**. Método basado en el INRS y modificado por el INSST. Simplifica la evaluación sin tener que realizar costosas mediciones, a partir de variables como las propiedades físicas o químicas, su volatilidad, riesgo potencial, procedimientos de trabajo o medidas de protección.
- **“Riesgo químico. Sistemática para la evaluación higiénica” del INSST**. Guía que lleva a cabo un procedimiento completo para evaluar el riesgo químico desde el punto de vista de la Higiene Industrial, centrado principalmente en los riesgos que encontramos ante la exposición a determinados agentes químicos en un entorno laboral.
- **Note documentaire ND 2233-200-05: Méthodologie d’Évaluation Simplifiée du Risque Chimique del Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS - France)**. Guía de metodología simplificada de evaluación de los riesgos químicos en el entorno laboral.

Con toda esta normativa y guías, vamos a poder utilizar una metodología simplificada para poder evaluar los riesgos derivados a la exposición potencial a agentes químicos que puedan darse en el sector primario tras la erupción. Dicha evaluación se basa en la recolección de un conjunto de datos recolectados en los agentes químicos existentes en el entorno y de la exposición a dichos agentes, lo que definirá una serie de puntuaciones o factores. La acumulación y arrastre de los datos obtenidos conduce a la estimación de la magnitud del riesgo localizado.

Las actuaciones a realizar se determinarán tras la aplicación de la metodología, con el fin de poder eliminar los riesgos, o en caso de que no se pueda, se reduzca en lo máximo posible. Esta magnitud se clasifica en 3 niveles:

1. Riesgo bajo (a priori). No se requieren llevar a cabo medidas concretas.
2. Riesgo moderado. Se hará un esfuerzo para evaluar con mayor profundidad, es muy probable que se hayan de implementar medidas correctoras.
3. Riesgo probablemente muy elevado. Las medidas correctoras han de implementarse de forma inmediata.

Por tanto, solo llevaríamos a cabo una evaluación más detallada, cuando tenemos un riesgo moderado, aunque, según criterio técnico, se podrán llevar a cabo evaluaciones más pertinentes en situaciones concretas donde se considere necesario tener un mayor nivel de prevención y protección frente a los riesgos generados por la exposición a determinados agentes químicos.

#### 1.1.1. Normativas nacionales e internacionales sobre calidad del suelo y agua

##### Normativas a nivel nacional (España):

- **Ley de Aguas:** Aprobada por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, esta ley regula la gestión y protección de los recursos hídricos en España. Evalúa la calidad del agua e impone medidas para prevenir su contaminación.
- **Plan Hidrológico Nacional:** Ley 10/2001, de 5 de julio, modificada por la Ley 11/2005, de 22 de junio. Planifica y gestiona los recursos hídricos en España, estableciendo las directrices.

- **Reglamento del Dominio Público Hidráulico:** Aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, y modificado en varias ocasiones, este reglamento desarrolla los títulos de la Ley de Aguas relacionados con la protección y uso sostenible de los recursos hídricos.
- **Real Decreto 2090/2008:** Aprueba el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Ambiental, que incluye disposiciones sobre la calidad del agua y el suelo.

Normativas Internacionales:

- **Directiva Marco del Agua de la Unión Europea,** adoptada el 23 de octubre de 2000, regula la actuación comunitaria en los países miembros para la protección y gestión de las aguas en Europa.
- **Directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS):** La OMS establece las Guías para la Calidad del Agua de Consumo Humano (GDWQ). Promueve el uso sostenible de las aguas, para así asegurar su disponibilidad a largo plazo.
- **Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP),** tratado internacional adoptado el 22 de mayo de 2001 en Estocolmo (Suecia) y que entró en vigor el 17 de mayo de 2004, cuyo objetivo principal es la protección de la salud humana y el medio ambiente de los efectos perjudiciales de los COP.

1.1.2. Políticas de gestión de riesgos volcánicos en la agricultura

La reducción de los impactos negativos producidos en el sector primario ha impulsado políticas de gestión ante este tipo de riesgos, centradas en la prevención, mitigación y adaptación con el nuevo entorno. Con ellas se pretende proteger no solo a las personas y trabajadores agrícolas en este caso, sino también a los cultivos y el medio ambiente.

Entre las estrategias principales destacamos la concienciación y capacitación tanto a los agricultores como a la comunidad local, sobre el riesgo volcánico y sus derivados, así como de las medidas de protección a tener en consideración. La palabra resiliencias no solo debe aplicarse a la población que ha perdido su hogar, sino en este caso, debemos incluir formación en técnicas de cultivo resilientes e implementación de algunos tipos de sistemas de alerta temprana para avisar y detectar rápidamente cualquier tipo de efecto procedente de las erupciones, como la detección de gases nocivos para la salud.

Frente a las cenizas volcánicas y otros contaminantes, se llevan a cabo políticas de diversificación de cultivos y adopción de prácticas agrícolas sostenibles que aporten una mejor resistencia en los suelos y ecosistemas agrícolas. Además, la gestión de los acuíferos también es de gran importancia, ya que pueden verse afectadas tras la erupción (destruidas o contaminadas), lo cual es crucial para el riego.

También se llevan a cabo políticas de evaluación y monitoreo continuo de los suelos y el agua que ayuden a detectar rápidamente la presencia de cualquier sustancia química que pueda ser peligrosa, con lo cual poder tomar así medidas correctivas en cuanto sea necesario. Por ejemplo, aplicación de algún tipo de fertilizante o ayuda al suelo para neutralizar el efecto adverso de alguna sustancia química que pueda ser nociva para la salud.

Por último y esencial, es crucial la colaboración entre las distintas organizaciones gubernamentales, e incluso no gubernamentales, con la comunidad científica y la población, para desarrollar estas políticas de la manera más efectiva posible. La participación activa de todos estos agentes es fundamental para el éxito tanto de la planificación como de la gestión y ejecución de dichas políticas y estrategias. Todo esto perjudica o beneficia a todas las partes, por tanto, el buen desarrollo depende de cada uno de ellos de forma conjunta.

### 1.1.3 Programas de apoyo a agricultores afectados

Para controlar y minimizar los impactos negativos causados por la erupción volcánica de La Palma, se han diseñado diversos programas de apoyo a varias ramas de la población y, también como es el caso que nos ocupa, a los agricultores y empresarios del sector agrícola de la zona afectada, para así facilitar la pronta recuperación económica y social de la isla. Esto incluye una serie de ayudas y subvenciones ofrecidas por las distintas administraciones públicas tanto a nivel local, insular o estatal.

Primeramente, en el ámbito local, no solo los ayuntamientos afectados han ayudado a los damnificados. También entidades privadas, federaciones, colegios profesionales, e incluso personalidades anónimas han colaborado en la medida de sus posibilidades para afrontar la difícil situación en la que se ha encontrado la isla en los últimos años.

El Cabildo de La Palma (entidad representante de la isla al completo, que se encuentra en cada una de las Islas Canarias), también ha abierto convocatorias de subvenciones y otras líneas de apoyo. Estas han sido otorgadas mediante resoluciones específicas y se han complementado con otras subvenciones destinadas a reconstruir todo el potencial agrícola dañado. Están dirigidas a cubrir gastos por las pérdidas que les ha ocasionado el volcán y para fomentar la reactivación económica del sector y la zona afectada, ya que, por otro lado, también ha abierto otra serie de convocatoria para subvenciones de personas autónomas y/o empresas agrícolas, para que recuperen sus negocios o lleven a cabo nuevos negocios dentro del sector agrícola en la zona afectada.

También el Gobierno de Canarias ha fomentado varias medidas para apoyo del sector, como por ejemplo con ayudas directas a los dueños de explotaciones agrícolas afectados, mayoritariamente del plátano, que ayudan así a compensar en cierta medida las pérdidas sufridas en su renta debido a la erupción y su posterior destrucción.

Desde el Gobierno Central, también se han llevado a cabo políticas que fomentan la recuperación de la zona, e incluso de la isla en general, por ejemplo en los últimos años todas las personas trabajadoras que son habitantes de la isla han visto una reducción del 60% en su cuota de IRPF, para así poder paliar los efectos nocivos en la economía de la isla, pero aún así el encarecimiento sufrido, sobre todo en el sector inmobiliario, hace realmente complicada su recuperación al menos a corto plazo.

En conclusión, se han llevado a cabo numerosos programas de apoyo a los agricultores afectados por el volcán de La Palma, que abarcan desde ayudas directas, subvenciones para la reconstrucción y apoyo a la recuperación y creación de negocios, con el fin de garantizar la resiliencia y sostenibilidad del sector agrícola de la isla, fundamental para su economía, pero sigue sin ser aún suficiente para una pronta recuperación.

## APARTADO 2: JUSTIFICACIÓN

### Capítulo 2.1. Justificación y contexto

#### 2.1.1. Introducción, justificación, propósito y alcance del documento

Tras una erupción volcánica es necesario llevar a cabo una evaluación de riesgo químico para localizar, llevar a cabo un análisis exhaustivo y ayudar a frenar los peligros que puedan asociarse al proceso eruptivo. En este documento nos centraremos en uno de los sectores más afectados, ya que la zona se dedicaba principalmente al cultivo, sobre todo del sector platanero. El objetivo principal de esta evaluación es servirnos como guía detallada, abordando los distintos aspectos que debemos tener en cuenta para llevar a cabo una protección tanto de nuestro medio ambiente como de las personas (tanto de trabajadores como residentes de la zona y limítrofes).

En los apartados siguientes, se señalarán aquellas sustancias químicas que podrían ser liberadas tras la erupción, la metodología para poder evaluar el riesgo tras la exposición de las personas trabajadoras y los campos de cultivo, además de los medios de control que pueden imponerse para reducir los posibles efectos adversos que podrían generar. También se estudiarán casos concretos y ejemplos más prácticos que muestran la forma en que se ha controlado la situación en diversas regiones del mundo para casos similares.

#### 2.1.2. Contexto general de la actividad volcánica y sus impactos

Nos centramos en la isla de La Palma, una de las islas no capitalinas de archipiélago de las Islas Canarias, en España. Tiene una superficie total de 708,32km<sup>2</sup> y una población de 85.382 habitantes (2024). Su punto más alto es el Roque de los Muchachos, con 2.426 m. y fue declarada Reserva de la Biosfera desde 2002. Gracias al lugar geográfico donde está ubicada la isla, la altura que alcanza sobre el nivel del mar y el particular clima que provoca el mar de nubes entre los 1000 y 2000 metros de altitud que hacen el efecto espejo e impiden que se produzca contaminación lumínica en lo alto, son varios los telescopios que se han instalado en este punto, el más alto de la isla.

Para su protección, se creó la Ley del Cielo (Ley sobre Protección de Calidad Astronómica de 1988 y el Reglamento que lo regula de 13 de marzo de 1992), donde se protege toda la isla de cualquier tipo de contaminación lumínica, radioeléctrica, atmosférica y que influye también en el tráfico aéreo sobre la zona de observación. Por ello, y como ejemplo, vemos que en toda la isla el alumbrado público es de color anaranjado y apunta hacia el suelo, por lo que incluso en las principales poblaciones, la luz es bastante tenue.

Esto por un lado es favorable, ya que ayuda a conservar el medio ambiente, proporciona ahorro energético y apoya en la conservación de ciertas especies de fauna de la isla. Por otro lado, los efectos negativos serían las restricciones para ciertas actividades económicas o el desarrollo industrial de la Isla.

Después de la isla capitalina de Tenerife, La Palma es la isla donde más agricultura encontramos: alrededor de 3000 ha son plantaciones de plátano (casi el 50% de los cultivos de la isla), pero también se plantan cítricos, aguacates, uvas para elaborar vinos o ciertas verduras. Según [ASPROCAN](#), La Palma exporta casi 150.000 toneladas de frutas, lo que genera unos ingresos que superan los 130.000 millones de euros. Debemos tener en cuenta, además, que solo en los municipios de Los Llanos, Tazacorte y El Paso se centra la mitad de la producción de plátanos de la isla. Con ello, mucha gente perdió, además de sus viviendas, tierras y/o enseres, también su modo de vida y/o puesto de trabajo.

En el centro de la isla, en el municipio de El Paso, se ubica el Parque Nacional de la Caldera de Taburiente, una gran depresión de origen erosivo, declarado en 1954. Yendo desde el centro de la isla hacia el sur, zona conocida como Cumbre Vieja, encontramos una colección de volcanes entre los que se encuentran el de San Antonio, San Juan o el Teneguía, este último siendo el penúltimo volcán terrestre de España erupcionado en 1971.

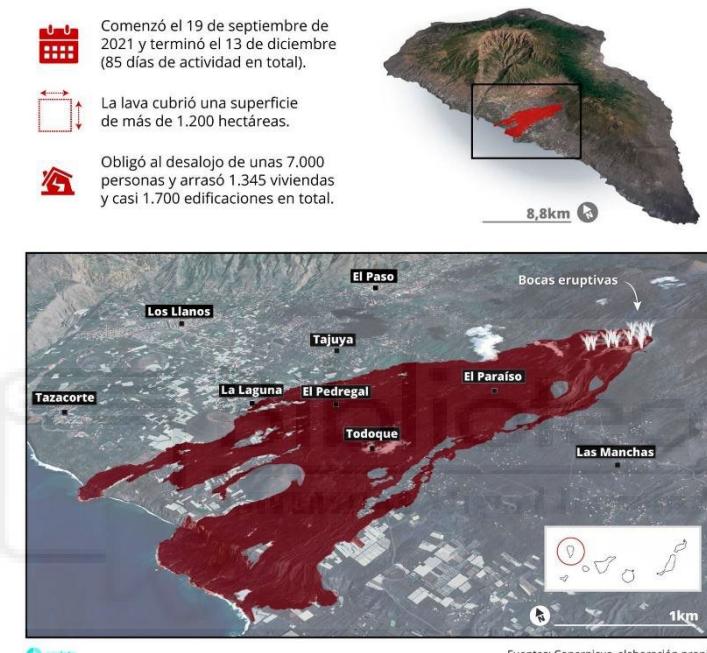
Al igual que el resto de las islas Canarias, La Palma tiene un origen volcánico, siendo una de las más jóvenes del archipiélago, con una edad geológica de alrededor de 2 millones de años.

La ciudad de S/C de La Palma es la capital de la isla con 15.650 habitantes, aunque el municipio más poblado de la isla es Los Llanos de Aridane con alrededor de 20.462 habitantes, según los datos del INE en 2024. En este caso, nos centraremos en la región directamente afectada por el volcán, que incluye los municipios del oeste de la isla, principalmente El Paso y Los Llanos de Aridane.

La última erupción volcánica de la Isla, que es en la que centraremos este documento tuvo lugar en la zona de Montaña Rajada, cerca de El Paraíso, en el municipio de El Paso. Comenzó el 19 de septiembre de 2021 y se alargó por 85 días, hasta el 13 de diciembre del mismo año. Por lo que puede decirse que ha sido la erupción más larga de la que se tiene registro en La Palma.

*Ilustración 1 - Zona afectada por el volcán Tajogaite*

### Así fue la erupción del volcán de La Palma



[Link](#)

Comienzan a registrarse varios enjambres sísmicos en toda la isla meses antes, más frecuentes cada vez y de forma más localizada, lo que hacía presagiar que había acumulación de magma bajo nuestros pies. Las autoridades locales y estatales aún no habían llevado a cabo la evacuación de la zona donde se estimaba que saldría, ya que algunos de los parámetros necesarios para ello no eran del todo claros. Hasta que ese fatídico día, a la hora del mediodía, se sintió una explosión bastante mayor a las habituales, en la zona de erupción, donde comenzaron una serie de explosiones y empieza a emerger la lava desde varias de las fisuras del suelo.

Dicha erupción provocó daños importantes, destruyendo más de 1.600 edificaciones y ocupando un terreno de aproximadamente 1.219 hectáreas con lava. Miles de personas tuvieron que salir rápidamente de sus hogares y muchos ya no tienen a donde regresar, para preservar su seguridad. Aún hoy en día algunos no tienen un hogar, o viven en casas contenedor o prefabricadas de madera, debido a la urgencia y poca planificación, aunque la mayor parte ha podido recibir ayudas, pero ahora surge una gran burbuja inmobiliaria que se extiende por toda la isla, los alquileres o la compra de vivienda han experimentado una subida de casi el 100%, pese a que los afectados pueden construir en zonas incluso rurales o rústicas, donde el resto de los ciudadanos no puede. Esto ha desembocado en un gran problema ya no solo para los afectados, sino para toda la población de la isla en general.

Por el contrario, según datos del catastro, se ha ganado terreno de carácter agrario, de dominio público por 482.606 metros cuadrados. La lava que alcanzó el mar creó nuevas fajanas aumentando así la superficie de la Isla.

Las consecuencias económicas afectaron gravemente al turismo de la isla, uno de los principales motores de su economía, ya que durante la erupción prácticamente el aeropuerto permaneció inoperativo debido a la ceniza volcánica, que afectaba incluso al lado este de la isla, donde este se encuentra. Además, la limitada planta hotelera de la isla estaba principalmente dando servicio a los afectados, no pudiendo tampoco dar un servicio al turismo, ya que la ceniza afectaba también a sus servicios. Si bien es cierto que ha supuesto una increíble oportunidad científica a varios niveles. Por otro lado, el sector primario, centrado básicamente en la agricultura local fue afectado gravemente, principalmente al cultivo del plátano, que es la fuente principal de ingresos de la isla.

Una vez el periodo eruptivo se dio por finalizado, surgió otro de los grandes problemas para la población. Algunos núcleos urbanos, como Puerto Naos y La Bombilla (zona costera de Los Llanos de Aridane), dedicada principalmente al turismo y con uno de los establecimientos hoteleros más importantes de la isla, presentan un elevado nivel de gases nocivos y tóxicos de origen volcánico detectado en el interior de muchas de las viviendas. Aún hoy en día son varias las familias que no han podido volver a vivir en sus casas, aunque poco a poco han vuelto a una “casi” normalidad. En gran parte, han podido volver gracias a la implantación de una Red de Vigilancia de gases tóxicos, principalmente CO<sub>2</sub>, monitorizando la primera planta de las viviendas y a nivel de locales, sótanos y garajes.

Centrándonos en la zona que nos afecta, todo terreno dedicado a la agricultura fue arrasado, bien por el paso de la lava, o bien por el gran golpe de calor e incendios que dicha erupción provocó a su paso. Otro gran problema fue la ceniza, con ritmo lento pero constante, casi de tamaño imperceptible, pero con gran voracidad de instaló en techo y tejados, derribando invernaderos, por lo que las cosechas en su totalidad tardarán años en recuperarse. Ese “polvo volcánico” invadió cada grieta y cultivo con superficies anegadas completamente, alcanzando, en ciertas zonas, altitudes superiores a la altura de un humano de tamaño medio. Por tanto, esta capa de ceniza hace imposible que las plantas realicen la fotosíntesis y puedan procrear. Si bien es cierto, por otro lado, que dicha ceniza en cantidades adecuadas, puede incluso ser un abono natural fuertemente aprovechable.

Otro de los graves problemas a los que se enfrenta el sector primario de la zona es la dificultad para llegar a los terrenos. Los caminos y carreteras fueron completamente destruidos, aunque ya se han recuperado muchos de ellos. Incluso, en un tiempo récord y pese al calor que aun emana del suelo, han construido una gran carretera que comunica los dos lados de la isla.

En cuanto al impacto laboral y preventivo tras la erupción volcánica de 2021, provocó una paralización sin presentes para la actividad económica de la Isla. Tanto los trabajadores, como las empresas de diversos sectores, vieron afectadas sus condiciones laborales y preventivas. Fueron numerosas las empresas que no tuvieron más remedio que cesar su actividad, bien por la destrucción de sus infraestructuras, la inaccesibilidad al puesto de trabajo o la precariedad de las condiciones higiénico-sanitarias de la zona. Esto generó un fuerte impacto de forma directa en la continuidad de los servicios y la prevención en seguridad de los trabajadores.

Para paliar los efectos generados por esta crisis se implantaron las siguientes medidas:

- **Prestaciones excepcionales:** Ayudas para autónomos y trabajadores afectados
- **ERTEs:** Muchos trabajadores y empresas se acogieron a expediente de regulación de empleo de forma temporal, con bonificación del 100% en las cotizaciones a la Seguridad Social
- **Flexibilización:** Suspensión de contratos de forma temporal, sin perder los derechos laborales

Por otro lado, también se vieron afectadas las condiciones de seguridad y salud en el trabajo. Los protocolos de higiene se vieron alterados debido a la presencia de sustancias procedentes del volcán (cenizas y otras partículas), además de la presencia de gases. El acceso a los EPIs necesarios también presentó dificultades, tanto por su escasez debido a la alta demanda, como a la inaccesibilidad para conseguirlos debido a la destrucción de las infraestructuras. Desgraciadamente, por otro lado, los riesgos psicosociales se vieron altamente alterados, los niveles de estrés, incertidumbre y miedo se acrecentaron tras la pérdida de los medios de vida. El Gobierno de España publicó en 2022 un [“Informe sobre las actuaciones y medidas emprendidas tras la erupción del volcán de Cumbre Vieja \(La Palma\)”](#), detallando las medidas de protección económica para empresas y trabajadores, con las políticas llevadas a cabo.



## APARTADO 3: OBJETIVOS



Para proteger la salud de los trabajadores agrícolas, medio ambiente y la calidad de los productos derivados de la actividad agrícola es necesario llevar a cabo una evaluación del riesgo químico real en dicho sector primario teniendo en cuenta los objetivos específicos en los que hemos de fijarnos.

Primero identificaremos los principales peligros químicos que podríamos encontrarnos. Por un lado, las **sustancias químicas propias del volcán**, identificando los productos químicos liberados durante el proceso de erupción: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ), ácido clorhídrico ( $\text{HCl}$ ), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y partículas de ceniza. Por otro lado, las **sustancias que contaminan el agua y el suelo**, donde se evaluará la cantidad de ceniza procedente del volcán y su influencia en el medio.

Después llevaremos a cabo la **evaluación de la exposición** al posible riesgo químico. Determinaremos el nivel de las personas trabajadoras de la agricultura a la exposición de ciertas sustancias químicas que se encuentren en el suelo, agua y/o aire. Además, hemos de tener en cuenta la absorción de ciertos químicos en los cultivos y el nivel de acumulación presente en los productos cosechados.

Además, hemos de pensar también en la **vulnerabilidad** que pudiera surgir, por lo que se ha de llevar a cabo un proceso valorativo de este caso, teniendo en cuenta los riesgos que puedan producirse en la salud de las personas trabajadoras del sector agrícola, como problemas dermatológicos, respiratorios u otros efectos tóxicos. También ha de tenerse en cuenta el posible impacto de algún químico en la seguridad y calidad de los productos para su consumo posterior.

¿Qué **estrategias** podemos llevar a cabo para mitigar dichos riesgos? Lo primero es de debemos proteger a las personas trabajadoras con los Equipos de Protección Personal (EPP) más adecuados, como guantes o mascarillas, que reduzcan la exposición a estos riesgos. Además, debemos incluir técnicas de remediación que reduzcan la cantidad de productos químicos que hayan podido concentrarse en el agua y el suelo. Es importante ventilar todas las áreas, estableciendo sistemas de ventilación e incluso filtros de aire en espacios cerrados, que ayuden a mejorar la calidad del aire.

Para ello, debemos realizar **revisiones periódicas** y **monitorizar** la calidad del suelo, aire y agua, detectando diferencias en los niveles de químicos de forma rápida para así poder controlarlo. Los métodos de control han de ser revisados y ajustados según la necesidad que surja, para corroborar la protección continua de las personas trabajadoras.

Regularmente, se ha de formar a las personas trabajadoras de este sector acerca del uso seguro de los químicos y cuáles serían las técnicas en caso de descontaminación, implementando programas de concienciación para comprobar que todos entienden la importancia de dichas medidas de control y el monitoreo del proceso.

Todos estos objetivos son fundamentales para llevar a cabo una evaluación efectiva, que ayude a crear estrategias de mitigación que cuiden la salud de dichos trabajadores y/o trabajadoras tras una erupción volcánica de estas características, dando la seguridad necesaria a los productos que nos da el campo. Con ellos se mejora la productividad, además del fomento a la protección del medio ambiente, llevando a cabo estrategias que protejan la biodiversidad y los ecosistemas locales.

Dentro de los Objetivos Específicos, debemos tener en cuenta, las entidades referencia para el sector productivo de la isla en materia de prevención de riesgos laborales, que suelen hacer publicaciones específicas por sector y para la isla de La Palma:

- **Instituto Canario de Seguridad Laboral (ICASEL):** Organismo de referencia a nivel autonómico, en relación a la prevención de riesgos laborales. Suelen publicar documentos o guías específicos, para algunos sectores productivos, tanto de La Palma, como para el resto de islas.
- **Cabildo Insular de La Palma (y ayuntamientos concretos):** Organismo de gobierno insular, con competencia en varias áreas, que suele impulsar políticas de desarrollo económico y social, con boletines, noticias, campañas de concienciación o programas de ayudas.
- **CEOE – Cámara de Comercio (Delegación de La Palma):** La Confederación Española de Organizaciones Empresariales, con delegación en la isla, publica documentos o guías que pueden generar recursos específicos e información útil.

Los volcanes son sistemas geológicos muy complejos que resultan de la interacción de diversos factores tanto internos como externos. La secuencia de los procesos en una erupción volcánica es un proceso dinámico y cambiante, que puede resultar muchas veces impredecible, ya que varía dependiendo el tipo de volcán y los regímenes tectónicos afectados. Aunque, sin embargo, convergen ciertas fases de forma general, que nos permiten establecer un modelo conceptual estándar desde el que comenzar el estudio.

Seguidamente encontraremos un diagrama de flujo que nos detalla la secuencia volcánica producida durante la erupción volcánica que nos ocupa, del volcán Tajogaite erupcionado en 2021. Este representa las fases más representativas de la erupción y el inicio de cada etapa.

Esta secuencia, aunque simplificada, busca ilustrar la progresión general de un evento eruptivo típico, reconociendo que cada volcán y erupción poseen características únicas influenciadas por diversos factores geofísicos y geoquímicos (López, 2022)<sup>1</sup>

## SECUENCIA DEL PROCESO ERUPTIVO

- 19/09/2021
  - Inicio de la erupción volcánica en la zona de Cabeza de Vaca, con enjambres sísmicos desde el 11/09/21
- 20/09/2021
  - Destrucción de las vías de comunicación y primeras edificaciones de los municipios de Los Llanos de Aridane y El Paso, tras el paso de las coladas de lava
- 25/09/2021
  - Tras días de poca erupción, aumenta la cantidad de lava emitida y se abren nuevas bocas
- 26/09/2021
  - Avance de las coladas de lava por la costa oeste de la isla, con la destrucción del núcleo poblacional de Todoque
- 27/09/2021
  - Durante 6-10 horas cesó temporalmente la actividad volcánica
- 28/09/2021
  - La colada de lava alcanza el mar, formando un delta lávico
- 05/10/2021
  - El delta lávico acoge una considerable extensión de nuevas tierras ganadas al mar. La isla creció 43 hectáreas ( $0.43 \text{ km}^2$ )
- 13/10/2021
  - La actividad volcánica es intensa y comienzan a verse rayos y tormentas eléctricas por la zona del cráter
- 17/10/2021
  - Se crean nuevas coladas, alcanzando otras direcciones (norte-noroeste), afectando a nuevas zonas que antes no habían sido alcanzadas
- 19/10/2021
  - Destrucción del mayor polígono industrial de la zona (Callejón de la Gata)
- 20/10/2021
  - El cono volcánico crece en altura hasta alcanzar la actual situación, creando así otra nueva gran montaña
- 13/12/2021
  - Tras días de calma, se produce oficialmente el final de la erupción volcánica

## Capítulo 3.1. Fundamentos de la Vulcanología y Geoquímica

### 3.1.1. Tipos de erupciones volcánicas y sus productos

Existen dos categorías principales para clasificar las erupciones volcánicas: efusivas y explosivas. Cada una de ellas con características diferenciadas y produciendo distintos tipos de materiales.

**Erupciones EXPLOSIVAS:** son las más violentas, entre sus características principales destaca la cantidad de gases, ceniza y fragmentos de roca, que emite en grandes cantidades. Causan un daño relevante y su impacto en el medio ambiente es también significativo. A su vez, existen 3 tipos principales:

1. **Erupciones Vulcanianas:** Emiten gases y columnas de cenizas que cogen mucha altura. La viscosidad de la lava que derrama hace que se produzcan obstrucciones por los conductos volcánicos, dando lugar a explosiones violentas, debido al aumentando la presión. Este tipo de erupciones pueden crear domos de lava y estratovolcanes, debido a la creación de productos como las bombas volcánicas, los gases, los bloques de lava o las grandes cantidades de ceniza emitidas.
2. **Erupciones Plinianas:** La viscosidad de la lava es muy alta, conteniendo gran concentración de gases disueltos. Los gases y las columnas de ceniza pueden alcanzar incluso la estratosfera. Gracias al colapso de los edificios volcánicos, este tipo de erupciones pueden causar calderas volcánicas. Producen enormes cantidades de gases, flujos piroclásticos, ceniza e incluso piedra pómex.
3. **Erupciones Surtseyanas:** Gracias a la interacción entre el agua que entra en contacto con el magma caliente, se producen explosiones violentas. Son las causantes de la formación de conos de toba o incluso de islas volcánicas. Producen ceniza, fragmentos de lava y vapor de agua.

**Erupciones EFUSIVAS:** son erupciones menos violentas que, a menudo forman grandes estructuras volcánicas con suaves pendientes. La lava emerge de manera tranquila, continua y fluida. Existen 2 tipos principales:

1. **Erupciones Hawaianas:** se forman ríos de lava que pueden llegar a ocupar grandes áreas, debido al derrame de la lava basáltica fluida, desde cráteres o fisuras. La lava es fluida, con poca ceniza y gases. Se pueden llegar a formas volcanes en escudo, con pendientes suaves, gracias a los flujos de lava.
2. **Erupciones Estrombolianas:** la lava es más viscosa que en la del caso anterior. Se producen explosiones de manera intermitente, lanzando fragmentos de lava al aire.

Los productos principales que se generan de una erupción volcánica son:

1. **Lava:** se trata del magma que ha alcanzado la superficie. En función de su nivel de viscosidad, puede llegar a formar fluidos o flujos rápidos, o, por el contrario, cuando la lava es más viscosa y lenta puede llegar a formar domos.
2. **Gases volcánicos:** la cantidad de gases que emana puede ayudar a la creación de la lluvia ácida, afectando a la calidad del aire y empeorando las condiciones climáticas. Principalmente emiten dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y vapor de agua.
3. **Ceniza volcánica:** se trata de partículas de tamaño minúsculo provenientes de rocas pulverizadas o vidrio volcánico, que pueden llegar a ser transportadas por el viento a grandes distancias. Estas partículas pueden afectar a la calidad del suelo, aire y agua, e incluso acarrear problemas de salud para las personas y los animales, por ejemplo, con problemas respiratorios.
4. **Flujos piroclásticos:** es la combinación de cenizas, fragmentos de roca y gases calientes que discurren rápidamente por la ladera de los volcanes. Dichos flujos son altamente destructivos, pudiendo cubrir áreas de gran tamaño con depósitos de roca y ceniza.
5. **Bombas volcánicas y escoria:** trozos de lava que han sido expulsados en la erupción y en contacto con el aire se solidifican. Estas bombas suelen ser bastante grandes, por lo que pueden llegar a causar un daño importante al caer, al contrario que la escoria que es mucho más pequeña y porosa.

### 3.1.2. Composición química de la ceniza volcánica y gases

La **ceniza volcánica** se crea durante las erupciones volcánicas explosivas, cuando la fragmentación del magma en finas partículas libera los gases atrapados. Se conocen tres mecanismos principales que ayudan a su formación:

1. **Erupciones magmáticas:** al aproximarse a la superficie terrestre, el magma se descomprime, liberando gases y provocando la fragmentación de los materiales en finas partículas.
2. **Erupciones freatomagmáticas:** suceden cuando se produce el contacto entre el magma con cuerpos de agua o aguas subterráneas, lo que causa que dicho magma se enfrie y fragmente de forma explosiva.
3. **Erupciones freáticas:** Sin haber presencia directa de magma, se producen explosiones de vapor y agua en el volcán.

Dicha ceniza volcánica se compone de partículas de roca y minerales extremadamente finas, de menos de dos milímetros de diámetro. Este compuesto puede incluir:

- Fragmentos de rocas pulverizadas
- Vidrio volcánico, fragmentos de magma que se han solidificado rápidamente
- Cristales minerales, como el cuarzo, el olivino o el feldespato

Por otro lado, encontramos también los **gases volcánicos** que se originan en la superficie de la tierra y que son liberados cuando el magma asciende a la superficie, ocasionado por el descenso de la presión. Dichos gases son fundamentales para entender la actividad volcánica y poder monitorear las erupciones. Durante la erupción, los principales gases volcánicos liberados son:

- **Vapor de agua ( $H_2O$ ):** suelen representar más del 60% de los gases emitidos durante la emisión volcánica. Puede deberse tanto del magma como de fuentes meteóricas
- **Dióxido de carbono ( $CO_2$ ):** constituyen entre el 10% y el 40% del total de gases emitidos. Es un gas de efecto invernadero que afecta en el calentamiento global de la Tierra
- **Dióxido de azufre ( $SO_2$ ):** pueden llegar a enfriar la temperatura global y son los gases principales para la formación de la lluvia ácida. Representa entre el 1% y el 10%

- **Sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S)**: se caracteriza por un fuerte olor a huevos podridos y su alta toxicidad
- **Ácido clorhídrico (HCl)**: produce irritación en los ojos, la piel y el sistema respiratorio
- **Ácido fluorhídrico (HF)**: gas corrosivo que podría llegar a causar graves daños a los tejidos humanos o animales

Aparte de los gases y la ceniza, las erupciones volcánicas producen otros productos volcánicos que podemos clasificar según su estado físico:

- **Materiales sólidos**: trozos de rocas y minerales que emergieron durante el proceso eruptivo
- **Materiales líquidos**: a través de las fisuras o cráteres se vierte la lava de forma fluida
- **Materiales viscosos**: la formación de domos de lava y flujos piroclásticos se produce por una lava más viscosa

Estos materiales, a su vez, están compuestos por lava (principalmente compuesta de silicatos), flujos piroclásticos (gases calientes + cenizas + fragmentos de roca, que discurren con rapidez por la ladera del volcán) y las bombas volcánicas y/o escoria (lava solidificada en el aire que cae al suelo en estado sólido).

### 3.1.3. Procesos geoquímicos post-erupción

Una de las principales afecciones para el medio ambiente se produce con la formación de la **lluvia ácida**. Esta se forma con la liberación de los gases volcánicos a la atmósfera (gases como el óxido de nitrógeno o el dióxido de azufre), que al entrar en contacto con el vapor de agua generan ácidos sulfúricos (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y nítrico (HNO<sub>3</sub>). Dichos ácidos aumentan la acidez del agua y los suelos, al precipitarse en forma de lluvia, niebla o nieve,

El proceso a través del cual el agua de lluvia (o el agua de riego), diluye y transporta los minerales y contaminantes desde el suelo hasta capas más profundas o incluso aguas subterráneas, se denomina **lixiviación**.

Cuando se produce este suceso, intensificado a través de la lluvia ácida, aumenta la capacidad de solubilidad de bastantes de los compuestos químicos que tenemos en nuestro entorno. Por tanto, se generan algunos inconvenientes, como:

- La disminución del pH del suelo, provocado por esta lluvia ácida, hace aumentar la solubilidad de algunos minerales y metales pesados (por ejemplo, plomo, mercurio, arsénico o cadmio). Cuando estos metales, que habitualmente se encuentran en el suelo, llegan a disolver en el agua ácida, se convierten en móviles
- Este proceso de acidificación también libera nutrientes esenciales (como magnesio, potasio o calcio). Teniendo especial cuidado, ya que, en exceso, dichos nutrientes pueden ser lixiviados más allá del alcance de las plantas (raíces), lo que afecta a su crecimiento.
- A través del perfil del suelo, los metales pesados que están disueltos son transportados por el agua, por ejemplo, de lluvia. Con este proceso, dichos contaminantes pueden alcanzar las aguas subterráneas, donde pueden llegar a persistir y acumularse
- La vegetación (plantas), puede llegar a absorber los metales pesados a través de las raíces, gracias a su toxicidad y esto puede llegar a afectar a su vez a la salud de los cultivos. Esta acumulación en los tejidos vegetales puede llegar a la cadena alimentaria, a los productos que consumimos tanto los animales como las personas
- Se contribuye a la eutrofización de cuerpos de agua, a través de la lixiviación de nutrientes como el fósforo o el nitrógeno, lo que promueve la gran cantidad de nacimiento de algas, por lo que, a su vez, afecta a la calidad de dicha agua
- El agua se vuelve tóxica tanto para la vida acuática como para el consumo humano, debido a la presencia de metales pesados en las aguas, tanto superficiales como subterráneas

Las consecuencias principales de esta contaminación, para la agricultura son:

1. Se reduce la cantidad de nutrientes esenciales, debido a la acidificación del suelo, lo que afecta al rendimiento y crecimiento de los cultivos
2. Los productos agrícolas pueden resultar contaminados por la absorción de metales pesados a través de sus raíces o plantas, que pone en riesgo la seguridad alimentaria
3. Puede producir impacto tanto en la salud humana, como en la animal, debido a la acumulación de metales pesados en algún punto de la cadena alimentaria

## Capítulo 3.2. Identificación de Peligros Químicos en la Agricultura

### 3.2.1. Ceniza volcánica: componentes y riesgos

La composición química de la ceniza puede diferir, en función del tipo de erupción y de la cantidad de magma involucrado, aunque generalmente dispone de los siguientes compuestos:

- **Sílice ( $\text{SiO}_2$ ):** suele ser el compuesto principal, en torno al 45% y el 75%. Compuesto principalmente de vidrio volcánico y de cristales minerales, como cuarzo
- **Alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ):** es un componente relevante de los feldespatos y otros minerales aluminosilicatos, que constituye entre el 10% y el 20%
- **Óxidos de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ):** son los óxidos que dan el color oscuro a las cenizas volcánicas, representando entre el 1% y el 10%
- **Óxidos de calcio ( $\text{CaO}$ ):** minerales como la calcita y la anortita están básicamente compuestos por calcio. Entre el 1% y el 10% de la ceniza volcánica está compuesto de este óxido
- **Óxidos de magnesio ( $\text{MgO}$ ):** Representado entre el 1% y el 5%, siendo un componente de minerales como el piroxeno o el olivino
- **Óxidos de sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) y potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ ):** constituyendo entre el 1% y el 5%, son los óxidos que componen los feldespatos alcalinos
- **Otros metales pesados:** además de los anteriores, la ceniza puede incluir entre sus componentes otros metales pesados que pueden ser tóxicos para la salud humana y el medio ambiente, como son el plomo, cadmio, mercurio o arsénico

Por tanto, estos químicos pueden llegar a causarnos diversos efectos nocivos para nuestra salud, si nos exponemos a la ceniza volcánica:

1. Si nos exponemos de forma prolongada a este tipo de metales podemos llegar a desarrollar **enfermedades sistémicas**, que incluyen daños hepáticos o renales, o incluso problemas neurológicos
2. Si entramos en contacto con la ceniza a través de la **piel**, puede llegar a causarnos irritación o dermatitis
3. Puede llegar a causarnos **enfermedades respiratorias** crónicas, como bronquitis o asma o incluso causarnos irritación de las vías respiratorias, con tos o dificultad para respirar, si llegamos a inhalar estas finas partículas de ceniza de forma profunda hasta nuestros pulmones

4. Estas partículas pueden acarrearnos **irritación ocular**, generando lagrimeo, enrojecimiento o incluso casos más severos, como incluso abrasiones en la córnea

Las consecuencias de esta ceniza volcánica en la agricultura pueden llegar a afectar a la composición química primaria del suelo, modificando su pH, porosidad y textura. Esto hace que se reduzca la fertilidad del suelo y puede llegar a afectar a la proliferación de los cultivos. Además, el peso de la ceniza al depositarse sobre las hojas de las plantas puede llegar a destruir y romper los tallos y ramas, aparte de bloquear la luz del sol, lo que provoca una ralentización de la fotosíntesis y el crecimiento de los cultivos. Estas cenizas pueden llegar a contaminar también el agua de las fuentes que se utilizan para regar, lo que conllevaría un riesgo en la salud de la producción agrícola y la seguridad de sus productos. Dichos cultivos, a su vez, pueden absorber estos compuestos químicos presentes en las cenizas, lo que puede conllevar su contaminación y llegar a poner en riesgo la seguridad alimentaria. Principalmente la ceniza volcánica puede dañar los cultivos y contaminar el suelo y/o agua:

- **Daños a los cultivos:** El bloqueo de la luz solar que mitiga el desarrollo de la fotosíntesis y con ello el crecimiento y rendimiento de los cultivos, debido a la presencia de ceniza sobre las hojas de las plantas es sumamente importante para cultivos sensibles a la luz, como son las hortalizas o los árboles frutales. En cultivos con estructuras delicadas, se producen problemas por el peso de la acumulación de cenizas que puede llegar a romper los tallos y/o ramas de las plantas. Además, la toxicidad de los metales acumulados en los tejidos vegetales, como el plomo, arsénico o cadmio, absorbidos por las plantas, puede afectar a la seguridad de los alimentos o la calidad y salud de los cultivos
- **Contaminación del suelo:** Disminuye la cantidad de nutrientes esenciales para el cultivo, ya que la ceniza puede modificar el pH del suelo, dependiendo de su composición puede llegar a ser más ácido o más alcalino. Además, se produce otra alteración en la composición química a través de la lluvia ácida, siendo el resultado de la relación entre la ceniza con el agua, generando la liberación de nutrientes y metales pesados del suelo, siendo aún más tóxicos y mejorando su movilidad. La ceniza puede llegar a compactarse en un suelo, no dejando que transpire y se airee, por lo que dificulta el crecimiento radicular, lo que dificulta que el agua y los nutrientes de las plantas puedan ser absorbidos. También las fuentes de agua y los ecosistemas pueden verse afectados por la lluvia ácida, lo que fomenta la solubilidad de metales pesados en el suelo, lo que facilita la lixiviación hacia capas más profundas o incluso aguas subterráneas

- **Contaminación del agua:** La alta turbidez de las aguas puede dificultar los procedimientos de tratamiento y potabilización del agua, disminuyendo su claridad y reduciendo a su calidad para el consumo, tanto para el riego como para el consumo humano. Cuando la ceniza entra en contacto con el agua puede producir más acidez (disminución del pH), lo que podría llegar a afectar a la vida marina y, por supuesto, a la calidad del agua que vamos a consumir o que utilizaremos para regar. Además, la ceniza puede liberar metales pesados u otras sustancias tóxicas en el agua, lo que pondría es riesgo, de nuevo, su seguridad y calidad. Estas sustancias pueden afectar tanto a la vida acuática, como a los humanos que la consuman, directa o indirectamente.

En la siguiente tabla detallaremos los valores límite ambientales (VLA) de exposición profesional ante agentes químicos, que publica el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), para los componentes anteriormente mencionados:

Tabla 1 - Valore límite de exposición (VLA)

Contaminante	VLA-ED (mg/m <sup>3</sup> )	VLA-EC (mg/m <sup>3</sup> )
Sílice (SiO <sub>2</sub> )	0.05	0.1
Alúmina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	10.00	15.0
Óxidos de hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	5.00	10.0
Óxidos de calcio (CaO)	2.00	4.0
Óxidos de magnesio (MgO)	10.00	15.0
Óxidos de sodio (Na <sub>2</sub> O)	5.00	10.0
Óxidos de potasio (K <sub>2</sub> O)	2.00	4.0
Otros metales pesados	0.10	0.2

### 3.2.2. Gases volcánicos: toxicidad y efectos en cultivos

- **Dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ):** se trata de un gas irritante que puede llegar a causar problemas respiratorios, como asma o bronquitis u otros trastornos pulmonares. Se pueden llegar a surgir otras patologías cuando nos exponemos a altas concentraciones, como irritación en la piel, los ojos o las mucosas. Además, en los cultivos, puede causar daño foliar en las plantas, mermando la fotosíntesis y reduciendo su crecimiento. Cuando la lluvia ácida proviene de este compuesto, puede llegar a acidificar el suelo, disminuyendo la disponibilidad de nutrientes que son esenciales para el crecimiento de las plantaciones.
- **Sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ):** este gas tóxico, con su característico olor a huevo podrido, puede causar irritación en los ojos y vías respiratorias cuando nos exponemos a bajas concentraciones. Mientras que si la exposición es alta puede llegar a ser fatal, incluyendo síntomas como dolores de cabeza, náuseas, mareos o problemas respiratorios. Este gas puede ser absorbida por las plantas, llegando a dañar los tejidos vegetales e incluso ralentizando el crecimiento. Cuando lo encontramos en el suelo puede modificar la microbiota de dicho suelo, lo que afecta a la salud del campo.
- **Ácido clorhídrico (HCl):** este ácido es fuertemente corrosivo, llegando a causar quemaduras graves en la piel e incluso afectando a los ojos. Su inhalación a través de los vapores puede producir irritaciones severas y problemas pulmonares. En las plantas puede causar daño foliar, e incluso necrosis. Si la lluvia ácida está generada por este ácido, puede acidificar el suelo, causando la disminución de nutrientes y disminuyendo la salud de sus cultivos.
- **Ácido fluorhídrico (HF):** es altamente corrosivo. Produce quemaduras profundas e incluso daño ocular. Si lo inhalamos puede ser potencialmente fatal o provocar daño pulmonar severo. Afecta al crecimiento y la productividad de los cultivos, pudiendo causar daño severo a los pulmones. Puede alterarse la composición química del suelo y afectar a la salud de los cultivos, cuando este ácido se presenta en su suelo.

En conclusión, los daños referentes a la agricultura engloban principalmente el **daño foliar** causando daño directo a las hojas de las plantas minimizando la fotosíntesis y reduciendo el crecimiento, la **acidificación de los suelos** al fusionarse el agua proveniente de la lluvia ácida con el suelo minimizando los nutrientes esenciales de los cultivos, la **contaminación del agua** de riego por los gases volcánicos afectando a la seguridad y salud de las producciones agrícolas y la **alteración de la microbiota** del suelo debido a la presencia de gases tóxicos.

En la siguiente tabla detallaremos los valores límite ambientales (VLA) de exposición profesional ante agentes químicos, que publica el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), para los componentes anteriormente mencionados:

Tabla 2 - Valores límite de exposición (VLA)

Contaminante	VLA-ED (mg/m <sup>3</sup> )	VLA-EC (mg/m <sup>3</sup> )
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	5.00	10.0
Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	10.00	15.0
Ácido clorhídrico (HCl)	2.00	4.0
Ácido fluorhídrico (HF)	0.50	1.0

### 3.2.3. Contaminación del suelo y agua por metales pesados

Cuando ciertos gases contaminantes son liberados en la atmósfera, pueden llegar a reaccionar de diversas formas según el medio con el que se encuentren: agua, oxígenos, otros químicos, etc. produciendo la lluvia ácida. El proceso de creación de este tipo de "lluvia" podemos resumirlo así:

1º Se produce la emisión de gases contaminantes, principalmente derivados de industrias, vehículos y centrales eléctricas. Se emiten a la atmósfera dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO).

2º Cuando llegan a la atmósfera se forman los ácidos sulfúricos ( $H_2SO_4$ ) y nítrico ( $HNO_3$ ), ya que los gases reaccionan al entrar en contacto con el oxígeno, vapor de agua y otros químicos.

3º Cuando las gotas de agua se juntan con estos ácidos, se precipitan desde las nubes y caen a la tierra, como lluvia, nieve, niebla o incluso polvo seco, formando la lluvia ácida.

4º Las plantas pueden verse dañadas de varias maneras, a causa de esta lluvia. Sus ácidos pueden quemar cortezas y hojas de los árboles, que afectan a su capacidad para llevar a cabo de la fotosíntesis. Se dificulta la absorción de nutrientes que las ayuden a crecer, debido a la acidificación del suelo, ya que se reduce su pH y eso elimina nutrientes como el calcio o el magnesio.

A través de la ceniza volcánica proveniente de las erupciones volcánicas se liberan diversos materiales (pesados), siendo los más comunes:

- **Plomo (Pb):** A los seres humanos nos puede acarrear afecciones del desarrollo cognitivo o incluso daño neurológico. En el caso de las plantas, su presencia en el suelo puede ser absorbida lo que puede causar afecciones en su desarrollo y crecimiento, pudiendo además acumularse en algún paso de la cadena alimentaria
- **Mercurio (Hg):** Puede afectar al sistema renal y nervioso, debido a su alta toxicidad. Si se mezcla con agua se transforma en metilmercurio, una sustancia con una alta capacidad tóxica que se suele acumular en ciertos organismos que habitan los mares.
- **Cadmio (Cd):** Puede conllevar enfermedades óseas o daño renal. Si entra en la cadena alimentaria puede afectar a la vida animal, incluyendo seres humanos, cuando es absorbida por las plantas a través del suelo.
- **Cromo (Cr):** Puede afectar al microbiota del suelo y la salud de la vida vegetal, llegando a causar problemas respiratorios o cáncer.
- **Arsénico (As):** Puede ser el causante de enfermedades como distintos tipos de cáncer: pulmón, piel, vejiga u otros órganos. En el medio acuático puede ser un fuerte contaminante del agua potable lo que afectaría a los seres vivos.

Los metales pesados alteran la química de los suelos, pudiendo ser absorbidos por las raíces de las plantas, provocando su toxicidad. Además, causan un impacto negativo en el microbiota del suelo, siendo componentes esenciales para que la materia orgánica pueda descomponerse de formas correcta y proliferando la fertilidad del suelo.

También estos metales pueden ser transportados por la lluvia y su escurrimiento, provocando la contaminación de acuíferos, ríos, lagos, etc. Estos metales pueden llegar a acumularse en los tejidos de los organismos que habitan el medio acuático, afectando su salud y la del resto de organismos que los rodean, llegando así a entrar en la cadena alimentaria (incluso humana). El consumo de agua contaminada con estos metales puede llegar a causar daños importantes en el ser humano, como los daños renales, neurológicos o incluso desarrollar algún tipo de cáncer.

Tabla 3 - Valore límite de exposición (VLA)

Contaminante	VLA-ED (mg/m <sup>3</sup> )	VLA-EC (mg/m <sup>3</sup> )
<b>Plomo (Pb)</b>	0.05	0.1
<b>Mercurio (Hg)</b>	0.025	0.05
<b>Cadmio (Cd)</b>	0.01	0.02
<b>Cromo (Cr)</b>	0.5	1.0
<b>Arsénico (As)</b>	0.01	0.02

Esta acumulación de metales puede llegar a los cultivos a través de tres fuentes fundamentales: **absorción a través de las raíces** (llegando a transportarse al resto de la planta, como es el tallo, las hojas o los frutos), **depósito en la superficie de la planta** (a través de la lluvia o polvo) y la **contaminación del agua de riego** (si el agua está contaminada puede ser absorbida por la planta durante el proceso de riego).

Los riesgos principales para la salud de los seres humanos son: su nivel de toxicidad, la bioacumulación en los tejidos de ciertos organismos a través de algún punto de la cadena alimentaria y los efectos crónicos que pueden suscitar a través del contacto de manera prolongada, con enfermedades cardiovasculares, trastornos del desarrollo o algún tipo de cáncer.

### 3.2.4. Lluvia ácida y sus efectos

Como mencionamos en el apartado anterior, la lluvia ácida se forma al liberar ciertos gases en la atmósfera terrestre y su reacción antes otros agentes, como el oxígeno, el agua u otro tipo de componentes químicos.

Su efecto al contacto en el suelo, presentan altos niveles de acidificación, ya que reduce el pH y eso hace perder los nutrientes que son esenciales para la vida de las especies vegetales. Causa graves daños cuando las plantas absorben estos metales tóxicos e impactan negativamente en su microbiota y fertilidad.

Cuando esta lluvia ácida alcanza ríos, lagos o acuíferos, con aguas más o menos estancadas, contamina todo su cuerpo lo que afecta directamente a la vida marina de la zona y su entorno. Además de la bioacumulación en los tejidos de los seres acuáticos, lo que puede llegar hasta la cadena alimentaria, pudiendo producir daño a la salud humana. Igualmente afecta a los cultivos.

Se pueden llevar a cabo diferentes estrategias para tratar de paliar los efectos negativos de esta lluvia y la movilidad de los metales pesados:

- Monitoreando de forma continua, o al menos periódica, el pH del suelo y del agua, para así detectar cambios en los niveles de acidez
- Se pueden aplicar enmiendas al suelo que fomenten la neutralización de la acidez y ayuden a minimizar la solubilidad de los metales pesados
- Implantar reglas de protección para aquellas especies vegetales que son más susceptibles a los daños que les produzca la lluvia ácida

## Capítulo 3.3. Evaluación de la Exposición y Vulnerabilidad

### 3.3.1. Vías de exposición

La salud humana puede verse afectada, debido a la liberación de diferentes contaminantes provenientes de las erupciones volcánicas, a través de diferentes vías de exposición. Las principales vías de exposición a los contaminantes volcánicos son:

1. **Inhalación:** las cenizas volcánicas y otras partículas pueden llegar a ser inhaladas, causando irritación de garganta, nariz y ojos, incluso problemas respiratorios más graves como neumonías o bronquitis. La inhalación de los gases (dióxido de azufre, dióxido de carbono, monóxido de carbono o sulfuro de hidrógeno entre otros), generados en una erupción volcánica también pueden causar problemas respiratorios, como irritación de las vías respiratorias o, en casos más extremos, asfixia.
2. **Ingestión:** Estos contaminantes pueden llegar a depositarse en diferentes cuerpos acuáticos, contaminando incluso el agua potable. Su ingestión, con metales pesados como el mercurio, el arsénico o el plomo pueden llegar a causar daños renales, neurológicos o hepáticos de gravedad. Cuando estos metales pesados se acumulan en los cultivos pueden llegar a la cadena alimentaria, llegando a tener un efecto tóxico a largo plazo, debido a la bioacumulación.
3. **Exposición dérmica:** A través de la piel podemos absorber metales pesados, especialmente por abrasiones o en el caso de alguna herida. Si tenemos contacto directo con las cenizas puede causar irritación de los ojos o la piel, incluso penetrándola, causando dermatitis u otras afecciones cutáneas.

Las medidas de protección que debemos tener en cuenta para minimizar los riesgos ante la exposición a los contaminantes provenientes de un volcán son: el **uso de mascarillas** (homologadas y con protección), que nos protejan de la inhalación tanto de los gases como de cualquier partícula que haya en el entorno, la **protección de la piel**, usando ropa protectora y tratando de evitar tener el contacto directo con las cenizas provenientes del volcán, además de **no ingerir alimentos o agua contaminados** (o que puedan estarlo), asegurándonos de su potabilización en el caso del agua y vigilando que los alimentos estén libres de partículas provenientes de contaminantes volcánicos.

Los trabajadores del sector primario pueden estar en contacto con dichos contaminantes provenientes de la erupción volcánica por diferentes vías, lo que puede conllevar diversas afecciones para la salud. Al igual que para el resto de la población, se pueden producir afecciones por diferentes vías: respiratoria por inhalación, ingestión a través de alimentos contaminados que pueden acumularse en los cultivos y el contacto dérmico.

Además, deberán llevar las medidas de protección establecidas en el apartado anterior, siempre que se encuentren en su puesto de trabajo y puedan resultar afectados por la exposición a los diferentes contaminantes volcánicos.

### 3.3.2. Poblaciones vulnerables

Existe un sesgo poblacional más afectado a los efectos de las erupciones volcánicas, dependiendo de sus capacidades y su exposición a los contaminantes derivados de dichas erupciones. Especialmente nos centraremos en:

1. **Niños:** estos respiran más rápido que la población adulta, por lo que se incrementa su exposición a los contaminantes. Son más susceptibles a sus efectos nocivos, porque sus sistemas inmunológico y respiratorio están en fase de desarrollo. Al pasar más tiempo al aire libre, los niños presentan una mayor exposición a los componentes tóxicos provenientes del volcán
2. **Mujeres embarazadas:** El feto puede verse dañado debido a la exposición con los metales pesados o el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), incrementando las posibilidades de sufrir complicaciones como defectos al nacer o bajo peso. Las mujeres embarazadas pueden presentar cambios fisiológicos durante el periodo de gestación, presentando mayor sensibilidad.
3. **Personas con enfermedades respiratorias:** Son más vulnerables a los efectos de los gases y partículas procedentes del volcán las personas asmáticas, con bronquitis crónica, enfisemas u otras enfermedades respiratorias. Pueden producirse problemas respiratorios más graves cuando la exposición a ciertos contaminantes desencadena exacerbaciones de sus condiciones.
4. **Personas mayores:** estas personas tienen un sistema inmunológico que presenta menor eficiencia, estando más debilitado, siendo más susceptibles a infecciones y algunos otros efectos adversos. Además, tienen más probabilidad de tener enfermedades crónicas, que pueden llegar a incrementarse.

5. **Trabajadores agrícolas:** Debido a su trabajo al aire libre, estos trabajadores pueden estar más expuestos a través de cualquiera de las vías (inhalación, contacto dérmico o ingestión). Además, es común encontrarse que estos trabajadores no disponen de acceso a los equipos de protección adecuados, por lo que se incrementa su riesgo de exposición.

Para protegerse, deben tomar especialmente en cuenta las medidas anteriormente mencionadas: uso de mascarillas adecuadas, sistemas de monitoreo para estar alerta, asegurarse del nivel de calidad de agua y los alimentos, además de formarse y concienciarse sobre los riesgos y las medidas que pueden tomar.

### 3.3.3. Factores que influyen en la exposición

No podemos olvidarnos del papel fundamental que juegan el clima y la topografía que encontramos en la isla de La Palma para la propagación y dispersión tanto de la ceniza como de los gases volcánicos emanados.

A la hora de dispersarse cobran especial importancia la dirección y velocidad de los vientos, ya que un viento fuerte puede llegar a transportar las partículas con mayor facilidad, recorriendo grandes distancias y afectando a áreas cada vez más alejadas. A la isla la atacan vientos extremadamente potentes como los alisios, que por una parte ayudan a tener temperaturas suaves y estables durante todo el año, pero que, por otra parte, transportan estas partículas de uno a otro lado con gran facilidad. Durante algunos días, mientras el volcán erupcionó, se detectaron partículas no solo en el continente africano, próximo a las islas, sino incluso en la península ibérica, afectando a varios núcleos poblacionales. La zona en la que nos centramos no se caracteriza por tener abundantes precipitaciones, más bien lo contrario, pero cuando esto sucede hace que las partículas de ceniza caigan con mayor rapidez en el suelo, minimizando su dispersión por el aire, pero, sin embargo, puede ser el causante de la formación de lahares (flujos de lodo provenientes de restos volcánicos), que revisten cierta peligrosidad.

Las variaciones con respecto a las temperaturas también pueden influir en la dispersión de estas partículas. Por un lado, las corrientes ascendentes con aire caliente pueden alzar las partículas a mayor altura y por otro, las corrientes descendentes pueden hacer que se estanquen y depositen con mayor rapidez. La Palma tiene un clima predominantemente subtropical con temperaturas bastante agradables durante todo el año, con un promedio de 25-28º en verano y 21-23º en los meses más fríos. Además, dentro de la isla, y con un margen muy corto de separación podemos encontrar infinidad de microclimas, variaciones locales de temperatura y precipitaciones, según la altitud, orografía y vertiente de la isla.

En cuanto a la humedad, la isla se caracteriza por su color verde y frondoso prácticamente por toda la isla, destacando la zona norte donde encontramos incluso un bosque de laurisilva. Aunque podemos decir que la isla se divide en dos grandes regiones climáticas: zona este, con una vegetación exuberante y un ambiente más húmedo y zona oeste, donde predominan más días soleados y un poco más seca, con lluvias escasas.

La topografía y la orografía de la isla han tenido un papel fundamental para el desarrollo ambiental. Encontramos un gran contraste de paisajes, destacando incluso por su altura. No por ser la más alta, sino por las abruptas diferencias de altitud que encontramos en muy pocos kilómetros.

Podemos pasar de estar en una de sus bonitas playas de arena negra (volcánica) a la zona alta de montaña con los bosques de pino canario, en poco más de 15 minutos en coche. Las montañas, valles y barrancos actúan como barreras físicas que ayudan a controlar los vientos y trayectoria de los gases y de las cenizas. La isla se considera joven en su fase de crecimiento, con erupciones volcánicas aún recientes y en zona con posibilidad de futuras erupciones, por lo que el relieve consta de pendientes pronunciadas que ayudan a acelerar el flujo de las partículas, encontrando muy pocas zonas planas.

Como ejemplo a destacar tenemos la erupción del volcán Eyjafjallajökull en Islandia en el año 2010, cuyas cenizas transportadas por el aire colapsaron el tráfico aéreo de muchos países europeos, entre ellos España. Otro ejemplo, en esta ocasión algo más positivo, fue el volcán del Monte Santa Elena en EEUU en el año 1980 donde, gracias a la orografía del terreno se logró canalizar la lava y la ceniza, afectando sólo a áreas específicas, en vez de a una población extensa o de forma descontrolada.

En cuanto a los trabajadores del sector primario, estos factores pueden también afectar a su exposición ante el riesgo. En cuanto a los vientos y siendo su trabajo predominantemente al aire libre, puede aumentar tanto su voracidad acumulándose en mayor medida o llegando incluso a lugares más alejados. Como comentamos anteriormente, las montañas pueden actuar como canalizadores del terreno, pudiendo llegar a concentrar los contaminantes en áreas más concretas, donde estos trabajadores pueden estar más o menos expuestos.

## Capítulo 3.4. Impacto en Cultivos y Seguridad Alimentaria

### 3.4.1. Efectos de la ceniza y gases en la fisiología de las plantas

Los productos derivados de una erupción volcánica, fundamentalmente cenizas y gases pueden llegar a generar efectos importantes en la fisiología de las especies vegetales, afectando a los procesos esenciales de estas, como la fotosíntesis, procesos de respiración y otros procesos fisiológicos para sobrevivir.

Ya comentamos el problema que estas partículas generan a las plantas a la hora de hacer la fotosíntesis, pero esto conlleva también otras afecciones, como el daño que se produce en las hojas al depositarse, causando abrasión y daño físico, o la contaminación por gases, como el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), causando daños en los tejidos.

A la hora de respirar las plantas acumulan ceniza en sus hojas, pudiendo llegar a obstruir las estomas, que son los poros por donde estas llevan a cabo el intercambio de los gases. Esto reduce su absorción de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y la liberación de oxígeno ( $\text{O}_2$ ).

La toxicidad de algunos gases, como el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) o el ácido fluorhídrico (HF) pueden generar daños en los tejidos a través de los cuales respiran las plantas. Si estos intervienen en la respiración celular, pueden llegar a afectar a la salud general de las plantas.

Además, surgen otros problemas de carácter fisiológico, como la dificultad para la absorción de nutrientes, como el fósforo o el potasio, la falta de transpiración de las hojas de las plantas para liberar el agua a través de sus estomas lo que conlleva la alteración del balance hídrico de dichas plantas y que puede afectar a su capacidad para mantener la turgencia celular. Las plantas pueden sufrir estrés si mantienen una exposición continua y prolongada a cenizas o gases volcánicos, afectando a su desarrollo, lo que conlleva una menor eficiencia de la productividad y afecciones en la salud de dichas especies.

¿Qué medidas son las más efectivas para llevar a cabo la mitigación de estos efectos negativos para el ecosistema?

- Limpiar las hojas de los árboles y plantas para eliminar las posibles acumulaciones de ceniza y ayudar a reducir el daño físico.
- Incorporar enmiendas, o sea materias que pueden añadirse al suelo para mejorar sus propiedades físicas, químicas o biológicas, modificando su estructura o composición para hacerlo más fértil. Estas también ayudan a neutralizar la acidez que puedan llegar a causar.
- Incluir métodos de protección de ciertas plantas que sean más vulnerables a los efectos que producen estos agentes tóxicos

Los cultivos que se han expuesto a contaminantes volcánicos, como en este caso, pueden mostrar varios síntomas que reflejan daño, siendo los más frecuentes:

#### Síntomas en las hojas:

- **Clorosis:** las hojas se tornan en color amarillo por la falta de clorofila, debido a problemas con la fotosíntesis
- **Necrosis:** las hojas presentan áreas de tejido muerto, con manchas marrones o negras
- **Punteados y manchas:** hojas decoloradas y pequeñas manchas, normalmente causadas por la proximidad a gases como el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ )
- **Deformaciones y enrollamiento:** las hojas se enrollan o deforman, causado por el daño físico que les provocan las partículas recibidas

#### Síntomas de las raíces y el tallo:

- **Cancros y lesiones:** aparecen áreas hundidas y necrosadas en el tallo
- **Pudrimiento de las raíces:** pueden aparecer síntomas de pudrición en las raíces, lo que afecta a la absorción de los nutrientes y el agua

#### Síntomas generales:

- **Enanismo:** reducción del crecimiento de las plantas, sobre todo en las más especies de menor tamaño
- **Disminución de la productividad:** merma la cantidad de frutos y semillas debido al estrés sufrido

- **Marchitez:** las plantas se marchitan y languidecen debido a la falta de agua y nutrientes

Como ejemplo de materiales contaminantes destacaremos el **dióxido de azufre** ( $\text{SO}_2$ ), que puede ocasionar manchas, clorosis e incluso necrosis, el **ácido fluorhídrico** (HF), que puede producir quemaduras en las hojas o necrosis y la propia **ceniza volcánica**, que puede generar daño físico a las hojas, obstruyendo incluso las estomas, afectando a otros procesos, como la respiración y/o la fotosíntesis.

### 3.4.2. Contaminación de cultivos con metales pesados y otros tóxicos

Debido a diferentes mecanismos los metales pesados y otras sustancias tóxicas acumuladas, pueden llegar a presentarse riesgos de relevancia tanto para la salud de las personas, como de los animales o plantas.

En cuanto a los cultivos, las plantas a través de sus raíces pueden absorber los metales pesados y resto de sustancias nocivas. Una vez que entran por la raíz, pueden viajar fácilmente a cualquier otro lugar de dicha planta, como las hojas, el tallo o incluso los frutos. Además, si el agua que usamos para regar está contaminada con cualquier sustancia tóxica, puede ser también absorbida durante el proceso de riego. También, estas sustancias contaminantes pueden depositar sus partículas en la cara externa de las plantas, mediante el polvo o cuando llueve, lo que contribuye a su acumulación.

Cuando la acumulación de ciertos metales pesados es considerable pueden llevar a la toxicidad en los seres vivos tanto directa como indirectamente. Principalmente tienen efectos dañinos en nuestro sistema neurológico, hepático o renal. A través de la cadena alimentaria también pueden llegar a acumularse en mayor o menos medida, pudiendo aumentar según avanza esta cadena alimentaria, afectando con mayor gravedad a los consumidores finales.

Si se lleva a cabo una exposición permanente o prolongada, a través de la dieta alimentaria, se pueden desarrollar enfermedades crónicas, como cáncer, enfermedades cardiovasculares o incluso trastornos del desarrollo.

Los principales metales pesados que podemos encontrar y sus efectos principales son:

- **Plomo (Pb):** Puede presentar daño neurológico, por tanto, puede afectar al desarrollo cognitivo en niños.
- **Mercurio (Hg):** Muy tóxico, produce problemas renales y daña el sistema nervioso

- **Cadmio (Cd):** Puede producir enfermedades óseas y/o daño renal.
- **Arsénico (As):** Principalmente desarrolla cáncer de piel, pulmón, vejiga u otros órganos

Según la normativa europea por la que nos regimos, existen algunos límites tolerables de presencia de algunos de estos elementos en los alimentos que vamos a consumir. Son variables, dependiendo del tipo de contaminante y el alimento en concreto. Por ejemplo, los que mencionamos anteriormente:

- **Plomo (Pb):** se establece un nivel muy bajo de tolerancia, para reducir su toxicidad. Con los estándares de la Unión Europea, el límite de plomo en productos como frutas y verduras es de tan solo 0.1 mg/kg.
- **Mercurio (Hg):** principalmente lo encontramos en el pescado y productos derivados del mar. Su límite en la Unión Europea es de 0.5 mg/kg máximo.
- **Cadmio (Cd):** límite de 0.2 mg/kg para cereales y productos derivados.
- **Arsénico (As):** para un alimento básico como el arroz se determina un tope máximo de 0.2 mg/kg.

Aparte de los anteriores también podemos encontrar otras sustancias tóxicas nocivas para nuestra salud, como el Benzopireno, para alimentos ahumados, los Nitratos, en vegetales con hojas verdes y los Nitritos, en productos cárnicos, cuyas concentraciones son tolerables solo en cantidades minúsculas.

En cada país existe una regulación propia, determinando sus propios límites, teniendo en cuenta sus evaluaciones de los riesgos y las condiciones que se desarrolle en la localidad. Además, existen normas internacionales que determinan los límites de contaminantes para los productos a consumir, que son adoptados por un gran número de países, como el Codex Alimentarius. Basándose en los efectos perjudiciales que desarrolle hacia los seres humanos, los productores, procesadores de alimentos y todos los miembros de la cadena alimentaria, han de tomar todas las medidas necesarias para preservar el contenido de los alimentos, lejos de los contaminantes y ayudando a alcanzar un nivel 0 o lo más cercano posible, respetando siempre los máximos establecidos en la legislación que les sea aplicable.

### 3.4.3. Efectos en la cadena alimentaria

Los efectos por la contaminación producidos en la cadena alimentaria pueden suponer un grave riesgo en la seguridad alimentaria. Como comentamos las producciones agrícolas pueden absorber contaminantes del agua y del suelo, tanto de metales pesados como el plomo o el mercurio, como de otras sustancias tóxicas como pesticidas o cualquier otro producto químico industrial. Además, los contaminantes también pueden introducirse en la cadena a través de la superficie, afectando así a su calidad y seguridad.

Los contaminantes se pueden acumular en los tejidos de cualquier organismo a lo largo de la cadena alimentaria, por lo que el nivel de toxicidad irá aumentando cada vez que se active la cadena, afectando con mayor gravedad al último eslabón. Su concentración aumenta en cada nivel trófico, por ejemplo, un pez pequeño con bajo nivel de mercurio es ingerido por un depredador de mayor tamaño como los tiburones acumulando así cantidades mucho más peligrosas. Consumir estos alimentos contaminados nos puede llegar a desencadenar varios problemas de salud, con daños irreversibles.

Además, estos cultivos pierden calidad nutricional, reduciendo su cantidad de nutrientes esenciales y disminuyendo también la productividad de los cultivos, con menor disponibilidad de alimentos. Los costos de producción agrícola y la contaminación del suelo pueden verse incrementados debido a la necesidad de implementar medidas que ayuden a remediar y revertir la situación.

Como medida de protección de la cadena alimentaria y así poder mitigar y reducir los riesgos producidos por la contaminación en los cultivos se han de implementar varias estrategias, como el monitoreo constante del suelo y el agua con análisis periódicos para detectar la contaminación de forma precoz en caso de que existiera, el uso de plantas que absorban y acumulen contaminantes limpiando el suelo (fitorremediación), o aplicando enmiendas al suelo reduciendo así la disponibilidad de contaminantes en las plantas.

Existen medidas clave para garantizar la seguridad en la cadena alimentaria, protegiendo así la salud pública y previniendo la llegada de los contaminantes a los alimentos:

1. Higiene personal: es importante el lavado de las manos con agua y jabón antes de tocar cualquier alimento y siempre tras ir al baño o después de tocar alguna superficie que pudiera estar contaminada. Las uñas deben estar cortas y limpias, evitando que se acumule suciedad, bacterias y/o hongos.

2. Limpieza y desinfección: regularmente se ha de limpiar y desinfectar todas las superficies de trabajo, utensilios, etc. con agua caliente y detergentes específicos. Antes de utilizar cualquier equipo de cocina hemos de cerciorarnos de que están limpios y desinfectados.
3. Manipulación adecuada de los alimentos: los alimentos cocinados y los alimentos crudos deben estar perfectamente separados para evitar contaminación cruzada. Los utensilios que se utilicen han de ser diferentes en cada caso.
4. Control de temperaturas: los alimentos deben almacenarse a la temperatura adecuada. Por ejemplo, los alimentos perecederos deben conservarse a 4°C o menos. Para eliminar la proliferación de bacterias y otros patógenos, los alimentos han de ser cocinados a una temperatura mínima de 75°C.
5. Control de plagas: desinfección, desinsección y desratización en las áreas de trabajo para mantenerlas libres de plagas que puedan transmitir enfermedades.
6. Formación y capacitación: el personal ha de conocer las medidas de higiene y seguridad alimentaria, de forma actualizada, conociendo las mejores prácticas y regulaciones en seguridad alimentaria.

## APARTADO 4: MATERIAL Y MÉTODOS

### Capítulo 4.1. Metodologías de Monitoreo y Análisis Químico

#### 4.1.1. Técnicas de muestreo de suelo, agua y cultivos

Existen numerosas técnicas para el muestreo de las distintas áreas, incluyendo los equipos y protocolos necesarios:

- **Muestreos aplicados al suelo:** pueden ser superficiales (con una profundidad entre 0 y 20 cm) generalmente usado para cultivos anuales y muestreos a profundidad, donde se evalúa la fertilidad y contaminación en las capas más profundas. Primero se identifica la zona de muestreo, haciendo un croquis del terreno. Se toman varias submuestras siguiendo un patrón en zigzag para así obtener una muestra representativa. Posteriormente se mezclan las submuestras y se toma una proporción representativa para el análisis. Es necesario la utilización de barrenas para la extracción según las distintas profundidades, además de palas y cubos para recolectar y mezclar las submuestras. También serán necesarias bolsas de muestreo, donde almacenar y transportar las muestras.
- **Muestreos aplicados al agua:** se puede tomar una muestra puntual en un momento específico, tomando múltiples muestras siguiendo un intervalo regular y combinándolas o con la utilización de pozos tomando muestras de los acuíferos. Se han de definir los objetivos del análisis y los puntos de muestreo, utilizando recipientes limpios y adecuados según lo requerido. Las muestras han de preservarse en las condiciones óptimas para evitar su degradación. Necesitaremos botellas de vidrio o plástico, dependiendo del análisis posterior, así como botellas de Niskin si el muestreo se lleva a cabo en aguas más profundas. Para mantener las muestras a la temperatura correcta, es decir, baja temperatura, necesitaremos hielo y refrigeradores.
- **Muestreos aplicados a cultivos:** podemos analizar sus hojas, y así conocer la cantidad y calidad de los nutrientes y contaminantes o analizando sus frutos, para evaluar la calidad y seguridad alimentaria de la planta. Primero seleccionamos las plantas y las partes concretas que vamos a muestrear, tomando muestras de diferentes partes, obteniendo así una muestra suficientemente representativa. Las muestras han de presentarse limpias y preparadas para su análisis. Necesitaremos tijeras y cuchillos para cortar las diferentes partes, como las hojas y frutos, bolsas de muestreo para almacenar y transportar dichas muestras y etiquetas que nos permitan identificar y registrar las muestras.

Siempre que sea posible, el material ha de mezclarse antes del muestreo para garantizar su homogeneidad. También es importante la elección de los contenedores, con cuidado de que no reaccionen químicamente ante la presencia de la muestra.

#### 4.1.2. Análisis de laboratorio para metales pesados y otros contaminantes

En el caso de los metales pesados destacaremos dos técnicas principales:

- **Espectroscopía de absorción atómica (AAS):** con una llama y un horno de grafito se logra atomizar la muestra, midiendo la cantidad de luz absorbida por los átomos en la muestra. Para altas concentraciones, aunque con menor sensibilidad, es rentable y bastante usado para análisis rutinarios.
- **Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS):** se analizan los iones usando un plasma inductivamente acoplado. Dispone de alta sensibilidad y logra detectar diferentes elementos de manera simultánea, incluso cuando la concentración es baja (ppb o ppt).

Para el análisis de los gases las técnicas más utilizadas son:

- **Cromatografía de gases (GC):** a través de una fase móvil gaseosa que pasa por una columna se logra separar los componentes volátiles y semivolátiles de la muestra, con alta precisión y capacidad de diferenciar compuestos específicos.
- **Espectroscopía Infrarroja (IR):** con la absorción específica de longitudes de onda por las moléculas de gas se detectan compuestos orgánicos volátiles y gases de efecto invernadero. Con esto se analiza la calidad del aire.
- **Espectrometría de masas (EM):** dispone de alta sensibilidad y capacidad para analizar múltiples gases al mismo tiempo, a través de un espectrómetro de masas que permite identificar y cuantificar los gases, midiendo en la muestra la relación masa-carga de los iones.

En el caso de otras sustancias contaminantes se suelen utilizar:

- **Espectroscopía de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES):** con alta precisión y capacidad para detectar diversas sustancias de forma simultánea, usa un plasma inductivamente acoplado para lograr la excitación de los átomos en la muestra. Mediante espectroscopia se analiza la luz emitida.

- **Electroforesis capilar:** a través de un campo eléctrico aplicado a un capilar logra separar los iones y cationes inorgánicos, aminoácidos, ácidos orgánicos, vitaminas y proteínas. Funciona con una amplia gama de compuestos, con alta resolución.
- **Espectroscopía infrarroja de transformada de Fourier (FTIR):** suele utilizarse para analizar aceites, grasas, polímeros y medicamentos. Trata de identificar como las moléculas se convierten en calor, tras absorber la radiación infrarroja.

Para comprender la seguridad y calidad de los suelos, aguas y consecuentemente el cultivo, es necesario interpretar los resultados químicos obtenidos. Para ello, podemos ayudarnos de tablas y gráficos que nos faciliten su visualización y podamos así comparar los datos, con esto podremos identificar tendencias y variaciones entre las distintas muestras.

Una vez obtenidos los resultados han de compararse con los límites legalmente establecidos para nuestro territorio, por ejemplo, en nuestro caso, con las normas internacionales del Codex Alimentarius y resto de regulaciones nacionales. Así podremos determinar si los niveles de contaminantes encontrados se encuentran dentro de los límites aceptables.

Para evaluar la calidad usaremos indicadores específicos. Por ejemplo, si estamos analizando la calidad del suelo, el contenido de nitrógeno que nos resulte del análisis de la muestra determinará la calidad de la materia orgánica.

Como conclusión analizaremos los datos obtenidos determinando si los niveles de contaminantes apoyan o refutan la idea original. Un ejemplo en el análisis de los cultivos, en el que encontramos niveles de plomo (Pb) superiores a 0.1 mg/kg, indica riesgo de daño neurológico para el consumidor, o en el caso del análisis del suelo en el que encontramos una concentración de Cadmio (Cd) por encima de 0.2 mg/kg, indicando contaminación en los cultivos, pudiendo afectar a la salud humana y por tanto poner en riesgo la seguridad alimentaria.

#### 4.1.3 Monitoreo de gases volcánicos y calidad del aire

Es fundamental para proteger la salud pública y llegar a entender el impacto ambiental, el monitoreo de los gases volcánicos y la calidad del aire. Las técnicas más utilizadas para ello son:

Técnicas de monitoreo para los gases volcánicos:

- **Espectroscopía de correlación (COSPEC):** mediante la correlación de la absorción de la luz ultravioleta logra medir la concentración de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) en las plumas volcánicas. Es portátil, se usa en monitoreos de campo y es bastante económico.
- **Espectroscopía de absorción diferencial (DOAS):** se usa para medir concentraciones de gases como  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$ , usando la absorción diferencial de luz en diferentes longitudes de onda. Nos permite monitorear diferentes tipos de gases de manera simultánea con alta precisión.
- **Cámara ultravioleta (UV):** nos da datos visuales y cuantitativos en tiempo real de la concentración de  $\text{SO}_2$ , capturando imágenes de las plumas volcánicas en el espectro ultravioleta.
- **Espectroscopía infrarroja de transformada de Fourier (FTIR):** detecta una amplia variedad de gases diferentes con alta sensibilidad, a través de la absorción de la luz infrarroja de los gases volcánicos, lo que permite detallar los distintos compuestos.

Técnicas de monitoreo para la calidad del aire:

- **Quimioluminiscencia:** con gran sensibilidad, mide la concentración de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) mediante la reacción química producida por la luz.
- **Cromatografía de gases (GC):** identifica multitud de compuestos con bastante precisión, separando y analizando los compuestos volátiles y semivolátiles que encontramos en el aire.
- **Tecnología de correlación de filtros de gases (GFC):** para gases específicos, dispone de alta precisión, usando filtros de gas para medir la cantidad de gases, como el monóxido de carbono (CO) que podemos encontrar.
- **Espectroscopía infrarroja de transformada de Fourier ópticamente mejorada (OE-FTIR):** permite cuantificar e identificar diversos compuestos con alta sensibilidad y capacidad, midiendo la absorción de luz infrarroja de los contaminantes del aire.
- **Fotometría de UV:** estudia la concentración del ozono ( $\text{O}_3$ ) en tiempo real, mediante la absorción de luz ultravioleta.

Los datos obtenidos de este monitoreo nos permiten proteger la salud pública y el medio en el que nos movemos, pudiendo evaluar la exposición y riesgo al que nos enfrentamos. Por ello es importante seguir los pasos con exactitud:

**Paso 1: Recolección de los datos.** Debemos llevar a cabo el monitoreo de forma continuada en el tiempo, tomando un registro de los datos que se vayan obteniendo.

**Paso 2: Análisis de los datos obtenidos.** Comparar los datos obtenidos en las muestras con los estándares de seguridad establecidos legalmente, utilizando gráficos y tablas para representarlos y así poder detectar las tendencias con mayor facilidad.

**Paso 3: Evaluación de la exposición.** Hemos de calcular el tiempo en el que la población afectada va a estar en contacto con el riesgo, bien por dosis inhalada, ingerida o absorbida a través de la piel. Es útil usar modelos de dispersión que nos permitan predecir como van a moverse los contaminantes y su afección por las distintas áreas.

**Paso 4: Evaluación de los riesgos.** Llevar a cabo un análisis de los riesgos que nos permita evaluar la probabilidad y severidad de los efectos dañinos que podría acarrear para la salud de los seres vivos. Debemos incluir tanto la evaluación de la exposición, como la caracterización del riesgo y la identificación del peligro. Una matriz de riesgo puede ayudarnos a clasificar los riesgos con mayor facilidad, dependiendo de su probabilidad y posibilidad de daño, con lo cual ayudará a priorizar ante las acciones que haya que llevar a cabo para su mitigación.

**Paso 5: Comunicación y mitigación.** Información a las poblaciones afectadas sobre los riesgos encontrados y establecimiento de las medidas que se llevarán, o se están llevando a cabo para ayudar a su extinción, o reducción. Por ejemplo, uso de mascarillas, mejora de la ventilación, implementación de prácticas agrícolas sostenibles, incluso evacuación de la zona afectada.

Por ejemplo, llevamos a cabo el monitoreo de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) en una zona y detectamos que los niveles son superiores a los límites establecidos de seguridad, podemos calcular la exposición y evaluar el riesgo que representa para la población afectada, pudiendo llegar a causarles problemas respiratorios. Con estos datos, podemos implantar medidas como la distribución de mascarillas o incluso evacuación de la población de las áreas afectadas.

## Capítulo 4.2. Estrategias de Mitigación y Control de Riesgos

### 4.2.1. Equipos de protección personal para trabajadores agrícolas

Es necesario y fundamental la utilización de Equipos de Protección Individual (EPI), para la protección de los trabajadores, en este caso agrícolas, ante la exposición a los contaminantes volcánicos.

La normativa básica de los EPIs necesarios aplicados en el sector agrícola, viene descrita en la siguiente legislación:

- **Real Decreto 773/1997**, define las disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la consideración de cada EPI, describiendo qué son y porqué son necesarios en todos los sectores. Además, indica la obligatoriedad del empresario para proporcionar los EPIs a los trabajadores, en función de su actividad y posibilidad de riesgo. Incluye la formación e información sobre el uso correcto de los EPIs a los trabajadores
- **Real Decreto 1076/2021**, que modifica algunas técnicas y procedimientos en cuanto a la evaluación de conformidad respecto a los EPIs
- **Decisión de Ejecución (UE) 2025/286**, actualiza normas específicas. Por ejemplo, aumenta la resistencia y fiabilidad de los equipos contra caídas, añade nuevas exigencias técnicas en cuanto a la protección auditiva, o el cuidado con los daños ocular y facial, sustituyendo normativa antigua por la EN ISO 16321-2:2021.
- **Real Decreto 34/2025**, que regula la Política Agrícola Común (PAC) y sanidad vegetal, incluyendo la obligatoriedad de los EPIs al estar en contacto con productos fitosanitarios, su formación y control de los equipos de aplicación y condiciones de uso.
- Reglamento 2016/425 de la UE, que establece los requisitos fundamentales de seguridad y salud de los EPIs, incluyendo los agrícolas.
- Manuales y guías del Ministerio de Agricultura, que se publican regularmente, recopilando legislaciones monográficas con la normativa específica para el sector, como las guías de buenas prácticas agrícolas, normas de higiene y seguridad en el trabajo rural o los requisitos necesarios para la manipulación de productos químicos y pesticidas.

El equipamiento mínimo necesario para un trabajador de la agricultura en la zona afectada consta de:

Tabla 4 - Equipos de Protección Individual (EPIs)

EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL (EPIs)		
<b>MASCARILLAS Y RESPIRADORES</b>	<b>Mascarilla N95</b>	Con capacidad para filtrar el 95% de las partículas que se encuentran en el aire, incluyendo la ceniza volcánica
	<b>Respiradores de cara completa</b>	Dan más protección ante gases tóxicos, como el dióxido de azufre
<b>PROTECCIÓN OCULAR</b>	<b>Gafas de seguridad</b>	Protección de los ojos ante las partículas, tanto de las cenizas como de otros contaminantes
	<b>Pantallas faciales</b>	Contra salpicaduras de productos químicos y partículas volátiles
<b>PROTECCIÓN DE LA PIEL</b>	<b>Ropa de manga larga y pantalones largos</b>	Reduce el contacto directo entre los contaminantes y la piel
	<b>Guantes resistentes a productos químicos</b>	Protección directa de las manos ante los agentes químicos
<b>PROTECCIÓN DE LA CABEZA</b>	<b>Cascos de seguridad</b>	Protección ante caídas a distintos niveles, caídas de partículas o impactos
	<b>Capuchas</b>	Protección extra para la cabeza y el cuello ante la exposición a partículas y/o gases
<b>PROTECCIÓN DE LOS PIES</b>	<b>Botas impermeables</b>	Para evitar daños contra líquidos que puedan estar contaminados
	<b>Botas con punta de acero</b>	Protección de los pies ante caídas, impactos y objetos punzantes

Además, es necesaria la utilización de dispositivos portátiles que nos permitan ir midiendo la concentración de los gases y las partículas contaminantes del aire y asegurarse de que estos EPI's estén en buen estado y se reemplacen cuando sea necesario. Es crucial la formación a los trabajadores sobre un uso adecuado de los mismos, las medidas de seguridad y la importancia de su correcta utilización, conociendo las consecuencias de no hacerlo de forma correcta.

Con el propósito de seleccionar y usar el EPI correcto para cada caso hemos de llevar a cabo un minucioso proceso de evaluación. Primero identificaremos los posibles peligros a los que se enfrenta un trabajador o trabajadora agrícola de la zona afectada, de forma específica, por ejemplo, analizando el tiempo de exposición a los gases en lugares más o menos cerrados.

Según lo extraído en esta primera evaluación hemos de determinar las necesidades de EPI's que les serán más eficaces. Para ello debemos también de conocer las regulaciones y normativas que haya al respecto de cada una de ellas, asegurándonos que el EPI seleccionado cumple con los estándares de seguridad tanto locales, como internacionales.

Los EPIs deben cumplir estrictamente su función, pero, además, de cumplir con los estándares de comodidad y ergonomía propios del puesto para cada trabajador, garantizándole así su ajuste, el uso continuo y efectividad. Considerando que la ergonomía de este EPI ayuda a minimizar la fatiga y el malestar cuando su uso se haga de manera prolongada.

Los trabajadores y trabajadoras del sector agrícola de la zona deben estar capacitados sobre un uso correcto de sus propios EPIs, conociendo con exactitud como ponérselo y quitárselo de forma adecuada, por ejemplo. Desde una concienciación se ha de fomentar la importancia del EPI con una cultura de seguridad donde los trabajadores los utilicen de forma consistente.

Los EPI's serán revisados regularmente para garantizar su buen estado y que funciona de forma correcta. Llevándose a cabo un mantenimiento periódico en caso necesario, por ejemplo, con la limpieza o reemplazo de los componentes rotos o desgastados. Los EPI's deben estar almacenados en un lugar limpio y seco para evitar su degradación, con fácil accesibilidad para las personas trabajadoras cuando los necesiten.

#### 4.2.2. Técnicas de descontaminación de suelos y cultivos

Para llevar a cabo la descontaminación de los suelos y cultivos afectados y contaminados debemos llevar a cabo los siguientes procesos:

- **Lavado de suelos:** técnica ex situ que lo que hace es usar soluciones acuosas para eliminar en la matriz del suelo los contaminantes que han podido ser absorbidos. Se excava el suelo que está contaminado y se transporta hasta las instalaciones donde se llevará a cabo el tratamiento. Allí, se mezcla el suelo con la solución acuosa para desorbitar los contaminantes. Esta solución puede contener agentes quelantes o surfactantes. En ese momento, mediante técnicas de filtración o sedimentación, se separan los contaminantes del suelo, utilizando el agua para eliminar los contaminantes localizados antes de su vertido o reutilización.

- **Remoción de ceniza:** con esta técnica se pretende eliminar la ceniza volcánica que se encuentra tanto en el cultivo como en el suelo. Con agua a presión se lavan las hojas y las restantes partes de las plantas, eliminando los restos de ceniza acumulada. En áreas agrícolas también se hace de forma más artesanal, barriendo y recolectando la ceniza de las plantas para que no se incorpore al perfil del suelo. La ceniza que se extraiga ha de recolectarse de forma adecuada, disponiéndola en lugar seguro para evitar que pueda contaminar otras áreas.
- **Aplicación de enmiendas:** técnica que se usa para reducir la concentración de contaminantes en las plantas y así mejorar la calidad del suelo. Pueden utilizarse enmiendas **orgánicas**, como el compost y el estiércol, **inorgánicas**, como la cal y el yeso, o **químicas**, con agentes quelantes. Se aplican directamente en el suelo mediante técnicas de labranza o en la superficie, monitoreando el suelo y la respuesta de los cultivos para así poder ajustar la dosis y/o el tipo de enmienda a aplicar según se requiera.

La descontaminación de las zonas afectadas es crucial para garantizar una cosecha de calidad y libre de agentes dañinos, por ello es necesario establecer inicialmente objetivos específicos para llevarla a cabo, como pueden ser la reducción de metales pesados hasta alcanzar niveles seguros según la normativa. Para ello deben llevarse a cabo tanto los muestreos iniciales de forma exhaustiva antes de aplicar alguna técnica, como los muestreos posteriores, para poder comparar resultados y así poder llegar a la dosis y elementos necesarios.

Se pueden también llevar a cabo análisis en laboratorios utilizando las técnicas anteriormente mencionadas y así medir con mayor exactitud la cantidad de metales pesados y otros contaminantes que podemos encontrar. También estos análisis nos ayudan a comparar la situación de nuestros suelos y cultivos antes y después de la aplicación de los tratamientos.

Una vez obtenemos los resultados se evalúa la eficacia del método de descontaminación elegido, en función de la reducción obtenida para cada elemento nocivo. Podremos observar los síntomas de mejora en la salud de los cultivos y la mejora en la salud de las plantas después de aplicar la descontaminación.

De igual forma, continuaremos realizando pruebas adicionales que validen los resultados obtenidos, asegurando los niveles de contaminantes dentro de los máximos seguros. El monitoreo constante nos ayuda a detectar cualquier atisbo de recontaminación que pudiera volver a surgir, evaluando su sostenibilidad a largo plazo.

#### 4.2.3. Manejo integrado de plagas y enfermedades post-erupción

En esta situación especial post erupción volcánica, es fundamental el Manejo integrado de plagas y enfermedades (MIPE) para reducir la utilización de pesticidas y productos químicos.

Es importante el monitoreo constante para realizar un seguimiento de plagas y enfermedades que afecte al entorno, identificando los elementos patógenos, registrando su incidencia y gravedad. El control de dichas plagas se aconseja acotarlo con un control biológico, usando organismos benéficos, como depredadores, parásitoides o entomopatógenos que ayuden a regular las poblaciones de plagas, u otras enfermedades que aparezcan.

También se puede controlar con métodos físicos, como la colocación de barreras en forma de mallas o trampas, que evitan la dispersión de las plagas y sus efectos dañinos o que se establezcan en los cultivos.

A través de prácticas agrícolas también podemos atajar la proliferación de las plagas, por ejemplo, eliminando las fuentes de inóculo, controlando el vigor y robustez de las plantas, eliminando maleza que esté infectada o preservando alguna vegetación herbácea que fomente el desarrollo de insectos que sí sean beneficiosos. Para garantizar la seguridad alimentaria, la protección del medio ambiente y el bienestar laboral de los trabajadores y trabajadoras del campo, se pueden implementar Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), que fomentan acciones tanto en la producción, como en el procesamiento, almacenamiento y transporte de los productos del campo.

Se han de realizar análisis tanto del suelo como del agua para detectar los posibles elementos contaminantes y determinar así su concentración. Con esto se podrán identificar los riesgos potenciales para los cultivos y, por ende, de los seres vivos.

También se implementarán sistemas de monitoreo de forma continua que evalúen la calidad del aire, agua y suelo para detectar las tendencias que vayan ocurriendo y, así poder atajarlas de forma inmediata. Por último, se analizará la afección de los contaminantes químicos a la biodiversidad y, sobre todo, al campo, desarrollando estrategias que ayuden a su mitigación.

Es posible la protección de los cultivos ante plagas y enfermedades sin que tengamos que hacer abuso de otros contaminantes, llevando a cabo políticas sostenibles y prácticas más avanzadas. Por ejemplo, con la rotación de cultivos alternando diferentes cultivos en una misma zona, controlándolos biológicamente utilizando otros organismos beneficiosos, o con cultivos de cobertura, plantando cultivos que cubran la totalidad del terreno, previniendo así de la erosión, mejorando su calidad y eliminando el nacimiento de maleza.

En este ámbito también nos encontramos con numerosos avances tecnológicos que nos ayudarán a su control, como el uso de sensores y drones para monitorear y detectar precozmente las posibles plagas y/o enfermedades, con tratamientos térmicos, aplicando calor, o con la solarización del suelo, cubriendo el suelo con plásticos transparentes para que incremente así su temperatura.

#### 4.2.4. Control de la calidad del agua.

Para garantizar la salud de los seres humanos y la seguridad en los productos del campo, es fundamental el control de la calidad del agua, tanto del agua de consumo, como del agua utilizada para el riego.

Al igual que en los casos anteriores, el monitoreo ha de ser continuo y regular, con análisis de forma periódica, para detectar cualquier contaminante ya sea químico, biológico o físico. Para ello se hacen pruebas de pH, turbidez, conductividad y concentración de microorganismos patógenos o metales pesados.

El agua ha de disponer de un sistema de tratamiento adecuado, según los contaminantes detectados, por ejemplo, a través de cloración, filtración, ozonización o incluso con carbón activo, lo que le permite limpiar y eliminar las impurezas.

Además, las fuentes de agua han de protegerse de posibles contaminaciones, con zonas protegidas a su alrededor, evitando actividades a su alrededor que puedan desencadenar cualquier tipo de contaminación. Los residuos agrícolas e industriales deben tratarse correctamente, evitando a toda costa que puedan contaminar los acuíferos.

Los agricultores y agricultoras han de recibir la información necesaria de la importancia de preservar la calidad del agua, haciendo buen uso de las prácticas para su conservación a largo plazo.

El uso de tecnologías avanzadas, como sensores y sistemas de monitoreo en tiempo real ayuden a detectar precozmente cuando la calidad del agua no es la aceptable, para así poder actuar a la mayor brevedad posible.

En el caso de agua para el riego, deben implementarse sistemas de riego eficiente, como el riego por goteo o aspersores, o incluso tecnologías más avanzadas que detecten cuando es necesario el riego, para optimizar el uso del agua y se reduzcan las posibilidades de contaminación.

Cuando, a pesar de llevar a cabo todas las medidas de preservación posible, el agua que recibimos está contaminada, como en este caso con presencia de ceniza o cualquier otro contaminante requiere de algunas técnicas para su limpieza y seguridad:

- **Filtración:** con filtros de carbón activo, arena o membranas que eliminan partículas sólidas y otros contaminantes que pueda haber disueltos.
- **Sedimentación:** los elementos que resultan más pesados permanecen en el fondo del tanque de sedimentación, por lo que hace más sencilla la eliminación de cenizas o cualquier otro sólido suspendido.
- **Coagulación y floculación:** aglutinación de las partículas finas en flóculos más grandes con coagulantes químicos, como el sulfato de aluminio, para así eliminar más fácilmente con alguno de los 2 procedimientos anteriores.
- **Oxidación:** descomposición de los contaminantes orgánicos y eliminación de otros patógenos usando agentes oxidantes, como el ozono, el cloro o el peróxido de hidrógeno.
- **Adsorción con cenizas:** el agua discurre a través de un filtro de cenizas, adhiriéndose los contaminantes a las partículas de ceniza, dejando el agua clara y limpia.
- **Desinfección:** eliminación de patógenos con métodos de desinfección como el ozono, radiación ultravioleta (UV) o la cloración.

- **Biorremediación:** microorganismos descomponen y eliminan los contaminantes orgánicos del agua. Especialmente útil para el tratamiento de aguas residuales.
- **Nanofiltración y ósmosis inversa:** tecnología avanzada de membrana, muy interesante para la eliminación de varios contaminantes, como metales pesados, sales y compuestos orgánicos.
- **Electrocoagulación:** se provoca la coagulación de los contaminantes a través de corrientes eléctricas, para que sean luego eliminados con alguna de las primeras técnicas mencionadas.

Los distintos tipos de tratamiento de agua aquí descritos son una **herramienta y referente para la adecuación de posibles aguas contaminadas en distintos ámbitos, tanto industriales como sociales.**

## Capítulo 4.3. Estudios de Caso y Lecciones Aprendidas

### 4.3.1. Análisis de erupciones volcánicas pasadas y sus impactos agrícolas

1. **Erupción de 1949, del volcán de San Juan:** esta erupción se produjo en una zona muy cercana al reciente volcán de Tajogaite. Afecató principalmente a zona agrícola, destruyendo cultivos y modificando la topografía de la zona. La lección aprendida se enfocó en la necesidad de establecer observatorios sismológicos para poder predecir futuras erupciones volcánicas, debido a la alta posibilidad de que esto pueda volver a producirse en la isla, debido a su posición estratégica. Se puede visitar el Centro de Visitantes que han creado en torno a este volcán, con incluso un simulador sísmico donde podemos experimentar en primera persona los movimientos que se producen ante este tipo de situaciones, e incluso se puede pasear por el borde del cráter del volcán hasta el mirador desde donde contemplar toda la zona.

2. **Erupción de 1971, del volcán Teneguía:** localizado en la zona sur de la isla, municipio de Fuencaliente, cubrió mayoritariamente suelo agrícola dedicado al cultivo de la vid y cereales. La ceniza también modificó la calidad del suelo para los cultivos. A día de hoy, aún su cráter permanece caliente, con lo cual podemos hacernos una idea de su magnitud y también se observa con facilidad la cantidad de terreno que este ganó al mar. De ahí, se aprendió a diversificar a la hora de cultivar en la zona y se implementaron técnicas de cultivo más avanzadas que ayuden ante la resiliencia de futuras erupciones.

Como conclusión a los efectos derivados de estas erupciones hemos podido comprobar que la ceniza volcánica es rica en nutrientes, con altos valores de carbono, por lo que a largo plazo beneficia al suelo agrícola.

También hemos aprendido que los gases emitidos por el volcán durante y posteriormente a las erupciones pueden ser de muchos tipos y composiciones, desde simple vapor de agua hasta concentraciones altas de azufre y no solo lo desprende por su cráter o alrededores, sino que puede comunicarse con cualquier otra cavidad volcánica de las profundidades de la isla y ser emitido por poblaciones mucho más alejadas. Estos gases pueden ser perjudiciales para la salud humana y del resto de seres vivos, por lo que es fundamental su monitoreo y control para proteger a la población y los cultivos.

La resiliencia de la población es realmente admirable, más aún de la comunidad agrícola, por ello es muy importante contar con las medidas de apoyo y recuperación necesarias para la recuperación tanto social, como laboral o económica de toda la población, por ejemplo, con la reconstrucción de invernaderos, la replantación de los cultivos, o la mejora o creación de las infraestructuras necesarias.

#### 4.3.2. Evaluación de la efectividad de las medidas de mitigación

Tras lo sucedido se han implementado o mejorado algunas medidas para mitigar los efectos:

- Implantación de sistemas de monitoreo volcánico, con el uso de sismógrafos, cámaras térmicas y análisis de los gases que ayuden a detectar cualquier atisbo de actividad temprana. Estos sistemas son elementales para evacuar oportunamente a la población ante una erupción inminente, reduciendo así significativamente las pérdidas tanto humanas, como materiales.
- Creación de planes de emergencia estructurados y posibilidades de simulacros ante emergencias, de forma constante y regular para estar preparados, tanto el personal de emergencia como la población en general, ante un caso de esta envergadura. Aunque este tipo de planes es complicado en un área tan rural y dispersa como la que nos encontramos, es esencial una evacuación temprana y organizada, que ayude a preservar muchas vidas.
- Construcción de infraestructuras de protección con barreras físicas, como zanjas y muros que desvíen la lava y protejan las áreas más habitadas y agrícolas. Dicha construcción es ciertamente costosa y no siempre garantiza su éxito, pero puede ser de gran efectividad.

- Programas de apoyo para la rehabilitación y recuperación post-erupción son fundamentales, tanto para la población agrícola como para los ciudadanos que han perdido su casa y todos sus bienes materiales. La coordinación entre las distintas administraciones, científicos y comunidad es vital para llevar a cabo las medidas de mitigación.

También desde el ámbito educativo, se ha de concienciar a la población más joven de los riesgos que un volcán puede llegar a producir y las medidas de seguridad que deben llevar a cabo para cada caso, como respuesta a una posible erupción.

La capacidad de respuesta ante este tipo de fenómenos puede verse significativamente mejorada con inversión en tecnologías más potentes de monitoreo y alerta, para dar respuesta ante una inminente erupción.

#### 4.3.3. Lecciones aprendidas para la gestión de futuros eventos

La coordinación y colaboración entre las entidades gubernamentales, tanto a nivel estatal como autonómico e incluso local, con la comunidad científica y la población afectada es crucial para gestionar el desastre de la forma más efectiva posible. La realización de simulacros conjuntos y creación de comités de coordinación con personal experto en emergencias puede ser de gran ayuda como respuesta ante una crisis de estas características.

Fomento desde las escuelas y centros educativos, así como campañas específicas, para que la población esté preparada y sepa cómo enfrentarse ante un evento de este tipo, llevando a cabo las medidas de seguridad necesarias.

La aplicación de innovaciones tecnológicas es también un elemento fundamental para estar preparados ante una erupción, tanto en técnicas avanzadas que nos proporcionen más y mejor información del monitoreo y sistemas de alerta para disminuir la capacidad de respuesta ante una situación similar a la ya vivida, como con el uso de drones de vigilancia.

Las infraestructuras han de afianzarse construyendo muros y otras barreras físicas que desvíen la lava a su paso y protejan los núcleos de población más habitados y las grandes zonas de cultivo, aunque es cierto que la inversión en estas puede resultar costosa, pero puede ser realmente efectiva ante el paso de la lava.

Los planes de emergencia han de estar actualizados y estructurados, revisándose con asiduidad, para estar lo más preparados posible. La planificación ha de ser lo más detallada posible, para que la desgracia humana que pueda suceder sea la mínima y no se produzca un caos entre la población.

Una vez el desastre haya finalizado, los programas de apoyo para la reconstrucción y rehabilitación de viviendas, infraestructuras, zona agrícola, etc. deben tramitarse de la forma más ágil posible, para así recuperar cuanto antes el desarrollo económico de la isla.

El uso de los EPI's debe distribuirse de manera indiscriminada desde el comienzo del evento, tanto mascarillas, como gafas protectoras y otros equipos necesarios para la protección ante cenizas o cualquier otro gas tóxico. Se han desarrollado numerosas patologías asociadas a la exposición de cenizas volcánicas u otras toxinas, generando problemas de salud, como problemas respiratorios o de la piel. Hay que tener en cuenta que la única persona directamente afectada de muerte durante la erupción falleció por la inhalación de gases tóxicos procedentes del cráter.



## APARTADO 5: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Capítulo 5.1. Conclusiones, Resultados, Discusión y Recomendaciones

#### 5.1.1. Resumen de los principales hallazgos

En nuestra investigación en campo hemos podido comprobar el impacto sufrido en la zona a las áreas agrícolas, destruyendo cultivos, invernaderos, no solo por el paso de la lava, sino por otras causas indirectas, como el peso de las cenizas que destruyó una gran cantidad de invernaderos y la alteración de la topografía del terreno. La ceniza volcánica lo cubre todo, hemos visto casas enteras, no afectadas por la lava, pero a las que no se puede acceder debido a que están soterradas en ceniza, aún hoy en día y no se sabe si finalmente podrán ser recuperadas. Muchas otras afortunadamente sí se han salvado, otras con daños en su estructura que las hace impracticables para su habitabilidad, marcadas con una gran X de color rojo.

Ilustración 2 - Casa enterrada en ceniza volcánica



[Link](#)

Si bien es cierto que nos enorgullece ver como la población agrícola, del sector platanero, ha sido una de la más resiliente, ya que, pese al calor que experimentamos a nuestro alrededor con el suelo aún caliente, han vuelto a poner tierra y a cultivar sus tierras. Con orgullo indico el link a una de las noticias que más han levantado mi ánimo, ya que hemos empezado a ver de primera mano los brotes verdes tras la desgracia a principios de este año 2025: [Noticia 1ª cosecha de plátanos tras el volcán](#), o el [link hacia la noticia en TVCanaria](#).

Ilustración 3 - Cosecha de plátanos sobre la lava



[Link](#)

Por otro lado, hemos comprobado como esta ceniza, que al principio era molesta, ahora tiene muchas propiedades beneficiosas para el suelo de las zonas de cultivo, con alto índice en carbono, e incluso se utiliza para la construcción de viviendas junto al cemento y la grava. Inclusive se ha exportado a otras islas e incluso a otros países, por lo que ahora empezamos a verle el lado bueno.

Por el lado más amargo, aún los gases perjudiciales para la salud se siguen emitiendo. En el cráter no revisten tanta peligrosidad ya que con el calor que aún desprende es prácticamente imposible acercarse a él y a estos gases. Pero aún en algunas zonas, sobre todo la zona costera cercana a la erupción, con dos poblaciones marineras principales y con uno de los principales núcleos turísticos de la isla, como la zona de Puerto Naos, la Bombilla y el Remo, aún tiene viviendas en las que sus moradores siguen evacuados y sin posibilidades de volver por el momento y sin fecha determinada. Aunque gran parte de su población ha podido volver, con monitoreo en el interior de las viviendas, ventilación máxima constante y siempre vigilante, sobre todo en las zonas de garajes y trasteros, llevando esto casi a una situación de “normalidad”.

Ilustración 4 - Sensor de medición de gases en vivienda de Puerto Naos



Imagen propia

A través de la web de [Volcán de La Palma](#), creada por el Cabildo de la Isla, podemos extraer todos los datos necesarios, en tiempo real e Informes mensuales de la situación de los gases, realizados por INVOLCAN (Instituto Volcanológico de Canarias) y el IGN (Instituto Geográfico Nacional), máximas autoridades científicas encargadas desde el inicio del evento volcánico. Se añade en el anexo el último Informe realizado por IGN-INVOLCAN a 20 de marzo de 2025, como referencia para su estudio.

En esta misma web se pueden obtener datos acerca de la evolución del CO<sub>2</sub>, que es el principal gas tóxico emitido por el volcán, tanto en el exterior, con varios sensores localizados por todo el entorno de la isla, como de los habitantes de las zonas que han presentado una mayor concentración de los gases, aunque obviamente estos están protegidos y pueden verse de manera individualizada por cada usuario que disponga de un aparato similar al de la foto en su vivienda.

#### 5.1.2. Recomendaciones para la investigación futura

El desarrollo de nuevas tecnologías para el monitoreo, como con redes de sensores inalámbricos y drones mejorarán cada vez más la detección precoz de cualquier atisbo de actividad volcánica. También la implementación de alertas rápidas basadas en los datos obtenidos con esta experiencia, por ejemplo, con la alerta lanzada en los móviles durante la fase eruptiva al acercarnos a la población afectada.

Pero también es necesaria la creación de metodologías y herramientas que nos permitan minimizar nuestra vulnerabilidad ante la exposición a erupciones volcánicas, tanto de la población, como de los bienes e incluso de la zona de cultivo. Se recomienda utilizar sistemas de clasificación que nos permitan evaluar los riesgos y clasificarlos, definiendo situaciones hipotéticas.

La colaboración entre personal científico de ciencias sociales puras, como los vulcanólogos en este caso, han de estar conexionados con otras ramas como la informática, para abordar el riesgo volcánico de manera integral. Sería de gran importancia que se tuviera también en cuenta la opinión de la sociedad ante los riesgos y la reducción de vulnerabilidades tanto económicas, como sociales y agrícolas.

Todas las fuerzas de seguridad y equipos de emergencia, como las comisiones municipales de protección civil han de estar continuamente formados e informados, con campañas y simulacros para la gestión ante las posibles crisis volcánicas.

Evaluar el equilibrio entre costo y beneficio para la creación de infraestructuras que puedan llegar a encauzar la lava y proteger zonas críticas, en función de los diferentes escenarios que nos encontremos.

Las estrategias llevadas a cabo para la reconstrucción han sido lentas e insuficientes, debemos aprender y mejorar los programas de apoyo que se han aplicado para llegar a hacerlos realmente eficientes y adaptables a las necesidades surgidas en la comunidad. Como casa inicial se instaló la mayoría de población en viviendas de otros familiares u hoteles. Posteriormente unos pocos agraciados consiguieron una pequeña caseta de madera o incluso una mini casa contenedor con problemas de humedad y con espacios realmente reducidos, que bien es cierto que era una solución rápida para solventar la situación de forma inminente, pero es que años después seguimos en la misma situación y sin atisbos de esperanza, al menos a corto plazo.

Una de las políticas a destacar, que más ayudó para la reconstrucción de sus viviendas, fue que los damnificados por el volcán podían construir en cualquier terreno que no estuviese protegido, aunque no cumpliera con el tipo de terreno apto para la construcción, como terreno agrícola o con menos metros de los necesarios. Esta política fue ampliada a todos los ayuntamientos de la Isla. Además, tampoco debían pagar la tasa por el permiso de Obra Mayor, ni por los proyectos de Arquitectos y Aparejadores, ya que este Colegio Profesional cedió a sus afiliados de forma altruista. También se aplicó para despachos de abogados y notarías, ya que muchos de los afectados tuvieron serios problemas a la hora de demostrar donde estaba su vivienda y como era, tras el paso de la lava, para así poder tramitar su situación como damnificado.

Además de los seguros que muchos de sus habitantes tenían en sus viviendas (y que incluso muchos aumentaron las pólizas los días previos a la erupción previendo su inminencia), el consorcio de seguros se hizo cargo de muchas de las indemnizaciones, aparte de las ayudas de las instituciones.

### 5.1.3. Recomendaciones para la creación de protocolos de actuación

Es muy importante la preparación previa y el establecimiento de los protocolos a seguir tras un evento de esta envergadura. Hay que analizar en detalle las respuestas producidas en este evento, identificando lo que se hizo muy bien, bien, regular, mal y muy mal, para así determinar las dificultades encontradas en el camino.

Debemos replantearnos y evaluar de forma exhaustiva los daños a las infraestructuras básicas, como carreteras, acometidas de agua y electricidad, comunicaciones, etc. tanto en viviendas como en la zona agrícola y en los ecosistemas. Con ello identificaremos los riesgos secundarios que surgirán a largo plazo, como la inestabilidad del terreno, acumulación de gases, contaminación de suelo, agua o aire y, no menos importante, el impacto en la salud mental de la población.

Creación de mapas actualizados que localicen fácilmente las zonas afectadas y el nivel de riesgo en cada zona, para así actuar de forma más rápida y eficiente. Los protocolos de evacuación tanto preventiva como reactiva, deben hacerse por rutas seguras, indicando los puntos de encuentro y la posibilidad de refugios temporales. El realojamiento se hará teniendo en cuenta las necesidades específicas de las personas que han sido afectadas, con especial énfasis en medidas de apoyo psicológico y social para las personas que han sido desplazadas de su hogar, es normal que opongan resistencia y no quieran abandonar su hogar, por lo que estarán pasando una situación muy complicada en la mayoría de los casos.

Lo esencial tras finalizar la catástrofe, es priorizar la reconstrucción y reparación de las infraestructuras esenciales, como en este caso, que se ha construido una carretera sobre la lava en un tiempo récord y con unas condiciones adversas a unas temperaturas extremas. Se debe garantizar el acceso a los servicios básicos durante la fase de recuperación, estableciendo planes de contingencia. Se incorporarán medidas de resiliencia para futuros eventos que guarden similitud con este.

La ayuda humanitaria y la asistencia social fue rápida, pero deben establecerse mecanismos para su coordinación y protocolos para su recepción, clasificación y distribución de forma eficiente. Los programas destinados a los afectados en materia de apoyo psicosocial, económico y legal son esenciales.

La recuperación económica y social, comienza con medidas que logren reactivar la economía local, con apoyo a los sectores más afectados, como en este caso, la agricultura, el turismo y el comercio. Muchas de las personas no podrán volver a su antiguo oficio, por lo que los programas de formación y empleo ayudarán a su readaptación al mercado laboral. Con todo ello se han de promover iniciativas que fomenten la reconstrucción del tejido social y comunitario de la zona.

Además, no podemos olvidarnos del grave impacto que esto ha supuesto también para el entorno medioambiental y la biodiversidad de la zona, por lo que además de su evaluación, se han de desarrollar planes de restauración de los ecosistemas que hayan sido dañados o afectados, con medidas que ayuden a prevenir la propagación de otras especies, consideradas invasoras.



## APARTADO 6: CONCLUSIONES

La Palma es una isla de origen volcánico, formada gracias a la actividad volcánica submarina que poco a poco fue emergiendo a la superficie, propiciada por su situación al borde de la placa continental africana y la corteza oceánica del Océano Atlántico.

Las distintas erupciones que se han ido produciendo a lo largo de los años, han causado daños significativos mayoritariamente a zonas y áreas agrícolas, destruyendo los cultivos y modificando su topografía. No solo el problema de la lava, sino la cantidad indecente de ceniza volcánica y otras sustancias químicas tóxicas, como la presencia de metales pesados, puede afectar tanto a los suelos, como al agua y al aire.

Esto a corto plazo es perjudicial ya que puede destruir las infraestructuras, como en el caso del peso de la ceniza depositada en lo alto del techo de los invernaderos o impidiendo a las plantas hacer la fotosíntesis, pero a largo plazo hemos podido demostrar que aporta beneficios y nutrientes a la tierra, con alto valor para la agricultura.

Por otro lado, los gases representan uno de los principales problemas para la salud humana y medioambiental, por lo que es indispensable su monitoreo constante, sobre todo en lugares cerrados y con poca o nula ventilación.

También es muy importante contar con un plan de emergencia y evacuación ante este tipo de catástrofes que sea ampliamente conocido por toda la población, desde las fuerzas y cuerpos de seguridad hasta cualquier rango de población, como niños o personas mayores. Además, deben conocer el uso de los EPI's necesarios para evitar las posibles afecciones que les pudiera causar tanto la lava, como las cenizas u otras partículas volátiles o semivolátiles que se encuentren por el entorno.

Los programas de recuperación y ayuda deben ser ágiles y eficaces, priorizando las necesidades de algunos sectores poblacionales. La recuperación del sector agrícola es un punto fundamental para una pronta recuperación en las zonas afectadas, ya que la isla es mayoritariamente rural, con pequeñas poblaciones localizadas.

La resiliencia emitida por la población es un punto indispensable para lograr una pronta recuperación y eso se logra tanto por enfoque personal, como con apoyo externo, por lo que la coordinación entre las instituciones, comunidad científica y población es vital para que la gestión se produzca de forma rápida y eficiente.

El desarrollo de nuevas tecnologías, apoyado en la experiencia que acabamos de vivir, y la posibilidad de su estudio constante por las distintas comunidades, como las científicas, nos ayudarán a ser mucho más rápidos y eficientes en futuras ocasiones, teniendo un conocimiento más amplio del cómo sucederá y más concreto del cuándo, porque no tenemos ninguna duda de que esto volverá a repetirse antes o después, aquí o en algún lugar cercano, pero debemos aprender a convivir con ello, ya que sabemos dónde estamos. Pero no por ello lo hacemos a disgusto, somos una sociedad resiliente y eso ha quedado demostrado con la multitud de personas que están reconstruyendo su hogar en el mismo lugar, y reparando sus zonas de cultivo para poder llegar a alcanzar el desarrollo económico pre-volcán, lo cual espero que se alcance en un corto periodo de tiempo, si contamos con el apoyo necesario.

En cuanto a los riesgos químicos que se pueden producir en la zona agrícola afectada, podemos concluir que no existe un riesgo significativo, pero es necesario llevar a cabo las medidas oportunas y analizar los cambios en el entorno, de manera constante.



## APARTADO 7: REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA). (n.d.). [Manejo integrado de plagas y enfermedades.](#)
2. University of Kentucky. (n.d.). [ID-181: Manejo integrado de plagas.](#)
3. Corpoica. (n.d.). [Manejo integrado de plagas: Del origen conceptual y su desarrollo empírico.](#)
4. Organización Internacional del Trabajo (OIT). (n.d.). [Gestión del riesgo químico en el sector agrícola.](#)
5. International Council of Chemical Associations (ICCA). (n.d.). [Enfoque de riesgo en la gestión de sustancias y productos químicos industriales.](#)
6. Posipedia.com.co. (n.d.). [Prevención de peligros químicos.](#)
7. Organización Mundial de la Salud (OMS). (n.d.). [Desarrollo de reglamentos y normas de calidad del agua de consumo humano.](#)
8. Organización Mundial de la Salud (OMS). (n.d.). [Guías para la calidad del agua de consumo humano.](#)
9. Organización Panamericana de la Salud (PAHO). (n.d.). [Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo.](#)
10. Instituto del Agua. (n.d.). [Normas internacionales de calidad del agua.](#)
11. Organización Mundial de la Salud (OMS). (n.d.). [Desarrollo de reglamentos y normas de calidad del agua de consumo humano.](#)
12. upcommons.upc.edu. (n.d.). [Bibliografía básica sobre agua y saneamiento.](#)
13. International Volcanic Health Hazard Network (IVHHN). (n.d.). [Guía sobre gases volcánicos y aerosoles.](#)
14. Schiavo, B., Inguaggiato, C., Arredondo-Palacios, T. E., & Meza-Figueroa, D. (2021). [Emisiones volcánicas: origen e impacto en la atmósfera.](#) *Epistemus*, 15(30).
15. Meteored. (n.d.). [Los volcanes como una fuente natural de contaminación.](#)
16. Ministerio de Medio Ambiente de Perú – Instituto Geofísico del Perú. (n.d.). [Evaluación del peligro volcánico en Perú: Una herramienta para la gestión del riesgo de desastres.](#)
17. Lara, L., Clavero, J., Hinojosa, M., Huerta, S., Wall, R., & Moreno, H. (2006). NVEWS-Chile: Sistema de clasificación semicuantitativa de la vulnerabilidad volcánica. XI Congreso Geológico Chileno, 4.
18. López, C., Németh, K., Martí, J., & Castro, R. (2022). The 2021 Cumbre Vieja eruption on La Palma, Canary Islands: A preliminary overview. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 421, 107412<sup>1</sup>

19. Aulinas, M., Rodríguez-González, A., Albert Minguez, H., Cabrera, M. C., Carracedo, J. C., Day, J. M. D., Fernández-Turiel, J.-L., Gazel, E., Geiger, H., Geyer, A., Ginés, S., Gómez-Pugnaire, M. T., Hernández, J. C., Hilario, A., Húsares, C., Lillo, J., Lobo, A., Mendieta, S., Pérez, N. M., & Zandonai, A. (2022). Aprendiendo de la erupción de 2021 en La Palma (Islas Canarias). Boletín Geológico y Minero, 133(4), 5-30.
20. Parra, R. S. (2017). Vulcanismo: procesos y riesgos. Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.
21. Amonte, C., Melián, G.V., Asensio-Ramos, M., Pérez, N.M., Padrón, E., Hernández, P.A. and D'Auria, L., 2022. Hydrogeochemical temporal variations related to the recent volcanic eruption at the Cumbre Vieja Volcano, La Palma, Canary Islands. Frontiers in Earth Science.
22. Bedoya-Velásquez, A.E., Hoyos-Restrepo, M., Barreto, A., García, R.D., Romero-Campos, P.M., García, O., Ramos, R., Roininen, R., Toledano, C., Sicard, M. and Ceolato, R., 2022. Estimation of the Mass Concentration of Volcanic Ash Using Ceilometers: Study of Fresh and Transported Plumes from La Palma Volcano. Remote Sensing.
23. Bonadonna, C., Pistolesi, M., Dominguez, L., Freret-Lorgeril, V., Rossi, E., Fries, A., Biass, S., Voloschina, M., Lemus, J., Romero, J.E., Zanon, V., Pastore, C., Reyes Hardy, M.-., Di Maio, L.S., Gabellini, P., Martin-Lorenzo, A., Rodríguez, F. and Pérez, N.M., 2023. Tephra sedimentation and grainsize associated with pulsatory activity: the 2021 Tajogaite eruption of Cumbre Vieja (La Palma, Canary Islands, Spain). Frontiers in Earth Science.
24. Carracedo, J.C., Troll, V.R., Day, J.M.D., Geiger, H., Aulinas, M., Soler, V., Deegan, F.M., Pérez-Torrado, F.J., Gisbert, G., GAZEL, E., Rodríguez González, A. and Albert, H., 2022. The 2021 eruption of the Cumbre Vieja volcanic ridge on La Palma, Canary Islands. Geology Today.
25. Marchetti, D., Zhu, K., Zhang, H., Zhima, Z., Yan, R., Shen, X., Chen, W., Cheng, Y., He, X., Wang, T., Wen, J., Zhang, D. and Zhang, Y., 2022. Clues of Lithosphere, Atmosphere and Ionosphere Variations Possibly Related to the Preparation of La Palma 19 September 2021 Volcano Eruption. Remote Sensing.
26. Martínez-Martínez, J., Mediato, J.F., Mata, M.P., Ordóñez, B., Del Moral, B., Bellido, E., Pérez-López, R., Rodríguez-Pascua, M.A., Vegas, J., Lozano Otero, G., Mateos, R.M., Sánchez, N. and Galindo, I., 2023. Early fumarolic minerals from the Tajogaite volcanic eruption (La Palma, 2021). Journal of Volcanology and Geothermal Research.
27. Presa, L., Rosado, S., Peña, C., Martín, D.A., Costafreda, J.L., Astudillo, B. and Parra, J.L., 2023. Volcanic Ash from the Island of La Palma, Spain: An Experimental Study to Establish Their Properties as Pozzolans. Processes
28. Gobierno de España, Ministerio de Trabajo y Economía Social. [Guía de límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España](#)
29. Rosales, J., Rosales, M., Díaz-López, J.L., Agrela, F. and Cabrera, M., 2022. Effect of Processed Volcanic Ash as Active Mineral Addition for Cement Manufacture. Materials

30. Gobierno de España. [Informe sobre las actuaciones y medidas emprendidas tras la erupción del volcán de Cumbre Vieja \(La Palma\), seis meses después del inicio de la emergencia](#)



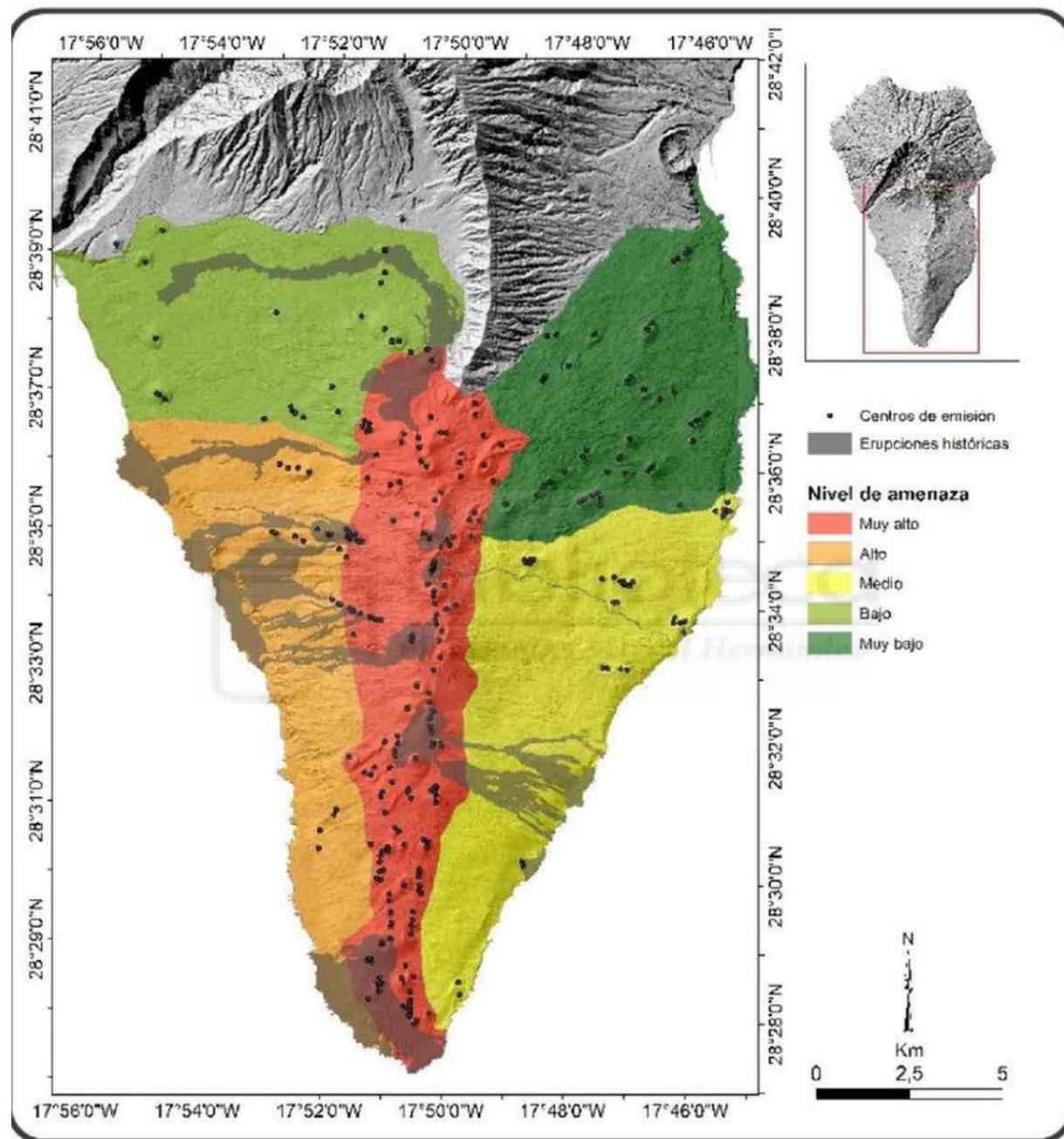
## ANEXO I – Glosario de términos

Tabla 5 - Glosario de términos

Glosario de términos	
<b>Riesgo</b>	Probabilidad de que ocurra un suceso adverso con consecuencias negativas
<b>Contaminantes químicos</b>	Sustancias de origen químico que pueden dañar a los cultivos, suelo y agua, afectando a los seres vivos
<b>Análisis de vulnerabilidad</b>	Proceso por el cual se cuantifica el nivel de exposición ante una amenaza concreta
<b>Bioacumulación</b>	Proceso por el que los contaminantes químicos se acumulan en los organismos vivos a lo largo de la cadena alimentaria
<b>Fitotoxicidad</b>	Efecto nocivo de los contaminantes químicos en los cultivos
<b>Evaluación del impacto ambiental</b>	Identificación para predecir y evaluar los efectos que producen algunos contaminantes químicos en el entorno
<b>Mitigación</b>	Políticas que se llevan a cabo para eliminar o reducir en la medida de lo posible, los efectos negativos de las partículas contaminantes
<b>Resiliencia</b>	Recuperación ante un impacto negativo de gran envergadura
<b>Adsorción</b>	Adhesión de los contaminantes químicos a la superficie de las partículas que se encuentran en el suelo
<b>Modelos de dispersión</b>	Herramienta matemática que se usa para predecir la distribución de contaminantes químicos en el medio ambiente
<b>Evaluación de la exposición</b>	Cantidad y duración de exposición de los organismos ante los contaminantes
<b>Toxicidad</b>	Efectos adversos causados por la exposición a niveles de contaminantes
<b>Biodegradación</b>	Descomposición de agentes contaminantes por los microorganismos vivos
<b>Metales pesados</b>	Elementos tóxicos para los seres vivos, como pueden ser el plomo, cadmio o mercurio

## ANEXO II – Zonas de riesgo volcánico de La Palma

Ilustración 5 - Zona propensa a erupciones volcánicas de La Palma



[Link](#)

## ANEXO III – Gases volcánicos

Tabla 6 - Gases volcánicos y sus propiedades químicas

GASES VOLCÁNICOS MÁS COMUNES Y SUS PROPIEDADES QUÍMICAS					
	Fórmula Química	Estado Físico	Solubilidad	Reactividad	Impacto Ambiental
Dióxido de Azufre	SO <sub>2</sub>	Gas incoloro con olor irritante y sofocante	Soluble en agua, formando ácido sulfuroso	Reductor y oxidante. En presencia de aire y un catalizador se oxida formando trióxido de azufre	Lluvia ácida y daño a la vegetación y el agua
Sulfuro de Hidrógeno	H <sub>2</sub> S	Gas incoloro, con olor similar a huevos podridos	Moderadamente soluble en agua.	Reducer que puede oxidarse a azufre elemental cuando reacciona con dióxido de azufre	Tóxico, puede causar desde una irritación ocular o problemas más graves
Ácido Clorhídrico	HCl	Líquido corrosivo transparente, incoloro o ligeramente amarillento con olor a acre	Muy soluble en agua y etanol	Ácido fuerte que se ioniza en agua	Sus vapores pueden producir lesiones graves en ojos o problemas respiratorios graves
Ácido Fluorhídrico	HF	Gas incoloro o líquido fumante con olor fuerte e irritante	Muy soluble en agua	Altamente reactivo, puede disolver múltiples materiales	Muy corrosivo, puede causar quemaduras graves, daños pulmonares al inhalarse u oculares en contacto con los ojos

## ANEXO IV – Informe IGN-INVOLCAN 20/03/2025



### INFORME DE LA REUNIÓN DEL GRUPO DE EXPERTOS DEL PEINPAL

Se abre la sesión a las 10:00 horas del día 20 de marzo de 2025.

Preside:

- Darwin Rodríguez (Cabildo La Palma)

Coordina y modera:

- Rafael García, moderador por parte del Cabildo de La Palma

Asistentes:

- José Peñalbo (CNE-ISCII)
- Nemesio Pérez (INVOLCAN)
- Nieves Sánchez (IGME)
- Carmen López (IGN)
- Rubén López, (IGN)
- Natalia Prats (AEMET)
- Xitama Álvarez (DG Salud Pública)

Excusa su ausencia:

- Ramón Casillas (ULL)
- Aldo González (ULL)
- Pedro Hernández (INVOLCAN)
- Germán (INVOLCAN)
- Candelaria Martín (ULL)

Se presenta la información actualizada del proyecto «ALERTA CO<sub>2</sub>» correspondiente al período del 8 de febrero de 2025 al 1 de marzo de 2025. El informe incluye valores estadísticos, el análisis de la distribución de valores y el gráfico con la serie temporal para la valoración de la evolución de los datos.

#### Informe proyecto «ALERTA CO<sub>2</sub>»

Desde el 13 de diciembre de 2021 continúa la fase post-eruptiva en Cumbre Vieja, en la que persisten algunos peligros volcánicos como el que representa el registro de emanaciones anómalas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de origen volcánico que afectan a los núcleos poblaciones de La Bombilla y Puerto Naos.

Continúan las labores de monitorización de la concentración de CO<sub>2</sub> en el aire ambiente a través de redes instrumentales y campañas de observación periódicas.



Se ha tomado una muestra de las 722 viviendas y/o locales con credencial de habitabilidad firmado por la propiedad. En lo que respecta a los valores medios observados para este grupo de 722 viviendas, 562 han registrado valores máximos >700 ppm y 160 con promedios ≤700 ppm. En relación al registro de valores medios observados, 67 han registrado máximos >700 ppm y 655 con valores máximos ≤700 ppm. Ninguna vivienda de este grupo de 748 viviendas ha registrado valores máximos puntuales superiores a 2.000 ppm para el percentil 50.

En el Código Técnico de Edificación, en el HS3 se establece lo siguiente: En los locales habitables de las viviendas debe aportarse un caudal de aire exterior suficiente para conseguir que en cada local la concentración media anual de CO<sub>2</sub> sea menor de 900 ppm y que el acumulado anual de CO<sub>2</sub> que exceda 1.600 ppm sea menor que 500.000 ppmh/año. Se han elegido las 9 propiedades, cuyo máximo supera los 1.600 ppm, que presentan una media por encima de los 900 ppm en los 30 días correspondientes a este estudio.

Se han compilado valores estadísticos de las estaciones situadas en vivienda con credencial de habitabilidad. Se han analizado los datos de las dos últimas semanas. En cada vivienda se calcula la distribución, la moda, la media, los percentiles P50, P75 y P95, la desviación estándar y los valores máximos y mínimos, así como el parámetro de exposición (ppm/hora a partir de 800 ppm). Respecto a este último parámetro (exceso acumulado en horas de exposición por encima de 800 ppm), se entiende que, desde el punto de vista de la salud, no es útil utilizar el código técnico de la edificación, cuyo objetivo es calcular las necesidades de ventilación de un espacio interior hermético y no el de establecer un umbral de protección frente a los efectos potenciales del CO<sub>2</sub>.

El objetivo principal de la red instrumental del proyecto «ALERTA CO<sub>2</sub>» es intensificar la monitorización del CO<sub>2</sub> en el aire ambiente INTERIOR de viviendas y locales de La Bombilla y Puerto Naos dada la potencial acumulación del CO<sub>2</sub> en las mismas afectando a la calidad del aire de interiores. Estas emanaciones de CO<sub>2</sub> procedentes del subsuelo entran en las viviendas y locales preferentemente a través de las propias conducciones hidráulicas y eléctricas de estas, así como la propia estructura vertical de las edificaciones.

El proyecto «ALERTA CO<sub>2</sub>» dispone, a fecha de 17 de febrero de 2025, de un total de 1319 estaciones operativas, principalmente destinadas para la monitorización del CO<sub>2</sub> en el aire ambiente INTERIOR de viviendas y locales (1313 interiores) y de unas cuantas también para EXTERIORES (6 estaciones). Del total de estaciones, 143 estaciones se ubican en *La Bombilla* (140 interiores y 3 en exteriores), 1146 en *Puerto Naos* (1144 interiores, 2 exteriores), 8 en la zona *Hotel Sol Meliá* (8 interiores y ninguna ahora en el exterior) así como 8 estaciones interiores y 1 exterior en otras zonas fuera del entorno de Puerto Naos y La Bombilla. Además, se disponen de 13 estaciones móviles que los Bomberos utilizan para realizar medidas de concentración de CO<sub>2</sub> en interiores.

#### **LA BOMBILLA**



De las 143 estaciones instaladas para la monitorización del CO<sub>2</sub> en el aire ambiente de la zona de La Bombilla, separamos los resultados para cada polígono creado por el Cabildo de La Palma:

En interiores (140 estaciones):

- Un **45,45%** de las estaciones instaladas en el polígono de color VERDE de La Bombilla han registrado un valor promedio de concentración de CO<sub>2</sub> en el aire ambiente INTERIOR inferior a los 700 ppm durante los últimos 30 días (45,45% anterior informe).
- Un **10,26%** de las estaciones instaladas en el polígono de color AMARILLO de La Bombilla han registrado un valor promedio de concentración de CO<sub>2</sub> en el aire ambiente INTERIOR inferior a los 700 ppm durante los últimos 30 días (7,50% anterior informe).
- Un **50,0%** de las estaciones instaladas en el polígono de color AZUL de La Bombilla han registrado un valor promedio de concentración de CO<sub>2</sub> en el aire ambiente INTERIOR inferior a los 700 ppm durante los últimos 30 días (47,27% anterior informe).
- Un **31,82%** de las estaciones instaladas en el polígono de color FUCSIA de La Bombilla han registrado un valor promedio de concentración de CO<sub>2</sub> en el aire ambiente INTERIOR inferior a los 700 ppm durante los últimos 30 días (30,43% anterior informe).

En exteriores (3 estaciones):

- El **100%** de las estaciones instaladas en la zona de la playa de La Bombilla han registrado un valor promedio de concentración de CO<sub>2</sub> en el aire ambiente EXTERIOR inferior a los 700 ppm durante los últimos 30 días (100,00% anterior informe)

#### **PUERTO NAOS**

De las **1143** estaciones instaladas en Puerto Naos en interiores, que están en funcionamiento en la actualidad, separamos los resultados para cada polígono creado por el Cabildo de La Palma:

- Un **84,69%** de las estaciones instaladas en el polígono de color VERDE de Puerto Naos han registrado un valor promedio de concentración de CO<sub>2</sub> en el aire ambiente INTERIOR inferior a los 700 ppm durante los últimos 30 días (79,48% anterior informe).
- Un **84,23%** de las estaciones instaladas en el polígono de color AMARILLO de Puerto Naos han registrado un valor promedio de concentración de CO<sub>2</sub> en el aire ambiente INTERIOR inferior a los 700 ppm durante los últimos 30 días (80,69% anterior informe).



- Un **83,89%** de las estaciones instaladas en el polígono de color AZUL de Puerto Naos han registrado un valor promedio de concentración de CO<sub>2</sub> en el aire ambiente INTERIOR inferior a los 700 ppm durante los últimos 30 días (83,33% anterior informe).
- Un **85,71%** de las estaciones instaladas en el polígono de color NARANJA de Puerto Naos han registrado un valor promedio de concentración de CO<sub>2</sub> en el aire ambiente INTERIOR inferior a los 700 ppm durante los últimos 30 días (84,62% anterior informe).
- Un **91,52%** de las estaciones instaladas en el polígono de color ROJO de Puerto Naos han registrado un valor promedio de concentración de CO<sub>2</sub> en el aire ambiente INTERIOR inferior a los 700 ppm durante los últimos 30 días (89,32% anterior informe).
- Un **58,89%** de las estaciones instaladas en el polígono de color NEGRO de Puerto Naos han registrado un valor promedio de concentración de CO<sub>2</sub> en el aire ambiente INTERIOR inferior a los 700 ppm durante los últimos 30 días (51,11% anterior informe).

#### **HOTEL SOL MEIÁ**

Un **66,67%** de las estaciones instaladas han registrado un valor promedio de concentración de CO<sub>2</sub> en el aire ambiente INTERIOR inferior a los 700 ppm durante los últimos 30 días (66,67% anterior informe). En exteriores no hay estaciones en la actualidad.

Análisis del exceso acumulado que supera los 1600 ppm en los 30 días correspondientes al estudio. Se eligen 9 propiedades que presentan una media por encima de los 900 ppm.

Se presenta un análisis de observaciones del trimestre (diciembre-enero-febrero):

- 55 estaciones obsoletas con media 901 ppm
- 16 nuevos códigos en febrero con media 659 ppm
- Se observa un aumento en el porcentaje de muestras superiores a 700 ppm en febrero, mes en el que, aun disminuyendo el número de sensores, estos fueron más eficientes en cuanto al número de muestras respecto al mes anterior.

Nemesio Pérez, por parte de INVOLCAN comparte una presentación

La emisión difusa en La Bombilla continúa registrando valores inferiores al promedio +/-2 Sigma. La firma isotópica del Carbono (del CO<sub>2</sub>) continúa reflejando fracción significativa del CO<sub>2</sub> de origen volcánico-hidrotermal.

Se han presentado resultados de estudios de gradiente de presión, tanto en La Bombilla como en Puerto Naos realizados por HIDROLAP en colaboración con INVOLCAN e IGN. Los resultados reflejan en su primera campaña un gradiente de presión positivo.

Rafael García por parte del Cabildo realiza la exposición de la presentación de los sensores de exteriores de la red del Cabildo:



- 187 estaciones operativas de 220 existentes.
- Porcentaje de estaciones superior a 700 ppm = 6,95% (13 sensores)
- Porcentaje de estaciones con máximos superiores a 700 ppm 37% (71 sensores)
- Valores máximos por zona: 69301 (pozo de Peña Horeb). Se aprecia un descenso considerable.
- 7 sensores con percentil 50 con concentración mayor a 2000 ppm

Carmen y Nemesio hablan de la necesidad de la revisión del protocolo de emergencias.

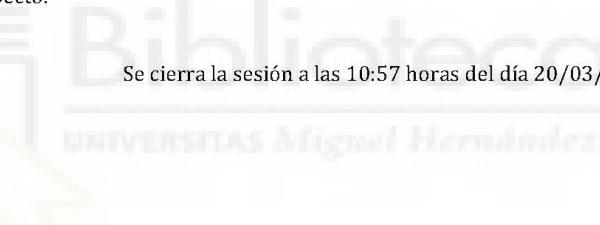
Rafael Garcia por parte del Cabildo trae una nueva propuesta (CECOPIN BPN-2)

- Se identifica una alerta de medidas superiores a 2000 ppm durante un periodo de una hora (12 medidas), comunicar al CECOPIN.
- Se identifica una alerta de medidas superiores a 5000 ppm durante un periodo de media hora (6 medidas), comunicar al CECOPIN.
- 30 minutos de ausencia de señal: comunicar al CECOPIN.

Nemesio explica que el proyecto ALERTA ha presentado un documento al Cabildo expositivo de la situación en otras zonas con emisiones de CO<sub>2</sub> (Vulcano, gestionado por ARPA). Se explica el documento mediante una tabla Excel con los ejemplos de Vulcano, de Atención, Pre-Alarma y Alarma.

Se remitirá el documento a todas las entidades para que puedan proponer comentarios y modificaciones al respecto.

Se cierra la sesión a las 10:57 horas del día 20/03/2025



## ANEXO V – Contaminantes del sector primario

Tabla 7 - Contaminantes del sector primario

CONTAMINANTE	RIESGO HÍGIÉNICO
Ceniza volcánica	Daños en las vías respiratorias, daños en la piel, lesiones oculares
Elementos tóxicos, como el azufre	Daños en las vías respiratorias, daños en la piel, lesiones oculares
Metales pesados	Intoxicaciones por químicos, daños renales, daños neurológicos
Pesticidas	Intoxicaciones por químicos, daños en la piel, daños en las vías respiratorias
Fertilizantes	Intoxicaciones por químicos, daños en las vías respiratorias, contaminación del agua y del suelo que puede dañar la salud humana tras su paso por la cadena alimentaria
Gases debido a la combustión	Daños en las vías respiratorias, intoxicación por gases como el monóxido de carbono
Polvo orgánico	Daños en las vías respiratorias, daños en la piel, desarrollo de alergias

