



## Massive burning of fireworks: a pollutant show

## La quema masiva de pirotecnia: Un espectáculo que contamina

Robles Gonzalez, I.V.<sup>1</sup>, Reyna-Velarde, R.<sup>1</sup>, Guerrero-Barajas, C.<sup>2</sup>,  
Robles González, V.S.<sup>3</sup>, Ordaz, A.<sup>1,\*</sup>.

<sup>1</sup>Unidad de Estudios Superiores de Tultitlán, Universidad Mexiquense del Bicentenario,  
Av. Ex-Hacienda de Portales s/n, Villa Esmeralda, Tultitlán de Mariano Escobedo, México, 54910, México.

<sup>2</sup>Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología. Instituto Politécnico Nacional, Departamento de  
Bioprosesos, Laboratorio de Biotecnología Ambiental, Ciudad de México, 07340, México.

<sup>3</sup>Universidad Tecnológica de Mixteca. Instituto de Agroindustrias. Huajuapán de León, Oaxaca, 69000, México.

### ABSTRACT

Around the world, fireworks display are widely used for religious, cultural, sport, national and family celebrations; although these are recreational and entertainment activities, they have caused concern about the emission of pollutants that harm not only air quality, but may produce toxic effects on the ecosystems and people attending such events. It has been studied that massive burning of fireworks generates an increase in the level of atmospheric particulate matter (PM 2.5 and PM 10), this particulate matter may contain metals such as Na, K, Sc, Cr, Mn, Fe, Co, Zn, As, Br, Sr, Sb, Pb, Cs, Ba, Ti, V and Cu; also, greenhouse gases are generated such as ozone (O<sub>3</sub>), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>). In water bodies and soil near to the burning and production sites of fireworks, a significant increase in perchlorate (ClO<sub>4</sub><sup>-</sup>) concentration has been found, which is an important component in the formulation of fireworks and it is associated with health problems such as thyroid problems. In Mexico, particularly in the State

#### Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: August 16<sup>th</sup> 2016.

Accepted/Aceptado: December 14<sup>th</sup> 2016.

### RESUMEN

En diversas partes del mundo, la pirotecnia es ampliamente usada durante celebraciones religiosas, culturales, deportivas, nacionales y familiares, que aunque son actividades lúdicas y de espectáculo, han generado preocupación por la emisión de contaminantes que no solo dañan la calidad del aire, sino que pueden provocar efectos tóxicos en los espectadores y en los ecosistemas. Se ha estudiado que la quema masiva de pirotecnia genera un aumento en el nivel de material particulado (PM 2.5 y PM 10) en el aire, cuya composición incluye metales como Na, K, Sc, Cr, Mn, Fe, Co, Zn, As, Br, Sr, Sb, Pb, Cs, Ba, Ti, V y Cu; además se generan gases de efecto invernadero como ozono (O<sub>3</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). En los cuerpos de agua y suelos cercanos a sitios de quema o de producción, se ha estudiado que se genera un incremento de perchlorato (ClO<sub>4</sub><sup>-</sup>), que es un importante componente en la formulación de pirotecnia y está asociado a problemas de salud en tiroides. En México, particularmente en el Estado de México, es una importante actividad comercial, ya que ahí se produce alrededor del 50 % de la pirotecnia comercializada en el país. En la Zona Metropolitana del Valle de México y durante las primeras horas del inicio de año se han registrado concentraciones de has-

#### \*Corresponding Author:

Alberto Ordaz, Unidad de Estudios Superiores de Tultitlán, Universidad Mexiquense del Bicentenario, Avenida Ex-Hacienda de Portales s/n, Villa Esmeralda, Tultitlán de Mariano Escobedo, México, C.P.54910, México. E-mail: [alberto.ordaz@umb.mx](mailto:alberto.ordaz@umb.mx)

of Mexico, about 50 % of the country's fireworks market is produced. In the urban area of the Valley of Mexico and during the first hours of the New Year, up to  $478 \pm 150 \mu\text{g m}^{-3}$  of PM 10 has been recorded, which is mainly attributed to the massive burning of fireworks. The purpose of this work is to make a comprehensive review of the pollutants emitted during the displays of fireworks at various festivals around the world and warning about this type of pollution that has passed unnoticed for the scientific community of Mexico.

---

### KEY WORDS

---

Fireworks, atmospheric pollution, perchlorate, heavy metals.

---

### Introduction

In many parts of the world, fireworks is widely used in religious, cultural, sports, national and family celebrations, although all ludic and entertainment activities, they have generated preoccupation regarding the emission of pollutants that not only cause environmental contamination, but also can provoke toxic effects in people who attend such events. The effect of fireworks is further increased when the events are performed in urban areas with high levels of environmental contamination, where the temporary emission of particulate matter gases and volatile organic compounds deteriorates environmental quality (Baranyai *et al.*, 2015). The particulate matter contains metals such as Na, K, Sc, Cr, Mn, Fe, Co, Zn, As, Br, Sr, Sb, Pb, Cs, Ba, Ti, V and Cu (Steinhauser *et al.*, 2008, Baranyai *et al.*, 2015). It has been found that during a fireworks performance,  $\text{O}_3$  at soil level and emissions of  $\text{NO}_2$ , a gas with higher greenhouse effect than  $\text{CO}_2$  and methane ( $\text{CH}_4$ ) (Caballero *et al.*, 2015) can be generated. The American Pyrotechnics Association (APA) mentions that this industry in the United States has had an increase with no precedents during the last 16 years. From 1998 to 2014, income in the fireworks industry went from 425 to 1,027 annual million dollars, and the consumption of fireworks went from 152.2 to 225.3 annual million pounds. Still, the United States are distant from China, the higher producer and exporter of fireworks in the world; only in 2010, China's income under fireworks was 4,200 millions of dollars (China Daily, 2011). In Mexico, specifically in the state of Mexico, around 50 % of the pyrotechnic pro-

ta  $478 \pm 150 \mu\text{g m}^{-3}$  de PM 10 atribuido principalmente a la quema masiva de pirotecnia. El objetivo de este documento es hacer una revisión exhaustiva sobre los contaminantes emitidos durante la quema masiva de pirotecnia en diversas festividades alrededor del mundo y alertar sobre este tipo de contaminación que ha pasado desapercibida para la comunidad científica en México.

---

### PALABRAS CLAVE

---

Pirotecnia, contaminación atmosférica, perclorato, metales pesados.

---

### Introducción

En diversas partes del mundo, la pirotecnia es ampliamente usada en celebraciones religiosas, culturales, deportivas, nacionales y familiares, que aunque son actividades lúdicas y de espectáculo, ha generado preocupación con respecto a la emisión de contaminantes que no sólo causan contaminación en el medio ambiente, sino que también pueden provocar efectos tóxicos en las personas que asisten a dichos eventos. El efecto de la pirotecnia se incrementa aún más cuando los eventos pirotécnicos se realizan en áreas urbanas con altos niveles de contaminación ambiental, donde la emisión temporal de material particulado, gases y compuestos orgánicos volátiles deteriora aún más la calidad ambiental (Baranyai *et al.*, 2015). El material particulado contiene metales como Na, K, Sc, Cr, Mn, Fe, Co, Zn, As, Br, Sr, Sb, Pb, Cs, Ba, Ti, V y Cu (Steinhauser *et al.*, 2008, Baranyai *et al.*, 2015). También se ha encontrado que durante una exposición pirotécnica se puede generar  $\text{O}_3$  a nivel de suelo y emisiones de  $\text{NO}_2$  que es un gas con mayor efecto invernadero que el  $\text{CO}_2$  y el metano ( $\text{CH}_4$ ) (Caballero *et al.*, 2015). La Asociación Americana de Pirotecnia (APA por sus siglas en inglés) menciona que esta industria en Estados Unidos ha tenido un crecimiento sin precedentes durante los últimos 16 años. De 1998 a 2014, los ingresos en la industria pirotécnica pasaron de 425 a 1,027 millones de dólares anuales, de la misma forma el consumo de pirotecnia pasó de 152.2 a 225.3 millones de libras anuales. Aun así, Estados Unidos está todavía distante de China quién es el mayor productor y exportador de fuegos artificiales del mundo; tan sólo en 2010 los ingresos de China por concepto de pirotecnia fueron de 4,200 millones de dólares (China, 2011). En México, específicamente en el Estado de México, se concentra alrededor del 50 % de la producción de pirotecnia del país

duction of the country is found (Calderon-Contreras, 2013); although these are not official data of income or official sales. Furthermore, only in the state of Mexico, there are around 900 churches, which celebrate patronal feasts all year long, that include the use of fireworks, apart from the official celebrations in the Holy Week, December 12 and New Year's Eve (National Directory of Parishes, 2016). The higher production of fireworks in the country is concentrated in the State of Mexico, in the municipality of Tultepec; however, there are no official statistics that confirm the level of production. Tultepec is located in the region of the Mexico Valley, next to the Sierra de Guadalupe, and there is an official record before the National Defense Ministry of over 100 sites of production of pyrotechnic material (IMEPI, 2016).

### Composition of fireworks

Fireworks are a mix of chemical products that through reactions of oxide-reduction produce final visual, thermic, audible or mechanic effects such as smoke, sound, movement, noise and color (Conkling, 1985; Ravindra *et al.*, 2003; Wang *et al.*, 2007 and Danali *et al.*, 2010). The basic components of any pyrotechnical device are the oxidant agent and the reductor or fuel agent, optionally, they can contain agglutinants, propellants, colorant agents, and smoke or noise producer agents (Shimizu, 1981; Conkling, 1985; Steinhauser and Klapötke, 2008).

The oxidant agents are ionic solids rich in oxygen that decompose at slightly high temperatures, releasing oxygen. In pyrotechnics, chemical species used include a variety of negative ions (anions) that contain high energy bonds such as Cl-O or N-O. The most commonly oxidant agents used in pyrotechnics are potassium nitrate ( $\text{KNO}_3$ ), ammonium nitrate ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ), sodium nitrate ( $\text{NaNO}_3$ ), potassium chlorate ( $\text{KClO}_3$ ), potassium perchlorate ( $\text{KClO}_4$ ), ammonium perchlorate ( $\text{NH}_4\text{ClO}_4$ ), barium nitrate ( $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ ) and strontium nitrate ( $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ ) (Conkling, 1985). Less frequently, organic composes such as guanidinium nitrate ( $\text{CH}_5\text{N}_3\text{HNO}_3$ ) and nitroguanidine nitrate ( $\text{CH}_4\text{N}_4\text{O}_2\text{HNO}_3$ ) are used. In other cases, nitronium perchlorate ( $\text{NO}_2\text{ClO}_4$ ), barium chromate ( $\text{BaCrO}_4$ ), calcium choramte ( $\text{CaCrO}_4$ ), plumb chromate ( $\text{PbCrO}_4$ ), potassium dichromate ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) and alkaline earth peroxides ( $\text{SrO}_2$ ,  $\text{BaO}_2$ ). Mixes that contain tricopper tetroxide ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) or plumb nitrate (II) ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ) (Conkling, 1985; Steinhauser and Klapötke, 2008). Apart from one oxidant, the pyrotechnic mixes

(Calderón-Contreras, 2013), aunque vale la pena mencionar que son comunicaciones sin datos de ingresos o ventas oficiales. Cabe resaltar que tan solo en el Estado de México existen alrededor de 900 parroquias, las cuales durante todo el año celebran fiestas patronales que incluyen el uso de pirotecnia, además de las celebraciones oficiales de semana santa, 12 de diciembre y año nuevo (Directorio Nacional de Parroquias, 2016). Dentro del Estado de México, en el municipio de Tultepec se concentra la mayor producción de pirotecnia de todo el país; sin embargo, tampoco hay estadísticas oficiales que confirmen el nivel de producción. Tultepec se encuentra ubicado en la región del Valle de México, a un costado de la Sierra de Guadalupe, y se tiene registro oficial ante la Secretaría de Defensa Nacional de más de 100 sitios de manufactura de material pirotécnico (IMEPI, 2016).

### Composición de los fuegos artificiales

Los fuegos artificiales son una mezcla de productos químicos que mediante reacciones de óxido-reducción producen efectos finales visuales, térmicos, auditivos o mecánicos, como son humo, sonido, movimiento, ruido y color (Conkling, 1985; Ravindra *et al.*, 2003; Wang *et al.*, 2007 y Danali *et al.*, 2010). Los componentes básicos de cualquier dispositivo pirotécnico son el agente oxidante y el agente reductor o combustible, opcionalmente pueden contener aglutinantes, propelentes, agentes colorantes y agentes productores de humo o ruido (Shimizu, 1981; Conkling, 1985; Steinhauser y Klapötke, 2008).

Los agentes oxidantes son sólidos iónicos ricos en oxígeno que se descomponen a temperaturas moderadamente altas, liberando oxígeno. En la pirotecnia, las especies químicas utilizadas incluyen una variedad de iones negativos (aniones) que contienen enlaces de alta energía como Cl-O o N-O. Los agentes oxidantes más comúnmente utilizados en pirotecnia son nitrato de potasio ( $\text{KNO}_3$ ), nitrato de amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ), nitrato de sodio ( $\text{NaNO}_3$ ), clorato de potasio ( $\text{KClO}_3$ ), perclorato de potasio ( $\text{KClO}_4$ ), perclorato de amonio ( $\text{NH}_4\text{ClO}_4$ ), nitrato de bario ( $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ ) y nitrato de estroncio ( $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ ) (Conkling, 1985). Con menor frecuencia, se utilizan compuestos orgánicos tales como nitrato de guanidinio ( $\text{CH}_5\text{N}_3\text{HNO}_3$ ) y nitrato de nitroguanidin ( $\text{CH}_4\text{N}_4\text{O}_2\text{HNO}_3$ ). En otros casos se utiliza el perclorato de nitronio ( $\text{NO}_2\text{ClO}_4$ ), cromato de bario ( $\text{BaCrO}_4$ ), cromato de calcio ( $\text{CaCrO}_4$ ), cromato de plomo ( $\text{PbCrO}_4$ ), dicromato de potasio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) y peróxidos alcalinotérreos ( $\text{SrO}_2$ ,  $\text{BaO}_2$ ). Pocas veces se utilizan mezclas que contienen tetraóxido de trihierro ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) o nitrato de plomo (II) ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ) (Conkling, 1985; Steinhauser y Klapötke, 2008). Además de un oxidante, las mezclas pirotécnicas también contienen un combustible o donador de electrones, que reacciona con el oxígeno

also contain a fuel or electron donor, which reacts with the oxygen produced by the oxidant, and as a consequence, it produces an oxidized compound and heat. This heat will allow that the high energy chemistry can produce different effects such as color, movement, light, smoke or noise, therefore the fuel selection will depend on the desired effect (Conkling, 1985). Fuels must present stability to air and humidity, and they can be divided into three categories: metals, non-metallic, and organic compounds. The most used metallic fuels are Al and Mg. In military applications Ti, Zr and W are used. Alkaline and alkaline earth metals (such as Na, K, Ba and Ca) are great fuels of high energy, except for magnesium, which is too reactive with humidity and atmospheric oxygen. Also, several non-metallic elements easily oxidized, have a wide use in the field of pyrotechnics, which include C, S, B, Si and P. Likewise, a great variety of organic fuels are used in pyrotechnics, which apart from generating heat, generate a significant pressure of gas through the production of CO<sub>2</sub> and water steam in the reaction zone. From the carbohydrates family, glucose (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>), sucrose (C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>), lactose (C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>) and starch ((C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)<sub>n</sub>) are used. Dextrins obtained from the starch hydrolysis are widely used in pyrotechnics as fuel and agglutinant. Other matters from organic origin used in pyrotechnics include nitrocellulose, polyvinyl alcohol, stearic acid, hexamethylenetetramine, kerosene, epoxy resins, and unsaturated polyester resins (Conkling, 1985). Agglutinants are important constituents of pyrotechnics, which provide mechanical stability and since they group the components, they provoke an increase to water resistance in pyrotechnic devices (Steinhauser and Klapötke, 2008). There are non-energetic agglutinants that act as retardants and decrease the reaction velocity (Berger, 2005), such as: dextrins, polyvinyl alcohol, Arabic gum, vinyl acetate resins, methyl polymethacrylate alcohol, and some epoxy agglutinants (Sontakke *et al.*, 1995). Energetic agglutinants such as glycidyl azide polymer glycidyl azide (GAP) and nitrocellulose, contribute to the energy for the reaction. Unfortunately, such energetic agglutinants contain functional reactive groups (mainly azide groups, nitrate, nitro, hydroxi) that can conduct to unwanted reactions with the energetic material (Steinhauser and Klapötke, 2008). The propellants in pyrotechnics have the function to produce high temperatures and pressure in a close chamber, in order to accelerate pyrotechnic products through the resulting propulsion force. Cellulose nitrates, diphenylamine, dibutyl phthalate, dibutyl

produced by the oxidant, and as a consequence, produces a compound oxidized besides heat. This heat will allow that the high energy chemistry can produce different effects such as color, movement, light, smoke or noise, for which the selection of the fuel will depend on the desired effect (Conkling, 1985). The fuels must present stability to air and humidity, and they can be divided into three categories: metals, non-metallic and organic compounds. The most used metallic fuels are Al and Mg. In military applications Ti, Zr and W are used. Alkaline and alkaline earth metals (such as Na, K, Ba and Ca) are excellent fuels of high energy, except for magnesium, which is too reactive with humidity and atmospheric oxygen. Also, several non-metallic elements easily oxidized have a wide use in the field of pyrotechnics, which include C, S, B, Si and P. Likewise, a great variety of organic fuels are used in pyrotechnics, which apart from generating heat, generate a significant pressure of gas through the production of CO<sub>2</sub> and water vapor in the reaction zone. From the family of carbohydrates are used glucose (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>), sucrose (C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>), lactose (C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>) and starch ((C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)<sub>n</sub>). The dextrins obtained from the starch hydrolysis are widely used in pyrotechnics as fuel and agglutinant. Other materials of organic origin used in pyrotechnics include nitrocellulose, polyvinyl alcohol, stearic acid, hexamethylenetetramine, kerosene, epoxy resins, and unsaturated polyester resins (Conkling, 1985). The agglutinants are important constituents of pyrotechnics, which provide mechanical stability, and due to that they cohesively group the components, they provoke an increase in the resistance to water of the pyrotechnic devices (Steinhauser and Klapötke, 2008). There are non-energetic agglutinants that act as retardants and decrease the reaction velocity (Berger, 2005), such as: dextrins, polyvinyl alcohol, Arabic gum, vinyl acetate resins, methyl polymethacrylate alcohol, and some epoxy agglutinants (Sontakke *et al.*, 1995). Energetic agglutinants such as glycidyl azide polymer glycidyl azide (GAP) and nitrocellulose, contribute to the energy for the reaction. Unfortunately, such energetic agglutinants contain functional reactive groups (mainly azide, nitrate, nitro, hydroxi), which can lead to unwanted reactions with the energetic material (Steinhauser and Klapötke, 2008). The propellants in pyrotechnics have the function to produce high temperatures and pressure in a closed chamber, with the purpose of accelerating the pyrotechnic products through the force of propulsion. They are used cellulose nitrates, diphenylamine, dibutyl sebacate, camphor and the mixture of isomers 2,4-dinitrotoluene and 2,6-dinitrotoluene. Also they

sebacate, camphor and the mix of isomer 2, 4-dinitrotoluene and 2,6-dinitrotoluene. It has also been reported that for its manufacture, arsenic, mercury, plumb, hexachlorobenzene and polyvinyl chloride (Ravindra *et al.*, 2003; Wang *et al.*, 2007).

Colorant agents are normally metal salts, Ba<sup>2+</sup> for green, Sr<sup>2+</sup> for red, Cu<sup>+</sup> o Cu<sup>2+</sup> for blue and Na<sup>+</sup> for yellow are generally used (Steinhauser *et al.*, 2008). The presence of metals in fireworks generates preoccupation since they are emitted in a significant amount into the environment.

Table 1 shows some examples of composition for pyrotechnics (Lancaster *et al.*, 1998); it is important to mention that the chemical composition of pyrotechnics is not easily accessible information, since these are jealously guarded secrets by artisans or manufacturers.

#### Air contamination

The use of fireworks is located in countries like China, India, Spain, Germany, Italy, USA, Mexico, among others, where their use in celebrations is widely common, but they can carry negative effects in air quality. Diverse studies indicate that during the exhibition of fireworks there is a significant increase of traces of metal in the air, and sometimes, highly toxic pollutants are produced, such as dioxins and polychlorinated furans (Fleischer *et al.*, 1999). The identification and quantification of metals present in the particulate matter is mainly performed by spectroscopy of atomic emission by plasma coupled by induction (ICP-AES) for cations (Moreno *et al.*, 2007) and spectroscopy of masses by coupled plasma by induction (ICP-MS) for metal traces (Kulshrestha *et al.*, 2004; Moreno *et al.*, 2007), the latter has a detection limit of up to 0.5 ng/m<sup>3</sup> and it is the main technique reported in monitoring studies of metal emissions by pyrotechnics. Another technique is the X ray fluorescence by disperse energy, which has limits on the detection of 2-35 ng/m<sup>3</sup> depending on the type of metal (Vechi *et al.*, 2008). Also, the emission of X rays induced by particles whose detection limit is 1-10 ng/m<sup>3</sup> depending on the type of metal (Crespo *et al.*, 2012). The use of this type of techniques with low enough detection limits is necessary to detect minimum concentrations of metals present in the environment (see Table 2). It is important to mention that the composition and concentration of metals in the emissions vary enormously depending on the type of pyrotechnics that is used, and the magnitude of the event. According to Table 2, it can

ha reportado que para su fabricación se utiliza arsénico, mercurio, plomo, hexaclorobenceno y policloruro de vinilo (Ravindra *et al.*, 2003; Wang *et al.*, 2007).

Los agentes colorantes son normalmente sales de metales, en general se utiliza Ba<sup>2+</sup> para el color verde, Sr<sup>2+</sup> para el color rojo, Cu<sup>+</sup> o Cu<sup>2+</sup> para el azul y Na<sup>+</sup> para el amarillo (Steinhauser *et al.*, 2008). La presencia de metales en los fuegos artificiales genera bastante preocupación ya que son emitidos en una cantidad significativa al medio ambiente.

La Tabla 1 muestra algunos ejemplos de composición para pirotecnia (Lancaster *et al.*, 1998), es importante mencionar que la composición química de la pirotecnia no es información fácilmente accesible ya que muchas veces son secretos guardados celosamente por los artesanos o fabricantes.

#### Contaminación del aire

El uso de fuegos artificiales se localiza en países como China, India, España, Alemania, Italia, EUA, México entre muchos otros, donde su uso en celebraciones es muy común pero pueden ocasionar un efecto negativo en la calidad del aire. Diverse estudios indican que durante la exhibición de fuegos artificiales existe un aumento significativo de trazas de metales en el aire y en algunas ocasiones también se producen contaminantes altamente tóxicos como dioxinas y furanos policlorados (Fleischer *et al.*, 1999). La identificación y cuantificación de metales presentes en el material particulado se lleva a cabo principalmente por espectroscopia de emisión atómica por plasma acoplado por inducción (ICP-AES) para cationes (Moreno *et al.*, 2007) y espectroscopia de masas por plasma acoplado por inducción (ICP-MS) para trazas de metales (Kulshrestha *et al.*, 2004; Moreno *et al.*, 2007), esta última tiene un límite de detección de hasta 0.5 ng/m<sup>3</sup> y es la principal técnica reportada en estudios de monitoreo de emisión de metales por pirotecnia. Otra técnica es la fluorescencia de rayos X por energía dispersiva, que tiene límites de detección de 2-35 ng/m<sup>3</sup> dependiendo del tipo de metal (Vechi *et al.*, 2008). También se ha utilizado la emisión de rayos X inducida por partículas cuyo límite de detección es de 1-10 ng/m<sup>3</sup> dependiendo del tipo de metal (Crespo *et al.*, 2012). Es necesario el uso de este tipo de técnicas con límites de detección lo suficientemente bajos como para detectar concentraciones mínimas de metales presentes en el ambiente (ver Tabla 2). Es importante resaltar que la composición y concentración de metales en las emisiones varía enormemente dependiendo del tipo de pirotecnia que se use, así como la magnitud del evento. De acuerdo a la Tabla 2, se

**Table 1.**  
**Composition (%) of some types of pyrotechnics most commonly used**  
**Tabla 1.**

**Composición (%) de algunos tipos de pirotecnia más comúnmente utilizados**

Compound	Roman Candle			Microstars			Firefly	Strobe lights	Stars rain	Chrysan- themum	Stars bomb
	Red	Green	White	1	2	3					
KClO <sub>3</sub>	70	28									
KClO <sub>4</sub>										70	
Ba(ClO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>		53									
NH <sub>4</sub> ClO <sub>4</sub>								50-60			50-60
KNO <sub>3</sub>			51			50	45-55			7	
Sr(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>					30						
Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>				40							
BaSO <sub>4</sub>							7				
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>								5			5
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>								10-20			10-20
SrCO <sub>3</sub>	15										
S			18	20	30	12.5	0-10			12	
Mg				40	40			20-30			20-30
Accaroid resin	10	10									
Dextrine	4	4	3								
Carbon 150 mesh	1	5	3								
Gunpowder			15							72	
Antimony powder			10								
Charcoal pine						37.5	35-65				
Aluminum 18-30 mesh							4.6				
Rice starsch							5			2	
Hemp coal										18	
Carbon 40/100 mesh										7	
Aluminum dark pyro										7	
Aluminum 80/120										7	

be observed that in diverse festivities around the world, the main metal present in such emissions is K, due to its presence in many salts used for the preparation of mixes, followed in concentration by S, Al, Ba, Mg, Ca, Na, Si, Fe, Sr, Cu, P, Co, Ti, Pb, Zn, Mn, Cr, V, As and Ni. For the *US Environmental Protection Agency* (EPA), Pb, Mn, As, Cr, Co and Ni are within the list of the 187 most toxic compounds present in the air due to their possibility of causing cancer and other health risks such as damages in the immune, neurologic, reproductive and respiratory systems, among other risks (EPA, 2015). In the United States, the use of Pb in fireworks is forbidden, since it is the only metal subject to regulation (Licudine *et al.*, 2012); however, pyrotechnics imported from China contains important amounts that many times are not regulated during the formulation of pyrotechnics, in Tabla 2 the detection of Pb in many festivities around the world is clearly shown.

Camilleri and Vella (2010) report that in the small Mediterranean country of Malta, the use of pyrotechnics in the religious festivals throughout the summer, contribute to a negative significant effect in the quality of the air, by the presence of Al, Ba, Cu, Sr and Sb in dust. The presence of dust in high levels of Ba and especially Sb, as possible carcinogen for humans (Group 2B) (IARC, 1989), is reason of worry for the health of the population in this country. The "mascletas" are typical in festivals in the east of Spain and are pyrotechnic events of high intensity where thousands of petards are burn in one episode that rapidly generates heavy clouds of aerosol of short duration. Crespo *et al.*, (2012) determined that in this festivities in Spain, and for the specific use of Sr and Ba, an increase in its concentration of ~10000 times more with respect to the normal levels is generated. Sterba *et al.*, (2013) used a technique of electrostatic precipitations as a sampling method for dust particles in the air during the celebrations of New Year's Eve in Vienna, and reported elevated values for Na, Mg, Al, Si, S, K, Cu, Br, Rb, Sr, Sb, Te and Ba, all related with the use of pyrotechnics. But they also found elevated concentrations of As in fine dust produced by fireworks, hence they assume the illegal intentional use of this metal in pyrotechnics as colorant agent for the production of blue light.

In addition to metals, there is an increase in the concentration of particles suspended in the air (PM 10 and PM 2.5), and emission of NO<sub>2</sub>, NO, O<sub>3</sub>, CO and SO<sub>2</sub>

observa que en diversas festividades alrededor del mundo, el principal metal presente en dichas emisiones es el K, debido a su presencia en muchas sales usadas para la preparación de las mezclas; le siguen en concentración S, Al, Ba, Mg, Ca, Na, Si, Fe, Sr, Cu, P, Co, Ti, Pb, Zn, Mn, Cr, V, As y Ni. Para la *US Environmental Protection Agency* (EPA) el Pb, Mn, As, Cr, Co y Ni se encuentran dentro de la lista de los 187 compuestos más tóxicos presentes en el aire debido a que pueden ocasionar cáncer y otros riesgos a la salud como daños a los sistemas inmune, neurológico, reproductivo y respiratorio, entre otros riesgos (EPA, 2015). En Estados Unidos, el uso de Pb en fuegos artificiales está prohibido además de que es el único metal sujeto a regulación (Licudine *et al.*, 2012); sin embargo la pirotecnia importada de China contiene cantidades importantes que muchas veces no son reguladas durante la formulación de pirotecnia, en la Tabla 2 se muestra claramente que se ha detectado Pb en muchas de las festividades alrededor del mundo.

Camilleri y Vella (2010) reportan que en el pequeño país mediterráneo de Malta, el uso de pirotecnia en los festivales religiosos durante todo el verano, contribuyen a un efecto negativo significativo en la calidad del aire por la presencia de Al, Ba, Cu, Sr y Sb en polvo. La presencia en polvo de niveles elevados de Ba y especialmente de Sb, como posible carcinógeno para humanos (Grupo 2B) (IARC, 1989), es motivo de preocupación para la salud de la población en este país. Las "mascletas" son típicas de festivales en el este de España y son eventos pirotécnicos de alta intensidad donde miles de petardos se queman en un episodio que rápidamente genera nubes pesadas de aerosol de corta duración. Crespo *et al.*, (2012) determinaron que en estas festividades de España y para el caso específico del Sr y Ba se genera un aumento en su concentración de ~10,000 veces más con respecto a los niveles normales. Sterba *et al.*, (2013) utilizaron una técnica de precipitación electrostática como un método de muestreo para las partículas de polvo en el aire durante las celebraciones de Fin de Año en Viena, y reportaron valores elevados para los elementos Na, Mg, Al, Si, S, K, Cu, Br, Rb, Sr, Sb, Te y Ba, todos asociados con el uso de pirotecnia. Pero también encontraron concentraciones elevadas de As en el polvo fino producido por fuegos pirotécnicos, por lo que suponen el uso ilícito intencional de este metal en pirotecnia como agente colorante para la producción de luz azul.

Además de los metales, existe un incremento en la concentración de partículas suspendidas en el aire (PM 10 y PM 2.5), y

**Table 2.**  
**Observed concentration of metals in the air ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) during diverse festivals around the world**

**Tabla 2.**  
**Concentración observada de metales en el aire ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) durante diversos festivales alrededor del mundo**

Metal	Diwali festival in Hyderabad, India	Las Fallas festival in Valencia, España	Celebration of FIFA 2006 in Milan, Italia	Sant Joan fiesta in Girona, España	Diwali festival in Delhi, India	New Year's eve 2005 in Hawaii, Estados Unidos	Sant Joan fiesta in Alicante, España	Spring festival in Beijing, China
Al	35		0.698		38.4	7.295	22.5	
As	0.025	0.0016		0.0006		0.0076	0.08	
Ba	15	0.236	0.156	0.261	16.8	0.504	7.43	1.079
Ca		1.2	0.645	0.3	16.5		6.84	2.011
Co		0.0004		0.0002			1.7	0.00427
Cr		0.0026	0.011		0.29	0.158	0.15	
Cu		0.061	0.105	0.0175	0.55	6.697	2.2	0.158
Fe	1.2	0.4	1.731	0.1	6.3	0.606	0.850	
K	58	3.8	0.991	1.3	46.8	61.016	384	8.855
Mg	2	0.3	0.598	0.2	21.3	18.409	7.060	1.284
Mn	0.1		0.030	0.005	0.93	0.088	0.065	
Na	0.4	0.2		0.3	13.5	21.743	1.44	2.32
Ni	0.075	0.0031	0.005	0.0045	0.007	0.006	0.018	
P		0.05		0.0158	1.4			
Pb		0.247	0.057	0.0228	0.36	0.253	1.27	0.287
S			1.176		53.2		80.9	
Si			1.368				3.0	
Sr	0.58	0.031	0.139	0.106	0.14	1.719	5.75	0.233
Ti		0.04	0.046	0.014	1.7	0.057	0.610	0.14
V	0.012	0.012		0.0046	0.33		0.190	0.00594
Zn		0.077	0.190	0.0746	0.82	0.581	0.362	0.1285
Meteorological conditions	---	---	VV (~1 m/s)	---	T (14.7 - 35 °C) VV (0.7 - 1 m/s) HR (19 - 92 %)	VV (2 - 4 m/s)	T (19 - 30 °C)	T (-9 - 2 °C)
Reference	Kulshrestha <i>et al.</i> , 2004	Moreno <i>et al.</i> , 2007	Vecchi <i>et al.</i> , 2008	Moreno <i>et al.</i> , 2010	Sarkar <i>et al.</i> , 2010	Licudine <i>et al.</i> , 2012	Crespo <i>et al.</i> , 2012	Jing <i>et al.</i> , 2014



(Ravindra *et al.*, 2003). The quantification of PM 10 and PM 2.5 is carried mainly with collectors or automatic monitors of particles that can handle air flows of 20-80 m<sup>3</sup>/h through vacuum pumps that introduce the air into the equipment (Moreno *et al.*, 2007; Wang *et al.*, 2007; Moreno *et al.*, 2010). Other type of more portable collectors are those called "streaker" that also use vacuum pumps to pass air into their interior through filters (Crespo *et al.*, 2012). Nowadays, there is a great variety in these equipments in the market, and their functioning principle consists in the use of quartz filters of Polytetrafluoroethylene (PTFE) or fiberglass to separate the suspended particles in the air and carry their quantification.

Nowadays, Asian countries such as India or China are interested in the monitoring and analysis of particulate matter that is emitted during the massive burning of pyrotechnics in festivities such as the Chinese New Year or the Diwali festival in India (see Table 3).

emisión de NO<sub>2</sub>, NO, O<sub>3</sub>, CO y SO<sub>2</sub> (Ravindra *et al.*, 2003). La cuantificación de PM 10 y PM 2.5 se lleva a cabo principalmente con colectores o monitores automáticos de partículas que pueden manejar caudales de aire de 20-80 m<sup>3</sup>/h por medio de bombas de vacío que introducen el aire al interior del equipo (Moreno *et al.*, 2007; Wang *et al.*, 2007; Moreno *et al.*, 2010). Otro tipo de colectores más portátiles son los llamados de "corredor" (Streaker) que también utilizan bombas de vacío para hacer pasar aire en su interior a través de filtros (Crespo *et al.*, 2012). En la actualidad existe una gran variedad de estos equipos en el mercado y su principio de funcionamiento radica principalmente en la utilización de filtros de cuarzo, de politetrafluoroetileno (PTFE) o de fibra de vidrio para separar las partículas suspendidas en el aire y llevar a cabo su cuantificación.

Hoy en día los países asiáticos como India y China están interesados en el monitoreo y análisis del material particulado que es emitido durante la quema masiva de pirotecnia en festividades como el año nuevo Chino o el festival Diwali en la India (ver Tabla 3).

**Table 3.**  
**Observed concentration of particulate matter (µg/m<sup>3</sup>) during diverse celebrations.**

**Tabla 3.**  
**Concentración observada de material particulado (µg/m<sup>3</sup>) durante diversas celebraciones.**

Festival	Meteorological conditions	PM 2.5	PM 10	Reference
Lantern festival in Beijing, China.	T (-2.23 - 4.38 °C) VV (1.67 - 3.08 m/s) HR (55 - 88 %)	184.3	466.2	Wang <i>et al.</i> , 2007
Las Fallas festival in Valencia, España	---		79	Moreno <i>et al.</i> , 2007
Diwali festival in Delhi, India.	T (14.7 - 35 °C) VV (0.7 - 1 m/s) HR (19 - 92 %)	-	507.2	Sarkar <i>et al.</i> , 2010
Chinese New Year celebrations in Shanghai, China	T (~6 - 12 °C) VV (~2 - 7 m/s) HR (~40 - 95 %)	255.3 ± 193.7	-	Jialiang <i>et al.</i> , 2012
Diwali festival in Nagpur, India	---	271	930	Rao <i>et al.</i> 2012
Diwali festival in Delhi, India	T ( 21.2 - 23.8 °C) VV (0.1 - 0.36 m/s)	495 - 588	615 - 723	Tiwari <i>et al.</i> , 2012
Diwali festival in Rajnandgaon, India	T ( 21.5 - 24.5 °C) VV (~3 - 8 m/s) HR (66 - 81 %)	-	431.43 ± 41	Ambade y Ghosh, 2013
Lantern festival in Zhengzhou, China	T (7.9 °C) HR (53 %)	173 ± 125	365 ± 264	Liu <i>et al.</i> , 2014
Chinese New Year celebrations in Jinan, China	---	134.51 ± 97.4	-	Yang <i>et al.</i> , 2014
Chinese New Year celebrations in Nanjing, China	T (~2.4 - 14 °C) VV (1.5 - 4 m/s) HR (25 - 95 %)	113 ± 69	-	Kong <i>et al.</i> , 2015

It has been proven that the burning of pyrotechnics generates conditions for the formation of ozone at ground level: when the metals of the pyrotechnic mix are heated at high temperatures, UV radiation is released, which directly impinges on the oxygen, generating ozone; other reactions of ozone generation are given with NO and NO<sub>2</sub>, which are also generated during the burn of pyrotechnics (Ganguly, 2009; Caballero *et al.*, 2015).

### Water contamination

Fireworks are often burned near water bodies such as lakes, rivers or ocean coasts, causing their combustion residuals to fall into superficial waters, provoking water, sediment and soil contamination (Backus *et al.*, 2005; Yu *et al.*, 2013). Some investigations where the monitoring of water quality was performed after fireworks displays or in fabrication sites of them have been documented at elevated levels of water pollutants such as As, Cu and P (Sterba *et al.*, 2013), and perchlorate at a higher level than those stipulated by the EPA (15 m/L) (Kannan *et al.*, 2009; Isobe *et al.*, 2013). The determination of perchlorate or chlorate is carried mainly by chromatography of ionic exchange with detection limits of 0.01 – 0.05 µg L<sup>-1</sup> (Theodorakis *et al.*, 2006; Kosaka *et al.*, 2007; Kannan *et al.*, 2009; Qin *et al.*, 2014). The perchlorate is an inorganic anion that is used in solid impellers or rockets, fireworks, munitions, signal rockets, etc., and it is the main pollutant reported in different studies of underground and superficial water contamination, especially in the proximities of the fabrication places and spectacles sites of fireworks (Qin *et al.*, 2014; Sijimol and Mohan, 2014). The perchlorate salts are very soluble in water, hence they can rapidly displace through the soil and potentially to underground water (see Table 4). The effects of the perchlorate salts on health are due to perchlorate and not to other salt component (magnesium, ammonium, potassium, etc.). Great part of the current concern on this anion is due to the fact that the ingestion of perchlorate can cause health risks, since it impedes the thyroid gland absorbs iodine. Iodine is necessary to produce thyroid hormones. Low levels of the thyroid hormone (hypothyroidism) can alter the function of many body systems (cardiovascular, pulmonary, nervous, reproductive, etc.). Children and unborn can be especially susceptible to perchlorate because thyroid hormones are essential for growth and development (Wilkin *et al.*, 2007; Kannan *et al.*, 2009). The main routes of human exposure to perchlorate are liquid

Se ha demostrado que la quema de pirotecnia genera condiciones para la formación de ozono a nivel de suelo: cuando los metales de la mezcla pirotécnica son calentados a altas temperaturas se libera radiación UV que incide directamente en el oxígeno, generando ozono; otras reacciones de generación de ozono se dan con NO y NO<sub>2</sub> que también son generados durante la quema de pirotecnia (Ganguly, 2009; Caballero *et al.*, 2015).

### Contaminación del agua

Los fuegos artificiales son a menudo lanzados cerca de cuerpos de agua como lagos, ríos o en las costas del océano, ocasionando que sus residuos de combustión caigan en las aguas superficiales provocando contaminación en el agua, sedimentos y suelo (Backus *et al.*, 2005; Yu *et al.*, 2013). Algunas investigaciones en donde se realizó el monitoreo de la calidad del agua después de espectáculos de fuegos artificiales o en sitios de fabricación de los mismos, han documentado niveles elevados de contaminantes del agua como el As, Cu y P (Sterba *et al.*, 2013), así como de perclorato a un nivel mayor que los estipulados por la EPA (15 m L<sup>-1</sup>) (Kannan *et al.*, 2009; Isobe *et al.*, 2013). La determinación de perclorato o clorato se lleva a cabo principalmente por cromatografía de intercambio iónico con límites de detección de 0.01 - 0.05 µg L<sup>-1</sup> (Theodorakis *et al.*, 2006; Kosaka *et al.*, 2007; Kannan *et al.*, 2009; Qin *et al.*, 2014). El perclorato es un anión inorgánico que se utiliza en propulsores sólidos de cohetes, fuegos artificiales, municiones, cohetes de señal, etc., y es el principal contaminante reportado en distintos estudios de contaminación de agua subterránea y superficial, especialmente en las proximidades de los lugares de fabricación y sitios de espectáculos de fuegos artificiales (Qin *et al.*, 2014; Sijimol and Mohan, 2014). Las sales de perclorato son muy solubles en agua y por lo tanto pueden desplazarse rápidamente a través del suelo y potencialmente hasta el agua subterránea (ver Tabla 4). Los efectos de las sales de perclorato sobre la salud se deben al perclorato y no al otro componente de la sal (magnesio, amonio, potasio, etc.). Gran parte de la preocupación actual sobre este anión se deriva del hecho de que la ingesta de perclorato puede provocar riesgos para la salud, debido a que impide que la glándula tiroidea absorba el yodo. El yodo es necesario para producir las hormonas de la tiroidea. Los niveles bajos de la hormona tiroidea (hipotiroidismo) pueden alterar la función de muchos sistemas del cuerpo (sistema cardiovascular, sistema pulmonar, sistema nervioso, sistema reproductivo, etc.). Los niños y los natos pueden ser especialmente susceptibles al perclorato

or dust ingestion, dust inhalation or cutaneous absorbance, unfortunately, none of these routes have been completely characterized. Borjan *et al.*, (2011) appointed that exposure to perchlorate by water ingestion contributes to 5 % of the total detected in breast milk and urine in a group of 106 lactating women in the United States. Wan *et al.*, (2015) mention that in comparison to perchlorate ingestion, cutaneous absorbance and dust inhalation is 3 orders of lower magnitude. Unfortunately, even with data that reveal damages in public health, a maximum allowed limit of perchlorate concentration in potable water is not determined. In the United States, only two states regulate the concentration of perchlorate in potable water. In California, the Department of Public Health (DPH) has established that the maximum contamination level (MCL) is  $6 \mu\text{g L}^{-1}$  of perchlorate. But in 2015, the Office of Environmental Health Hazard and Assessment (OEHHHA) reduced the concentration of perchlorate in potable water from  $6 \mu\text{g L}^{-1}$  to  $1 \mu\text{g L}^{-1}$ , hence the DPH is considering to reduce the concentration. In 2006, Massachusetts established a MCL of  $2 \text{mg L}^{-1}$ . In 2010, New Jersey proposed to establish a MCL of  $5 \text{mg L}^{-1}$ , but in March 2010, the Department of Environmental Protection of New Jersey decided to delay the establishment of the MCL until there were a national standard (Water Research Foundation, 2014).

porque las hormonas de la tiroides son esenciales para el crecimiento y desarrollo (Wilkin *et al.*, 2007; Kannan *et al.*, 2009). Las principales rutas de exposición humana al perclorato son ingesta de líquidos o polvos, inhalación de polvos o absorción cutánea, desafortunadamente ninguna de estas rutas se ha caracterizado por completo. Borjan *et al.*, (2011) señalaron que la exposición a perclorato por ingesta de agua contribuye al 5 % del total detectado en leche materna y orina de un grupo de 106 mujeres lactantes en Estados Unidos. Wan *et al.*, (2015) señalaron que en comparación con la ingesta de perclorato, la absorción cutánea y la inhalación de polvos es 3 órdenes de magnitud menor. Desafortunadamente, aún con datos que revelan daños en la salud pública, no está determinado un límite máximo permitido de concentración de perclorato en agua potable. En Estados Unidos, solo dos estados regulan el perclorato en agua potable. En California, el Departamento de Salud Pública (DSP) ha establecido que el nivel máximo de contaminación (NMC) es de  $6 \mu\text{g L}^{-1}$  de perclorato. Pero en el 2015, la Oficina de Evaluación de Riesgos para la Salud Ambiental (OERSA) redujo la concentración de perclorato en agua potable de  $6 \mu\text{g L}^{-1}$  a  $1 \mu\text{g L}^{-1}$ , por lo que DPH está considerando reducir la concentración. En el 2006, Massachusetts establece un NMC de  $2 \text{mg L}^{-1}$ . En el 2010, Nueva Jersey propuso establecer un NMC de  $5 \text{mg L}^{-1}$ , pero en marzo de 2010 el Departamento de Protección Ambiental de Nueva Jersey decidió retrasar el establecimiento de la NMC hasta que se hubiera establecido un estándar a nivel nacional (Water Research Foundation, 2014).

**Table 4.**  
**Occurrence of perchlorate in diverse sites**

**Tabla 4.**  
**Ocurrencia de perclorato en diversos sitios**

Reference	Site	Matrices	Perchlorate (average concentration)
Backus <i>et al.</i> , 2005	Hamilton harbour in Canada	Water	$0.2 \mu\text{g L}^{-1}$
Theodorakis <i>et al.</i> , 2006	Lakes and rivers in McLennan, Texas, USA	Water	$10- 150 \mu\text{g L}^{-1}$
Kosaka <i>et al.</i> , 2007	4 rivers in Japan: Tone, Azuma, Usui, Karasu	Water	$0.08- 2300 \mu\text{g L}^{-1}$
Kannan <i>et al.</i> , 2009	13 sites in India: rivers, lakes and groundwater	Water	$0.027 - 1.5 \mu\text{g L}^{-1}$
Qin <i>et al.</i> , 2014	Rainwater and surfacewater in Tianjin, China	Water	$0.5-9.51 \text{ng mL}^{-1}$
Gan <i>et al.</i> , 2014	North China	Soil	$0.595 \text{mg Kg}^{-1}$
Gan <i>et al.</i> , 2014	South China	Soil	$0.220 \text{mg Kg}^{-1}$
Gan <i>et al.</i> , 2014	North China	Dust	$37.4 \text{mg Kg}^{-1}$
Gan <i>et al.</i> , 2014	South China	Dust	$48.7 \text{mg Kg}^{-1}$
Vella <i>et al.</i> , 2015	Main island of Malta	Dust	$0.79-53 \text{mg Kg}^{-1}$
Vella <i>et al.</i> , 2015	Gozo island, Malta	Dust	$0.83-16 \text{mg Kg}^{-1}$

Sugimoto *et al.*, (2012) monitored perchlorate concentrations in the water of River Hijikawa in Japan in order to estimate the discharge levels of perchlorate in a river and the changes in the concentrations during an event with fireworks. The concentration of perchlorate before the event ranged from 0.12 to 0.84  $\mu\text{g L}^{-1}$  and then raised to 33  $\mu\text{g L}^{-1}$  in less than 1.5 hours after the fireworks event, but then reduced at bottom levels (0.19- 2.52  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) within 2 hours after the final event; this suggests that the perchlorate was diluted with the river flow due to its high solubility in water. Also, contamination in underground waters by manufacturing of pyrotechnics in India has been studied, finding perchlorate concentrations between 0.005-7700  $\mu\text{g L}^{-1}$  in underground water samples (Kannan *et al.*, 2009).

In a study performed in Ada, Oklahoma (Wilkin *et al.*, 2007) where changes in the perchlorate concentrations in superficial waters adjacent to a fireworks exhibitions site between 2004 and 2006 were determined, it was shown that before the fireworks spectacle, concentrations of perchlorate in superficial waters ranged from 0.005 a 0.081  $\mu\text{g L}^{-1}$ . A maximum concentration of perchlorate of 44.2  $\mu\text{g L}^{-1}$  in July 2006 was observed. After fireworks, concentrations of perchlorates decreased towards a basal level within 20 to 80 days, which suggests an environmental attenuation of contamination. Kosaka *et al.*, (2007) also reported an increase in the concentration of perchlorate up to 79  $\mu\text{g L}^{-1}$  in the River Hirose right after a festival with fireworks; after 5 days of the festival, perchlorate concentration decreased up to 0.39  $\mu\text{g L}^{-1}$ .

#### Soil contamination

There are few studies related with the contamination of soils provoked by the use and fabrication of fireworks, and focused only in the contamination of perchlorate. Wan *et al.*, (2015) analyzed dust samples from 12 countries and found that samples from China contained an average of 4.61  $\text{mg kg}^{-1}$  of perchlorate, these values were 4 to 60 times higher than the other studied countries; this fact was attributed to the high volume of production and use of pyrotechnics that China has (see Table 4). It is important to mention that China, being the higher producer of pyrotechnics in the world, has shown a lot of interest in knowing the grade of environmental impact that is having such activity, not only in the air, but also in the waterbodies, soils and dust. Previously, Gan *et al.*, (2012) analyzed the concentra-

Sugimoto *et al.*, (2012) monitorearon las concentraciones de perclorato en el agua del río Hijikawa en Japón para estimar los niveles de descarga de perclorato en un río y los cambios en las concentraciones durante un evento con fuegos artificiales. La concentración de perclorato antes del evento osciló de 0.12 hasta 0.84  $\mu\text{g L}^{-1}$  y luego aumentó hasta 33  $\mu\text{g L}^{-1}$  a menos de 1.5 horas después del evento de fuegos artificiales, pero se redujo a niveles de fondo (0.19- 2.52  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) dentro de 2 horas después del final del evento; esto sugiere que el perclorato se diluyó con el caudal del río debido a su alta solubilidad en agua. También se ha estudiado la contaminación de aguas subterráneas por la fabricación de pirotecnia en la India, en donde encontraron concentraciones de perclorato entre 0.005-7700  $\mu\text{g L}^{-1}$  en las muestras de agua subterránea (Kannan *et al.*, 2009).

En un estudio realizado en Ada, Oklahoma (Wilkin *et al.*, 2007) en donde se determinaron los cambios en las concentraciones de perclorato en aguas superficiales adyacentes a un sitio de exhibiciones de los fuegos artificiales entre 2004 y 2006, se mostró que antes del espectáculo de fuegos artificiales, las concentraciones de perclorato en aguas superficiales oscilaron entre 0.005 a 0.081  $\mu\text{g L}^{-1}$ . También se observó una concentración máxima de perclorato de 44.2  $\mu\text{g L}^{-1}$  en julio de 2006. Después de los fuegos artificiales, las concentraciones de perclorato disminuyeron hacia el nivel basal dentro de 20 a 80 días, lo que sugiere una atenuación ambiental de la contaminación. Kosaka *et al.*, (2007) reportaron también un incremento en la concentración de perclorato de hasta 79  $\mu\text{g L}^{-1}$  en el Río Hirose justo después de un festival con fuegos artificiales; después de 5 días del festival la concentración de perclorato disminuyó hasta 0.39  $\mu\text{g L}^{-1}$ .

#### Contaminación del suelo

Existen pocos estudios relacionados con la contaminación de suelos provocados por el uso y fabricación de fuegos pirotécnicos, y se enfocan únicamente a la contaminación del perclorato. Wan *et al.*, (2015) quienes analizaron muestras de polvo provenientes de 12 países y encontraron que las muestras de China contenían una media de 4.61  $\text{mg kg}^{-1}$  de perclorato, estos valores fueron de 4 a 60 veces más altos que los demás países estudiados; se atribuyó este hecho al alto volumen de producción y uso de pirotecnia que tiene China (ver Tabla 4). Cabe mencionar que China al ser el mayor productor de pirotecnia del mundo ha mostrado mucho interés en conocer el grado de impacto ambiental que está teniendo dicha actividad no tan sólo en

tion of perchlorate in 98 samples of soil and dust in diverse regions of China, from February to March; in the soil samples, concentrations of up to 5300 mg kg<sup>-1</sup>. These values are clearly superior to those reported by Wan *et al.*, (2015) and are related with the massive burning of fireworks to commemorate spring festivities during such months. Dhasarathan *et al.*, (2010) observed that in soil exposed to fireworks there was a noticeable reduction in the total heterotroph bacterial population (THB) compared with microbial populations of non-contaminated soils. The result of this study clearly showed that the chemical products used in pyrotechnics can affect the microbial biodiversity of the soil, hence adequate measures must be taken to control the contamination level, and further researches on contamination at soil level of other toxic substances (as metals) present in the use and manufacture of pyrotechnics must be performed. Vella *et al.*, (2015) analyzed dust samples in the main island of Malta, and the island of Gozo, belonging also to Malta, and found that dust falling from the atmosphere during summer festivals could contain up to 561 kg<sup>-1</sup> of perchlorate. This concentration is very superior from the collected dust in other times of the year at the interior of households (0.79-53 mg kg<sup>-1</sup> of perchlorate).

#### **Contamination by pyrotechnics in the Mexico Valley**

The Metropolitan Area of the Mexico Valley defines the area formed by the Ciudad de Mexico, 59 municipalities in the State of Mexico and 1 municipality in the State of Hidalgo. In its website, the National System of Information of Air Quality has a database on air quality from the Atmospheric Monitoring System in the Metropolitan Area of the Mexico Valley (SIMAT) composed by 30 monitoring stations. Table 5 was created by using concentration data of PM 10 at 8 monitoring stations that range from the north zone to the south zone of the Metropolitan Area of the Valle de Mexico; it is important to mention that not all stations have the same infrastructure, hence not all of them monitor the same parameters. Average concentration was taken from 00:00 to 12:00 on the 1<sup>st</sup> of January during 10 years, period of time when the massive burning of pyrotechnics normally occurs. As it can be observed in Table 5, the increase in the concentration of PM 10 is significant, levels above the official Mexican norm are recorded practically all years (average of 120 µg/m<sup>3</sup>, for an interval of 24 h). The fact that the stations of Xalostoc and Villa de las

aire sino también en sus cuerpos de agua, suelos y polvo. Previamente, Gan *et al.*, (2014) analizaron la concentración de perclorato en 98 muestras de suelo y polvo en diversas regiones de China de febrero a marzo; en las muestras de suelo se encontraron valores de hasta 216 mg kg<sup>-1</sup> y en muestras de polvo se encontraron concentraciones de hasta 5300 mg kg<sup>-1</sup>. Estos valores son claramente superiores a lo reportado por Wan *et al.*, (2015) y están con la quema masiva de fuegos artificiales para conmemorar las festividades de primavera durante esos meses. Dhasarathan *et al.*, (2010) observaron que en un suelo expuesto a fuegos pirotécnicos había una notable reducción en la población bacteriana heterótrofa total (THB) comparado con poblaciones microbianas de suelos no contaminados. El resultado de este estudio demostró claramente que los productos químicos utilizados en la pirotecnia pueden afectar a la biodiversidad microbiana en suelo, por lo que se deben de tomar medidas adecuadas para controlar el nivel de contaminación, y además se debe de realizar una investigación más exhaustiva del nivel de contaminación en suelo de otras sustancias tóxicas (como los metales) presentes en el uso y manufactura de fuegos pirotécnicos. Vella *et al.*, (2015) analizaron muestras de polvo en la isla principal de Malta y en la isla de Gozo, perteneciente también a Malta, y encontraron que el polvo que cae de la atmósfera durante los festivales de verano podría contener hasta 561 mg kg<sup>-1</sup> de perclorato. Esta concentración es muy superior a la del polvo colectado en otras épocas del año en el interior de casas habitación (0.79-53 mg kg<sup>-1</sup> de perclorato).

#### **Contaminación por pirotecnia en el Valle de México.**

La Zona Metropolitana del Valle de México define al área conformada por la Ciudad de México, 59 municipios del Estado de México y 1 municipio del Estado de Hidalgo. En su página de internet, el Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire dispone de una base de datos de la calidad del aire provenientes del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana del Valle de México (SIMAT) compuesto por 30 estaciones de monitoreo. La Tabla 5 fue construida utilizando los datos de concentración de PM 10 en 8 estaciones de monitoreo que van desde la zona norte hasta el sur de la Zona Metropolitana del Valle de México, es importante resaltar que no todas las estaciones tienen la misma infraestructura por lo que no todas monitorean los mismos parámetros. Se tomó la media de concentración desde las 00:00 hasta las 12:00 del 1<sup>er</sup> de enero durante 10 años, que es el periodo de tiempo en que ocurre normalmente la quema masiva de pirotecnia. Como puede observarse en la Tabla 5, el incremento en la concentración de PM 10 es significativo, prácticamente

Flores have high records of PM 10 is highlighted, which can be related with the closeness to the municipalities of Tultepec, Tultitlán and Zumpango, which are the most important sailing points (carts, display sets or established markets) of pyrotechnics in this zone of the State of Mexico (IMEPI, 2016). Another station that also has high records is La Merced, which is close to downtown of Ciudad de Mexico and is the main site where the massive burning and sale of pyrotechnics take place. Information given in Table 5 represents a first approach to the environmental contamination problem by massive burning of pyrotechnics in the Metropolitan Area of the Mexico Valley. In order to further analyze the impact of massive burning of pyrotechnics, it would be necessary to perform studies on: (i) quantification of the emission of pollutants in diverse Mexican festivities, (ii) analysis of the composition and concentration of metals in the particulate matter, (iii) quantification on the emission of

todos los años se registran niveles muy por encima de lo que marca la norma oficial mexicana (media de 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , para un intervalo de 24 h). Particularmente se realiza el hecho que en las estaciones de Xalostoc y Villa de las Flores se tienen altos registros de PM 10, lo cual puede verse relacionado con la cercanía a los municipios de Tultepec, Tultitlán y Zumpango que son los puntos de venta (carros, vitrinas o mercados establecidos) de pirotecnia más importante en esta zona del Estado de México (IMEPI, 2016). Otra estación que también tiene altos registros es la de La Merced, la cual es cercana al centro de la Ciudad de México y es el principal sitio donde tiene lugar tanto la venta como quema masiva de pirotecnia. La información proporcionada en la Tabla 5 representa un primer acercamiento a lo que significa el problema de contaminación ambiental por quema masiva de pirotecnia en la Zona Metropolitana del Valle de México. Para analizar el impacto de la quema masiva de pirotecnia a profundidad sería necesario realizar estudios sobre: (i) cuantificación de la emisión

**Table 5.**  
**Concentrations of PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) observed at 8 atmospheric monitoring stations from the Mexico Valley, values in parenthesis correspond to the average of all January except the first**

**Tabla 5.**  
**Concentraciones de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) observadas en 8 estaciones de monitoreo atmosférico del Valle de México, los valores dentro de paréntesis corresponden a la media de todo el mes de Enero excluyendo el día primero**

Year	Villa de las Flores (VIF)	Tultitlán (TLI)	Xalostoc (XAL)	Tlalnepantla (TLA)	Merced (MER)	Taxqueña (TAX)	Santa Úrsula (SUR)	Pedregal (PED)
2000	228 ± 74 (67 ± 46)	40 ± 12 (64 ± 47)	200 ± 45 (92 ± 63)	57 ± 24 (54 ± 36)	226 ± 87 (91 ± 55)	-	-	79 ± 38 (64 ± 37)
2001	187 ± 18 (82 ± 47)	30 ± 1 (39 ± 21)	285 ± 106 (121 ± 84)	136 ± 90 (78 ± 46)	100 ± 28 (44 ± 23)	155 ± 40 (68 ± 38)	137 ± 40 (55 ± 36)	82 ± 22 (57 ± 32)
2002	- (81 ± 44)	230 ± 126 (81 ± 57)	356 ± 225 (102 ± 64)	76 ± 34 (56 ± 32)	112 ± 54 (58 ± 30)	115 ± 32 (57 ± 28)	90 ± 45 (53 ± 45)	- (39 ± 22)
2003	-	-	379 ± 129 (101 ± 64)	111 ± 38 (57 ± 34)	213 ± 63 (72 ± 46)	217 ± 63 (63 ± 33)	227 ± 33 (56 ± 30)	89 ± 38 (46 ± 24)
2004	176 ± 53 (66 ± 42)	157 ± 31 (57 ± 37)	218 ± 61 (84 ± 54)	114 ± 45 (47 ± 31)	152 ± 51 (49 ± 33)	148 ± 41 (47 ± 33)	142 ± 33 (39 ± 28)	102 ± 39 (30 ± 23)
2005	478 ± 150 (90 ± 59)	-	381 ± 81 (103 ± 60)	143 ± 41 (66 ± 34)	220 ± 64 (75 ± 38)	254 ± 41 (69 ± 34)	244 ± 61 (66 ± 34)	141 ± 43 (46 ± 28)
2006	414 ± 223 (110 ± 71)	-	353 ± 99 (104 ± 67)	92 ± 42 (68 ± 41)	181 ± 66 (75 ± 42)	164 ± 25 (56 ± 38)	182 ± 33 (69 ± 39)	76 ± 24 (47 ± 32)
2007	67 ± 36 (81 ± 51)	-	82 ± 20 (80 ± 47)	71 ± 23 (54 ± 29)	75 ± 22 (47 ± 26)	79 ± 20 (45 ± 26)	79 ± 36 (44 ± 25)	71 ± 43 (34 ± 20)
2008	293 ± 148 (91 ± 57)	-	175 ± 103 (94 ± 57)	93 ± 43 (63 ± 33)	103 ± 39 (69 ± 36)	-	94 ± 41 (56 ± 27)	52 ± 15 (44 ± 24)
2009	- (90 ± 59)	-	125 ± 27 (107 ± 61)	106 ± 40 (86 ± 54)	105 ± 24 (70 ± 35)	- (65 ± 38)	- (56 ± 31)	73 ± 22 (45 ± 26)

greenhouse gases, (iv) analysis on the content of perchlorate in soils and waterbodies and (v) calculation of the percentage of atmospheric contamination by massive burning of pyrotechnics in respect to the total of atmospheric contamination.

## Conclusions

Pyrotechnics is seen in various countries as an artisan activity, but since it involves the use of explosive materials, it has been officially regulated by the government in each country. The hazard associated with this activity has been seen only by the management of dangerous substances and few importance to the contamination it might generate has been given, mainly due to the fact that fireworks events are of short duration. However, in countries as China and India, where important and massive festivities occur, an effort to determine the amount, composition and concentration of pollutants emitted to the environment has been made with the aim of analyzing the environmental impact level that this type of contamination generates. These countries are alerting on the danger that the burning of pyrotechnics generate to the environment and human health, particularly the presence of perchlorate in waterbodies, which has generated international concern due to the proves that this can decrease thyroid capacity to produce hormones for normal growth and development. Nevertheless, investigation on the contamination provoked by the production and use of pyrotechnics not only in the air and waterbodies, but also in the soil and its effect in soil quality and the environment, and determining the toxicity of pyrotechnic residuals, needs to be performed.

Nowadays, there is no country in the world that regulates on the composition and amount of pyrotechnic that can be used, the duration of the events, and neither a minimum dose of explosion has been established. In Mexico, there are no official statistics that comment on the production and sale of pyrotechnic. There is no control either on the composition of Mexican pyrotechnic to avoid the use of metals such as Pb, Mn, As, Cr, Co and Ni. It is necessary to establish control systems that regulate the production, sale and burning of pyrotechnics, especially in the urban areas where the deteriorated atmospheric quality can turn worse due to the massive burning of pyrotechnics.

de contaminantes en diversas festividades mexicanas, (ii) análisis de la composición y concentración de metales en el material particulado, (iii) cuantificación de la emisión de gases de efecto invernadero, (iv) análisis de contenido de perclorato en suelos y cuerpos de agua y (v) calcular el porcentaje de contaminación atmosférica por quema masiva de pirotecnia con respecto al total de la contaminación atmosférica.

## Conclusiones

La pirotecnia es vista en varios países como una actividad artesanal, pero como involucra el uso de materiales explosivos ha sido regulada de forma oficial por el gobierno de cada país. El peligro asociado a esta actividad se ha visto reflejado únicamente por el manejo de sustancias peligrosas y se le ha dado poca importancia a la contaminación que pudiera generar, debido principalmente a que los eventos pirotécnicos son de corta duración. Sin embargo, en países como China e India donde ocurren festividades importantes y masivas, se ha hecho un esfuerzo por determinar la cantidad, composición y concentración de contaminantes emitidos al medio ambiente con el objetivo de analizar el nivel del impacto ambiental que genera este tipo de contaminación. Estos países están alertando sobre el peligro que generan la quema de pirotecnia al ambiente y a la salud humana, en particular la presencia de perclorato en cuerpos de agua ha generado preocupación internacional debido a que se ha demostrado que puede interrumpir la capacidad de la tiroides para producir hormonas requeridas para el crecimiento y desarrollo normal. Sin embargo, aún falta realizar investigación sobre la contaminación provocada por la producción y uso de pirotecnia no solo en aire y cuerpos de agua, sino también en suelo y su efecto en la calidad del mismo y en el ambiente así como determinar la toxicidad de los residuos pirotécnicos.

Hoy en día no existe en ningún país del mundo una regulación sobre la composición y cantidad de pirotecnia que pueda ser utilizada, la duración de dichos eventos y tampoco se ha establecido una dosis mínima de exposición. Específicamente en México no existen estadísticas oficiales que hablen sobre la producción y venta de pirotecnia. Tampoco existe un control sobre la composición de la pirotecnia mexicana para evitar el uso de metales como Pb, Mn, As, Cr, Co y Ni. Es necesario establecer sistemas de control que regulen la producción, venta y quema de pirotecnia, especialmente en áreas urbanas donde la ya de por sí deteriorada calidad atmosférica se pueda ver empeorada por la quema masiva de pirotecnia.

## References

- Ambade, B. and Ghosh, S. 2013. Characterization of PM10 in the ambient air during Deepawali festival of Rajnandgaon district, India. *Natural Hazards* 69: 589-598.
- American Pyrotechnics Association (APA), 2014. U.S. Fireworks Industry Revenue Figures Breakdown by Industry Segment 1998 – 2014. In: <http://www.americanpyro.com/assets/docs/FactsandFigures/fireworks%20revenue%20by%20industry%20segment%201998-14.pdf>. last checked: July 15<sup>th</sup> 2016.
- Backus, S.M., Klawuun, P., Brown, S., D'sa, I., Sharp, S., Surette, C., et al. 2005. Determination of perchlorate in selected surface waters in the Great Lakes Basin by HPLC/MS/MS. *Chemosphere* 61: 834-843. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653505005965?via%3Dihub>
- Baranyai, E., Simon, E., Braun, M., Tothmeresz, B., Posta, J. and Fabian, I. 2015. The effect of a fireworks event on the amount and elemental concentration of deposited dust collected in the city of Debrecen, Hungary. *Air Quality, Atmosphere and Health* 8: 359-365. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4519581/>
- Berger, B. 2005. Parameters influencing the pyrotechnic reaction. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics* 30: 27-35. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/prep.200400082/full>
- Borjan, M., Marcella, S., Blount, B., Greenberg, M., Zhang, J., Murphy, E., et al. 2011. Perchlorate exposure in lactating women in an urban community in New Jersey. *Science of the Total Environment* 409: 460-464. <http://eac.rutgers.edu/perchlorate-exposure-and-lactating-women-in-an-urban-community-in-new-jersey/>
- Caballero, S., Galindo, N., Castañer, R., Giménez, J. and Crespo, J. 2015. Real-Time Measurements of Ozone and UV Radiation during Pyrotechnic Displays. *Aerosol and Air Quality Research* 15: 2150-2157. [http://www.aagr.org/files/article/524/37\\_AAQR-15-04-TN-0204\\_2150-2157.pdf](http://www.aagr.org/files/article/524/37_AAQR-15-04-TN-0204_2150-2157.pdf)
- Calderón-Contreras, R. 2013. Pirotecnia Mexiquense, Artesanía de fuego. Fondo Editorial del Estado de México, 29. <http://ceape.edomex.gob.mx/content/pirotecnia-mexiquense-artesan%C3%ADa-de-fuego>
- Camilleri, R. and Vella, A.J. 2010. Effect of fireworks on ambient air quality in Malta. *Atmospheric Environment* 44: 4521-4527. <http://ceape.edomex.gob.mx/content/pirotecnia-mexiquense-artesan%C3%ADa-de-fuego>
- Directorio de Parroquias de México. 2016. Conferencia del Episcopado Mexicano. In: <http://www.parroquiasdemexico.com/>. last checked: October 16<sup>th</sup> 2016.
- Conkling, J.A. 1985. Chemistry of Pyrotechnics. Basic Principles and Theory, Marcel Dekker Inc. New York, NY, 49-80. <https://www.crcpress.com/Chemistry-of-Pyrotechnics-Basic-Principles-and-Theory-Second-Edition/Conkling-Mocella/p/book/9781574447408>
- Crespo, J., Yubero, E., Nicolas, J.F., Lucarelli, F., Nava, S., Chiari, M., et al. 2012. High-time resolution and size-segregated elemental composition in high-intensity pyrotechnic exposures. *Journal of Hazardous Materials* 241: 82-91. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389412009284>
- Danali, S.M., Palaiah, R.S. and Raha, K.C. 2010. Developments in pyrotechnics. *Defence Science Journal* 60: 152-158. <http://publications.drdo.gov.in/ojs/index.php/dsj/article/view/333>
- Dhasarathan, P., Theriappan, P. and Ashokraj, C. 2010. Microbial diversity in firework chemical exposed soil and water samples collected in Virudhunagar district, Tamil Nadu, India. *Indian Journal of Microbiology* 50:46-49. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3450278/>
- China, D. 2011. Production of fireworks sparks safety concerns. In: [http://usa.chinadaily.com.cn/2011-01/24/content\\_11905075.htm](http://usa.chinadaily.com.cn/2011-01/24/content_11905075.htm), last checked: July 15<sup>th</sup> 2016.
- Fleischer, O., Wichmann, H. and Lorenz, W. 1999. Release of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans by setting off fireworks. *Chemosphere* 39: 925-932. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653599000193?via%3Dihub>
- Gan, Z., Sun, H., Wang, R. and Deng, Y. 2014. Occurrence and exposure evaluation of perchlorate in outdoor dust and soil in mainland China. *Science of the Total Environment* 470-471: 99-106. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969713011054?via%3Dihub>
- Ganguly, N.D. 2009. Surface ozone pollution during the festival of Diwali, New Delhi, India. *Earth Science India* 2: 224-229. [http://www.earthscienceindia.info/pdfupload/tech\\_pdf-1291.pdf](http://www.earthscienceindia.info/pdfupload/tech_pdf-1291.pdf)
- IMEPI (Instituto Mexiquense de la Pirotecnia). 2016. Pirotecnia en el Estado de México. In: [http://imepi.edomex.gob.mx/pirotecnia\\_edomex](http://imepi.edomex.gob.mx/pirotecnia_edomex). last checked: October 16<sup>th</sup> 2016.
- Isobe, T., Ogawa, S.P., Sugimoto, R., Ramu, K., Sudaryanto, A., Malarvannan, G., et al. 2013. Perchlorate contamination of groundwater from fireworks manufacturing area in South India. *Environmental Monitoring and Assessment* 185: 5627-5637. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10661-012-2972-7>
- Jialiang, F., Peng, S., Xiaoling, H., Wei, Z., Minghong, W. and Jiamo, F. 2012. The chemical composition and sources of PM 2.5 during the 2009 Chinese New Year's holiday in Shanghai. *Atmospheric Research* 118: 435-444. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809512002797>
- Jing, H., Li, Y.F., Zhao, J., Li, B., Sun, J., Chen, R., et al. 2014. Wide-range particle characterization and elemental concentration in Beijing aerosol during the 2013 Spring Festival. *Environmental Pollution* 192: 204-211. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749114002310?via%3Dihub>



- Kannan, K., Praamsma, M.L., Oldi, J.F., Kunisue, T. and Sinha, R.K. 2009. Occurrence of perchlorate in drinking water, groundwater, surface water and human saliva from India. *Chemosphere* 76: 22-26. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653509002562?via%3Dihub>
- Kong, S.F., Li, L., Li, X.X., Yin, Y., Chen, K., Liu, D.T., et al. 2015. The impacts of firework burning at the Chinese Spring Festival on air quality: insights of tracers, source evolution and aging processes. *Atmospheric Chemistry and Physics* 15: 2167-2184. <http://www.atmos-chem-phys.net/15/2167/2015/>
- Kosaka, K., Asami, M., Matsuoka, Y., Kamoshita, M. and Kunikane, S. 2007. Occurrence of perchlorate in drinking water sources of metropolitan area in Japan. *Water Research* 41: 3474-3482. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135407002965?via%3Dihub>
- Kulshrestha, U.C., Rao, T.N., Azhaguvel, S. and Kulshrestha, M. 2004. Emissions and accumulation of metals in the atmosphere due to crackers and sparkles during Diwali festival in India. *Atmospheric Environment* 38: 4421-4425. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231004005382?via%3Dihub>
- Lancaster, R., Butler, R.E.A, Lancaster, J.M. and Shimizu, T. 1998. Fireworks Principles and Practice. Ed. Chemical Publishing Company. New York, NY, 147-155 pp. [http://www.chemical-publishing.com/v/vspfiles/assets/images/pages%20from%209780820604077\\_txt.pdf](http://www.chemical-publishing.com/v/vspfiles/assets/images/pages%20from%209780820604077_txt.pdf)
- Licudine, J.A., Yee, H., Chang, W.L. and Whelen, A.C. 2012. Hazardous metals in ambient air due to new year fireworks during 2004-2011 celebrations in pearl city, Hawaii. *Public Health Reports* 127(4): 440-450. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3366381/>
- Liu, J., Man, Y. and Liu, Y. 2014. Temporal variability of PM10 and PM2.5 inside and outside a residential home during 2014 Chinese Spring Festival in Zhengzhou, China. *Natural Hazards* 73: 2149-2154. <https://www.tib.eu/de/suchen/id/BLSE%3ARN357739664/Temporal-variability-of-PM10-and-PM2-5-inside-and/>
- Moreno, T., Querol, X., Alastuey, A., Amato, F., Pey, J., et al. 2010. Effect of fireworks events on urban background trace metal aerosol concentrations: Is the cocktail worth the show?. *Journal of Hazardous Materials* 183: 945-949. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389410009672>
- Moreno, T., Querol, X., Alastuey, A., Cruz-Minguillon, M., Pey, J., Rodriguez, S. et al. 2007. Recreational atmospheric pollution episodes: Inhalable metalliferous particles from firework displays. *Atmospheric Environment* 41: 913-922. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231006009745?via%3Dihub>
- Qin, X., Zhang, T., Gan, Z. and Sun, H. 2014. Spatial distribution of perchlorate, iodide and thiocyanate in the aquatic environment of Tianjin, China: Environmental source analysis. *Chemosphere* 111: 201-208. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653514004366?via%3Dihub>
- Rao, P.S., Gajghate, D.G., Gavane, A.G., Suryawanshi, P., Chauhan, C., Mishra, S., et al. 2012. Air Quality Status During Diwali Festival of India: A Case Study. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 89: 376-379. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00128-012-0669-9>
- Ravindra, K., Mor, S. and Kaushik, C.P. 2003. Short-term variation in air quality associated with firework events: A case study. *Journal of Environmental Monitoring* 5: 260-264. <http://pubs.rsc.org/en/Content/ArticleLanding/2003/EM/b211943a#divAbstract>
- Sarkar, S., Khillare, P.S., Jyethi, D.S., Hasan, A. and Parween, M. 2010. Chemical speciation of respirable suspended particulate matter during a major firework festival in India. *Journal of Hazardous Materials* 184: 321-330. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389410010551?via%3Dihub>
- Shimizu, T. 1981. Fireworks: The Art, Science and Technique. Pyrotechnica Publications, Midland, Texas, 85-150 pp. [https://books.google.com.mx/books/about/Fireworks.html?hl=es&id=luhGAQAIAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.mx/books/about/Fireworks.html?hl=es&id=luhGAQAIAAJ&redir_esc=y)
- Sijimol, M.R. and Mohan, M. 2014. Environmental impacts of perchlorate with special reference to fireworks-a review. *Environmental Monitoring and Assessment* 186: 7203-7210. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10661-014-3921-4>
- Sontakke, S.P., Kakade, S.D., Wagh, R.M., Dugam, A.G., Sane, P.P. 1995. Polymethyl Methacrylate as a Binder for pyrotechnic Compositions. *Defence Science Journal* 45: 349-352. <http://publications.drdo.gov.in/ojs/index.php/dsj/article/view/4143>
- Steinhauser, G. and Klapoetke, T.M. 2008. "Green" pyrotechnics: A chemists' challenge. *Angewandte Chemie International Edition* 47: 3330-3347. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/anie.200704510/abstract>
- Steinhauser, G., Sterba, J.H., Foster, M., Grass, F. and Bichler, M. 2008. Heavy metals from pyrotechnics in New Years Eve snow. *Atmospheric Environment* 42: 8616-8622. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231008007917?via%3Dihub>
- Sterba, J.H., Steinhauser, G. and Grass, F. 2013. Illicit Utilization of Arsenic Compounds in Pyrotechnics? An Analysis of the Suspended Particle Emission during Vienna's New Year Fireworks. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 296: 237-243. [https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig\\_q=RN:44053034](https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:44053034)

- Sugimoto, R., Isobe, T., Ramu, K., Malarvannani, G., Devanathan, G., Subramanian, A., et al. 2012. Fireworks Displays and Production as a Perchlorate Emission Source. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry-Environmental Pollution and Ecotoxicology*, Eds., M. Kawaguchi, K. Misaki, H. Sato, T. Yokokawa, T. Itai, T. M. Nguyen, J. Ono and S. Tanabe 279-284. <https://www.terrapub.co.jp/onlineproceedings/ec/06/pdf/PR634.pdf>
- Theodorakis, C., Rinchar, J., Anderson, T., Liu, F., Park, J.W., Costa, F., et al. 2006. Perchlorate in fish from a contaminated site in east-central Texas. *Environmental Pollution* 139: 59-69. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026974910500254X>
- Tiwari, S., Chate, D.M., Srivastava, M.K., Safai, P.D., Srivastava, A.K., Bisht, D.S., et al. 2012. Statistical evaluation of PM10 and distribution of PM1, PM2.5, and PM10 in ambient air due to extreme fireworks episodes (Deepawali festivals) in megacity Delhi. *Natural Hazards* 61: 521-531. <https://www.deepdyve.com/lp/springer-journals/statistical-evaluation-of-pm10-and-distribution-of-pm1-pm2-5-and-pm10-MH4tWPoQcb>
- Environmental Protection Agency (EPA). Initial List of Hazardous Air Pollutants with Modifications. In: <http://www.epa.gov/haps/initial-list-hazardous-air-pollutants-modifications>, last checked: July 15<sup>th</sup> 2016.
- Vecchi, R., Bernardoni, V., Cricchio, D., D'Alessandro, A., Fermo, P., Lucarelli, F., et al. 2008. The impact of fireworks on airborne particles. *Atmospheric Environment* 42: 1121-1132. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231007009685?via%3Dihub>
- Vella, A.J., Chircop, C., Micallef, T. and Pace, C. 2015. Perchlorate in dust fall and indoor dust in Malta: An effect of fireworks. *Science of the Total Environment* 521: 46-51. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969715003460?via%3Dihub>
- Wan, Y., Wu, Q., Abualnaja, K.O., Asimakopulos, A.G., Covaci, A., Gevao, B., Johnson-Restrepo, B., et al. 2015. Occurrence of perchlorate in indoor dust from the United States and eleven other countries: Implications for human exposure. *Environment International* 75: 166-171. <https://kumamoto.pure.elsevier.com/en/publications/occurrence-of-perchlorate-in-indoor-dust-from-the-united-states-a>
- Wang, Y., Zhuang, G., Xu, C. and An, Z. 2007. The air pollution caused by the burning of fireworks during the lantern festival in Beijing. *Environment International* 41: 417-431. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231006008351>
- Water Research Foundation. 2014. Perchlorate in Drinking Water Regulatory Update and Treatment Options. In: [http://www.waterrf.org/resources/stateofthesciencereports/perchlorate\\_stateofthescience.pdf](http://www.waterrf.org/resources/stateofthesciencereports/perchlorate_stateofthescience.pdf), last checked: July 15<sup>th</sup> 2016.
- Wilkin, R.T., Fine, D.D. and Burnett, N.G. 2007. Perchlorate Behavior in a Municipal Lake Following Fireworks Displays. *Environmental Science & Technology* 41: 3966-3971. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es0700698>
- Yang, L., Gao, X., Wang, X., Nie, W., Wang, J., Gao, R., et al. 2014. Impacts of firecracker burning on aerosol chemical characteristics and human health risk levels during the Chinese New Year Celebration in Jinan, China. *Science of the Total Environment* 476: 57-64.
- Yu, X., Shi, C., Ma, J., Zhu, B., Li, M., Wang, J., et al. 2013. Aerosol optical properties during firework, biomass burning and dust episodes in Beijing. *Atmospheric Environment* 81: 475-484. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231013006870?via%3Dihub>

**Cite this paper/Como citar este artículo:** Robles Gonzalez, I.V., Reyna-Velarde, R., Guerrero-Barajas, C., Robles González, V.S., Ordaz, A. (2017). Massive burning of fireworks: a pollutant show. *Revista Bio Ciencias* 4(5), 18 pages, Article ID: 04.05.01. <http://dx.doi.org/10.15741/revbio.04.05.01>

