



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Química

**Evaluación de métodos analíticos para la determinación de metales pesados en
cosméticos**

Trabajo de titulación previo a la obtención

del título de Ingeniera Química

Autora:

Amira Vasconez Sacoto

CI: 0106758774

Correo: ami.vasconez@yahoo.es

Directora:

Ing. Quim. Maritza Eleanor Flores Zamora.

CI: 0102171642

CUENCA – ECUADOR

28 de Octubre de 2021



Resumen

El presente trabajo de investigación se presentan las principales ventajas de los diversos métodos usados para determinar la concentración de metales pesados en cosméticos, principalmente labiales y sombra de ojos, mediante la aplicación de la técnica de análisis instrumental de espectrofotometría de absorción atómica. Presentando las principales ventajas de los métodos, calidad de los resultados analíticos, entre otras.

Se recuperaron 38 metodologías de diferentes fuentes, entre las destacadas se encontraron SciELO, Elsevier y los repositorios de varias universidades. El análisis fue realizado por categorías, entre estas la fuente de la que se recuperaron, el metal analizado en el método, el tipo de cosmético analizado, el pretratamiento al que se sometió a la muestra, la calibración del equipo y los parámetros estadísticos con el que se tiene referencia a la calidad de los resultados analíticos.

Dentro de los 38 métodos, se encontró que de ellos 14 están validados. Hubo algunos métodos que carecían de parámetros estadísticos suficientes que permitan establecer si es un método de confianza, entre estos parámetros se consideraron el límite de detección, desviación estándar, desviación estándar relativa. Los resultados obtenidos fueron analizados para encontrar el mejor método tomando en cuenta diversas consideraciones, concluyendo que el método 25 es el mejor dado sus múltiples ventajas frente a otros métodos. Además de que este está validado, es usado para determinar plomo, cadmio, entre otros de cosméticos labiales y polvos compactos. Con el método de digestión ácida, usando HNO_3 y H_2O_2 .

Palabras clave: Cosméticos. Espectrofotometría de absorción atómica. Análisis instrumental. Metales pesados.



Abstract

The present research work present the advantages of the diverse methods used to determine the concentration of heavy metals in cosmetics, principally lipstick and eyeshadow, with the application of atomic absorption spectrophotometry instrumental analysis technique. Presenting the principal advantage of the methods, quality of the analytic results, and others.

38 methods from different sources were recovered, between which were found SCielo, Elsevier and the repositories of different universities. The analysis were carried out by categories, these referred to the source they were recovered, the metal the method analyzed, the cosmetic kind analyzed, the pretreatment which the sample was submitted, the calibration of the equipment and the statistic parameter with which the quality of the analytic results were referenced.

Within the 38 methods, it was found that 14 were validated. Some of the methods didn't had enough statistics parameters to stablish if the method is reliable, the parameters considered to give methods reliability were the limit of detection, standard deviation, relative standard deviation. The obtained results were analyzed to establish the better method taking on account various considerations, concluding that the method 25 is the best one, given to the multiple advantages over the other ones, besides, it is also validated. This method is used to determine lead, cadmium and other heavy metals from lip cosmetics and compact powder, using the acid digestion method with the addition of HNO_3 y H_2O_2 .

Keywords: Cosmetic. Atomic absorption spectrophotometry. Instrumental analysis. Heavy metals.



Índice

Resumen	2
Abstract	3
Cláusulas	7
Agradecimientos	9
Dedicatoria	10
Objetivos	11
Objetivo General.	11
Objetivos Específicos.	11
Introducción	12
CAPÍTULO I	14
1.1 Antecedentes	14
1.2 Cosméticos	16
1.2.1 Cosmético labial	16
Definición:	16
Historia:	16
Uso:	17
Tipos:	18
1.2.2 Sombra de ojos	19
Definición:	19
Historia:	20
Uso:	20
Tipos:	20
Importancia en el mercado:	21
1.3 Metales tóxicos	22
1.3.1 Plomo	22
Propiedades físico químicas:	22
Límite de exposición:	22
Fuentes de exposición:	23
1.3.2 Arsénico	27
Propiedades físico químicas:	27
Límite de exposición:	28



Fuentes de exposición:	28
1.3.3 Mercurio	32
Propiedades físico químicas:	32
Límite de exposición:	33
Fuentes de exposición:	33
1.4 Espectroscopia por absorción atómica	36
Interferencias	37
Calibración	39
Tratamientos previos que requiere la muestra	39
Principio de funcionamiento del método	40
Aplicación de la espectroscopia de absorción atómica	40
1.5 Calidad de los resultados analíticos	41
Método empírico	42
Método estandarizado	42
Método validado	42
Método normalizado	43
Criterios de selección	43
CAPÍTULO II	45
Enfoque	45
Nivel de investigación	45
Tipo de investigación	45
Descripción de la metodología	45
CAPÍTULO III	47
Detalle de documentos recuperados por método	47
Tablas de análisis por cada método	48
Análisis según la fuente de la que provienen	48
Análisis según los metales pesados que se determinan en el método	54
Análisis según el tipo de pretratamiento de la muestra	59
Análisis según el método de calibración del espectrofotómetro	66
Análisis estadístico de datos	74
CAPÍTULO IV	80
Conclusiones	80
Recomendaciones	83
BIBLIOGRAFÍA	84
ANEXOS	93



Índice de Price	93
Tabla del análisis según los metales pesados que analiza el método.....	93
Tabla del análisis según el tipo de cosmético que se analiza	95
Tablas del análisis según el método de calibración del espectrofotómetro.	96



Cláusulas

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Amira Vasconez Sacoto en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Evaluación de métodos analíticos para la determinación de metales pesados en cosméticos", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 28 de oct. de 21.

Amira Vasconez Sacoto

C.I: 0106758774



Cláusula de Propiedad Intelectual

Amira Vasconez Sacoto, autor/a del trabajo de titulación "Evaluación de métodos analíticos para la determinación de metales pesados en cosméticos", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 28 de oct. de 21.

Amira Vasconez Sacoto

C.I. 0106758774



Agradecimientos

Les agradezco a mis padres por el apoyo que me dieron en todo momento, por los valores que me han inculcado y por siempre impulsarme a ser la mejor versión de mí. A mis hermanos, por aligerar los malos ratos con sus bromas. A Chio, por apoyarme siempre, enseñarme tanto y siempre confiar en mí.

Les agradezco a los amigos que han estado presentes a lo largo de toda la carrera; a mis compañeros, por todo el apoyo, el tiempo compartido y los trabajos en grupo. A Liv, por su amistad y por el inmenso apoyo que me ha dado en cada momento que he necesitado.

Agradezco a todos mis docentes por el conocimiento y el tiempo invertido en mi educación. En especial a mi tutora, Ing. Quim. Maritza Flores por todo el tiempo y conocimiento brindado para desarrollar el presente trabajo. A todos esos amigos virtuales que me han apoyado y motivado a seguir adelante, a mis amigos CUYLAEIQ.



Dedicatoria

Esta tesis está dedicada principalmente a mí, en honor a todo el esfuerzo realizado desde el primer día de carrera.

A mis padres, quienes me han ayudado a cumplir esta meta. A mis hermanos, por estar conmigo en todo momento. A mi familia, por siempre levantarme los ánimos.

A todas las personas que necesité en los diferentes momentos de mi desarrollo académico.



Objetivos

Objetivo General.

- Determinar el mejor método analítico por absorción atómica para determinar metales pesados en cosméticos (cosméticos labiales y sombras de ojos) desde el punto de vista de la calidad de los resultados analíticos en base a la revisión bibliográfica.

Objetivos Específicos.

- Analizar las diferentes metodologías utilizadas en la literatura revisada para la determinación de metales pesados en cosméticos labiales y sombras de ojos.
- Clasificar de manera efectiva los diferentes métodos de análisis encontrados en la literatura, según aspectos relevantes.
- Comparar las diferentes metodologías considerando tanto la preparación previa de las muestras como la calibración del espectrofotómetro de absorción atómica.
- Establecer las ventajas y desventajas que pueden presentar los diferentes métodos.

Introducción

Los cosméticos han sido usados a lo largo de la historia tanto por hombres como mujeres, en un principio no se tenía conocimiento de las consecuencias de su uso ni de la importancia de los materiales con los que eran fabricados, sin embargo, con el pasar del tiempo han ido mejorando para brindar beneficios no solo estéticos. Actualmente, el segmento cosmético representa una gran parte del consumo de mercado, siendo millones de usuarios tanto a nivel nacional como mundial.

Los cosméticos comprenden desde la pasta dental, shampoo, jabones hasta maquillaje como labiales, base de rostro, entre otras. El presente trabajo, se enfocó principalmente en los cosméticos labiales y sombra de ojos.

Para la elaboración de estos cosméticos, son de vital importancia los pigmentos y otros compuestos que conforman la matriz del cosmético, como son los aceites, grasas, polvos como talco, entre otros emolientes, dependiendo del acabado de que se busca. Al formular un cosmético se debe tener especial cuidado con los pigmentos a utilizar, muchos de los pigmentos provienen de fuentes minerales, estas son consideradas como naturales por lo que la FDA las considera como aptas para su uso en formulación de cosméticos, sin embargo, tienen trazas contaminantes de metales tóxicos como el plomo, arsénico, mercurio, cadmio entre otras.

Si bien es cierto, los cosméticos contienen cantidades pequeñas de metales pesados, sin embargo, al ser productos de uso prolongado, tienen un riesgo significativo para la salud de los usuarios, pues al no ser digeribles por el organismo, su acumulación causa diferentes consecuencias al organismo. En los tres metales considerados como principales (plomo, arsénico y mercurio), se notó que tienen como factor común que actúan sobre el sistema nervioso central, provocando diversas afecciones como cefaleas y pérdida de equilibrio, llegando a consecuencias más graves. Estos tres metales, son considerados como principales por la FDA debido a que son los que generalmente se usan para aportar color a los cosméticos (FDA, 2019).



Diferentes organismos de regulación, como la FDA y ASEAN han emitido limitaciones para la cantidad máxima de ciertos metales pesados que son aceptables en cosméticos, sin embargo, estos controles varían dependiendo del laboratorio o agencia reguladora en el que se realicen. Sin embargo, no se ha establecido un método específico para la determinación metales pesados, razón por la cual se ha decidido llevar a cabo el presente trabajo.

Existen diferentes métodos de análisis de estos metales pesados, sin embargo, el que más se aplica es el análisis por absorción atómica, dada la facilidad de aplicación y ventajas que presenta el análisis instrumental. Sin embargo, a pesar de que el procedimiento de lectura es bastante sencillo, se requiere un tratamiento previo de la muestra para poder analizarla por este método.

El presente trabajo, tiene como objetivo realizar un análisis comparativo de los diferentes métodos utilizados para realizar análisis de trazas de metales pesados en cosméticos, buscando establecer un método que sea considerado como óptimo, usando como criterio diferentes factores.



CAPÍTULO I

Marco teórico

1.1 Antecedentes

Según el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN, 2015), un cosmético es “toda sustancia o formulación de aplicación local a ser usada en las diversas partes superficiales del cuerpo humano, con el fin de limpiarlos, perfumarlos, modificar su aspecto y protegerlos o mantenerlos en buen estado y prevenir o corregir los olores corporales”.

Los cosméticos no son considerados medicinas debido a que su función, como lo antes mencionado, es depurar, perfumar, decorar y embellecer la corporalidad (Escobedo, 2018).

Los productos pueden clasificarse como productos para negocios o de consumo, la diferencia de estos dos radica en el uso que se les va a dar. Siendo productos de negocios empleados para fabricar otros bienes o servicios, o bien para la reventa; mientras que los productos de consumo son aquellos destinados a satisfacer las necesidades personales de un individuo. Los cosméticos se encuentran dentro del grupo de los segundos, productos de consumo (González & Castro, 2010).

La industria de cosméticos a nivel mundial, mueve una gran cantidad de dinero, razón por la que constituye un importante mercado. En Ecuador, entre los años 2015 y 2016, se movieron aproximadamente 1000 millones de dólares, con un crecimiento estimado entre el 3% y 5% anual (Morocho & Astudillo, 2018).

Los productos cosméticos han sido ampliamente usados, desde hace mucho tiempo, para resaltar la belleza y mejorar el aspecto físico. Con este fin, se han desarrollado a lo largo del tiempo, formulaciones cosméticas inteligentes, combinando los ingredientes necesarios para la elaboración de cosméticos seguros y bien elaborados (Gallegos et al., 2012).



De acuerdo a las materias primas empleadas en la formulación de estos productos, pueden contener o no metales pesados como plomo o arsénico. Diferentes estudios han relacionado la presencia de metales pesados en productos como sombras de ojos, cosméticos labiales, entre otros, con daños en la salud del consumidor, debido a la toxicidad de que tienen, puesto a que estos tienen (C. Delgado, 2019).

La toxicidad de dichos metales pesados, se da como consecuencia a una prolongada exposición o a una exposición a elevadas concentraciones, tanto en contaminantes ambientales como en productos cosméticos. Por tanto el contacto de metales pesados por medio del uso de cosméticos constituye un riesgo debido a la acumulación que pueden tener en el sistema biológico, cuando su uso es frecuente o prolongado (Hurtado & Méndez, 2019).

Como consecuencia a la toxicología que presentan estos elementos, han surgido normativas que controlan la calidad e inocuidad de materias primas y procesos para la fabricación de cosméticos, para de esta manera proteger al consumidor de estas sustancias (Solano, 2018).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) en su artículo “Diez sustancias químicas que constituyen una preocupación para la salud pública”, cita que existen sustancias químicas peligrosas que pueden afectar de manera negativa la salud de quienes están en contacto con ellas, y el medio ambiente, entre estas sustancias están el Arsénico, Mercurio y Plomo. Estas tres afectan de diversas maneras la salud (OMS, s. f.).

La Food and Drugs Administration (FDA), resalta las concentraciones máximas de plomo, arsénico y mercurio como 20 partes por millón (ppm), 3ppm y 1ppm, respectivamente (FDA, 2019). Por otro lado, el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Asociación del Suroeste Asiático (ASEAN), establecen un máximo de concentración de plomo en 10ppm (C. Delgado, 2019).

Si bien es cierto, muchas de las empresas de cosméticos a nivel mundial, buscan tener un producto de mejor calidad, que tenga múltiples beneficios para los consumidores, tales como pigmentación, hidratación en el caso de los labiales, facilidad de aplicación, entre otros, sin embargo, varios estudios han revelado que existen concentraciones de plomo, arsénico y mercurio en los productos cosméticos (Morocho & Astudillo, 2018).



1.2 Cosméticos

1.2.1 Cosmético labial

Definición:

Los cosméticos labiales son dispersiones de una sustancia colorante en una base generalmente grasa, cuya mezcla está compuesta de ceras, ésteres de ácidos o alcoholes grasos y aceites. Pueden incluir sustancias que le den propiedades humectantes (Laguna & Ricaldi, 2017).

Escobedo, en su exposición, presenta que los cosméticos labiales son “cosméticos moldeados en barras, compuestos de la fusión entre aceites, grasas y ceras. Esto hace que el producto se acentúe en los labios, lubricarlos y ser filtro solar. Además pueden cubrir ciertas imperfecciones como los contornos mal formados producto de defectos congénitos o quirúrgicos” (Escobedo, 2018).



Imagen 1. Lápiz labial. Recuperado de: (Ordis, 2013).

Historia:

El origen de este cosmético está ligado a una marcada necesidad de diferenciación del status social, en el apogeo griego es cuando empieza a asociarse con la mujer y su sensualidad. Las mujeres patricias hacían uso de cosméticos para palidecer el tono de piel, mientras que las prostitutas usaban labiales para ser reconocidas. Durante la Edad Media, el uso de cosméticos de veía influenciado por la Iglesia Católica, esta que afirmaba que iba contra la creación divina, solo se les permitía el uso de estos a quienes eran “ceranos a Dios” (Gomez, 2015).



La primera aparición oficial del lápiz labial fue en Ámsterdam en 1833, fue creado por perfumistas franceses de Guerlain, hechos de grasa de venado, envasado en un papiro de seda. Era visto como un símbolo de belleza. La primera tienda de cosméticos fue abierta por Elizabeth Arden, marca que se sigue comercializando en la actualidad, en esta se lanzó el primer labial a precio accesible. La demanda de este producto creció gracias a que agencias publicitarias lo vendieron como un símbolo de una mujer fuerte (Gomez, 2015).

Durante la I y II Guerra Mundial, las mujeres que trabajaban por motivos de guerra, usaban labial como labor patriótica, en EEUU., las mujeres de la marina usaban el tono “Rojo Moctezuma”. Cuando las mujeres regresaban de la guerra seguían haciendo uso del cosmético como símbolo de empoderamiento. En Latinoamérica, en el siglo XIX, el uso de cosméticos denotaba la posición social, demostrando que la persona poseía el lujo del ocio, oponiéndose a la pobreza (Gomez, 2015).

Al desarrollarse el cine mudo, los productos de belleza mantuvieron su posición como estrategia de exclusividad racial, complementando el modelo de belleza con actrices de la “era dorada”. Se popularizaron los productos de Max Factor, famoso por sus labiales. Los productos cosméticos estaban dirigidos a la élite de la sociedad. Se comercializaron en Latinoamérica con la estrategia de contratar famosas latinas como imagen de las marcas (Gomez, 2015).

En los sesentas se empezaron a discutir los tipos de mujeres presentados en la publicidad cosmética, que concluyó con la inclusión de diferentes grupos étnicos con el fin de vender un mensaje políticamente correcto junto con el producto (Gomez, 2015).

Uso:

El labial, además de aportar con color, juega como un elemento que se presta para determinar interpretaciones pues este al ser aplicado cobra una relevancia mayor transformando la apariencia de los labios, cobrando importancia para una mayor



facilidad al momento de transmitir discursos que se busca encarnar (Gomez, 2015).

Tiene la función de dejar un trazo sobre la piel y de dejar una huella visible de su uso, así como dar forma y producir una visualización determinada. Así, el usuario se vuelve el lienzo, y el labial, marca y plasma los deseos evocados por el usuario. Puede ser un labial tipo hidratante, que aporta hidratación a los labios, también los hay con filtro solar, cuyo principal objetivo es reducir la probabilidad de contraer cáncer de piel en los labios (Alcalde & Del Pozo, 2004).

Tipos:

- Barra: la barra de labios, es el formato de labial más usado y clásico;
- Delineador de labios: es más fino que la barra y la punta que tiene le permite definir la forma de los labios;
- Líquido: como indica el nombre, este tipo de labial es líquido. Su ventaja es que tiene una aplicación bastante fácil y por lo general tienen mayor duración que las barras;
- Gloss: generalmente son líquidos, no tienen ningún color. Su función es otorgar brillo a los labios;
- En crema: para su aplicación es necesaria la ayuda de brochas específicas para esta función;
- Tintas: son más ligeras que los labiales líquidos y tienen menor cobertura, sin embargo, la ventaja es que el pigmento se fija de manera más natural y por mayor tiempo (Amil, 2016).



Imagen 2. Tipos de labiales. Recuperado de: (Arnaud, 2020).

1.2.2 Sombra de ojos

Definición:

La sombra de ojos se define como un cosmético disponible en presentaciones como polvos compactos, emulsiones, suspensiones, entre otras, que se aplica en los párpados con el fin de depositar color en estos últimos. Se caracterizan por permanecer inalterables durante horas, ser ligeramente alcalinos y de esta forma evitar molestias o irritación en las mucosas, y tener una textura suave para extenderse sobre el ojo con facilidad, pero no tanto como para que se deslice fuera de donde ha sido colocada. Además, debe ser un producto completamente inofensivo o inocuo para usarse en el área de los ojos (C. Delgado, 2019).



Imagen 3. Sombra de ojos. Recuperado de: (Espada, 2019).



Historia:

Los cosméticos para los ojos, específicamente sombras, comenzaron a usarse como símbolo de estatus. En los entierros egipcios se utilizaban sombras como símbolo de respeto e importancia hacia el cadáver. Además, se fabricaban con el mismo material con el que se hacían las pinturas rupestres, estos incluían el plomo entre sus componentes ojos (C. Delgado, 2019).

En culturas, como la gótica, el maquillaje de ojos es usado como una manera de expresión. En esta, suele llevarse sombras oscuras o negras, tanto para género femenino como masculino (Salazar, 2013).

Uso:

Las sombras de ojos se aplican con la finalidad de producir un fondo atractivo a los ojos, dependiendo del acabado que tenga, se usa en la noche bajo luces, con el objetivo de resaltar las partículas destellantes que pueden contener (J. Wilkinson & Moore, 1990).

Proveen dimensión a los ojos, dando zonas de profundidad o zonas de relieve según se busque, además complementan el color de los mismos para atraer la atención hacia esta zona del rostro. Actualmente el uso de estos es símbolo de femineidad (Salazar, 2013).

Tipos:

- Crema: además de los pigmentos, se basan en componentes grasos y cerosos que le aportan la textura requerida. Sus componentes cerosos le dan la característica de ser resistente al agua.
- Barra: este tipo de sombra contiene una elevada proporción de ceras en su formulación, es mayor que la de las cremas.
- Líquida: puede ser bien en base aceitosa o en soluciones de alcohol en agua, en cualquiera de los casos, el pigmento y demás componentes se diluyen en la base.
- Polvo compacto: este tipo de sombra no tiene un gran contenido de grasas ni ceras, generalmente se trata de los pigmentos sueltos compactados en un envase, el



medio que permite su adherencia suele ser una base no grasa (J. Wilkinson & Moore, 1990).

Importancia en el mercado:

En el año 2004, se reportaron ventas de labiales que superaron los 1.000 millones de dólares, según (Alcalde & Del Pozo, 2004), el 76% de las mujeres usa el lápiz labial al menos una vez al día, y cada mujer tiene como media 4 barras de labios. Además, la media de compra por consumidora es de 2 lápices de labios al año.

En el año 2017, en Ecuador, se registraron ventas por 549 millones de dólares en productos cosméticos. Debido al gran consumo que tiene, la comercialización de estos contribuye al desarrollo industrial y económico del país. En el sector cosmético, durante el período 2009-2015, en Ecuador se recibieron importaciones equivalentes a 255.256 millones de dólares de promedio anual (El Telégrafo, 2017).

La mayor parte de las ventas locales en el sector cosmético, pertenecen a lo que son perfumes, colonia, maquillaje, bloqueadores solares, bronceadores y preparados tanto para manicura como pedicura. Además, según el consejo de la Industria de Cosméticos, Aseo Personal y Cuidado del Hogar de Latinoamérica (Casic), el continente americano es considerado como el de mayor crecimiento, con un 17%, además proyecta gran potencial desarrollo y avance en investigación (El Telégrafo, 2017).

Según (Shahbandeh, 2020), en el 2019 se vendieron 7,5 millones de unidades de labiales L'Oréal Colour Riche, esto equivale a 67.125 millones de dólares en los labiales antes mencionados.

El área de los cosméticos, en Latinoamérica, proyecta una Tasa de Crecimiento Anual Compuesta (TCA) de 7,5% en el período comprendido entre 2015 y 2020. El mercado de cosméticos y productos de belleza actualmente tiene un valor de 68.900 millones de dólares, presentando una tasa de crecimiento continua desde el año 2004. Se espera que en el mercado global, la industria de cosméticos alcance 805.000 millones de dólares (Hurtado & Méndez, 2019).



1.3 Metales tóxicos

1.3.1 Plomo

Propiedades físico químicas:

El plomo es un metal de color gris azulado, con aspecto brillante (C. Delgado, 2019). Se caracteriza por tener una densidad bastante elevada, siendo esta de 11.350 kg/m^3 (Laguna & Ricaldi, 2017). Esta densidad, es parte de la gran toxicidad que posee, pues promueve a la acumulación del mismo (Ubillus, 2003)

Tiene un elevado punto de ebullición y bajo punto de fusión, 1749°C y 327°C , respectivamente, además, posee buena ductilidad, maleabilidad y es blando. Tiene la característica de, en su forma metálica, es resistente a la corrosión (Laguna & Ricaldi, 2017).

El plomo es insoluble en agua, así como en ácidos diluidos, sin embargo, es soluble en ácido nítrico, acético y sulfúrico concentrado. Además, en algunos de los compuestos derivados del plomo son solubles en lípidos (C. Delgado, 2019).

Su alta solubilidad en grasas, hace que este metal tenga una buena absorción a través de la piel y mucosas, facilitando la distribución en el cuerpo. Esto es de gran importancia en los cosméticos, puesto a que estos cuando son de uso diario y contienen este metal, puede llegar a producir intoxicación tanto aguda como crónica, dependiendo de la concentración a la que se esté sometido (Ramírez, 2013a).

Límite de exposición:

Dependiendo de la manera en que se haya dado la exposición al plomo, las diferentes entidades internacionales no gubernamentales, establecen límites máximos del mismo para asegurar el bienestar tanto de las personas como del ambiente (Laguna & Ricaldi, 2017).

Tanto la Administración de Alimentos y Drogas (FDA), como el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH), dan límites de exposición al plomo de 10

ppm, sin embargo, se hace una excepción cuando se usa como conservante en productos de ojos, elevando este hasta 65 ppm (FDA, 2019).

Tabla 1. Niveles máximo de plomo establecidos por diferentes organizaciones.

Organización	Nivel de exposición
EPA	Máximo 1,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promediado durante 3 meses (en el aire)
OSHA	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el aire para una jornada laboral de 8 horas.
NIOSH	60 $\mu\text{g}/100$ mL en la sangre y 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (en el aire).
OMS	40 $\mu\text{g}/100$ mL para hombres y 30 $\mu\text{g}/100$ mL (en sangre).

Fuentes de exposición:

Las principales fuentes de fuentes de exposición al plomo actual es la manufactura de baterías, sin embargo, también se encuentra en casas viejas que tienen pintura con plomo o bien tuberías que han sido fabricadas con este metal. Además de la gran aplicación que se le da en la manufactura de baterías, el 13% de la producción de plomo se la utiliza en la producción de pigmentos (Laguna & Ricaldi, 2017).

Los pigmentos fabricados con plomo, a menudo son usados para cerámicas o artesanías, sin embargo, también se encuentran en cosméticos. Sobre todo en los labiales o sombras, la concentración de plomo en el producto varía de acuerdo al color y cobertura que se le vaya a dar al producto, así, los más oscuros y opacos son los que más contenido de plomo presentan (Laguna & Ricaldi, 2017).

Cuando se fabrican cosméticos, debe prestarse especial atención al análisis de la materia prima, específicamente a los pigmentos, debido a que estos en su composición pueden contener plomo como impureza (Gallegos et al., 2012).

Toxicocinética:



Absorción: Depende de varios factores intrínsecos de la persona, como también depende del ambiente. Así, los adultos absorben un porcentaje de 5 al 15% del total al que han sido expuestos, mientras que los niños absorben una cantidad equivalente al 42% del total expuesto (Laguna & Ricaldi, 2017).

Las principales vías de absorción al plomo son respiratoria, digestiva y cutánea (Laguna & Ricaldi, 2017). El plomo inorgánico se absorbe a través de las vías respiratoria y digestiva, mientras que el plomo orgánico se absorbe con mayor facilidad por la piel (Ramírez, 2013a).

La cantidad absorbida por medio gastrointestinal varía entre el 1 % al 80 % dependiendo de factores como la dieta, estado de vacuidad del estómago, el tipo de compuesto, siendo el de mayor absorción en su forma como acetato, y la menor absorción se da cuando la exposición es en forma de fosfato (Castillo & Hernández, 2017).

Además de estos factores, influye el estado de salud en que se encuentre el individuo que se ha expuesto al plomo, la deficiencia de calcio o hierro que presente, la cantidad de grasas ingerida. Si estas son deficientes, la absorción será mayor (Valdivia, 2005).

Distribución: El plomo al ser absorbido, pasa inmediatamente a la sangre, específicamente a los eritrocitos, una vez en la sangre, se distribuye hacia los órganos blandos y huesos. Los órganos principales a los que se dirige el plomo son el hígado y los riñones, donde tienen una vida media de 40 días. El principal problema se tiene cuando el plomo llega a los huesos, la vida media una vez que se absorbe en los huesos es de 20 a 30 años y la cantidad absorbida varía según la edad, a mayor edad se absorbe mayor cantidad en los huesos. Así, en los adultos la absorción de plomo en los huesos es del 95 % mientras que en los niños es del 70 % (Laguna & Ricaldi, 2017).

El plomo puede, a través de la sangre, pasar a la placenta, afectando al feto en desarrollo. Un punto importante a considerar, es que el del total de plomo absorbido, el 90 % se deposita en los huesos, esta cantidad puede variar dependiendo de la salud ósea del individuo (Castillo & Hernández, 2017).



La diferencia de concentración de plomo en cada órgano, se debe a la afinidad que presenta el plomo con estos. El tejido dental contiene grandes cantidades de plomo. La máxima concentración de este metal en los huesos, se alcanza alrededor de los 50 a 60 años, luego de esta edad se disminuye la concentración (Ramírez, 2013a).

Excreción: La principal vía de excreción del plomo es a través de la orina, siendo esta del 80%, y el resto se elimina a través de las heces, sudor, saliva, entre otras (Laguna & Ricaldi, 2017). La eliminación a través de las heces es menor debido a que se produce bioacumulación del plomo en el organismo (Castillo & Hernández, 2017).

El plomo también puede ser excretado a través de la leche materna, la cantidad de plomo que se encuentre en la misma es un indicador de la concentración de plomo en la sangre, pues mantienen una relación directa (Ramírez, 2013a).

Intoxicación:

Pueden darse dos tipos de intoxicación, cuando se ha estado expuesto a pequeñas concentraciones por un largo periodo de tiempo, o si se ha estado expuesto a elevadas concentraciones por poco tiempo.

Intoxicación aguda: Generalmente aparece con la ingesta de sales solubles de plomo que puedan estar presentes en un alimento o bebida contaminado (Laguna & Ricaldi, 2017). En mujeres embarazadas, la exposición al plomo representa un riesgo de pérdida del feto o desarrollo de cáncer (Ramírez, 2013a).

Efectos digestivos: produce fuertes dolores abdominales, estreñimiento o diarrea.

Efectos hepatorrenales: produce oliguria, uremia, albuminuria, aminoaciduria y en algunos casos hasta subictericia (Laguna & Ricaldi, 2017). Cuando se expone al individuo a altas concentraciones de plomo por cortos períodos de tiempo, como consecuencia produce glicosuria, aminoaciduria, hiperfosfaturia, sin embargo, estas son reversibles. Por otro lado, si la exposición se hace por tiempo prolongado, los efectos se vuelven irreversibles, siendo el más común la nefropatía crónica (Poma, 2008).



Efectos neurológicos: se caracteriza por cefaleas intensas, obnubilación, convulsiones e incluso estado de coma. Produce alteraciones a la conducta, falta de concentración, alteración de los nervios periféricos, pérdida del balance, entre otras complicaciones (Poma, 2008).

Efectos cardiovasculares: el desarrollo de hipertensión está relacionado con la exposición al plomo a elevadas concentraciones. También aumenta el riesgo de sufrir de una enfermedad cerebrovascular (Poma, 2008).

Efectos reproductores: cuando un hombre ha estado expuesto al plomo, como consecuencia disminuye la cuenta total de espermatozoides y aumenta la proporción de anormalidad de estos. En mujeres, el riesgo de sufrir de abortos espontáneos, muerte fetal y partos prematuros es mayor. Además, el plomo puede pasar al feto a través del comportamiento fetal, causando problemas al desarrollo del niño, anomalías congénitas y complicaciones a la piel (Poma, 2008).

Anemia: la presencia de plomo en la sangre, inhibe la producción de hemoglobina. En adultos, tener concentraciones de plomo 50 $\mu\text{g}/\text{dL}$, lleva al límite umbral de la anemia (Poma, 2008).

Intoxicación crónica: Se da por la exposición por tiempo prolongado (años) de bajas concentraciones de plomo. Se conoce también como saturnismo y presenta tres etapas.

Fase de presaturnismo: Los niveles de plomo están entre los 60 a 70 $\mu\text{g}/100$ mL. Los síntomas que presenta son cansancio, dispepsia, dolores abdominales, dolor muscular, insomnio, adelgazamiento (Laguna & Ricaldi, 2017). Los síntomas de esta fase son difusos y aumentan progresivamente (Ramírez, 2013a).

Fase de intoxicación: Cuando se supera esta concentración de plomo, los síntomas aumentan, derivando en anorexia, tinte terroso en la piel, y el principal efecto que es la aparición del Ribete de Burton (Laguna & Ricaldi, 2017). El Ribete de Burton consiste en una línea oscura que se presenta entre la base de los dientes y la encía, debido a la formación del sulfuro de plomo por acción de bacterias (Valdivia, 2005).



Imagen 4. Ribete de Burton. Recuperado de: (Química en casa, sf).

Además puede producir sabor metálico, hipersensibilidad en las articulaciones y temblores (Ramírez, 2013a).

Fase de impregnación: Esta etapa, es la que aparece con la exposición prolongada al plomo, como consecuencia principal tiene la existencia de cuadros de hipertensión permanente y nefritis (Laguna & Ricaldi, 2017).

También se da polineuropatía, que afecta principalmente los músculos tensores de la mano, produciendo la denominada “mano de garra”, que es la imposibilidad de abrir la mano completamente, dando la apariencia de una garra (Valdivia, 2005).

Debe tenerse en cuenta, que debido a la alta bioacumulación que caracteriza al plomo cuando el individuo se expone a él, aun las cantidades consideradas como seguras pueden traer consecuencias a largo plazo, derivando incluso en problemas neurológicos, convulsiones, coma y como mayor consecuencia, la muerte (Poma, 2008).

1.3.2 Arsénico

Propiedades físico químicas:

Se trata de un elemento químico, perteneciente al grupo de los semimetales puesto que presenta características tanto de los metales como de los no metales. Normalmente se



presente de color gris acero, brillante. Cuando se lo expone a temperaturas elevadas, se sublima, mas no se funde (PRTR España, 2011).

Tiene una densidad de 5.700 kg/m^3 , y tiene la particularidad de que no presenta punto de ebullición debido a que sublima a 615°C y su punto de fusión es de 817°C . Además, al exponerse al aire húmedo, se oxida fácilmente, cubriéndose de anhídrido arsenioso que es altamente tóxico (Laguna & Ricaldi, 2017).

El arsénico es soluble en el agua, se lo puede encontrar en forma de arsenato en aguas superficiales.

Límite de exposición:

La principal agencia reguladora del arsénico es la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA), debido a las enormes consecuencias que esta presenta para el ambiente (Laguna & Ricaldi, 2017).

La FDA, en sus facultades, ha establecido como límite máximo de contenido de arsénico en cosméticos como 3ppm (FDA, 2019).

Tabla 2. Concentración máxima permitida de arsénico según diferentes organizaciones. **De:** (Gehle, 2019).

Organismo	Nivel máximo de exposición
NIOSH	$2 \mu\text{g/m}^3$ por un tiempo de 15 min, en el aire de trabajo.
EPA	10 ppb en agua de bebida.
OSHA	$10 \mu\text{g/m}^3$ en el aire ambiente para una jornada laboral de 8 horas.
FDA	0,5 a 2 ppm en animales para alimentación tratados con medicamentos.

Fuentes de exposición:

Se encuentra en la naturaleza en forma de aleaciones con otros minerales, en el agua y en el suelo. Las personas que trabajan en la industria de vidrio, esmaltes, pinturas y



fundiciones se encuentran sobretodo expuestas a la presencia de este compuesto en el ambiente. El arsénico es usado en la fabricación de pigmentos, por lo que también se lo encuentra en cosméticos (Laguna & Ricaldi, 2017).

Principalmente representa un riesgo en personas que trabajen en fundiciones o en la industria metalúrgica, y en petroleras. Actualmente, el uso de arsénico está limitado, sin embargo, se puede encontrar en herbicidas, pesticidas, medicina homeopática, entre otras aplicaciones. Así, el arsénico llega al suelo y se transfiere a los alimentos de consumo humano y animal (Ramírez, 2013b).

Además, el principal consumo de arsénico se da a través de los animales marinos, es decir, pescados, mariscos y crustáceos, puesto a que están expuestos a importantes cantidades de arsénico en el agua. Por ejemplo, los peces de mar, tienen hasta 90ppm de arsénico, mientras que los de agua dulce pueden llegar a tener ente 20 a 30ppm (Ramírez, 2013b).

Toxicocinética:

Absorción: Al igual que el plomo las principales vías de absorción son la vía digestiva, respiratoria y cutánea. La absorción del arsénico es mejor en su forma orgánica que inorgánica, y la absorción por vía respiratoria depende del tamaño y de la forma química en que se encuentre. La toxicidad que produce en personas que se han expuesto a compuestos inorgánicos de arsénico a través de la piel es elevada, esto se debe a que la piel está compuesta por gran cantidad de queratina y otras proteínas ricas en grupos sulfhidrilos que son altamente compatibles con al arsénico (Laguna & Ricaldi, 2017).

Los compuestos hidrosolubles de arsénico, se absorben de mejor manera por vía digestiva, mientras que los compuestos liposolubles son mejor absorbidos por la piel (Medina et al., 2018).

Al absorberse por la vía respiratoria, las partículas más grandes de arsénico o compuestos arseniacales, son depositadas en el tracto respiratorio superior, desde donde pueden ser removidas por el organismo. Las partículas pequeñas pasan a los pulmones (Ramírez, 2013b).



Distribución: Una vez que el arsénico ha llegado a la sangre, se une a las proteínas plasmáticas para distribuirse por los diferentes órganos y tejidos. Principalmente pasa al hígado y al pulmón, una vez ahí se hace una redistribución hacia órganos como pulmón, intestinos, baso, y en caso de embarazo, en la placenta (Laguna & Ricaldi, 2017).

Las globulinas, son las proteínas a las que el arsénico se une para su distribución por el cuerpo. A los órganos y tejidos pasa en las primeras 24 horas posteriores a la absorción, en las siguientes 30 horas, se deposita en el cabello y uñas, y por último se fija en los huesos, donde permanece durante años (Ramírez, 2013b).

Excreción: De todo el arsénico que no se retiene en el organismo, la mayor parte se elimina por vía renal (Laguna & Ricaldi, 2017).

Intoxicación:

Al igual que pasa con el plomo, y demás compuestos peligrosos, los tipos de intoxicación que se presenta son aguda y crónica.

Intoxicación aguda: El tiempo de manifestación de los síntomas depende de la forma de absorción, cuando se está expuesto a una solución de arsénico los síntomas son inmediatos, mientras que si se lo ingiere a través de los alimentos, tardan en presentarse. Entre estos síntomas presenta, dolor abdominal, diarrea, vómitos, arritmias cardíacas. Al cabo de 5 días de la exposición también se presentan encefalopatías, delirios, postración, hipertermia, convulsiones y coma, acompañado con la degeneración del hígado, alopecia y la aparición de líneas de Mees (Laguna & Ricaldi, 2017).

Al ingerir una dosis elevada de arsénico, los síntomas suelen presentarse en los primeros 30 minutos posteriores. Entre los síntomas frecuentes, se encuentran sensación quemante en los labios, disfagia, sabor metálico de la boca, vómitos, entre otros. En casos de intoxicación severa, se pueden producir fallos orgánicos, sobretodo en el sistema cardiovascular, renal y hepático, derivando en la muerte (Medina et al., 2018).

Intoxicación crónica: cuando el individuo se expone a arsénico a bajas concentraciones, por tiempos largos, de años, se ven comprometidos casi todos

los órganos principales del cuerpo (Medina et al., 2018). Dentro de la intoxicación crónica, se pueden presentar diferentes alteraciones del sistema, entre esas:

Digestivas: Principalmente gingivitis y faringitis (Laguna & Ricaldi, 2017).

Neurológicas: Produce polineuropatía sensitivo-motora, el principal indicio de esta es la “mano de garra” que se produce por la debilidad de los músculos extensores de la mano, lo que impide que abrir la mano de manera adecuada, dándole aspecto de garra (Laguna & Ricaldi, 2017).



Imagen 5. Mano sin afectación junto a una “mano de garra”. *Recuperado de:* (Asencio, 2019).

Cutáneas: Estas alteraciones comprenden la presencia de manchas de color café, en el cuello axilas principalmente, y queratosis palmo-plantar (Laguna & Ricaldi, 2017).

Hepáticas: Produce la elevación de las enzimas hepáticas, con la consecuencia del desarrollo de cirrosis (Laguna & Ricaldi, 2017).

Cáncer: El arsénico ha sido clasificado como una de las principales causas de cáncer, por cualquier vía de absorción. Afecta principalmente a la piel, pulmón e hígado, en un período de latencia de entre 15 a 30 años (Laguna & Ricaldi, 2017).

La elevada carcinogenicidad que posee el arsénico se debe al proceso de biotransformación que sufre en el organismo, dando consecuencias a nivel genético y epigenético. A pesar de que el cáncer de pulmón está asociado



con la exposición al arsénico, la relación que ha presentado, en estudios realizados, con la exposición a baja concentración no ha mostrado resultados concluyentes. Sin embargo, está comprobado que cuando este se encuentra en productos de uso tópico, produce carcinomas de células basales, y por lo tanto, cáncer de piel (Medina et al., 2018).

Mutagénesis y teratogénesis: Estos se tratan de la formación de aberraciones cromosómicas (Laguna & Ricaldi, 2017).

En mujeres que han sido expuestas a arsénico, ya sea en condiciones laborales o del ambiente, se da ruptura en los linfocitos, aneuploidía, mayor cantidad de aberraciones cromosómicas e intercambios de cromátides (Ramírez, 2013b).

Blackfoot: esta enfermedad es denominada así debido a que por la prolongada exposición al arsénico se produce hipercoagulabilidad, que afecta la circulación lesionando el endotelio arterial y da apariencia oscura a los pies de las personas que la padecen (Ramírez, 2013b).

1.3.3 Mercurio

Propiedades físico químicas:

El mercurio es un metal brillante, tiene una temperatura de fusión de $-38,9^{\circ}\text{C}$ por lo que se encuentra en estado líquido normalmente, y tiene un punto de ebullición de $357,3^{\circ}\text{C}$. Forma aleaciones con varios metales, en especial con el oro y la plata. La solubilidad del mercurio en agua depende de la temperatura, así, a mayor temperatura, mayor solubilidad. De igual manera pasa con los lípidos, cuya solubilidad varía entre 5 a 50 mg/L dependiendo del compuesto del que se trate (Monteagudo, 2001).

Tiene una densidad bastante elevada, siendo esta de 13500 kg/m^3 , aun mayor que la del plomo. Esto favorece la bioacumulación del mismo en el cuerpo humano. Toxicológicamente hablando, los compuestos orgánicos derivados del mercurio son los



más peligrosos, pero su forma más tóxica es cuando se encuentra en su forma elemental (Yarto et al., 2004).

Límite de exposición:

Al igual que para el plomo y el arsénico, diferentes entidades controlan las cantidades permitidas para la exposición de este metal peligroso. Las principales son las NIOSH, que se encarga de velar por la salud de los trabajadores, dando pautas de valores máximos para el ambiente de trabajo, la OMS, que generalmente brinda valores máximos de concentración en la sangre para que no represente un mayor riesgo. La FDA, ha establecido para los cosméticos, un límite de 1ppm de mercurio para su uso en cosméticos, que generalmente se encuentra formando parte como pigmento o como aditivo conservante (FDA, 2019).

Tabla 3. Nivel máximo de mercurio establecido por diferentes organizaciones.

Organización	Nivel de exposición
EPA	2ppb (en el agua)
OSHA	0,1 mg/m ³ en el aire para una jornada laboral de 8 horas.
NIOSH	0,05 mg/ m ³ en el aire para una jornada laboral de 10 horas y 0,1 mg/ m ³ que no debe excederse en ningún momento.
OMS	50 µg/g de creatinina (en orina)

Fuentes de exposición:

El mercurio y el cinabrio, por su color bermellón son usados para la elaboración de pigmentos, ya sea para cosméticos o pintura. Uno de las principales industrias en la que se tiene exposición a este metal es en la de la metalurgia, pues se encuentra junto al oro y la plata. Además se puede estar expuesto a plomo en la industria del cloro, del papel, en la eléctrica (Yarto et al., 2004).

Además de la industria, otras formas de exposición a mercurio, es a través del consumo de mariscos y pescados, pues al ser alimentos del mar, se encuentran expuestos a



cantidades de mercurio considerables dado a la contaminación de las aguas (US EPA, 2016).

Toxicocinética:

Absorción: Las principales vías de absorción del mercurio son respiratoria, digestiva y cutánea. A diferencia de los demás metales, la absorción de gas o vapor de mercurio es frecuente, debido a la elevada volatilidad que este presenta. Los gases de mercurio solubles en agua se absorben en las mucosas, mientras que los insolubles pasan a los alveolos pulmonares a través del árbol bronquial, causando una penetración mayor. Del total de mercurio al que se expone por vía respiratoria, la cantidad absorbida equivale al 80% (Monteagudo, 2001).

Las partículas de los vapores que logran penetrar en el árbol bronquial, se incorporan fácilmente a la sangre. Cuando se trata de aerosoles, la absorción es mayor debido al tamaño de partícula, sin embargo igual representa un riesgo (Blesa & Castro, 2015).

En los casos de estudio respecto a intoxicación en personas, causados por la inhalación de mercurio, se comprueba que las formas lipofílicas de mercurio se absorben fácilmente en el organismo. Por la piel, se absorben principalmente los compuestos de metilmercurio (Blesa & Castro, 2015).

El mercurio metálico tiene baja absorción por la vía digestiva, sin embargo, las sales de mercurio representan un gran problema de toxicidad. Cuando se ingieren estas sales son permeables al tracto gastrointestinal, favoreciendo la absorción (Monteagudo, 2001).

Distribución: Una vez en la sangre, el mercurio se une a las proteínas, específicamente albúmina. El vapor de mercurio tiene mayor afinidad con el cerebro, por lo que el órgano al que se distribuye gran parte del total absorbido es este. Cuando la absorción se ha dado como sales, entonces el principal órgano al que llega es el riñón (Monteagudo, 2001).

Las barreras de los órganos y membranas, impiden el paso de algunos de los compuestos, sin embargo, en los compuestos lipofílicos el paso no se ve impedido (Blesa & Castro, 2015).



La cantidad de mercurio que llega a los eritrocitos, es menor cuando la persona que se ha expuesto a este metal ha consumido alcohol previamente. Esto se debe a que hay una competencia entre la oxidación por la catalasa (Blesa & Castro, 2015).

Excreción: Como para los demás elementos estudiados, la principal ruta de excreción es la orina, seguido de las heces. La vida media biológica del mercurio en la sangre es de 20 a 28 días para el mercurio inorgánico, mientras que en el mercurio elemental para los riñones es de 64 días y para el cerebro es mayor de un año (Monteagudo, 2001).

La ruta principal de eliminación del mercurio orgánico es a través de las heces, sufre un proceso de demetilación en el intestino y el mercurio se excreta en su totalidad como mercurio inorgánico (Blesa & Castro, 2015).

Otras rutas importantes de excreción del mercurio son a través de la saliva y la respiración. Por medio de la saliva se logran expulsar cantidades equivalentes al 25% de lo contenido en la sangre, mientras que por la respiración se llegan a eliminar hasta el 7% de la excreción total de mercurio (Monteagudo, 2001).

Intoxicación:

La intoxicación se produce cuando las cantidades a las que se ha expuesto al organismo superan las capacidades de excreción del cuerpo, puede ser aguda o crónica.

Intoxicación aguda: La intoxicación aguda con vapores de mercurio produce traqueobronquitis como primer síntoma, seguido de neumonía difusa, mareos, ceguera súbita, espasmos musculares y temblor (Monteagudo, 2001).

Intoxicación crónica: esta afección es conocida como mercurialismo y se da en dos partes, de impregnación e intoxicación.

Fase de impregnación: se caracteriza por presentar síntomas inespecíficos, como anorexia, pérdida de peso, cefaleas, vértigo, insomnio, dolores en miembros inferiores y masticación dolorosa (Monteagudo, 2001).

Fase de intoxicación: se caracteriza por una serie de alteraciones del organismo:



Alteraciones digestivas: Además de los síntomas como vómitos y diarrea, produce estomatitis mercurial e hipertrofia de las glándulas salivares, gingivitis, úlceras bucales, pérdida y oscurecimiento de los dientes, sabor metálico y aliento fétido (Monteagudo, 2001).

Alteraciones del sistema nervioso: Los síntomas son progresivos, y los constituyen la susceptibilidad emocional, ansiedad, insomnio, temor, pérdida de memoria, debilidad muscular y depresión, temblores, tics en el rostro y complicaciones cardiovasculares, urogenitales y del sistema endócrino (Monteagudo, 2001). Los efectos se agravan con el tiempo de exposición (Poulin & Gibb, 2008).

Alteraciones renales: Como consecuencia de la exposición prolongada se produce daño en el glomérulo y en los túbulos renales (Monteagudo, 2001). Para que se presenten los síntomas, la concentración a la que se está expuesto debe ser elevada, de otra manera se tendrán casi exclusivamente alteraciones neurológicas. Cuando esto sucede, se puede derivar en insuficiencia renal (Poulin & Gibb, 2008).

Alteraciones cutáneas: Cuando se da por casos de exposición crónica sobre la piel, presentan síntomas como erupciones, dermatitis de contacto; mientras que si la exposición es por vía respiratoria, deriva en manchas rosadas en las manos y pies, y fotofobia (Poulin & Gibb, 2008).

1.4 Espectroscopia por absorción atómica

Es un método de análisis instrumental, utilizado para la determinación de metales en diferentes bases de análisis. Se basa en la absorción de la línea atómica característica. Una de las limitaciones del método es que, por lo general, las muestras requieren de una digestión previa al análisis, además los metales suelen ser analizados de manera individual y no simultánea (Gomis, 2008).



Cuando la muestra ya está preparada, se somete a un proceso de atomización, en la cual los electrones de los átomos son promovidos a orbitales más altos, llegando a su estado fundamental. Esto se logra mediante la absorción de energía en una cantidad proporcional a la concentración del analito que se pretende medir (Gallegos et al., 2012).

La espectroscopia de absorción atómica de llama, requiere como fuente de energía una llama que esté en un rango de temperatura entre 1700°C a 3200°C para la correcta atomización de la muestra (Gomis, 2008).

Debido a las características de este método, se lo ha aplicado para la investigación de metales pesados en diferentes productos cosméticos, especialmente en labiales y sombras de ojos (Gallegos et al., 2012).

Interferencias

Se entiende como interferencia, a todo aquel elemento de la muestra que puede causar influencia sobre el resultado del elemento a analizar.

- Interferencias físicas: son causadas por las propiedades físicas que presenta la muestra en disolución (Gomis, 2008).

Además, estas interferencias se relacionan con la efectividad con que la solución es transportada a la llama, esto se debe a las propiedades de viscosidad, tensión superficial y presión de vapor. En caso de presencia de solventes orgánicos, se produce un aumento de absorbancia debido a que la viscosidad es menor, al igual que la tensión superficial. Para remediar este tipo de interferencia, se debe preparar las soluciones estándar con los mismos componentes que tiene la matriz de la solución problema (Razmilic, 2009).

- Interferencias espectrales: este tipo de interferencias son producidas por las radiaciones que alcanzan al detector a una longitud de onda bastante próxima a la del elemento que se investiga (Gomis, 2008).

Se distinguen dos tipos de interferencias espectrales:

- De línea: se habla de interferencias de línea cuando existe superposición de dos líneas atómicas o cuando el monocromador



no puede resolverlas. Por lo general, las interferencias de este tipo no son frecuentes dado que la longitud de onda es muy específica (Razmilic, 2009).

- De banda: se producen debido a la absorción de la radiación por moléculas o radicales y por la dispersión de la radiación por sólidos (Razmilic, 2009).
- Interferencias químicas: se refiere a la influencia de algunos elementos al querer formar con otros compuestos estables (Gomis, 2008).

Se las define como “cualquier alteración del número total de átomos libres formados por unidad de volumen debido a la formación de compuestos químicos termoestables” (Razmilic, 2009).

Puede darse de dos formas: disociación incompleta de la molécula formada o formación de una sal difícil de fundir, y la reacción espontánea de los átomos libres con otros átomos o radicales presentes en el medio ambiente (Razmilic, 2009).

Para suprimir este tipo de interferencias se recomienda el empleo de llama con temperaturas mayores, utilización de soluciones buffer, y preparación de la solución estándar con composición similar a la solución a analizar (Razmilic, 2009).

- Interferencias por defecto de matriz: estos se deben a la influencia que presenta el entorno que rodea a los átomos en estado fundamental que se pretenden analizar (Gomis, 2008).
- Interferencias por absorción inespecíficas: esta interferencia es debida a la lámpara. Debida a la dispersión de las radiaciones emitidas por la misma, se presenta un aumento de señal provocando que la señal leída sea errónea (Gomis, 2008).
- Interferencias por ionización: esto se debe a que al momento de que el analito pasa por la llama, no todos los átomos pasan al estado fundamental, sino que algunos átomos pasan al estado excitado (Gomis, 2008).

Los iones excitados, presentan propiedades espectroscópicas que difieren de un átomo neutro, por lo tanto, no pueden ser determinados por este método. Como consecuencia a esto, la concentración de átomos



disponibles para la absorción atómica se ve disminuido, alterando el valor real de la solución de partida. Depende tanto de la temperatura de la llama como del potencial de ionización del analito (Razmilic, 2009).

Calibración

Para realizar la calibración del equipo se utilizan “soluciones patrón”, estas contienen cantidades conocidas del analito a determinar. En la lectura se representa la absorbancia de cada una de las soluciones patrón frente a la concentración de la misma, de aquí se obtiene una curva patrón. Cuando esta curva es determinada, se atomiza la muestra que debe analizarse y se mide la absorbancia de la misma en condiciones iguales que las usadas para obtener la curva de calibración. El valor de absorbancia se lleva a la curva de calibración y puede determinarse su concentración por extrapolación (Gomis, 2008).

Tratamientos previos que requiere la muestra

Una de las principales desventajas del método, es que solo pueden analizarse las muestras cuando están en estado líquido. Estas presentan pocos requerimientos previos o pretratamientos, mientras que las muestras sólidas primero deben ser disueltas en un medio adecuado para su análisis. Por otro lado, en las muestras gaseosas se debe extraer el analito mediante procesos de burbujeo (Gomis, 2008).

Uno de los métodos más comunes para el pretratamiento de la muestra consiste en la digestión de la muestra, la misma que puede ser húmeda, seca o asistida por microondas (Gallegos et al., 2012).

Existen métodos clásicos que tienen un tiempo de procesamiento bastante largo, además de ser muy laboriosos. Frente a esto, existen métodos que someten a la muestra a temperaturas muy elevadas que pueden provocar pérdida de la muestra por volatilización o en forma de aerosoles, sin embargo, son bastante usados, como tratamiento con ácidos minerales en caliente, digestión a elevada temperatura, digestión por microondas. Siendo este último

el que presenta mayor ventaja respecto al tiempo de procesamiento y menor pérdida de elementos volátiles que las anteriores (Gallegos et al., 2012)..

Principio de funcionamiento del método

Para la aplicación del método, se parte de la muestra previamente tratada por el método correspondiente. Para poder determinar un analito, los compuestos deben romperse en los átomos que los constituyen. Esto se logra con ayuda de una llama a alta temperatura (H. Walton & Reyes, 1983).

Se emite un haz de luz a través de una fuente de radiación monocromática, este atraviesa el sistema de atomización de llama, el cual contiene la muestra en estado fundamental. Este haz llega al monocromador, el mismo que elimina la radiación que no es importante para el análisis, dejando que solo la información útil (radiación absorbida) pase al detector. Esta señal es procesada y amplificada, obteniendo así el resultado de la lectura de salida, representada como la absorbancia del analito (Gallegos et al., 2012).

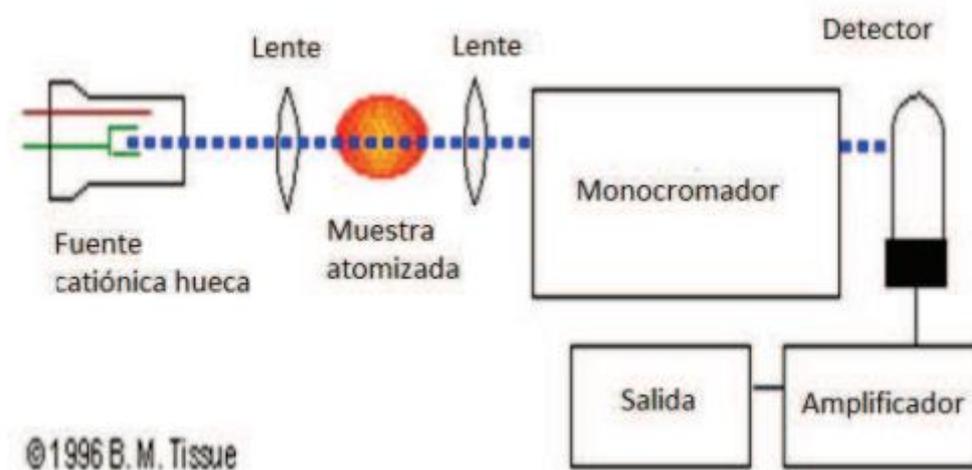


Imagen 6. Esquema de un espectrómetro de Absorción Atómica. **Recuperado de:** (Gallegos et al., 2012).

Aplicación de la espectroscopia de absorción atómica



Tiene aplicaciones en muchas áreas de la ciencia, entre estas, se usa para la determinación de trazas de muestras geológicas, biológicas, metalúrgicas, vítreas, cementos, aceites para maquinaria, farmacéutica, entre otros (Gomis, 2008).

Aplicación para determinación de metales pesados

La espectrofotometría de absorción atómica es muy ampliamente usada para la determinación de metales pesados o trazas de los mismos pues tiene una elevada sensibilidad y precisión en sus lecturas. Tanto la FAO como la OMS y otras organizaciones no gubernamentales, han fijado diferentes límites de concentración de los mismos para cualquier tipo de sustancia u objeto que esté en contacto con las personas, para así garantizar la salud de cada uno (E. Pérez & Alvarado, 2018).

Sin embargo, para la aplicación de este método instrumental, es necesario someter a la muestra a una preparación previa, esta va a tener variaciones dependiendo de la sustancia que se quiera analizar y, en otros, también casos del investigador.

1.5 Calidad de los resultados analíticos

Al hablar de calidad, se puede hacer referencia a la exactitud, fiabilidad y puntualidad de los resultados analítico obtenidos, los cuales deben ser lo más exactos posible (World Health Organization, 2018). Al buscar el aseguramiento de la calidad analítica, se implica la validez de los procedimientos usados en el laboratorio con el fin de obtener datos confiables, objetivos y documentados. Esto incluye un sistema de control de calidad de las mediciones, sistema de evaluación de la calidad y de un sistema de documentación que proporcione evidencia objetiva de su existencia (G. Rodríguez & Blanco, 2001).

Dicho de otras palabras, el aseguramiento de la calidad comprende un conjunto de actividades, cuyo principal objetivo es proporcionar, tanto al consumidor como al productor, de un bien o servicio, la seguridad de que este cumple con los



estándares de calidad requeridos para cierto nivel de confianza. Es un proceso estadístico, que usa datos obtenidos para proporcionar una evaluación estadística que determine si se ha alcanzado el nivel de aceptabilidad adecuado o requerido (Ruiz, 2008).

Método empírico

Se basa en la experiencia, se basa en el conocimiento del analista que lo aplica y da mayor peso al conocimiento de la persona que lo que está en la teoría (A. Cirera, 1862).

Según el Diccionario APA, el método empírico es “un procedimiento para llevar a cabo una investigación, que se basa en experimentación y la observación sistemática de los hechos” (APA, s. f.).

El método empírico no tiene una definición clara, sino que generalmente está entendido como una gran cantidad de datos de los que no se tiene una idea concreta de qué esperar. En contraste, debe tenerse métodos teóricos en los que la recopilación de datos empíricos se guíen por una exploración teórica sobre qué resultados preliminares deben esperarse (Bridgman & Holton, 2020).

Método estandarizado

Un método estandarizado es aquel cuya reproducibilidad se ha probado con diferentes analistas y en diferentes laboratorios. Se establece la cantidad de analito, matriz y demás parámetros, así como el tiempo de análisis y la logística empleada (Duque et al., 2020).

Método validado

Son aquellos que se ha demostrado que al aplicarlos para determinado caso, cuenta con las aplicaciones requeridas para llevar a cabo un análisis. Tiene evidencia de que su aplicación cumple con los requisitos especificados. Son usados para el cumplimiento de normativa. Parte de un método normalizado (Magnusson & Öremark, 2014).

Un método validado garantiza que una metodología analítica sea precisa, específica, reproducible y que esté dentro de un rango específico en el que se analizará un analito objetivo (Mandle, 2015).



Método normalizado

Es aquel, que al seguir exactamente como está descrito, nos da un resultado confiable. Estos métodos son propuestos por organismos reconocidos como organismos de normalización y establecen una secuencia de pasos a seguir para llevar a cabo un determinado análisis (Caballero, 2015)

Criterios de selección

Los principales criterios para seleccionar un método sobre otro son la velocidad del método, el costo, límite de detección y cuantificación, especificidad, validación, tecnología, confiabilidad, aplicabilidad, exactitud, precisión, sensibilidad.

- Tecnología: algunas veces se puede optar por un análisis con procesamiento sencillo, pero con un equipo poco común. También puede evitarse la aplicación de un método por la difícil accesibilidad a los equipos requeridos (Ruiz, 2008).
- Velocidad del método: es el tiempo que tarda el análisis. Este factor cobra especial importancia cuando se tiene varias muestras a analizar y el tiempo es primordial, tanto así, que pueden usarse métodos no tan precisos pero que son de rápida aplicación (Ruiz, 2008).
- Costo del método: el costo del análisis influye en la selección del método, dependiendo de qué tipo de producto se requiere analizar. Así mismo, dependiendo de la cantidad de muestra a analizar el costo se vuelve un factor decisivo (Ruiz, 2008).
- Límite de detección: está relacionado con el tamaño de muestra, ya que al procesar grandes cantidades de muestra, el límite de detección generalmente baja (Ruiz, 2008).
- Especificidad: se busca un método capaz de distinguir el elemento que se analiza del resto de elementos que constituyen la matriz (Ruiz, 2008).
- Validación: a pesar de que puedan existir varios métodos para llevar a cabo un análisis, siempre es preferible usar un método validado (Ruiz, 2008).
- Confiabilidad: es un concepto compuesto, puesto la confiabilidad depende de ciertos atributos técnicos como la aplicabilidad, exactitud, precisión, etc (Viangre, 2015).



- **Aplicabilidad:** se refiere no solo al rango de aplicación, sino a que esté libre de interferencias que puedan producirse por otros materiales presentes en la muestra (Viangre, 2015).
- **Exactitud y precisión:** por lo general, se busca el método que sea más exacto y preciso, siempre que respete otros factores como el tiempo o costo de análisis (Viangre, 2015).
- **Sensibilidad:** de igual manera, depende del tipo de producto que se requiera analizar. Así, para productos en los que se quiere encontrar trazas de un compuesto se va a requerir un método con mayor sensibilidad (Viangre, 2015).

CAPÍTULO II

Metodología

Enfoque

La presente investigación tiene un enfoque bibliográfico, pues la finalidad de la misma ha sido realizar una revisión y análisis de métodos ya existentes sin involucrar el llevar a cabo los métodos descritos.

Nivel de investigación

Esta investigación es de tipo exploratoria, pues pretende establecer los diferentes métodos de determinación para metales pesados y compararlos para tener una idea más clara de cuál es el método que debe aplicarse tomando en cuenta los diferentes factores descritos previamente.

Tipo de investigación

El tipo de investigación utilizado es documental, esto debido a que se realizará una búsqueda y análisis de los datos obtenidos en trabajos de otros autores recuperados de diferentes fuentes, con el fin de aportar un nuevo conocimiento. Se utilizarán datos provenientes de fuentes documentales primarias y secundarias.

Descripción de la metodología

Se efectuó una revisión bibliográfica en la que los criterios de búsqueda se limitaron a documentos que analicen metales pesados en diferentes tipos de cosméticos mediante espectrofotometría de absorción atómica. Se realizó una búsqueda en las diferentes bases de datos disponibles y se seleccionó 35 documentos a analizar. Las fuentes de los documentos deben ser confiables, es decir, que deben tener referencias. Los principales a considerar son libros, artículos indexados de revistas, normativa y tesis. Las fuentes de las que se obtuvieron los métodos fueron Google Académico, SCielo, Springer, Elsevier y repositorios de diferentes universidades tanto nacionales como extranjeras.

Las palabras claves para la búsqueda fueron: cosméticos, metales pesados, absorción atómica.

Para la selección de los documentos no se tomó en cuenta factores como la fecha de publicación, tampoco se redujo a un tipo de metal específico. Se seleccionaron aquellos



métodos en los cuáles se somete a los cosméticos a un proceso de análisis por absorción atómica con tratamiento previo de la muestra. Además, se aceptaron tanto artículos como tesis, los idiomas de investigación fueron en español e inglés. Los criterios de exclusión fueron trabajos en los cuales se analizaron metales pesados por metodologías diferentes a la espectroscopia de absorción atómica, como por ejemplo, IPC, y otras técnicas que no se vieron incluidas en los criterios de trabajo.

Una vez seleccionados los documentos más relevantes, se realizó el tratamiento de los datos mediante la elaboración de cuadros comparativos entre los diferentes métodos, estas secciones comparativas fueron: fuente de la que se obtiene, metales que analiza el método, pretratamiento de la muestra, calibración, calidad de los resultados analíticos.

Se extrajo información concerniente a todas estas secciones, así para la fuente, se obtuvieron los datos de la organización a la que pertenece. Para la sección de metales que se analizan, se consideraron todos los metales descritos en la metodología, dependiendo de la similitud entre estos, se los considera como un solo método o métodos diferentes si tienen diferencias marcadas. Para el pretratamiento de la muestra, se buscó el peso de la muestra utilizado, método de pretratamiento, reactivos utilizados y las condiciones del tratamiento. Dentro de lo que corresponde a la calibración, se consideró el tipo de calibración, la cantidad de estándares que aplica, las concentraciones, los reactivos a partir de los cuales se llegó a la solución estándar y si usa el rango lineal de concentración y diluciones. Por último, para la calidad de los resultados analíticos se consideró el número de muestras analizadas, las repeticiones realizadas por cada lectura, si se obtuvo el r^2 , límite de detección, desviación estándar y varianza, en caso de haber.

Además, se realizaron gráficos que representen cuántos de los diferentes métodos pertenecen a cada categoría considerada.

A partir de esto, se clasificaron los métodos, según si son métodos empíricos, estandarizados o validados. Según los diferentes criterios de selección revisados en la sección anterior, se seleccionará el mejor método considerando cada uno de los puntos individualmente y en base a la literatura científica revisada.



CAPÍTULO III

Resultados y discusión

Detalle de documentos recuperados por método.

Se recuperaron 35 metodologías diferentes. Algunos de los métodos fueron divididos en 2, están nombrados como A y B, por las diferencias que presentan tanto en el pretratamiento de la muestra como en la calibración. Además, Carruesco en su investigación propone tanto como por digestión ácida como por calcinación, con valores de análisis estadísticos diferentes, razón por la cual se lo separó como dos métodos diferentes.

Sahu, en su trabajo se separó en dos métodos debido a que usa diferentes instrumentos de análisis para los distintos metales analizados. Por lo tanto, tiene diferentes patrones de calibración y diferentes datos estadísticos que demuestren la calidad de los resultados analíticos.

A pesar de que fueron 33 documentos los que se recuperaron y analizaron, debido a las consideraciones descritas, en total se tuvieron 38 métodos distintos.

**Tablas de análisis por cada método.****Análisis según la fuente de la que provienen.***Tabla 4. Métodos según el tipo de fuente del que se obtuvieron. Fuente: Propia*

Método	Fuente	Detalle	Autores	Fecha	Publicación	Fuente
1A	Tesis	Tesis de grado para Químico Farmacéutico	Laguna & Ricaldi	2017	Universidad Nacional Mayor de San Marcos	Repositorio Universidad Nacional Mayor de San Marcos
1B	Tesis	Tesis de grado para Químico Farmacéutico	Laguna & Ricaldi	2017	Universidad Nacional Mayor de San Marcos	Repositorio Universidad Nacional Mayor de San Marcos
2	Tesis	Tesis de grado para Químico Farmacéutico	Hurtado & Mendez	2019	Universidad Nacional Mayor de San Marcos	Repositorio Universidad Nacional Mayor de San Marcos
3	Artículo	Artículo científico	Saadatzadeh, et. Al.	2019	Cutaneous and Ocular Toxicology	Taylor & Francis
4	Artículo	Artículo científico	Al-Saleh, Al-Enazi & Shinwari	2009	Regulatory Toxicology and Pharmacology	Elsevier
5	Tesis	Tesis de grado para Químico Farmacéutico	Delgado	2015	Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann	Repositorio Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann
6	Tesis	Tesis de posgrado para magíster en Ciencias y Tecnologías Cosméticas	Morocho & Astudillo	2018	Universidad Politécnica Salesiana	Repositorio Universidad Politécnica Salesiana
7	Artículo	Artículo científico	Volpe, et. Al.	2021	Microchemical Journal	Elsevier
8A	Artículo	Artículo científico	Nasirudeen & Amaechi	2015	Science World Journal	Semantic Scholar



8B	Artículo	Artículo científico	Nasirudeen & Amaechi	2015	Science World Journal	Semantic Scholar
9	Artículo	Artículo científico	Arshad, et. Al.	2020	Saudi Pharmaceutical Journal	Science Direct
10	Artículo	Artículo científico	Sahu, Saxena & Johnson	2014	Centre for Science and Environment	CSE India
11	Artículo	Artículo científico	Sahu, Saxena & Johnson	2014	Centre for Science and Environment	CSE India
12	Artículo	Artículo científico	Sainio, et. Al.	2000	Contact Dermatitis	PubMed
13	Artículo	Artículo científico	Sani, Bello & Aliyu	2016	Toxicology Reports	Elsevier
14	Artículo	Artículo científico	Massadeh, El-Khateeb & Ibrahim	2017	Public Health	Elsevier
15	Artículo	Artículo científico	Nkansah, Owusu-Afriyie & Opoku	2018	Journal of Consumer Protection and Food Safety	Springer
16A	Artículo	Artículo científico	Ahmed, et. Al	2017	Asian Journal of Chemistry	Research Gate
16B	Artículo	Artículo científico	Ahmed, et. Al	2017	Asian Journal of Chemistry	Research Gate
17	Artículo	Artículo científico	Lim, Ho & Hamsam	2017	Annals or Tropical Medicine and Public Health	AHRO
18	Tesis	Tesis de grado para Químico Farmacéutico	Solano	2018	Universidad Nacional Mayor de San Marcos	Repositorio Universidad Nacional Mayor de San Marcos
19	Tesis	Tesis de grado para Químico Farmacéutico	Castillo & Hernández	2017	Universidad Wiener	Repositorio Universidad Wiener
20	Tesis	Tesis de grado para Químico Farmacéutico	Álvarez & Naranjo	2020	Universidad Central del Ecuador	Repositorio Universidad Central del Ecuador
21	Tesis	Tesis de grado	Carruesco & Navarro	2016	Universidad de Zaragoza	Repositorio Universidad de Zaragoza



22	Tesis	Tesis de grado	Carruesco & Navarro	2016	Universidad de Zaragoza	Repositorio Universidad de Zaragoza
23	Artículo	Artículo científico	Ullah, et. Al.	2017	Arabian Journal of Chemistry	Research Gate
24	Artículo	Artículo científico	Alam, et. Al.	2019	Journal of Analytical Science and Technology	Springer
25	Artículo	Artículo científico	Łodyga-Chruscinska, Sykuła & Wiedłocha	2018	Cosmetics Journal	Research Gate
26	Artículo	Artículo científico	Rasheed, et. Al.	2020	Taylor & Francis	Taylor and Francis
27	Artículo	Artículo científico	Altunay & Gürkan	2016	Turkish Journal of Science	Tübitack Academic Journals
28	Artículo	Artículo científico	Rohman & Wijayanti	2015	Journal of Food and Pharmaceutical Sciences	Semantic Scholar
29	Artículo	Artículo científico	Nourmoradi, et. Al.	2013	Journal of Environmental and Public Health	Research Gate
30	Artículo	Artículo científico	Nnorom & Igwe	2005	African Journal of Biotechnology	Research Gate
31	Artículo	Artículo científico	Unsal, et. Al	2015	Analytical Letters	Taylor and Francis
32	Artículo	Artículo científico	Orisakwe & Otaraku	2013	The Scientific World Journal	Research Gate
33	Artículo	Artículo científico	Trejos	2008	Tecnología en Marcha	Repositorio Tecnológico de Costa Rica
34	Tesis	Tesis de grado para Químico Farmacéutico	Guerra & Naranjo	2020	Universidad Central del Ecuador	Repositorio Universidad Central del Ecuador



35	Tesis	Tesis de grado para Ingeniera Ambiental	Medrano & Arévalo	2019	Universidad de Guayaquil	Repositorio Universidad de Guayaquil
----	-------	---	-------------------	------	--------------------------	--------------------------------------

La tabla precedente, considera en ella todo lo relevante respecto a la procedencia del método. Así, se encuentra en ella información como el tipo de fuente, dividida en tesis o artículo, además se detalla dentro de las tesis qué tipo de tesis son. El año de publicación de estos trabajos es de gran importancia, porque si bien las investigaciones actuales tienen sus fundamentos en trabajos de mayor antigüedad, es importante conocer los avances y métodos que se están usando actualmente. Es necesario conocer quién ha llevado a cabo el desarrollo del método, puesto que es de autoría de esa persona o personas, se ha considerado una columna para estos. Además, tanto la revista en la que se ha publicado como la base de datos donde se encontró cada artículo, permite tener una referencia de donde se publican la mayoría de estos artículos y qué bases de datos son las que tienen mayor variedad en el tema. De igual manera, conocer si hay universidades en las que se tenga mayor incidencia sobre el área cosmética.

Únicamente se recuperaron de dos tipos de fuentes, tesis y artículos científicos. De los 38 métodos recuperados, 24 fueron artículos científicos. Este valor corresponde al 68% del total de los documentos. Volviéndose la fuente predominante en la presente investigación. Como segundo tipo de fuente, las tesis tuvieron un porcentaje de 32% del total, con una cantidad de 11 tesis.

Se procuró que todos los artículos estén indexados, para asegurar que la fuente sea confiable. Con las tesis no hubo mayor problema, debido a que pasan por un proceso de revisión por las universidades que las avalan, dando la seguridad de que los resultados son verificados.

Cabe destacar, que dentro de estas fuentes, encontramos las clasificadas como fuentes primarias para obtener información, dado que son tesis y artículos en los que se consideran métodos utilizados por el autor de la misma.



Imagen 8. Año de publicación. **Fuente:** Elaboración propia.

Para los trabajos de investigación, es recomendable que la mayor parte de los trabajos estén comprendidos dentro de los últimos 5 años de la fecha de la realización de la investigación. El porcentaje de artículos comprendidos en este período de tiempo se conoce como índice de Price (A. Oyola et al., 2014).

El porcentaje de métodos, que están presentes en artículos y tesis desarrolladas en los últimos 5 años es del 55%, considerado esto como una cantidad superior al promedio. Según (A. Oyola et al., 2014), este valor varía entre 11,69% a 31,27% generalmente.

Si se consideran artículos que tengan máximo 10 años de antigüedad, esta cantidad es de 34, de 38 métodos del total. Lo cual también se considera como un indicador de que el trabajo usa fuentes actuales, y métodos que están en vigencia al momento.

El método más antiguo considerado en el desarrollo del presente trabajo es del año 2000, por (E. Sainio et al., 2000). Este método no presenta una variación significativa respecto a métodos más actuales, dado a esto, se puede decir que los métodos de análisis no han tenido un cambio significativo en lo que respecta tanto a pretratamiento de la muestra, como a la calibración del equipo. Se encontró el uso de HNO_3 , que es el reactivo más frecuente para llevar a cabo los procesos de digestión ácida, además usa calentamiento, al igual que en métodos más recientes publicados hasta en el año 2020.

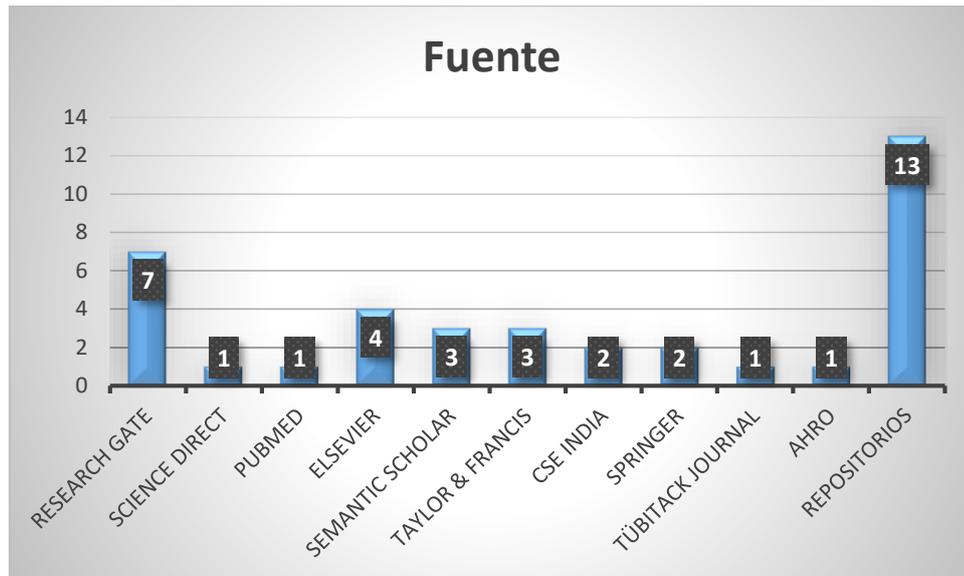


Imagen 8. Fuente. Fuente: Elaboración propia.

La fuente principal, fue ResearchGate, esta tiene una gran variedad de artículos que concuerdan con los criterios de búsqueda establecidos para el desarrollo del presente trabajo. Además, se puede observar que Elsevier es una fuente importante de artículos para la investigación de temas relacionados al desarrollado en esta exposición.

La clasificación de repositorios se usó como un solo grupo para las diferentes universidades, es por ello que el porcentaje es bastante importante, pues este corresponde a las 13 tesis revisadas en el desarrollo de este trabajo.

Análisis según los metales pesados que se determinan en el método.

Existen algunos métodos que describen un solo proceso de digestión para el análisis de algunos metales diferentes. Sin embargo, esto no quiere decir que se realiza una sola lectura para cuantificarlos, es por ellos que se establecieron dos grupos: metales que analiza el método y si el análisis es simultáneo o individual.

Donde el análisis simultáneo / individual, corresponde a la lectura de la muestra, es decir, que individual hace uso de una configuración del equipo distinta para cada metal, mientras que simultáneo se realiza mediante un solo proceso para obtener las lecturas de los distintos elementos sin la necesidad de un cambio de lámpara.

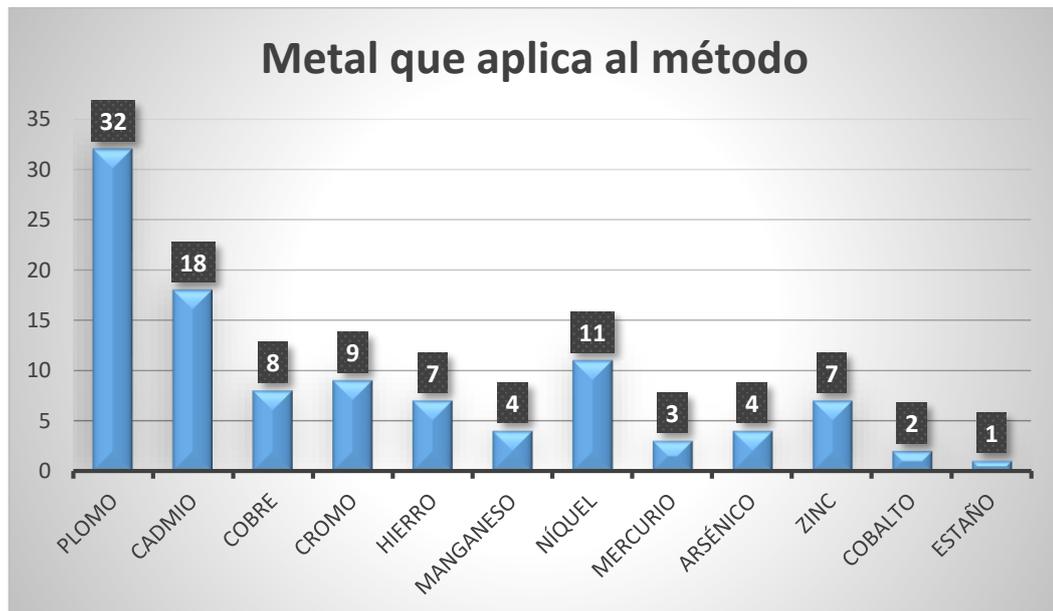


Imagen 9. Cantidad de veces que un metal es analizado por los diferentes métodos. **Fuente:** Elaboración propia.

De los 38 métodos analizados, en 32 se analiza plomo, siendo este metal el que causa mayor preocupación entre las partes interesadas. Corresponde al 84,2% de los métodos



recuperados, es decir, es el más representativo. En segundo lugar se encuentra el cadmio, este fue analizado en 18 diferentes métodos, representando el 47,4% de los estudios. Lo sigue el níquel con 11 métodos que lo analizan, siendo encontrado en el 28,9% de los métodos de análisis. Seguido del cromo, este se encontró que lo analizan 9 métodos, siendo el 23,7% del total de los métodos recuperados. El cobre se encontró en 8 métodos, es decir, en el 21,1% de estos. El hierro y el zinc fueron encontrados en 7 métodos, esto equivale al 18,4% para ambos casos. En 4 métodos se consideraron tanto el arsénico como el manganeso para su análisis, siendo el 10,5% del total para cada caso. El mercurio se analizó en 3 diferentes métodos mediante absorción atómica, otros métodos lo analizan pero con distintos equipos de análisis instrumental, no considerados en la presente investigación, por ejemplo con analizador directo de mercurio. Este metal se encontró en 7,9% de los métodos analizados. En los dos últimos se encuentran el cobalto y el estaño, con 2 y 1 métodos respectivamente, debido a las cantidades tan bajas de estos metales presentes, no suelen considerarse para investigación. El cobalto se encontró en el 5,3% de los métodos recuperados, mientras que el estaño en el 2,6%.

Los metales pesados presentes en los cosméticos, pueden generar acumulación localizada en las personas quienes los utilicen. Como consecuencia a esto, se tiene el riesgo que, con el pasar del tiempo, llegue a la sangre, provocando disfunción en ciertos órganos como los riñones. Según (Saadatzaheh et al., 2019), el plomo, cadmio, arsénico y mercurio pueden causar hepatotoxicidad, nefrotoxicidad y neurotoxicidad.

En el caso de cadmio, por ejemplo, este tiene entre sus principales usos la fabricación de pigmentos en tonos amarillo, naranja y rojo. Por lo que lo encuentra presente en mayor cantidad en muestras que tengan estas tonalidades o sub-tonos. (Hurtado & Méndez, 2019)

(Arshad et al., 2020) en su trabajo, expone que la contaminación, no intencional, de los cosméticos con metales pesados se debe principalmente a los pigmentos minerales que se usan en la fabricación de los mismos. Además, también se encuentran cantidades representativas de los metales pesados en conservantes de cosméticos, componentes de los filtros UV, y en agentes anti-transpirantes, anti-fúngicos y anti-bacteriales.

Según la FDA, la presencia de cantidades pequeñas de plomo en cosméticos es inevitable, debido a que se presenta como contaminante en colorantes que se usan para la fabricación de los mismos y no puede ser aislado.



En el trabajo de (Al-Saleh et al., 2009), se expone que los tintes naturales extraídos de plantas y vegetales, tales como el B-caroteno o la henna, y minerales, como el óxido de aluminio, están exentos de revisiones de la FDA y pueden usarse sin certificación, a pesar de que puedan contener trazas tanto de arsénico como mercurio, entre otros.

La piel de los ojos tiene la particularidad de ser sensible, esto la hace susceptible a eccemas, alergia por contacto y alergia irritativa cuando se encuentra en presencia de ciertos metales como el níquel, cobre y cromo. El cadmio es un sensibilizante capaz de causar muerte celular o aumento de la proliferación celular, afectando el sistema nervioso con consecuencias como desórdenes neurológicos (Volpe et al., 2012).

La exposición elevada a metales pesados a través de los cosméticos, puede llevar a problemas tales como alergias de la piel, rojez severa, úlceras en la piel, muerte celular, daño del ADN, estrés oxidativo con envejecimiento prematuro de la piel, neurotoxicidad, pérdida de memoria, fallas en la reproducibilidad del sujeto e incluso cáncer.

Además se analiza si la lectura de los metales en el equipo se hace de manera simultánea o individual. Es diferente al tipo de pretratamiento y a la calibración del equipo, en el pretratamiento se hace la digestión por producto para todos los metales que se desea analizar y es en el equipo que se realiza la lectura. La simultaneidad de las lecturas, se debe a que estos métodos utilizan equipos que tienen lámparas multi-metales que tienen la función de leer varios metales en una sola corrida analítica.

De los 38 métodos revisados, 35 de estos realizan los análisis de manera separada para cada metal, considerando las longitudes de onda respectivas para cada uno de estos. Sin embargo, los 3 restantes lo hacen de manera simultánea.

A pesar de que autores como (Gomis, 2008) recomiendan que el método sea aplicado de manera individual, pues afirma que la simultaneidad solo debe aplicarse en emisión atómica, otros autores como (Jimenez & Alvarez, 2012) resaltan las diferentes ventajas que tiene llevarlo a cabo de manera simultánea.

Entre las ventajas de este tipo de análisis se encuentran el ahorro de tiempo, material y reactivo de análisis, sin embargo, para llevar a cabo el análisis multielementos se presentan inconvenientes en la programación del calentamiento y modificador químico. Además de esto, en muestras que contengan materia orgánica, cloruros y concomitantes, se puede generar un ruido demasiado alto que provoque errores en la lectura.



Análisis según el cosmético de análisis.

Dentro de los tipos de cosméticos que fueron analizados, el más recurrente fue el labial o barra de labios. Este cosmético se analizó en 23 diferentes métodos, es decir, en el 60,5% del total de metodologías revisadas. El análisis en labiales es mayor debido a que tienen un riesgo superior, por ser vía de entrada de estos metales mediante la ingesta involuntaria del producto al estar en contacto directo con la vía digestiva. En algunos de los documentos, se apunta que los labiales deben considerarse para su elaboración, citando como ejemplo al plomo, con un límite máximo de Pb de 0,01 ppm, límite permitido para alimentos, para de esta manera reducir el riesgo de intoxicación por ingesta.

En las sombras, al momento de aplicarlas, debido a su textura polvosa, puede introducirse producto en ojos ocasionando diferentes problemas al consumidor. Además, durante todo el tiempo de uso, se corre el riesgo de que el producto no se quede en su lugar, pues no tiene nada que lo adhiera, chorreándose hasta entrar en el ojo. A más de provocar molestias al usuario, esto también es una fuente de exposición directa a diferentes metales pesados. Las sombras, tienen una gran variedad de metales pesados debido a la gran gama de colores y acabados que tienen estos productos.

Las sombras de ojos fueron analizadas en 13 diferentes métodos, 34,2% del total. Los labiales y las sombras de ojos son los dos principales tipos de cosméticos de análisis. Las cremas, tanto de cuerpo como de rostro se analizaron en 9 métodos diferentes, siendo esto igual al 23,7%. Los demás cosméticos se encontraron en menor número de métodos. Dentro de los clasificados como otros, se encuentran en lápiz de cejas, brillo de labios, limpiador facial, gel, jabón y tintes cosméticos. Estos se encontraron en apenas 1 método de los analizados. Muchos de los métodos analizan varios tipos de cosméticos bajo el mismo pretratamiento, pero llevado a cabo de manera individual.

La razón por la que se llevan a cabo los mismos procedimientos tanto para las sombras como para los labiales, que son los elementos de análisis principales, es porque al aplicar procesos de calcinación, dado que tienen una matriz similar, la materia orgánica se destruye sin arrastrar consigo una pérdida de la muestra del elemento a analizar (Morocho & Astudillo, 2018).



Dentro de los principales componentes de los labiales se encuentran la base grasa (generalmente compuesta de aceites, ceras, alcoholes grasos y grasas), pigmentos, polvos, y un vehículo lipófilo (Bonet & Garrote, 2007). Dependiendo de la característica del producto también puede contener antioxidantes y conservantes. Las sombras de ojos, al igual que los labiales están compuestas de una base grasa, polvos, pigmentos y vehículos lipófilos (Benaiges, 2004). La diferencia entre ambos, es que mientras que en los labiales se tiene un mayor porcentaje de base grasa, en las sombras, lo que resalta son los componentes en polvo. Claro que esto depende del tipo de presentación en la que venga el producto (Alcalde & Del Pozo, 2004).

**Análisis según el tipo de pretratamiento de la muestra.****Tabla 5. Pretratamiento de la muestra para cada método. Fuente: Propia**

Método	Peso de la muestra	Tratamiento	Reactivos	Condiciones
1A	0,5 g	Digestión ácida	HNO ₃ concentrado ultrapuro, HNO ₃ concentrado, agua ultrapura	Incineración 550°C por 2h. Calentamiento a 70°C.
1B	0,5 g	Digestión ácida	HCl 10% v/v, HNO ₃ concentrado, agua ultrapura	Incineración 550°C por 2h. Calentamiento a 70°C.
2	2 g	Calcinación y digestión ácida	HCl 6M, Mg(NO ₃) ₂ 50% v/v, agua ultrapura	Secar a 105°C por 3h. Calcinación a 350°C por 5 min en plancha de calentamiento y a 500°C por 3 h en mufla.
3	0,3 g	Digestión ácida	HNO ₃ 65% p/p, agua desionizada	Horno microondas 240°C por 25 min.
4	0,2 g	Digestión ácida	HNO ₃ concentrado, H ₂ O ₂ 30%, agua desionizada	Calentamiento a 85°C por 4h.
5	0,1 g	Digestión ácida	n-Heptano 99%, HCl 0,14mol/L, HCl 6mol/L, agua ultrapura	Macerado a 37°C. Agitación por 1 h a 37°C. Centrifugado 10 min.
6	0,5 g	Digestión ácida	HNO ₃ 50%, H ₂ SO ₄ 50%	Calentamiento a 150°C
7	1 g	Digestión ácida	HNO ₃ 67%, HF 40%	Muestra irradiada con microondas
8A	1 g	Digestión ácida	HNO ₃ concentrado, H ₂ O ₂ , HCl concentrado, agua desionizada	Calentamiento a 150°C
8B	1 g	Digestión ácida	HNO ₃ concentrado, H ₂ O ₂ , HCl concentrado, agua desionizada	Calentamiento a 150°C
9	1 g	Digestión ácida	HNO ₃ , H ₂ SO ₄ , HClO ₄ , agua desionizada	Calentamiento a 90°C por 1h.
10	1 g	Digestión ácida	HNO ₃ , HClO ₄ , agua ultrapura	Calentamiento a 90°C por 2 a 3 h.
11	0,2 g	Digestión ácida	H ₂ SO ₄ , HNO ₃ , KMnO ₄ , HCl, hidroxilamina	Calentamiento a 80°C por 1,5 h. Calentamiento a 95°C por 2 h.
12	0,15 g	Digestión ácida	HNO ₃ 65%, HCl 30%, agua ultrapura	Baño ultrasónico 30 min con HNO ₃ . Para el Cr, baño ultrasónico con agua por 15 min.
13	3 g	Calcinación y digestión ácida	HNO ₃ 65%, HClO ₄ 70%, agua destilada	Calcinación a 550°C por 2 h.



14	2 g	Digestión ácida	HNO ₃ 69%, HCl 37%, agua desionizada	Evaporación a 70°C hasta 1 ml de la mezcla.
15	1 g	Digestión ácida	H ₂ O ₂ HNO ₃ , agua desionizada	Calentamiento a 225°C por 2 h.
16A	0,25 g	Digestión ácida	HNO ₃ 60%, HF 48%, HCl 36%, H ₂ O ₂ 35%, agua desionizada, solución de níquel, H ₃ PO ₄	Asistida por microondas.
16B	0,25 g	Digestión ácida	HNO ₃ 60%, HF 48%, HCl 36%, H ₂ O ₂ 35%, agua desionizada, solución de níquel, H ₃ PO ₄	Asistida por microondas.
17	0,2 g	Digestión ácida	HNO ₃ concentrado, H ₂ O ₂ , agua ultrapura	Calentamiento a 85°C por 4h. Mismo que Al-Saleh
18	2 g	Calcinación y digestión ácida	HNO ₃ 65%, HCl puro, fosfato de amonio, agua ultrapura	Secado a 105°C por 3 h. Pre calcinación a 350°C. Calcinación a 500°C por 3 h.
19	0,5 g	Digestión ácida	H ₃ PO ₄ ultra puro, NaOH, HNO ₃ , NaBH ₄ , KI, HCl ultra puro 35%, H ₂ O ₂ ultra puro 30%	Con ayuda de digestor microondas 30 min a 1600W.
20	10 g	Digestión ácida	HNO ₃ 69%, HF 51%, agua Tipo I	Calentamiento a 350°C, calcinación a 450°C por 1 h, calentamiento a 100°C hasta sequedad
21	3 a 3,5 g	Digestión ácida	HNO ₃ 69,5%, HCl 37%, H ₂ O ₂ 35%, KI extra puro, yodo 99%, agua desionizada	Tubo Kjeldahl, calentamiento a 100°C por 10 min y a 70°C por 5 min.
22	3 a 3,5 g	Calcinación	-	Secado a 105°C por 12 h, calcinación a 550°C.
23	3,5 g	Calcinación y digestión ácida	HNO ₃ 65%, HClO ₄ 70%, agua doble destilada	Secado a 105°C, calcinación a 550°C. La crema no se somete a calcinación ni secado.
24	1 g	Digestión ácida	HNO ₃ 69%, HCl 36%, H ₂ SO ₄ 98%, HClO ₄ 70%, H ₂ O ₂ 30%, KMnO ₄ , hidroxilamina, agua desionizada	Calentamiento a 90°C por 2 a 3 h.
25	1 g	Digestión ácida	HNO ₃ 65%, H ₂ O ₂ 30%, agua ultrapura	Con ayuda de digestor microondas.
26	5 g	Digestión ácida	HNO ₃ 65%, H ₂ O ₂ 30% HClO ₄ , agua doble destilada	Calentamiento a 130°C por 2 a 3 h.
27	2,5 g	Digestión ácida	HNO ₃ 65%, H ₂ O ₂ 35%, HClO ₄ 3 mol/L, NaOH 0,1 mol/L, agua	Procesos de preconcentración. Calentamiento a 125°C por 1 h. Centrifugación por 10 min a 4000 rpm.
28	1 g	Digestión ácida	HNO ₃ , HClO ₄ , agua desionizada	Calentamiento a 100-150°C



29	1 g	Digestión ácida	HNO ₃ concentrado, H ₂ O ₂ , agua desionizada	Calentamiento a 80°C hasta sequedad.
30	1 g	Digestión ácida	HNO ₃ , HClO ₄ , agua desionizada	Parte de la muestra seca.
31	1 g	Digestión ácida	HNO ₃ 65%, H ₂ O ₂ 30%, agua destilada	Calentamiento a 95°C. Evaporación a sequedad. pH ajustado a 5,5. Muestras de Pb, Cu y Fe pretratadas con 5-Br-PADAP.
32	0,2 g	Digestión ácida	H ₂ SO ₄ , agua desionizada	
33	0,5 g	Digestión ácida	HNO ₃ 65%	Calentamiento microondas a 160°C y 220°C.
34	0,1 g	Digestión ácida	HNO ₃ grado analítico, HCl 0,1M, agua destilada	Asisida por horno microondas, calentamiento a 180°C-200°C por 30 min.
35	0,5 g	Digestión ácida	HNO ₃ 65%, H ₂ SO ₄ concentrado, agua destilada	Secado a 40°C por 12 h. Calentamiento a 180°C-220°C hasta degradación.

De la tabla se puede observar que el peso de la muestra no es específico para todos los métodos, sin embargo, el valor que más se repite el de 1 g, pudiendo este ser considerado como un valor de referencia. Los valores usados para el peso de la muestra son generalmente bajos, desde los 0,1 g, aunque hay métodos que usan valores de la muestra mayores, llegando hasta los 10 g. La desventaja de usar mayor cantidad de muestra, es que se requiere de una mayor cantidad de producto, puesto que los cosméticos generalmente vienen en presentaciones que contienen poca cantidad, especialmente en el caso de las sombras, que tienen un contenido aproximado de 1 g a 1,5 g. Como consecuencia, se debe trabajar juntando varias muestras del mismo cosmético, pudiendo incurrir en errores.

Desde el punto de vista analítico, mientras se parta de una muestra más grande, se puede tener una muestra significativa, es decir, que va a ser mejor si se hace el análisis con todo el labial o con la sombra completa porque se tiene la totalidad de la muestra para el análisis; aunque como el análisis de absorción atómica lee partes por millón, las cantidades usadas son bajas en comparación con otros análisis

Todos los pretratamientos por digestión ácida, consideran como uno de sus procedimientos, la aplicación de calor. En todos ellos se requiere calentamiento ya sea en hornos, muflas o en hornos microondas. El rango de temperaturas aplicadas es amplio,

pero se puede observar que entre 150°C a 200°C está la mayor cantidad de métodos. Detallan los autores, que en este rango de temperatura es donde se obtiene un mejor porcentaje de recuperación de los metales analizados.

El calentamiento es un requisito en casi todos los métodos, como se puede observar, dado que mediante este procedimiento se asegura la eliminación de parte del contenido orgánico que pueda estar contenido en las muestras que se van a analizar.

Carruesco en su trabajo, detalla que la diferencia en el tratamiento de muestras líquidas y sólidas, es que las líquidas no necesitan un secado previo en la estufa. Es decir, que sobre estas pueden aplicarse directamente los métodos de calcinación o digestión.



Imagen 10. Tipo de pretratamiento de la muestra. **Fuente:** Elaboración propia.

Los métodos de digestión de la muestra son primordiales, puesto a que gracias a estos se pueden reducir las interferencias que son debidas a la presencia de materia orgánica en la matriz de análisis, además de convertir los metales de interés a una forma en la que se permita analizarlos, esta suele ser en su forma de metal puro.

El pretratamiento principal fue mediante digestión ácida, con una cantidad de 33 métodos que la aplican, en la mayoría de los casos asistida por calentamiento o combinada con



procesos de calcinación, esto se detalló en las condiciones del pretratamiento descritas en la tabla precedente. Mientras que la calcinación sola fue vista únicamente en uno de los métodos analizados. Los métodos que combinan la calcinación con la digestión ácida fueron 4, lo que se buscaba al aplicar esta combinación de métodos, es obtener una recuperación mayor de las cenizas de los cosméticos y menores interferencias (Carruesco & Rubio, 2016).

La calcinación, se aplica debido a que permite obtener un residuo libre de materia orgánica, para de esta manera obtener un resultado más certero y en el que se considera una menor contaminación o alteración de resultados por no tener presencia de residuos orgánicos, los mismos que son eliminados en temperaturas en un rango de 300°C a 700°C mediante calcinación (Silva, 2019), mientras que si se usa un horno microondas o digestión húmeda, este rango baja a temperaturas de 180 a 440°C (Mendoza et al., 2014).

Se pudo observar que en las muestras de interés (muestras sólidas) sombras y labiales, se realizan los mismos procedimientos dado que la matriz es similar, se aplica secado, calcinación, esta última no en todos los casos, y la digestión generalmente con ácido nítrico. Sin embargo, para muestras líquidas o cremas, puede aplicarse digestión ácida directamente sin necesidad de un secado previo en algunos de los casos.

De los 37 métodos que usan digestión ácida, 34 de ellos utilizan HNO_3 para realizar la digestión ácida, es decir, el 89,5% de los métodos. En algunos casos, junto con otros ácidos como el HCl . Como indica el gráfico siguiente. Se puede entonces, considerar al HNO_3 como un reactivo necesario o principal dentro del análisis de metales pesados en los cosméticos. En algunos casos, incluso, se usa únicamente el ácido nítrico para la digestión, y se lleva a volumen con agua desionizada, obteniendo resultados confiables.

De los 3 métodos que no aplican HNO_3 , uno solo usa ácido sulfúrico (H_2SO_4) y los otros dos se basan en el HCl para llevar la digestión ácida a cabo.

Según Chauhan, el procedimiento estándar para el análisis de trazas de metales pesados en cosméticos se lleva a cabo usando ácido nítrico con ácido perclórico en relación 3:1 (5ml), en 1g de muestra seca. Sin embargo, esto no se aplica en todos los casos. Esto se debe a que los nitratos proporcionan una matriz excelente para la aplicación de espectrofotometría de absorción atómica. A pesar de esto, para ciertos metales será necesario la aplicación de otros ácidos como pueden ser perclórico o sulfúrico.

Según un artículo de la Universidad de Burgos (Mansilla et al., 2020), para el análisis de metales la mayor parte de las muestras se disuelven con ácido nítrico, sin embargo, aquellas que tienen matrices basadas en sílice o fibras de vidrio requieren de ácidos más fuertes, como puede ser el ácido fluorhídrico. Además el ácido perclórico es bastante usado para complementar al ácido nítrico cuando se considera necesario.

El ácido nítrico es el que permite una mayor concentración del metal a analizar, razón por la cual es el predominante para el análisis de los mismos. El orden de los ácidos que dan una mayor extracción, en orden decreciente, es: ácido nítrico, ácido sulfúrico y ácido perclórico (G. A. Pérez & Iannacone, 2020).

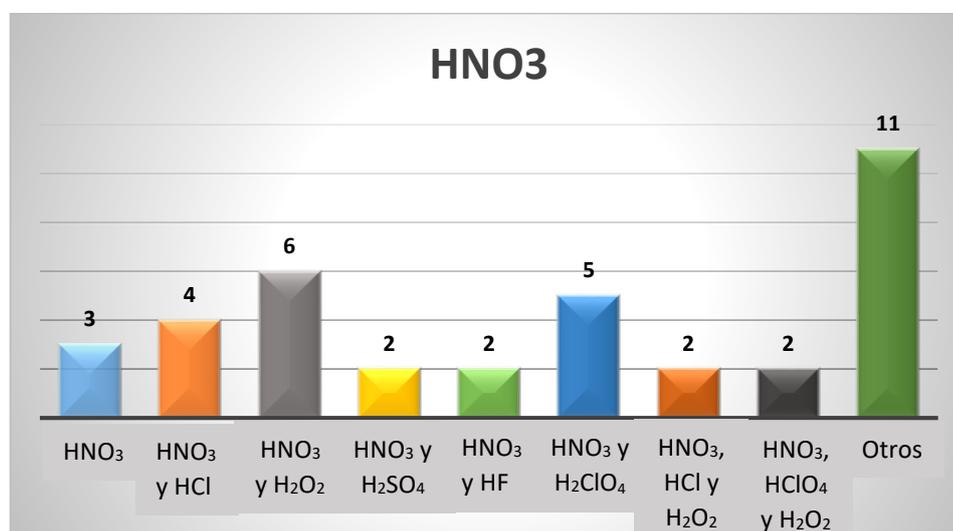


Imagen 11. Combinaciones más comunes de reactivos utilizados para el pretratamiento de la muestra.

Fuente: Elaboración propia.

Además de los reactivos especificados, se observó que en todos los casos, las diluciones se hacen con agua, ya sea esta destilada, desionizada o ultrapura. Se consideraron las combinaciones con ácido nítrico debido a que es el que se encuentra en la mayoría de los métodos. Dentro de otros, están considerados las combinaciones de reactivos que no se repiten en otros métodos, es decir, que solo se ven en una metodología y por lo tanto solo son consideradas por un autor.

Es más común usar HNO₃ con H₂O₂, se encontró estos tanto en métodos validados como empíricos. Esta combinación fue aplicada en 6 métodos, siendo el 16,2% de los 37



métodos que usan digestión ácida. Seguido, está la combinación HNO_3 HClO_4 , presentada en 5 métodos, es decir el 13,2%. Cuatro diferentes métodos aplican HNO_3 con HCl , representa el 10,5%.

Los métodos que aplicaron HNO_3 con H_2SO_4 , HNO_3 con HF , HNO_3 con HCl y H_2O_2 , y HNO_3 con HClO_4 y H_2O_2 , fueron dos en cada uno de los casos. Estos corresponden al 5,3% para cada combinación.

Es además importante resaltar que lo ideal es hacer pruebas para conocer con cuál de las distintas combinaciones de ácidos da un mejor resultado para la extracción de los metales de interés. En un trabajo de la Universidad de Catalunya (R. Rodríguez, 2016), el ácido nítrico es recomendado para digerir muestras que contengan carbonatos, mientras que el ácido perclórico (HClO_4) se usa en caso de que exista materia orgánica o se presuma su existencia. Es por ello que se puede observar en el gráfico previo que una de las combinaciones más utilizadas es HNO_3 con HClO_4 .

Análisis según el método de calibración del espectrofotómetro.

En esta sección se indica todo lo referente al equipo utilizado y su calibración, tanto el método de calibración, que ha sido clasificado entre estándar externo, adición de estándares y no específica. La cantidad de estándares utilizados y el rango de los mismos. Además, las diluciones utilizadas para alcanzar el rango lineal no se identifican en la mayoría de los métodos. Dentro de lo que corresponde al tipo de Absorción Atómica utilizada, se distinguieron 4 categorías: Horno de grafito, de llama, sin llama, y de vapor frío. Por último, qué tipo de reactivos utiliza para la elaboración de la solución patrón, clasificado como reactivos certificados, reactivos comerciales y sales de alta pureza.

El rango de calibración, depende tanto del método como del tipo de metal que se analiza, razón por la cual en algunos métodos se encuentran varios rangos, especificados por cada metal. La mayoría de los métodos lo especifican en partes por millón (ppm).

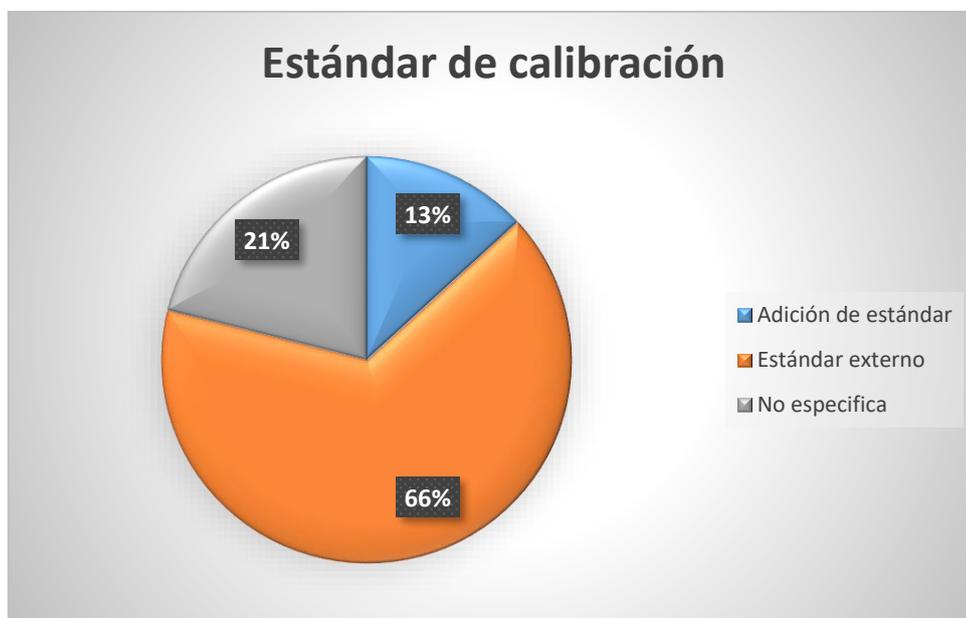


Imagen 12. Tipo de estándar utilizado para la calibración del espectrofotómetro. **Fuente:** Elaboración propia.

En cuanto al estándar de calibración, en algunos métodos no se especificaron, puesto que sigue un protocolo de un laboratorio externo o en la metodología no se menciona. La mayor parte de los métodos utilizan estándar externo para calibrar los equipos, siendo esta del 65,8% de los métodos analizados. Pocos usaron adición de estándar, el 13,1% de los métodos analizados, correspondiente a 5 métodos. En esos casos, se prefirió este tipo de estándar por la dificultad de conseguir una matriz similar a la de estudio.

Los métodos de calibración con estándar externo son recomendados cuando la matriz en la que se agrega el componente de interés es similar o idéntica a la de la muestra. En ciertos casos, en los que la matriz sea difícil de replicar, es recomendado utilizar el método de adición de estándares, el cual se basa en la adición de una cantidad conocida de estándar a cada muestra que se analiza (Sánchez, 2018).

En este caso, dada a la complejidad de ciertas muestras de análisis, es recomendable usar el método de adición de estándar. Los cosméticos contienen cantidades de muchas sustancias que lo componen, en diferentes concentraciones y pueden tener otros elementos contaminantes o trazas que puedan interferir en la lectura. Es por ello que (Łodyga-Chruścińska et al., 2018) lo recomienda en su trabajo el uso de adición de estándar.



Imagen 13. Cantidad de patrones utilizados para la calibración del espectrofotómetro. **Fuente:** Elaboración propia.

En lo que respecta a la cantidad de estándares utilizados por cada método, la mayor parte de trabajos (47,4%) no especifican el número de estándares con el que trabajaron. Luego de esto, se observó que la cantidad de estándares más común es de cinco estándares, encontrándose en 10 de los 38 métodos analizados.

Según (L. Fernández et al., 2015), una calibración realizada con dos puntos patrón es muy pobre estadísticamente, por ellos es necesario su construcción a partir de un número mayor de patrones. Desde 3 patrones para conseguir una relación más exacta, mientras más patrones se manejen para la elaboración de la curva, se tendrá un mejor ajuste y una mayor exactitud de la misma.

La World Health Organization (WHO) (World Health Organization, 2002) propone que lo óptimo para la generación de la curva de calibración son 5 estándares o datos, de esta manera se asegura la calidad de la regresión.

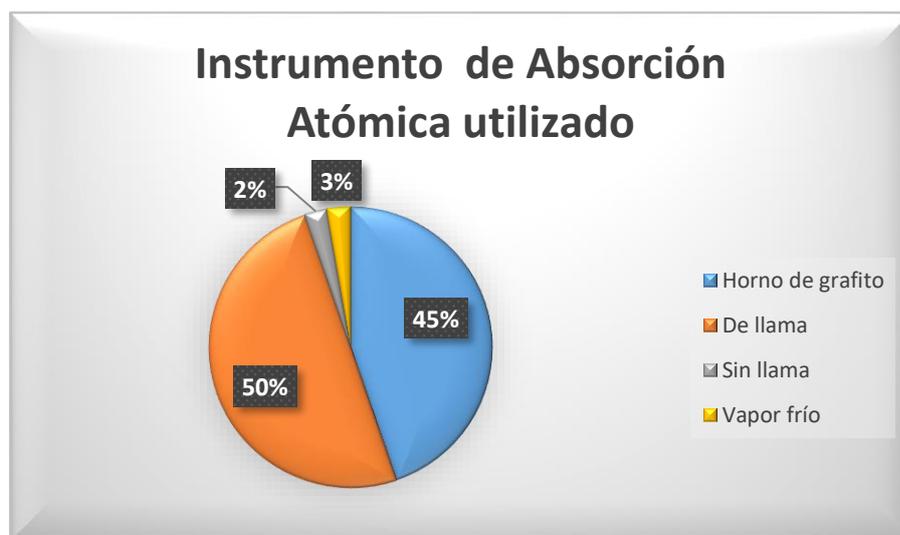


Imagen 14. Tipo de espectrofotómetro de absorción atómica utilizado. **Fuente:** Elaboración propia.

El instrumento de lectura más utilizado, fue el espectrofotómetro de Absorción Atómica de llama, siendo usado en 19 de los 38 métodos, representando el 50% del total. Además, el espectrofotómetro de Absorción Atómica de Horno de Grafito también fue usado en una proporción alta, en 16 de los 38 métodos, 42,1% de los métodos analizados. La espectrofotometría de Absorción Atómica sin llama y de vapor frío, fueron usadas en

únicamente un método cada una. En el caso del vapor frío, fue usada para la determinación de Mercurio exclusivamente.

Según (Carruesco & Rubio, 2016) el uso de la espectrofotometría de llama es mayor que la de horno de grafito, debido a que esta última debe ser optimizada.

(Laguna & Ricaldi, 2017) en su trabajo, detallan las ventajas que tiene usar el espectrofotómetro de absorción atómica de horno de grafito. Entre estos destacan que es un equipo con una sensibilidad muy elevada, comparado con la atomización de llama, el horno de grafito tiene un límite de detección mayor, pudiendo detectar trazas de hasta 10^{-13} gramos del analito. Debido a esto, presenta una mejor precisión relativa y se lo considera con una mayor confiabilidad.



Imagen 15. Reactivos o sales de las que se parte para la elaboración de la solución estándar. **Fuente:** Elaboración propia.

En la mayoría de los casos, las soluciones patrón fueron preparadas a partir de una solución estandarizada certificada de diferentes casas comerciales. Estos se categorizaron como reactivos certificados, correspondientes al 73,7% del total de métodos recuperados. 21,1% de los métodos no especifican de qué tipo de material parten para hacer las soluciones patrón, en algunos casos debido a que está a cargo de laboratorios ajenos al



personal que lleva a cabo el estudio. Se observó que solamente en un método se parte de las sales de alta pureza para realizar las soluciones estándar necesarias de las que se parte.

Los reactivos certificados generalmente son puros. Sin embargo, cuando no, se detalla en su envase o en su hoja de información la cantidad de otros compuestos que pueda tener. De esta manera, al obtener los resultados se tiene que sumar a la desviación el contenido del metal analizado o interferencia que pueda estar presente en el reactivo. En los reactivos comerciales y sales de alta pureza no se tiene esta seguridad. En los reactivos comerciales no se tiene ninguna seguridad de que el reactivo cumpla con los requerimientos de pureza para obtener una lectura confiable.

Según (Espejo, 2016), los reactivos certificados, son “aquellos en los cuales las propiedades que le otorgan la calidad, están certificados por un procedimiento validado e incertidumbres establecidas”, es decir, que tiene una composición y pureza definidos y pueden hacerse un seguimiento de los mismos por trazabilidad. Por ello, son recomendados para la calibración. Y según se observan en los resultados, son los más utilizados.

Mientras que para las sales de alta pureza, al preparar las soluciones puede incurrirse en errores tanto por parte del analista como de los equipos y material utilizado para la fabricación del mismo. Las sales de alta pureza tienen especificado la concentración de la sal, con trazas de metales que puedan encontrarse contaminando la sal, sin embargo, estas no tienen certificación. En soluciones preparadas a partir de sales de alta pureza si se puede establecer el porcentaje de pureza, sin embargo, se necesitan más pasos para certificar el patrón cuando se hacen disoluciones a partir de estos reactivos, al tener más pasos puede aumentar el grado de incertidumbre en la preparación del patrón. Al trabajar con estos compuestos, se debe considerar también que hay sales que se pueden contaminar más fácilmente por ser higroscópicas.

Las soluciones preparadas a partir de sales de alta pureza, en investigación, entran dentro de los estándares secundarios, es decir, que no tienen una composición definida, además de una pureza y estabilidad limitada. Estos estándares deben de apoyarse en estándares primarios, reactivos certificados, para tener cierto nivel de trazabilidad que sea adecuado para proyectos de investigación (Espejo, 2016).

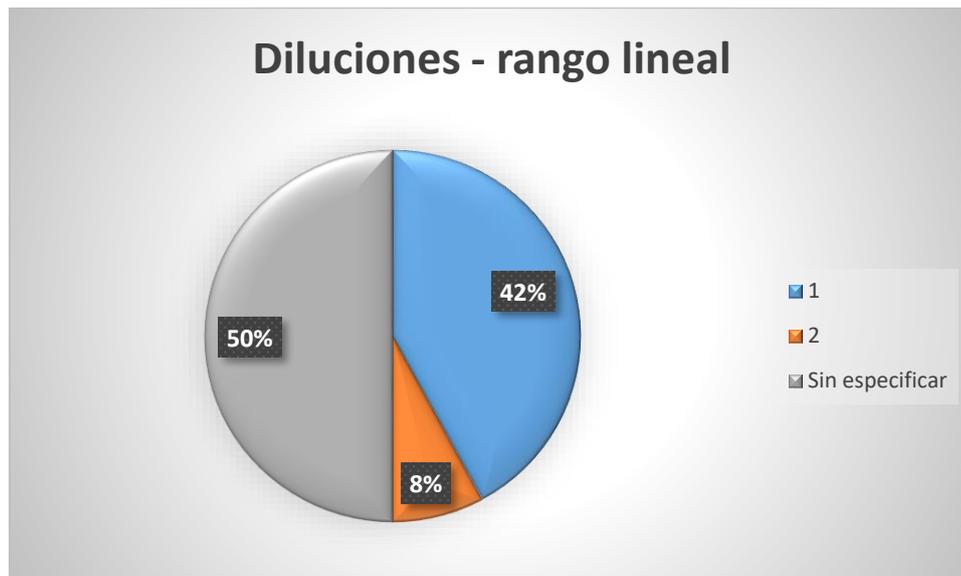


Imagen 16. Cantidad de diluciones realizadas para que la muestra se encuentre dentro del rango.

Fuente: Elaboración propia.

La mayor parte de los métodos analizados no especifican cuántas diluciones se llevan a cabo para poder trabajar en el rango lineal, estos son 19 métodos, correspondientes al 50% de los métodos obtenidos. De la mitad restante, 16 métodos hacen únicamente una dilución, generalmente de 10ml en 100ml, y 3 métodos realizan dos diluciones que no fueron especificadas con mayor detalle en los métodos expuestos.

A pesar de que en la mitad de los métodos no se especificaron las diluciones realizadas, lo más común es que se realice una dilución para poder alcanzar el rango lineal y permitir una correcta lectura del equipo.

Se analizó, como parte de la calibración del equipo, la longitud de onda utilizada para los diferentes metales, la lámpara que utiliza para la corrección del ruido de fondo, el tipo de llama que utiliza y la lámpara de cátodo hueco aplicada.

En el caso de la longitud de onda, se encontró en los métodos que hacen un análisis simultáneo que son policromáticos, es decir, pueden leer varias longitudes de onda de una muestra y dar un resultado global de todos los metales a analizar. En la mayoría de los métodos, de análisis individual, se detallan las longitudes de onda utilizadas. Se puede apreciar que los valores son iguales o muy próximos, en algunos casos, y en otros existen variaciones. Como en el caso del plomo, ciertos autores calibran el plomo en longitudes de onda de 283,3 nm o cercanas, mientras que otros calibran el plomo a 217,0 nm.

Amira Vasconez Sacoto



Mientras para el cadmio, el valor se encuentra entre 282,3 nm y 282,8 nm. Esto se debe a que los elementos muchas veces tienen dos longitudes de onda a las que se pueden medir, estas no deben ser necesariamente cercanas, sin embargo, esto no significa que sean erróneas.

Los elementos tienen diferentes longitudes de onda, puesto a que su espectro específico varía según el estado energético en el que se encuentran sus electrones. En el caso del plomo, estas longitudes de onda que lo caracterizan son 217 nm y 283,3 nm (Khan Academy, s. f.). Para el análisis de trazas de este metal, es indistinto si se usa cualquiera de estas dos, sin embargo, va a depender de la capacidad del equipo (Long et al., 1979). Es por ello que autores como (Ahmed et al., 2017) usa una longitud de onda de 283,3 nm, mientras que (Solano, 2018) utiliza la longitud de onda de 217 nm.

Según la energía que absorba el metal en la emisión de la lámpara, este va a devolver cierta energía al volver a su estado normal, esta es la longitud de onda que mide el monocromador. Cuando se aplica la espectroscopia de absorción atómica, se hace uso de lámparas que son capaces de emitir una longitud de onda característica para cada elemento a analizar. De esta capacidad de emisión, depende a qué longitud de onda se determina cada metal (Gil et al., 2014).

De los métodos que lo especifican, la lámpara de corrección de ruido de fondo que mayormente se utiliza es la de deuterio, exceptuando un caso que usa un corrector de ruido de fondo Zeeman. En el caso de análisis de trazas, es importante utilizar un corrector de fondo debido a que la sensibilidad del equipo es tan alta que puede medir pequeñas interferencias que alteren los resultados. Empleando el corrector de fondo, se puede hacer seguro que los resultados obtenidos sean de una mayor confiabilidad y exactitud, además de una mayor facilidad de lectura de los valores obtenidos y que las interferencias no se reflejen en el resultado arrojado por el equipo (Gomis, 2008).

La llama más común para este análisis es de aire/acetileno, esta se encontró en todos los métodos que detallaban esta parte, sin embargo, podría presumirse que los demás métodos aplicarían la misma llama. Según (Gallegos et al., 2012) la temperatura de la llama con esta combinación de gases varía entre 2100°C a 2400°C, esta es la óptima para llevar a cabo este tipo de análisis.



Por último, la lámpara de cátodo hueco dependerá del metal a analizar, esta es una de las partes fundamentales en la lectura, puesto que solo se realizará el análisis para el metal para el que la lámpara pueda emitir la longitud de onda especificada. En el caso de los métodos que analizan de manera simultánea, la lámpara emite longitudes de onda en varios niveles que permiten la lectura de manera simultánea de los metales a analizar.

El tipo de lámpara a utilizar depende de varios aspectos. Las lámparas continuas como discontinuas tienen sus ventajas y desventajas. Para las lámparas continuas, se tiene que abarcan un amplio espectro: desde el ultravioleta hasta el visible, sin embargo, estas necesitan un monocromador de elevado poder de resolución. Cuyo valor en el mercado es elevado. Las lámparas discontinuas, o de emisión discontinua, emiten longitudes de onda concretas, y tienen un costo más bajo. Razón por la cual suelen ser más usadas que las de emisión continua (Gomis, 2008).

**Análisis estadístico de datos.***Tabla 6. Análisis estadístico de datos. Fuente: Propia*

Método	Cantidad de muestras	r2	Precisión (RSD)	SD	LOD
1A	1	0,9992	No específica	No específica	No específica
1B	1	0,9964	No específica	No específica	No específica
2	1	0,9986	No específica	No específica	No específica
3	Triplicado	Pb: 0,995 Cd: 0,994 Ar: 0,998	<10%	No específica	Pb: 0,99 ppb Cd: 0,14 ppb As: 2,9 ppb
4	Cuadruplicado	0,999	<10%	No específica	0,25 ppm
5	Triplicado	No específica	<5%	No específica	No específica
6	Triplicado	0,982	No específica	No específica	No específica
7	No específica	No específica	No específica	0,01-0,89	No específica
8A	Triplicado	No específica	No específica	Pb: 0,01-0,08 Cd: 0,01-0,09 As: 0,01-0,08	No específica
8B	Triplicado	No específica	No específica	0,07-0,96	No específica
9	Triplicado	No específica	No específica	No específica	No específica
10	Triplicado	No específica	No específica	No específica	No específica
11	Triplicado	No específica	No específica	No específica	No específica
12	Duplicado	No específica	No específica	Pb: 1,4% Cr total: 1,7% Cr soluble: 4,9% As: 2,3% Co: 1,5% Ni: 1,9%	Pb: 0,5 ppm Cr t: 0,3 ppm Crs: 0,25 ppm As: 0,3 ppm Co: 0,5 ppm Ni: 0,5 ppm
13	1	No específica	No específica	Mn: 2,2 - 14,23 Ni: 3,29 - 4,79 Cu: 0 - 4,64 Cd: 0,2 - 0,58 Cr: 0 - 0,023 Pb: 0,042 - 0,12	Mn: 0,3 ppb Cd: 0,01 ppb Cr: 0,04 ppb Cu: 0,005 ppb Pb: 0,08 ppb Ni: 0,05 ppb
14	No específica	Cd: 0,9998 Cr: 0,9982	No específica	No específica	No específica



		Cu: 0,9991 Ni: 1.0000 Pb: 0,9996 Zn: 0,9996			
15	Triplicado	Pb: 0,9993 cd: 0,9997	No especifica	Cd: 0,01 - 1,53 Pb: 0 - 0,26	Pb: 0,19 ppb Cd: 0,02 ppb
16A	Triplicado	Pb: 0,9986 Cd: 0,999 As: 0,9995	No especifica	Pb: 37,3685 Cd: 1,07766 As: 139,23788	Pb: 24,9 ppb Cd: 0,69 ppb As: 14,85 ppb
16B	Triplicado	0,9993	No especifica	250,67%	5,69 ppb
17	No especifica	Pb: 0,9996 Cr: 0,9998	No especifica	Pb: 0,1 - 9,3 Cr: 0,3 - 7,2	No especifica
18	No especifica	0,999	No especifica	No especifica	No especifica
19	Cd: una lectura Pb: Duplicado	Cd: 0,9999 Pb: 0,9998	No especifica	No especifica	No especifica
20	Duplicado	0,999	No especifica	No especifica	0,34 ppm
21	10	Cu: 1,00 Fe: 1,00 Ni: 1,00 Pb: 0,998 Cd: 1,00 Mn: 1,00 Zn: 0,996	Cd: 2,3%-9,3% Cu: 1,1%-99,9% Fe: 0,8%-3,3% Mn: 0,7%-11,8% Ni: 2,5%-18,3% Pb: 2,5%-19,7% Zn: 0,9%-3,2%	No especifica	Cd: 16,9 ppb Cu: 4,7 ppb Fe: 15,9 ppb Mn: 5,23 ppb Ni: 30,7 ppb Pb: 95,5 ppb Zn: 7,7 ppb
22	10	Cu: 1,00 Fe: 0,998 Ni: 0,998 Pb: 0,998 Cd: 0,998 Mn: 1,00 Zn: 0,996	Cd: 7%-99,9% Cu: 0%-99,9% Fe: 0,8%-34,5% Mn: 2,2%-21,4% Ni: 4,4%-99,9% Pb: 2,7%-8,8% Zn: 0,9%-25,8%	No especifica	Cd: 11,3 ppb Cu: 9,91 ppb Fe: 3,62 ppb Mn: 6,61 ppb Ni: 98,6 ppb Pb: 73,8 ppb Zn: 4,10 ppb
23	No especifica	No especifica	No especifica	Pb: 0,01-0,033 Cd: 0-0,003 Cu: 0,002-0,013 Co: 0,002-0,003 Fe: 0,013-0,096 Cr: 0-0,006 Ni: 0,001-0,004 Zn: 0,0018-0,12	No especifica



24	Triplicado	No especifica	No especifica	Pb: 1,8 - 4,3 Cd: 0,17 - 0,92 Cr: 0 - 0,03	Pb: 0,05 ppm Cd: 0,1 ppm Cr: 0,05 ppm
25	Triplicado	Pb: 0,9967 Ni: 1,00 Cu: 0,9968 Zn: 0,9884 Fe: 0,9822	No especifica	Pb: 0,21 - 0,59 Ni: 0,029 - 0,55 Cu: 2,66 - 18,86 Zn: 0,002 - 16,11 Fe: 0,78 - 482,78	Pb: 5,0 ppb Ni: 2,5 ppb Cu: 1,25 ppb Zn: 0,5 ppb Fe: 2,5 ppb
26	Triplicado	No especifica	No especifica	Pb: 0 - 0,0175 Cr: 0,0013-0,012 Mn:0,0017-0,016 Zn: 0,0059-0,0687 Cu: 0,0057- 0,0178 Fe: 0-0,0183	Cr:0,0054ppm Fe:0,0034ppm Mn:0,0015ppm Pb: 0,0013ppm Zn: 0,0014ppm
27	Quintuplicado	No especifica	Cd: 1,7%-2,5% Pb: 1,8%-2,9% Sn: 1,4%-2,1%	Cd: 0,06 - 0,8 Pb: 0,06 - 0,5 Sn: 0,01 - 0,6	Cd: 3,70 ppb Pb: 1,35 ppb Sn: 0,45 ppb
28	No especifica	0,9972	9,89%	0,02 - 0,13	2,86 ppm
29	No especifica	No especifica	No especifica	Pb: 0,75 - 2,02 Cd: 5,45 - 19,16	No especifica
30	Duplicado	No especifica	No especifica	Fe: 98,6 - 167,6 Ni: 4,1 - 6,3 Pb: 40,4 - 67,5 Zn: 27,6 - 49,6 Cr: 4,1 - 12,7 Cd: 0,2 - 0,7	No especifica
31	No especifica	No especifica	No especifica	Cu: 0,4 - 1,5 Fe: 0,5 - 2,2	Cu: 1,9 ppb Fe: 2,2 ppb Pb: 2,5 ppb
32	Duplicado	No especifica	No especifica	Pb: 0,20 ppm Cd: 0,006 ppm Ni: 0,18 ppm Cr: 0,01 ppm	0,005 ppb
33	Quintuplicado	0,9992	No especifica	No especifica	0,05 ppm
34	No especifica	0,9987	1,369%-40,444%	0,00109 - 0,0104	No especifica
35	Triplicado	No especifica	No especifica	No especifica	No especifica



En la tabla precedente se especificaron las repeticiones de lecturas tomadas por cada método, el coeficiente de correlación (r^2), que tiene un valor para cada metal que se analiza en los diferentes métodos. Además, la precisión que viene determinada por la desviación estándar relativa (RSD), esta se da en porcentaje. Algunos trabajos en lugar de especificar el RSD, presentan el valor de desviación estándar (SD) obtenido por cada lectura, por lo que se ha dado un rango de los valores obtenidos en las diferentes lecturas. Por último, se consideró el límite de detección (LOD), el cual influye de manera significativa en el valor de SD puesto que en ocasiones la lectura es tan pequeña que representa una desviación grande debido a que se encuentra justo sobre el límite de detección.

La calidad de los resultados analíticos es de vital importancia para la siguiente sección del presente trabajo, esto puesto a que para escoger un método es sumamente importante conocer si los resultados obtenidos o a obtener son confiables y representativos para el trabajo que esté siendo desarrollado.

En lo que respecta a la desviación estándar, se considera buena si el 99,7% de los valores se ubican a no más de tres desviaciones estándar (J. Fernández, 2001). Como se conoce, el coeficiente de variación es igual a la desviación estándar relativa (RSD) expresada en porcentaje, es decir que es equivalente al valor reportado para precisión en los métodos descritos.

Según (Rivera & Rodríguez, 2010), en su estudio del coeficiente de Horwitz, dice que para que un resultado sea confiable, el límite de variación debe ser de máximo el 16% cuando son trazas que se determinan en ppm, mientras que cuando son ppb el límite puede ser hasta 45%. La mayor parte de los análisis cumplen con este requisito, teniendo %RSD en valores bajos desde el 0,7%, sin embargo, este valor puede llegar hasta el 99,9% debido a fallas en el uso de equipos por su elevado LOD, esto provoca errores de lectura que se traducen en un aumento del %RSD, obteniendo una precisión muy pobre en la investigación.

Dado que el límite de detección es la cantidad más baja del analito que se puede detectar, al estar trabajando con cantidades de la orden de ppb y ppm, el límite de detección tiene que ser más pequeño que el valor que se pretende encontrar, para de esta manera tener un resultado con mayor confiabilidad, pues si el LOD es mayor que la cantidad que se va a

analizar, entonces se incurre en errores que no permiten una lectura inequívoca del metal analizado.

Mientras menor sea la desviación estándar, se va a tener una mejor confiabilidad de los resultados analíticos. Esto se debe a que la desviación representa el grado de coincidencia que se tiene entre los resultados obtenidos de las lecturas de un mismo valor en repetidas ocasiones y en las mismas condiciones.



Imagen 17. Cantidad de lecturas tomadas por cada muestra. **Fuente:** Elaboración propia.

Mientras mayor número de lecturas se tome, se tiene una mejor veracidad de los resultados. Aunque generalmente, las lecturas se hacen por triplicado, esto porque se tiene una buena relación y es aceptado por la comunidad científica. La mayoría de los métodos, optaron por llevar a cabo los análisis en triplicado, 15 de los 38 métodos, representando el 39,5% del total. Uno de los métodos, especificó que de los dos metales de análisis, realiza una lectura para el Cadmio y dos lecturas para el Plomo, ambos valores se han considerado para este análisis, por lo que se tiene un total de 39 valores en la suma de esta categoría en lugar de 38. Dando 5 casos de una única lectura y 5 casos en los que se realiza, lecturas por duplicado. 2 de los métodos estudiados, realizan sus lecturas 10 veces a sus muestras, asegurando de esta manera la veracidad de sus resultados. De los 38 métodos analizados, 9 de ellos no reportan cuántas lecturas realizan.



En la cantidad de lecturas aplica el mismo concepto de los estándares utilizados. Cuando se tiene solo una lectura es imposible calcular una desviación estándar porque no se tiene ninguna otra referencia de comparación, mientras que si se toman mayor cantidad de lecturas, la desviación va a ser un indicador de la precisión del valor obtenido, llegando a definir que mientras mayor sea el número de lecturas tomadas por muestra, se va a tener una mejor calidad de los resultados. Lo recomendable es que sean a partir de 3 lecturas, es decir, por triplicado.

Sin embargo, (Magnusson & Öremark, 2014) señalan que para proyectos de investigación típicamente son llevadas a cabo entre 6 a 15 réplicas o lecturas, en caso de usar protocolos de validación, esta cantidad se establece en 10 lecturas. Lo que se considera como un adecuado para obtener una desviación estándar real.

El mínimo aceptable para el coeficiente de correlación o r^2 en una investigación es de 0,95. Ninguno de los métodos que reportó el valor del coeficiente de correlación dio un resultado menor a este. Sino, que todos los valores están por encima de 0,98. Dando así resultados confiables con una muy buena correlación entre los valores obtenidos en los estudios respectivos. Sin embargo, 18 de los 38 métodos analizados no reportaron su valor de este importante coeficiente, limitando de la calidad de la curva de calibración de referencia.

El r^2 (coeficiente de correlación o determinación) indica la variación, en un rango de 0 a 1, de los resultados analíticos tomando como referencia una o varias variables de respuesta que está especificada por valores de entrada. Mientras más cercano sea el valor a 1, la correlación es mejor, dando como resultado un análisis de mejor calidad analítica o con un mejor ajuste de datos (Ross, 2018).

CAPÍTULO IV

Conclusiones

Dentro de los 38 métodos analizados, se encontró que algunos de ellos fueron validados haciendo uso de los análisis estadísticos correspondientes, tales como la desviación estándar o desviación estándar relativa, y parámetros como el coeficiente de correlación, sin embargo, al buscar métodos que estén estandarizados o normalizados, no se tuvo éxito.

Se revisaron diferentes bases de datos para realizar la recolección de métodos, no se encontró documentos normalizados ni pertenecientes a organismos de regulación de organizaciones gubernamentales o no gubernamentales que detallen métodos para llevar a cabo la determinación de metales pesados por espectroscopia de absorción atómica. Además de un límite máximo establecido por la FDA para ciertos metales pesados, no se obtuvo mayor información de organismos. Determinando con esto la despreocupación de los organismos para llevar una mejor regulación del sector cosmético. A pesar de que la industria cosmética tiene un elevado porcentaje del mercado, no se le da la importancia suficiente para asegurar que el producto tenga la mejor calidad posible para no afectar a la salud de quienes los utilizan.

Considerando todos los aspectos expuestos anteriormente, se pueden encontrar varias coincidencias entre los métodos, además de ventajas y desventajas que estos presentan. En todos los métodos revisados, se somete a la muestra a secado o calentamiento, esto para eliminar la humedad de la misma y parte del contenido orgánico presente en la muestra, esto se puede hacer mediante secadores/hornos comunes o con hornos microondas que aceleran el proceso, consiguiendo un tiempo de tratamiento de la muestra más corto. Si el tiempo es un factor de interés, entonces deberá buscarse un método que aplique la tecnología con horno microondas.

En cuanto al uso de reactivos, el uso de HNO_3 es repetitivo, dada la aplicación que tiene el método y que se ha usado en ciertos artículos que han sido validados, el uso de este se seguirá llevando a cabo por la confiabilidad que representa, obteniendo una mejor recuperación de los metales de interés, lo que como consecuencia incurre en una mayor



exactitud. Además, este ácido es de fácil acceso, es decir, que se puede encontrar en el mercado sin mayor problema. Por lo que si el acceso a reactivos es un factor a considerar, los métodos que lo utilicen no generarán mayor problema.

En lo que respecta al equipo, el 50% de los métodos usa el espectrofotómetro de absorción atómica de llama, a pesar de que este presenta desventajas frente al de horno de grafito. Lo cual lleva a pensar que el de llama tiene un manejo es más sencillo o que tiene un costo operativo menor que el horno de grafito. Sin embargo, no se dan mayores justificaciones de su uso.

Mientras mayor número de estándares y lecturas se tenga por cada metal analizado, se obtienen mejores resultados. Esto se comprueba estadísticamente mediante el análisis de elementos estadísticos como la desviación estándar y el ajuste de la curva de calibración.

Entre los métodos que han sido validados se encontraron un total de 14 métodos validados, sin embargo, no en todos ellos se detallan las características estadísticas que permitan la verificación de sus resultados. Dentro de los esperado en un artículo para ser validado es una desviación estándar y desviación estándar relativa, baja; un ajuste r^2 mayor a 0,99; que el límite de detección esté significativamente por debajo de los valores medidos; y que la cantidad de lecturas por muestra sea de 3 o superior, aunque esperando llegar al óptimo de 10 lecturas. Si se busca un método que cumpla con todos estos requerimientos, los que mejor se adaptan son los métodos 21 y 22, que incluso cuentan con 5 puntos para la curva de calibración. Ambos métodos fueron desarrollados por (Carruesco & Rubio, 2016) en una tesis de grado.

Finalmente, el mejor método considerando aspectos tecnológicos, de tiempo, tecnología, velocidad de análisis, facilidad de adquisición de reactivos y calidad de resultados analíticos, el que cumple de mejor manera con todos estos es el método 25. Este fue recuperado de la revista *Cosmetic Journal*, a través de ResearchGate. Usa un peso de 1g de muestra, lo cual se consideró como un valor general. Dentro de los reactivos que utiliza se encuentra el HNO_3 y el H_2O_2 , ambos reactivos son fáciles de conseguir. Además, para que el tiempo de preparación de la muestra sea corto, usa un horno microondas para reducir el tiempo de secado. Aplica la adición de estándar para la calibración puesto a que considera que es más fácil que intentar conseguir una matriz similar mediante estándar externo, dada a la complejidad de la matriz. Usa reactivos certificados para la preparación de los estándares, puesto que estos tienen un mayor grado de confiabilidad por las

Amira Vasconez Sacoto



especificaciones que tienen. Realiza las lecturas por triplicado, para tener un mejor ajuste, y es un método que ha sido validado por sus resultados estadísticos.



Recomendaciones

Valorar la inversión en equipos, reactivos, tiempos, para que se considere su aplicación en control de calidad o en estudios toxicológicos porque dado la frecuencia de uso eso es lo que preocupa; puesto que para investigaciones u ONG puede ser un factor importante a considerar.

Además, se recomienda realizar la experimentación pertinente que permita corroborar cual es el mejor método según los resultados obtenidos en la presente revisión bibliográfica.



BIBLIOGRAFÍA

- Ahmed, H. A. M., Al-Qahtani, K. M. A., Emara, H., Janjua, M. N., Alhafez, N., & Al-Otaibi, M. B. (2017). Determination of Some Heavy Metals in Eye Shadows Cosmetics. *Asian Journal of Chemistry*, 29(7), 1441-1446. <https://doi.org/10.14233/ajchem.2017.20499>
- Alcalde, T., & Del Pozo, A. (2004). *Barras de labios*. 23(11), 3.
- Al-Saleh, I., Al-Enazi, S., & Shinwari, N. (2009). Assessment of lead in cosmetic products. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 54(2), 105-113. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2009.02.005>
- Amil, G. (2016). *El manual definitivo sobre los pintalabios: Tipos y usos*. Bulevar Sur. <https://sevilla.abc.es/estilo/bulevarsur/noticias/belleza/manual-de-pintalabios-cual-es-el-tuyo/>
- APA. (s. f.). *Empirical method*. Recuperado 4 de marzo de 2021, de <https://dictionary.apa.org/empirical-method>
- Arnaud, V. (2020). Todo lo que debes saber sobre los labiales. *Valuna.co | Maquillaje y Accesorios | Envíos a todo Colombia*. <https://valuna.co/todo-sobre-labiales/>
- Arshad, H., Mehmood, M. Z., Shah, M. H., & Abbasi, A. M. (2020). Evaluation of heavy metals in cosmetic products and their health risk assessment. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 28(7), 779-790. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2020.05.006>
- Asencio, J. (2019). *Mano en garra asimétrica: MADSAM* [Text]. Neurorecordings. <https://doi.org/10.26429/nr-4978>
- Benaiges, A. (2004). Cosmética decorativa: Maquillajes, barras de labios y lacas de uñas. *OFFARM*, 23, 94-102.



- Blesa, M., & Castro, G. (2015). *Historia natural y cultural del mercurio* (1.ª ed., Vol. 1). Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias.
http://aargentinapciencias.org/wp-content/uploads/2017/10/libro_historia_natural_cultural_mercurio.pdf
- Bonet, R., & Garrote, A. (2007). Cosmética labial. *Offarm*, 26(3), 74-78.
- Bridgman, P. W., & Holton, G. (2020). Empirical method. *Access Science*.
<https://doi.org/10.1036/1097-8542.231000>
- Caballero, A. (2015). *Validación de métodos analíticos* [Educación].
<https://es.slideshare.net/arturo.caballero/validacin-de-mtodos-analticos-50032949>
- Carruesco, A., & Rubio, C. (2016). *Determinación y cuantificación de metales pesados en cosméticos por espectroscopia de absorción atómica y validación de un método de digestión de la muestra* [Tesis de grado]. Univerdad Zaragoza.
- Castillo, S., & Hernández, M. (2017). *Determinación de Plomo y Cadmio en barras labiales comercializadas en el mercado Huascar del Distrito de San Juan de Luriango de Lima en el período junio—Agosto del 2016* [Universidad Wiener].
<http://repositorio.uwiener.edu.pe/bitstream/handle/123456789/919/TITULO%20-%20Castillo%20Caysahuana%2C%20Susan%20Eiko.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cirera, A. (1862). *Tratado de terapéutica general*. Diario de Barcelona.
<https://books.google.com.ec/books?id=gED0qikgMBsC&pg=PA21&dq=que+es+un+metodo+empirico&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjtiriZwMzuAhWRjlkKHXUqA14Q6AEwAHoECAUQAg#v=onepage&q=que%20es%20un%20metodo%20empirico&f=true>
- Delgado, C. (2019). DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA EN SOMBRAS DE OJOS QUE SE COMERCIALIZAN EN LOS MERCADILLOS DE TACNA, 2014. *Revista Médica Basadrina*, 12(1), 23-27. <https://doi.org/10.33326/26176068.2018.1.629>
- Duque, M., Coy, G., & Bojaca, R. (2020). *Estandarización de métodos analíticos*. 02, 12.



- El Telégrafo. (2017). La industria cosmética ecuatoriana crece en promedio 18% anual. *El Telégrafo - Noticias del Ecuador y del mundo*.
<https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/8/la-industria-cosmetica-ecuatoriana-crece-en-promedio-18-anual>
- Escobedo, K. (2018). *Factibilidad de la comercialización de labiales orgánicos elaborados con cacao para el mercado de Lima Metropolitana* [Universidad de San Martín de Porres].
http://www.repositorioacademico.usmp.edu.pe/bitstream/handle/usmp/4554/escobedo_ckl.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Espada, B. (2019). *Cómo hacer sombras de ojos caseras de forma fácil paso a paso*.
okdiario.com. <https://okdiario.com/howto/como-hacer-sombras-ojos-caseras-4227063>
- Espejo, M. (2016). *Importancia de la calibración en los laboratorios de química analítica*.
Universidad de Sevilla.
- FDA. (2019). Testing of Cosmetics for Arsenic, Cadmium, Chromium, Cobalt, Lead, Mercury, and Nickel Content. *FDA*. <http://www.fda.gov/cosmetics/potential-contaminants-cosmetics/fdas-testing-cosmetics-arsenic-cadmium-chromium-cobalt-lead-mercury-and-nickel-content>
- Fernández, J. (2001). *La estadística en Química Analítica*. Universidad de Navarra.
<https://dadun.unav.edu/bitstream/10171/27822/1/2001-Estad%C3%ADstica%20en%20QA.pdf>
- Fernández, L., Rojas, L., & Lapo, B. (2015). *Desarrollo experimental en Análisis Instrumental* (Primera Edición). Ediciones UTMACH.
- Gallegos, W., Vega, M., & Noriega, P. (2012). Espectroscopía de absorción atómica con llama y su aplicación para la determinación de plomo y control de productos cosméticos. *La Granja*, 15(1), 19. <https://doi.org/10.17163/lgr.n15.2012.02>



- Gehle, K. (2019). *La toxicidad del arsénico, ¿Cuáles son las normas y las regulaciones para la exposición al arsénico?* ATSDR.
https://www.atsdr.cdc.gov/es/csem/arsenic/normas_regulaciones.html
- Gil, F., Pla, A., Hernández, A., Conde, L., & López, O. (2014). *Determinación de Metales por absorción atómica. Llama*. Departamento de Medicina Legal, Toxicología y Psiquiatría.
<https://www.ugr.es/~fgil/proyecto/llama/fundamento.html>
- Gomez, A. (2015). *El lápiz labial: Identidad, presentación y experiencias de la feminidad en Lima, Perú*. ResearchGate.
https://www.researchgate.net/publication/298438350_El_lapiz_labial_Identidad_presentacion_y_experiencias_de_la_feminidad_en_Lima_Peru
- Gomis, V. (2008). *Espectroscopía de emisión y absorción atómica*.
<https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8252/4/T7Abasorc.pdf>
- González, J., & Castro, S. (2010). *Investigación de mercados, labial Superstay Wine de Maybelline New York* [Universidad EAN].
<https://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/482/GonzalezJuanita2010.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Hurtado, A., & Méndez, J. (2019). *Determinación de cadmio en sombras para ojos en ocho marcas comercializadas en Cercado de Lima* [Universidad Nacional Mayor de San Marcos].
https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/10517/Hurtado_ma.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- INEN. (2015). *Productos cosméticos. Requisitos*.
https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2867.pdf
- Jimenez, Y., & Alvarez, M. (2012). Determinación simultánea de Cd, Pb y Tl en orina mediante Espectroscopia de absorción atómica con atomizadores electrotérmicos. *CIENCIA*, 20, 175-184.
- Amira Vasconez Sacoto



- Khan Academy. (s. f.). *Spectroscopy: Interaction of light and matter*. Khan Academy.
- Recuperado 5 de junio de 2021, de <https://www.khanacademy.org/science/ap-chemistry/electronic-structure-of-atoms-ap/bohr-model-hydrogen-ap/a/spectroscopy-interaction-of-light-and-matter>
- Laguna, L., & Ricaldi, E. (2017). *Determinación de plomo y arsénico en lápices labiales de diferentes marcas que se expenden en Lima Metropolitana*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Łodyga-Chruścińska, E., Sykuła, A., & Więdołcha, M. (2018). Hidden Metals in Several Brands of Lipstick and Face Powder Present on Polish Market. *Cosmetics*, 5(4), 57.
- <https://doi.org/10.3390/cosmetics5040057>
- Long, S. J., Suggs, J. C., & Walling, J. F. (1979). Lead Analysis of Ambient Air Particulates: Interlaboratory Evaluation of EPA Lead Reference Method. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 29(1), 28-31. <https://doi.org/10.1080/00022470.1979.10470747>
- Magnusson, B., & Öremark, U. (2014). *The fitness for purpose of analytical methods: A laboratory guide to method validation and related topics* (2da ed.).
- https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/MV_guide_2nd_ed_EN.pdf
- Mandle, R. (2015). Assay Validation Methods. *BioSciences Research Associates*, 4.
- Mansilla, M., Castroviejo, P., & Delgado, J. (2020). *Digestión de Muestras*. Universidad de Burgos. <https://www.ubu.es/parque-cientifico-tecnologico/servicios-cientifico-tecnicos/otras-tecnicas/digestion-de-muestras-d>
- Medina, M., Robles, P., Mendoza, M., & Torres, C. (2018). Ingesta de arsénico: El impacto en la alimentación y la salud humana. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35, 93-102. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.351.3604>
- Mendoza, B., Marcó, L., Almao, L., & Rodríguez, V. (2014). Evaluación de dos métodos de digestión ácida en el análisis de tejido foliar de caña. *Ciencia y Tecnología*, 7, 9-20.



Monteagudo, F. (2001). *Evaluación de la contaminación por mercurio en población de mineros artesanales de oro de la Comunidad de Santa Filomena—Ayacucho—Perú, durante el período de agosto 2000—Septiembre 2001* [Tesis de grado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].

https://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtualData/Tesis/Salud/Monteagudo_M_F/Generalidades.pdf

Morocho, J., & Astudillo, E. (2018). *Determinación de ceras y metales pesados en labiales genéricos comercializados en el Austro ecuatoriano*. Universidad Politécnica Salesiana.

OMS. (s. f.). *Diez sustancias químicas que constituyen una preocupación para la salud pública*.

WHO; World Health Organization. Recuperado 23 de marzo de 2020, de

http://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/chemicals_phc/es/

Ordis, A. (2013). El lápiz labial. *Cosmética a Medida*.

<https://www.cosmeticamedida.com/2013/03/10/el-lapiz-labial/>

Oyola, A., Soto, M., & Quispe, M. (2014). La antigüedad de las referencias bibliográficas en publicaciones científicas. *Anales de la Facultad de Medicina*, 75(4), 381-381.

<https://doi.org/10.15381/anales.v75i4.10863>

Pérez, E., & Alvarado, D. C. (2018). Cuantificación por absorción atómica de Cu, Fe y Zn en alcohol destilado y agua. *UNED Research Journal*, 10(2), 387-396.

<https://doi.org/10.22458/urj.v10i2.1998>

Pérez, G. A., & Iannacone, J. A. (2020). Descripción analítica de los ácidos para la digestión química en muestras biológicas expuesta a metales. *Biotempo*, 17(1), 71-77.

<https://doi.org/10.31381/biotempo.v17i1.2997>

Poma, P. A. (2008). Intoxicación por plomo en humanos. *Anales de la Facultad de Medicina*, 69(2), 120-126.

Poulin, J., & Gibb, H. (2008). *Mercurio. Evaluación de la carga de morbilidad ambiental a nivel nacional y local*. OMS.



https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/78130/9789243596570_spa.pdf;jsessionid=D0D4E058469F06D843A6B8AEAED41A8A?sequence=1

PRTR España. (2011). *Ar (Arsénico y compuestos)*. <https://prtr-es.es/Ar-Arsenico-y-compuestos,15604,11,2007.html>

Ramírez, A. V. (2013a). El cuadro clínico de la intoxicación ocupacional por plomo. *Anales de la Facultad de Medicina*, 66(1), 57. <https://doi.org/10.15381/anales.v66i1.1352>

Ramírez, A. V. (2013b). Exposición ocupacional y ambiental al arsénico: Actualización bibliográfica para investigación científica. *Anales de la Facultad de Medicina*, 74(3), 237-248.

Razmilic, B. (2009). *Espectroscopía de Absorción Atómica*.

<http://www.fao.org/docrep/field/003/ab482s/ab482s04.htm>

Rivera, C., & Rodríguez, M. (2010). *Uso de la Ecuación de Horwitz en laboratorios de ensayos NMX-EC-17025-IMNC-2006*. Centro Nacional de Metrología.

Rodríguez, G., & Blanco, R. (2001). Aseguramiento de la calidad analítica y norma ISO 17 025 en laboratorios clínicos y químicos. *Revista Costarricense de Ciencias Médicas*, 22(1-2), 83-97.

Rodríguez, R. (2016). *Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat*. Universidad Politécnica de Catalunya.

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/94296/05MetalesComponentesSedimentos01.pdf;05MetalesComponentesSedimentos01.pdf>

Rojas, B., Cásares, M., Viloria, F., & Chaparro, E. (2013). Análisis bibliométrico de la literatura científica publicada en la revista de la facultad de ciencias veterinarias de la Universidad Central de Venezuela: Período 2002-2011. II. Indicadores de consumo. *Revista de la Facultad de Ciencias Veterinarias*, 54(2), 116-126.

Ross, S. M. (2018). *Introducción a la estadística*. Reverte.

Ruiz, H. G. (2008). *Control de Calidad en Resultados Analíticos*. 55.



- Saadatzadeh, A., Afzalan, S., Zadehdabagh, R., Tishezan, L., Najafi, N., Seyedtabib, M., & Noori, S. M. A. (2019). Determination of heavy metals (lead, cadmium, arsenic, and mercury) in authorized and unauthorized cosmetics. *Cutaneous and Ocular Toxicology*, 38(3), 207-211. <https://doi.org/10.1080/15569527.2019.1590389>
- Sainio, E., Jolanki, R., Hakala, E., & Kanerva, L. (2000). Metals and arsenic in eye shadows. *Contact Dermatitis*, 42(1), 5-10. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0536.2000.042001005.x>
- Salazar, L. (2013). *La historia de la sombra para ojos*.
- Sánchez, A. (2018). *Métodos de calibrado*.
http://webdelprofesor.ula.ve/ciencias/angelisa/Downloads/tecnicascalibracio_vr1.pdf
- Shahbandeh, M. (2020). *Lipstick brands: Unit sales United States 2019*. Statista.
<https://www.statista.com/statistics/503275/lipstick-brands-unit-sales-in-the-us/>
- Silva, S. (2019). Validación del método de calcinación en la determinación del contenido de la materia orgánica del suelo. *Universidad Nacional Agraria La Molina*.
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/4154>
- Solano, M. (2018). *Determinación de plomo en lápices delineadores de ojos de procedencia china comercializados en el Centro de Lima. Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 84.
- Ubillus, J. (2003). *Estudio sobre la presencia de plomo en el medio ambiente de Talara*.
https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Ingenie/ubillus_lj/cap2.pdf
- US EPA. (2016). *Información básica sobre el mercurio* [Overviews and Factsheets]. US EPA.
<https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-basica-sobre-el-mercurio>
- Valdivia, M. (2005). Intoxicación por plomo. *Revista de la Sociedad Peruana de Medicina Interna*, 18, 6.
- Viangre, J. (2015). *Calidad de métodos analíticos*. FAO. <http://www.fao.org/3/Ah833s15.htm>



- Volpe, M. G., Nazzaro, M., Coppola, R., Rapuano, F., & Aquino, R. P. (2012). Determination and assessments of selected heavy metals in eye shadow cosmetics from China, Italy, and USA. *Microchemical Journal*, 101, 65-69. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2011.10.008>
- Walton, H., & Reyes, J. (1983). *Análisis químico e instrumental moderno*. Reverte.
- Wilkinson, J., & Moore, R. (1990). *Cosmetología de Harry*. Ediciones Díaz de Santos.
- World Health Organization. (2002). *Validación de métodos analíticos*. WHO.
https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2008/13_Modulo_VALIDACION_de_Metodos_Fisicoqcos.pdf
- World Health Organization. (2018). *Sistema de gestión de la calidad en el laboratorio*. WORLD HEALTH ORGANIZATION.
- Yarto, M., Gavilán, A., & Castro, J. (2004). La contaminación por mercurio en México. *Gaceta Ecológica*, 14.

ANEXOS

Índice de Price

El índice de Price hace alusión al porcentaje de referencias bibliográficas que tienen una antigüedad menos a 5 años. Para el cálculo de este índice es necesario contar el número de documentos totales contenidos en la bibliografía, y contar los artículos que tengan una antigüedad igual o menor a 5 años. Se divide el número de artículos con antigüedad menor a 5 años para el total de artículos, y se multiplica por 100 para obtener el valor en porcentaje (Rojas et al., 2013).

$$Price = \frac{\# \text{ de artículos antigüedad igual o menor a 5 años}}{\# \text{ de artículos totales consultados}} * 100$$

Tabla del análisis según los metales pesados que analiza el método

Tabla 7. Metal o metales analizados por cada método. Fuente: Propia

Método	Metales que analiza	Análisis simultáneo/individual
1A	Plomo	Individual
1B	Arsénico	Individual
2	Cadmio	Individual
3	Arsénico, Cadmio y Plomo	Individual
4	Plomo	Individual
5	Plomo	Individual
6	Plomo y Cadmio	Individual
7	Plomo	Individual
8A	Plomo, Cadmio y Arsénico	Simultáneo
8B	Mercurio	Individual
9	Plomo, Cadmio, Cromo, Hierro y Níquel	Simultáneo
10	Plomo, Cadmio y Níquel	Simultáneo
11	Mercurio	Individual
12	Plomo, Cobalto, Níquel y Cromo	Individual



13	Manganeso, Níquel, Cobre, Cadmio, Cromo y Plomo	Individual
14	Cadmio, Cromo, Cobre, Níquel y Plomo	Individual
15	Plomo y Cadmio	Individual
16A	Plomo, Cadmio y Arsénico	Individual
16B	Mercurio	Individual
17	Plomo y Cromo	Individual
18	Plomo	Individual
19	Plomo y Cadmio	Individual
20	Plomo	Individual
21	Cadmio, Cobre, Hierro, Manganeso, Níquel, Plomo y Zinc	Individual
22	Cadmio, Cobre, Hierro, Manganeso, Níquel, Plomo y Zinc	Individual
23	Cadmio, Cobre, Cobalto, Hierro, Cromo, Níquel, Plomo y Zinc	Individual
24	Plomo, Cadmio y Cromo	Individual
25	Plomo, Níquel, Cobre y Zinc	Individual
26	Plomo, Cromo, Manganeso, Zinc, cobre y Hierro	Individual
27	Cadmio, Plomo y Estaño	Individual
28	Zinc	Individual
29	Plomo y Cadmio	Individual
30	Plomo, Cadmio, Cromo, Níquel, Hierro y Zinc	Individual
31	Plomo, Cobre y Hierro	Individual



32	Plomo, Cadmio, Cromo y Níquel	Individual
33	Plomo	Individual
34	Plomo	Individual
35	Plomo	Individual

Tabla del análisis según el tipo de cosmético que se analiza

Tabla 8. Tipo de cosmético que analiza cada método. Fuente: Propia

Método	Cosmético al que aplica
1A	Labial
1B	Labial
2	Sombra de ojos
3	Sombra de ojos, labial, máscara de pestañas, lápiz de cejas
4	Sombra de ojos, labial
5	Sombra de ojos
6	Labial
7	Sombra de ojos
8A	Labial, delineador, polvo y tinte para cabello
8B	
9	Labial, base de rostro, crema, tinte de cabello, bloqueador solar
10	Labial, crema, vaselina
11	Labial, crema, vaselina
12	Sombra de ojos
13	Polvo, crema, labial
14	Delineador de ojos, lápiz de ojos, máscara de pestañas, labial, polvo, crema de rostro y de cuerpo, bloqueador, vaselina, kohl.
15	Labial
16A	Sombra de ojos
16B	Sombra de ojos
17	Sombra de ojos
18	Delineador de ojos
19	Labial
20	Labial
21	Sombra de ojos, polvo, esmalte de uñas, máscara de pestañas
22	Sombra de ojos, polvo, esmalte de uñas, máscara de pestañas
23	Shampoo, talco, labial, crema, kohl



24	Crema de rostro
25	Labial y polvo
26	Crema de cuerpo, base de rostro, labial, brillo de labios, bloqueador solar, crema de bebé
27	Shampoo, acondicionador de cabello, tinte de cabello, labial, esmalte de uñas, gel, polvo, base de rostro, delineador de ojos, limpiador facial
28	Cosméticos en crema
29	Labial y sombra de ojos
30	Lápiz de ojos, máscara de pestañas, labial, vaselina
31	No especifica
32	Crema de cuerpo, polvo, jabón, labiales y maquillaje de ojos
33	Tintes cosméticos
34	Sombra de ojos
35	Labial

Tablas del análisis según el método de calibración del espectrofotómetro.

Tabla 9. Calibración para cada método. Fuente: Propia

Método	Tipo	Cantidad de estándares	Concentración	Diluciones	Técnica empleada	Estándar para calibración
1A	Estándar externo	5	4 a 18 ppb (ug/L)	2	A.A. Horno de grafito	No especifica
1B	Estándar externo	4	1 a 8 ppb	2	A.A. Horno de grafito	No especifica
2	Estándar externo	5	1 a 20 ppb	1	A.A. Horno de grafito	Reactivos certificados
3	Estándar externo	6	Pb y Ar: 0,0125 a 0,05 ppm Cd: 0,001 a 0,005 ppm	1	A.A. Horno de grafito	Reactivos certificados
4	Adición de estándar	No especifica	0,25 a 4 ppm (ug/mL)	1	A.A. Horno de grafito	Reactivos certificados
5	Estándar externo	3	1 a 5 ppm	1	A.A. de llama	Reactivos certificados
6	Estándar externo	5	1 a 12 ppm	No especifica	A.A. Horno de grafito	Reactivos certificados



7	Estándar externo	3	No especifica	2	A.A. de llama	Reactivos certificados
8A	No especifica	No especifica	No especifica	1	A.A. de llama	-
8B	No especifica	No especifica	No especifica	1	A.A. Vapor frío	-
9	Estándar externo	5	No especifica	No especifica	A.A. Horno de grafito	Reactivos certificados
10	Estándar externo	5	No especifica	1	A.A. de llama	Reactivos certificados
11	Estándar externo	5	No especifica	No especifica	A.A. sin llama	Reactivos certificados
12	No especifica	No especifica	Pb: 10 a 300 ppb Cr: 3 a 50 ppb Ar: 2 a 100 ppb Co: 3 a 100 ppb Ni: 3 a 200 ppb	1	A.A. electrotermal	Reactivos comerciales
13	Estándar externo	4	Cd: 0 a 0,5 ppm Cr: 0 a 1,5 ppm Mn: 0 a 3,5 ppm Ni: 0 a 3,5 ppm Cu: 0,5 a 2 ppm	No especifica	A.A. de llama	Reactivos certificados
14	Estándar externo	No especifica	0,5 a 5 ppb	1	A.A. de llama y de grafito	Reactivos certificados
15	No especifica	10	0,0004 a 4 ppm	1	A.A. de llama	No especifica
16A	Estándar externo	No especifica	No especifica	1	A.A. Horno de grafito	Reactivos certificados
16B	Estándar externo	No especifica	No especifica	1	A.A. de llama	Reactivos certificados
17	Adición de estándar	5	Pb: 1 a 6 ppb Cr: 0,8 a 4 ppb	1	A.A. Horno de grafito	Reactivos certificados
18	Estándar externo	4	100 a 1000 ppb	1	A.A. Horno de grafito	Reactivos certificados
19	Estándar externo	4	Cd: 0,25 a 1 ppm Pb: 25 a 100 ppm	No especifica	A.A. Horno de grafito	Reactivos certificados
20	Estándar externo	5	1 a 12 ppm	No especifica	A.A. Horno de grafito	Reactivos certificados



21	Estándar externo	5	Cd: 0,02 a 3 ppm Cu: 0,03 a 10 ppm Fe: 0,06 a 15 ppm Mn: 0,02 a 5 ppm Ni: 0,1 a 20 ppm Pb: 0,1 a 30 ppm Zn: 0,01 a 2 ppm	Difiere para cada producto	A.A. de llama	Reactivos certificados
22	Estándar externo	5	Cd: 0,02 a 3 ppm Cu: 0,03 a 10 ppm Fe: 0,06 a 15 ppm Mn: 0,02 a 5 ppm Ni: 0,1 a 20 ppm Pb: 0,1 a 30 ppm Zn: 0,01 a 2 ppm	Difiere para cada producto	A.A. de llama	Reactivos certificados
23	No específica	No específica	No específica	No específica	A.A. de llama	Reactivos certificados
24	Adición de estándar	No específica	No específica	1	A.A. de llama	Reactivos certificados
25	Adición de estándar	3	Zn: 0,5 a 2 ppm Fe: 1,5 a 10 ppm Ni: 2,5 a 10 ppm Pb: 5 a 20 ppm	1	A.A. de llama	Reactivos certificados
26	Estándar externo	No específica	No específica	No específica	A.A. de llama	Reactivos certificados
27	Adición de estándar	No específica	Cd: 12 a 330 ppb Pb: 4 a 200 ppb Sn: 1 a 275 ppb	No específica	A.A. de llama	Sales de alta pureza
28	Estándar externo	7	0,1 a 1,2 ppm	No específica	A.A. de llama	Reactivos certificados
29	Estándar externo	No específica	No específica	No específica	A.A. Horno de grafito	Reactivos certificados
30	No específica	No específica	No específica	No específica	A.A. de llama	No específica
31	No específica	No específica	No específica	No específica	A.A. de llama	Reactivos certificados
32	Estándar externo	No específica	Pb: 0,3 a 44 ppm Ni: 0,3 a 44 ppm Cd: 0,01 a 0,2ppm Cr: 0,04 a 0,4ppm	No específica	A.A. Horno de grafito	No específica



33	Estándar externo	No específica	No específica	No específica	A.A. de llama	Reactivos certificados
34	Estándar externo	4	1 a 16 ppb	No específica	A.A. Horno de grafito	Reactivos certificados
35	No específica	No específica	No específica	No específica	A.A. de llama	No específica

Tabla 10. Calibración del equipo para cada método. Fuente: Propia

Método	Longitud de onda	Lámpara	Gases	Fuente de luz
1A	283,3 nm	Deuterio	No específica	Lámpara de cátodo hueco de plomo
1B	193,7 nm	Deuterio	No específica	Lámpara de cátodo hueco de arsénico
2	228,8 nm	Deuterio	No específica	Lámpara de cátodo hueco de Cadmio
3	No específica	No específica	No específica	No específica
4	No específica	Deuterio	No específica	No específica
5	288,3 nm	No específica	Aire/acetileno	Lámpara de cátodo hueco de plomo
6	No específica	No específica	No específica	No específica
7	217,0 nm	No específica	Aire/acetileno	No específica
8A	Policromático	No específica	No específica	No específica
8B	No específica	No específica	No específica	No específica
9	Policromático	No específica	No específica	No específica
10	Policromático	No específica	Aire/acetileno	No específica
11	No específica	No específica	No específica	No específica



12	Pb: 283,3 nm Cr: 357,9 nm Ar: 193,7 nm Co: 242,5 nm Ni: 232,0 nm	Zeeman background correction	No especifica	No especifica
13	Mn: 279,5 nm Cd: 228,8 nm Cr: 357,9 nm Cu: 324,8 nm Pb: 283,3 nm Ni: 232,0 nm	No especifica	No especifica	No especifica
14	Cd: 228,8 nm Cr: 357,9 nm Cu: 324,8 nm Ni: 232,4 nm Pb: 283,3 nm	No especifica	No especifica	No especifica
15	No especifica	No especifica	No especifica	No especifica
16A	Pb: 283,3 nm Cd: 228,3 nm As: 197,2 nm	No especifica	No especifica	No especifica
16B	253,7 nm	No especifica	No especifica	No especifica
17	No especifica	No especifica	No especifica	No especifica
18	217 nm	Deuterio	No especifica	Lámpara de cátodo hueco de plomo
19	Cd: 228,8 nm Pb: 283,3 nm	No especifica	No especifica	No especifica
20	No especifica	No especifica	No especifica	No especifica
21	Cd: 228,8 nm Cu: 324,8 nm Fe: 248,3 nm Mn: 279,5 nm Ni: 232,0 nm Pb: 217,0 nm Zn: 213,9 nm	No especifica	Aire/acetileno	No especifica



22	Cd: 228,8 nm Cu: 324,8 nm Fe: 248,3 nm Mn: 279,5 nm Ni: 232,0 nm Pb: 217,0 nm Zn: 213,9 nm	No especifica	Aire/acetileno	No especifica
23	Pb: 283,2 nm Cd: 228,8 nm Cu: 324,75nm Co: 240,73nm Cr: 375,9 nm Ni: 232,0 nm Fe: 248,33 nm Zn: 213,9 nm	No especifica	Aire/acetileno	No especifica
24	Pb: 283,3 nm Cd: 228,8 nm Cr: 357,9 nm	No especifica	Aire/acetileno	No especifica
25	Pb: 217,0 nm Ni: 232,0 nm Cu: 324,0 nm Zn: 213,9 nm Fe: 248,0 nm	No especifica	Aire/acetileno	No especifica
26	No especifica	No especifica	No especifica	No especifica
27	Cd: 228,8 nm Pb: 283,3 nm Sn: 286,3 nm	No especifica	Aire/acetileno	No especifica
28	No especifica	No especifica	No especifica	No especifica
29	No especifica	No especifica	No especifica	No especifica
30	No especifica	No especifica	Aire/acetileno	No especifica
31	Pb: 217,0 nm Cu: 324,8 nm Fe: 248,3 nm	No especifica	Aire/acetileno	No especifica



32	Pb: 283 nm Cd: 227 nm Cr: 356 nm Ni: 286 nm	No especifica	No especifica	No especifica
33	217 nm	Deuterio	Aire/acetileno	No especifica
34	217 nm	Deuterio	No especifica	Lámpara de cátodo hueco de plomo
35	No especifica	No especifica	No especifica	No especifica