

CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR METALES PESADOS: REFORMULACIÓN DE UNA PINTURA ESMALTE TIPO ALQUÍDICO CONTAMINADA CON ALTAS CONCENTRACIONES DE PLOMO (Pb)

Belén M Paricaguan M.^{1*}, José L Muñoz C.¹, Félix Gaince P.², Laura A Sáenz P.³

1: Departamento Investigación, Desarrollo e Innovación de Disther C. LTDA (Guayaquil, Ecuador).

2: Ensil-ensci écoled'ingénieurs de Limoges, Francia.

3: Centro de Investigaciones en Mecánica-CIMEC (Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela).

*email: belenparicaguan@gmail.com



RESUMEN

La investigación está dirigida a mitigar los impactos ambientales ocasionados por el uso de pigmentos con altos contenidos de plomo en las pinturas de esmalte brillante tipo alquídico. Debido a la creciente sensibilización social y política por la conservación del medio ambiente y la prevención de los daños a la salud, se hace necesario evaluar el comportamiento de nuevos materiales libres de plomo. El objetivo de la presente investigación fue reformular un esmalte tipo alquídico brillante con altas concentraciones de plomo, a través de la sustitución del pigmento amarillo de sulfocromato de plomo (tipo inorgánico) por un pigmento libre de plomo (tipo orgánico), manteniendo los estándares de calidad del producto y cuya concentración de plomo no supere los límites máximos permitidos por las normativas internacionales. Para ello, se usó una fórmula comercial suministrada por la empresa, la cual fue reformulada, determinándose los ensayos de calidad tales como, no volátiles, peso por galón, viscosidad, grado de dispersión, pruebas de secamiento (al tacto, libre de huella, duro), adhesión, brillo ángulo 60°, nivelación, cubrimiento, color, flotación, resistencia a la intemperie, chorreamiento, estabilidad del envase, grado de sedimentación y, finalmente, se validó la efectividad de la sustitución, mediante la determinación de la concentración de plomo en la pintura reformulada. Se empleó la técnica de espectrometría de masa con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) y el proceso de digestión del producto seco, se realizó bajo la metodología de la norma NTE INEN 2123:1998. Los resultados experimentales muestran que la pintura actual de color amarillo arrojó un contenido de plomo de 289.620 ppm, expresado como plomo metálico, determinado en base seca o contenido total no volátil, y al ser reformulado se obtuvo un esmalte con contenido de plomo de 110 ppm, resultado muy satisfactorio que se encuentra por debajo de las regulaciones establecidas en Latinoamérica con un máximo de 600 ppm

Palabras clave: Contaminación, pigmento amarillo de sulfocromato de plomo, PY 34 amarillo de cromo, amarillo 74, metales pesados, pigmentos orgánicos, pigmentos inorgánicos.

ENVIRONMENTAL CONTAMINATION BY HEAVY METALS: REFORMULATION OF AN ALQUID TYPE ENAMEL PAINT WITH HIGH LEAD CONCENTRATIONS (Pb)

ABSTRACT

The research is aimed at mitigating the environmental impacts caused by the use of pigments with high lead content in alkyd-type gloss enamel paints. Due to the growing social and political awareness for the conservation of the environment and the prevention of damage to health, it is necessary to evaluate the behavior of new lead-free materials. The objective of the present investigation was to reformulate a glossy alkyd enamel with high concentrations of lead, through the substitution of the yellow pigment of lead sulfochromate (inorganic type) by a lead-free pigment (organic type), maintaining the standards of quality of the product and whose lead concentration does not exceed the maximum limits allowed by international regulations. For this, a commercial formula supplied by the company was used, which was reformulated, determining the quality tests such as non-volatiles, weight per gallon, viscosity, degree of dispersion, drying tests (to the touch, free of traces, hard), adhesion, 60° angle gloss, leveling, coverage, color, flotation, weather resistance, dripping, container stability, degree of sedimentation and, finally, the effectiveness of the substitution was validated, by determining the concentration of Lead in reformulated paint. The inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) technique was used and the digestion process of the dry product was carried out under the methodology of the NTE INEN 2123:1998 standard. The experimental results show that the current yellow paint yielded a lead content of 289,620 ppm, expressed as metallic lead, determined on a dry basis or total non-volatile content, and when reformulated, a glaze with a lead content of 110 ppm was obtained, a very satisfactory result that is below the regulations established in Latin America with a maximum of 600 ppm

Keywords: Pollution, lead sulfochromate yellow pigment, PY 34 chrome yellow, yellow 74 metals, heavy, organic pigments, inorganic pigments.

1. INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud manifestó que alrededor de siete millones de personas por año mueren por cáncer y otras enfermedades vinculadas con la calidad y contaminación del aire [1]. El Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME) estimó que, en 2019, la exposición al plomo representó 900.000 muertes y 21.7 millones de años de vida saludable perdidos (años de vida ajustados por discapacidad o DALYs) en todo el mundo debido a los efectos a largo plazo en la salud. La carga más alta se registró en los países de ingresos bajos y medianos [2, 3].

Por otro lado, el medio ambiente se ha visto gravemente contaminados por metales pesados [4], como manganeso (Mn), cobalto (Co), níquel (Ni), zinc (Zn), arsénico (As), cadmio (Cd), mercurio (Hg), cromo (Cr) y plomo (Pb) que representan riesgos potenciales para la salud, son elementos nocivos considerados cancerígenos [5], ocasionan un estrés oxidativo por la generación de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y radicales libres que desencadenan mutaciones del ADN y alteran las estructuras de carbohidratos, proteínas y lípidos [6]. Algunos de los metales pesados más tóxicos son el plomo (Pb) y el mercurio (Hg).

El plomo es uno de los metales pesados más abundantes y sus efectos tóxicos causan problemas ambientales y de salud motivado a su estabilidad en el sitio contaminado [7, 8], su concentración se acumula en el ambiente con peligros crecientes [9]. La contaminación ambiental por metales pesados a base de pinturas con plomo es un problema alarmante en todos los países del mundo [10, 11].

Es por ello por lo que en La Conferencia Internacional sobre Gestión de Productos Químicos (ICCM-2) celebrada en 2009 se identificó el plomo en la pintura como un tema de política emergente, se constituyó una alianza mundial para promover la eliminación progresiva del uso de plomo en pinturas, y se invitó al Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y a la Organización Mundial de Salud (OMS) para que actúen como secretaría de esta alianza mundial. En el 2011 se concretó la alianza y fue nombrada “La Alianza Mundial para Eliminar el Uso del Plomo en las Pinturas”, se fijó una fecha objetivo año 2020 para todos los países que han adoptado legalmente leyes, reglamentos, normas y/o procedimientos vinculantes

para controlar la producción, importación, venta, exportación, distribución y uso de pinturas con plomo con especial atención a la eliminación de pinturas decorativas con plomo y pinturas con plomo para otras aplicaciones con mayor probabilidad de contribuir a la exposición al plomo en la niñez [12].

En la actualización de UNEP, 2020, sobre el estado global de los límites legales del plomo en las pinturas, señaló que al 30 de diciembre de 2020; 79 países tienen controles jurídicamente vinculantes para limitar la producción, importación y venta de pinturas con plomo, lo cual representa el 41% de todos los países. De acuerdo con los porcentajes de países con leyes sobre pintura con plomo en cada región del PNUMA hasta diciembre de 2020, África cuenta con el 11 %, Asia y el Pacífico 28 %, Asia occidental 45 %, Europa 78%, América Latina y el Caribe 38 %, América del Norte 100 % [13].

Tomando en consideración los límites reglamentarios de concentración total de plomo, de los 79 países con leyes sobre pinturas con plomo, 40 países han establecido un límite reglamentario único sobre la concentración total o soluble de plomo en la pintura (en partes por millón, ppm). Estos límites de plomo existentes varían de 90 a 1000 ppm o más. Treinta y cuatro países tienen un límite de 90, 100 ó 600 ppm, que son niveles relativamente bajos e indican que probablemente no se hayan agregado compuestos de plomo a las pinturas [13]. En Argentina, Brasil, Chile y Uruguay, tienen leyes en donde el límite máximo permisible de plomo en pinturas, barnices y materiales de revestimiento de superficies similares es del 0,06 % en base seca [14].

La industria de pinturas y recubrimientos es un negocio que va creciendo en todo el mundo y se estima que el valor anual de la producción y ventas del sector es de 85.000 millones de dólares americanos. El crecimiento está estrechamente asociado al desarrollo económico de los países. Por consiguiente, si no se elimina el uso de pinturas que contengan plomo, los riesgos de exposición a ese metal irán en aumento [15], [16].

La mayoría de las concentraciones de plomo que se encuentran en el medio ambiente son el resultado de actividades humanas como la quema de petróleo o desechos, la minería y la fabricación, industria del hierro y del acero, manufactura de municiones y baterías, así como, en la disposición de productos que contienen Pb, soldaduras de Pb, uso de plaguicidas y uso de pigmentos con contenidos de

plomo [17].

Asimismo, las exposiciones domésticas al plomo provienen principalmente de la cocción mediante el uso de combustibles sólidos (es decir, carbón, biomasa, desechos agrícolas, entre otros), pinturas, esmaltes cerámicos [18]. La apertura y cierre de ventanas viejas puede deteriorar aún más las superficies de pintura con plomo, la pintura se descompone con el tiempo, fragmentándose en escamas y en polvo que puede contaminar el entorno doméstico [11, 19].

Las pinturas que contienen plomo plantean riesgos tanto en su fase de aplicación (en forma de película húmeda) como una vez aplicadas (película seca). Las superficies pintadas envejecen, se desgastan y descascaran con el tiempo, contaminando el aire, agua, suelo y plantas por lo que los riesgos para la salud pueden aumentar considerablemente durante las tareas de remodelación y renovación de la pintura, dando lugar a un problema persistente que va más allá de la vida útil de las superficies pintadas, debido al astillado, deterioro o demolición de estas [15, 16, 20-22].

El Pb puede permanecer adherido a partículas del suelo o sedimento en el agua durante muchos años, se encuentra disponible en el suelo en condiciones ácidas y produce cáncer cuando se incorpora al organismo humano en grandes cantidades [23]. El plomo es absorbido por inhalación, ingestión y a través de la piel [24]. La absorción de plomo en grandes cantidades pueden ser precursores de desarrollo de anemias, daños renales, cólicos, debilidad muscular y daño cerebral. En concentraciones bajas el plomo puede llegar afectar el crecimiento físico y mental [21].

Fabricantes de pintura históricamente han agregado plomo a las pinturas debido a su alta protección, propiedades que hacen que las pinturas sean más duraderas [10]. El plomo puede encontrarse en las pinturas cuando un fabricante para un fin determinado agrega intencionalmente uno o más compuestos de plomo a la pintura. Los compuestos de plomo que con mayor frecuencia se agregan a estas son pigmentos que le dan el color a la pintura [25-27]. Entre ellos los más usados como pigmentos están los cromatos de plomo, óxidos de plomo, molibdatos de plomo y sulfatos de plomo. Estos se agregan para producir colores brillantes, como amarillo, rojo y verde [28, 29].

Por otra parte, los esmaltes alquídicos pertenecen a un grupo de productos que son, sin lugar a duda, uno de los pilares en la fabricación de pinturas, tanto por su variedad cualitativa como por la diversidad de aplicaciones que del mismo pueden obtenerse [26, 27]. Los países altamente industrializados han controlado estrictamente, durante décadas, el contenido de plomo de todas las pinturas decorativas vendidas y utilizadas localmente. Mientras que datos analíticos sobre la pintura muestran que en los países donde no está prohibido en forma específica por ninguna ley nacional, regulación vinculante u otro instrumento legal, algunas o la mayoría de las marcas de pinturas decorativas de esmalte en venta en el mercado nacional contienen niveles altos de plomo [28], representando un riesgo para la salud humana y el medio ambiente [12].

Asimismo, Brosché *et al.* (2014) evidenciaron un total de 803 pinturas decorativas tipo esmalte, se compraron en tiendas minoristas en Bangladesh, India, Indonesia, Nepal, Filipinas, Sri Lanka y Tailandia. Y encontraron al menos una cuarta parte de las pinturas de todos los países contenían niveles peligrosamente altos de plomo, por encima de 10.000 partes por millón (ppm). Además, una o más de las pinturas de colores de cada país contenían plomo en niveles extremos de 95.000 ppm o más.

A nivel global y local se identifica un creciente problema de contaminación por metales pesados, que compromete severamente la salud, seguridad alimentaria y medio ambiente [8, 30]. En vista que la pintura tipo esmalte con plomo son una fuente de exposición en numerosos países [2] y en aras de contribuir con la Alianza Mundial el objetivo de la presente investigación fue realizar un estudio que consistió en reformular un esmalte tipo alquídico brillante con altas concentraciones de plomo a través de la sustitución del pigmento amarillo de sulfocromato de plomo (tipo inorgánico) por un pigmento libre de plomo de tipo orgánico monoazo, que se basa en un solo grupo funcional conocido como grupo azo (-N=N-), siendo una característica común en muchos pigmentos amarillos.

El grupo azo consiste en dos átomos de nitrógeno unidos por un doble enlace, lo que resulta en una estructura lineal con una conexión entre ellos. Finalmente, al realizar la reformulación se debe mantener los estándares de calidad del producto y cuya concentración de plomo no supere los límites máximos permitidos por las normativas

internacionales de la región que oscilan de 90-600 ppm.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

1.1 Selección de la pintura con plomo

La presencia de plomo en las pinturas está estrechamente relacionada con la propiedad del color. Los niveles de concentración de plomo son significativamente más altos en pinturas de colores como el amarillo, seguido del rojo y el verde, superando los valores máximos permitidos establecidos en normativas existentes en países Latinoamericanos con concentraciones de plomo de hasta 600 ppm.

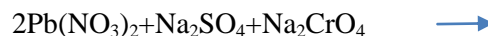
El plomo puede conferir estabilidad y resistencia a la luz en pigmentos amarillos manteniendo su brillantez. Esta propiedad hace que los pigmentos amarillos con plomo sean atractivos para su uso en aplicaciones donde se requiere una buena retención del color [29]. Es por ello, que la pintura seleccionada para la reformulación, es un esmalte tipo alquídico de color amarillo en el cual se ha usado deliberadamente pigmento con plomo (Pb), tipo inorgánico denominado PY 34.

Las materias primas de la pintura según la fórmula actual se muestran en la Tabla 1 la pintura fabricada posee una hoja de especificaciones asociada, según lo establecido en la Norma Venezolana Covenin [31], en ellas son indicadas las propiedades físicas, químicas y mecánicas de interés y los valores permitidos para cada material. Fueron realizados una serie de ensayos tales como: no volátiles, peso por galón, grado de dispersión, viscosidad, resistencia a la intemperie, cubrimiento, color, flotación, chorreamiento, radio contraste, secamiento libre de huella.

1.2 Selección del pigmento libre de plomo

En las pinturas que contienen pigmentos con plomo como el PY34, se destaca que se utiliza para obtener propiedades que cumplen con un alto performance y atractivo visualmente, como colores brillantes y tonos de color limpio, así como criterios técnicos. En los catálogos internacionales le asignan un código a cada pigmento, por ejemplo, PY es un pigmento amarillo por la inicial de su nombre en inglés Pigment Yellow y el número 34 indica que corresponde al pigmento amarillo de sulfocromato de plomo, este compuesto es altamente tóxico,

contiene plomo y cromo (VI), ver reacción química (1).



Para la sustitución del pigmento amarillo de sulfocromato de plomo se verificó sus propiedades colorimétricas, las características físicas, la resistencia a la migración de color, estabilidad al calor y a la luz, el poder tintóreo, la opacidad, solidez en la intemperie, propiedades no sangrantes, entre otras [32]. Es por ello, que en esta investigación como criterio de selección se escogió la característica color, ya que la principal función del pigmento es proporcionar el color en el producto final (esmalte alquídico).

Para chequear el color y tono las muestras fueron realizadas a través de moliendas que contenían una concentración determinada de pigmento en un vehículo acrílico (también llamado clear acrílico, que consiste en una mezcla de resina, aditivo dispersante y solventes), estas fueron aplicadas sobre láminas de cartulina barnizada con la intención de ver tono o matiz y luminosidad del color, es decir, el grado de claridad u oscuridad.

En la reformulación del esmalte alquídico amarillo, se usó como pigmento libre de plomo el amarillo 74, de acuerdo con su hoja técnica es de tipo orgánico monoazo, cumple con alto performance y atractivo visualmente, como colores brillantes y tonos de color limpio, así como criterios técnicos de alta calidad según especificaciones de calidad.

2.2.1. Características de los pigmentos con y sin plomo (Pb)

Se tomaron los valores típicos reportados en las fichas de datos técnicos y de seguridad de los proveedores, en la Tabla 1 se aprecian las principales características de los pigmentos involucrados (densidad, color index, absorción de aceite y contenido de plomo), lo cual permite visualizar claramente que se trata de compuestos muy distintos químicamente, el efecto del alto contenido de plomo en los pigmentos inorgánicos PY 34 genera que su densidad casi cuadruple a la densidad del pigmento orgánico amarillo 74.

Estas propiedades influyen significativamente en la formulación de la pasta de molienda (concentrado de pigmento) que se utilizará para la preparación de la pintura final. El concentrado de pigmento es la fase inicial en la fabricación de los lotes de pintura, debido a que se obtiene por un proceso denominado molienda o molturación, el cual es complejo y de alta demanda de energía, se le puede realizar cada vez que se va a fabricar un lote de pintura o se puede formular para obtener una elevada concentración de pigmento, y una vez fabricado se usa una pequeña cantidad para la elaboración de múltiples batches de la pintura final [33].

1.3 Reformulación del esmalte tipo alquídico sin plomo

Se tomó como base la fórmula actual (ver Tabla 2), que contiene pigmento con plomo para realizar la reformulación del esmalte libre de pigmento con plomo, fue fabricada y reproducida bajo iguales condiciones al proceso de fabricación de los esmaltes con pigmentos con plomo. Al momento de preparar el esmalte se agregaron las materias primas a excepción de los últimos agregados denominados de ajuste, los cuales corresponden a solventes y pasta de concentrado de pigmentos que contiene el pigmento sin plomo (amarillo 74).

Tabla 1. Propiedades de los pigmentos amarillos con plomo y sin plomo.

<i>Propiedad</i>	<i>Pigmento con plomo</i>	<i>Pigmento sin plomo</i>
Peso por galón (kg/gal)	21,196	5,185
Color índice (CI)	Amarillo 34	Amarillo74
Absorción de aceite	25	31
% m/m de plomo	66	0

% m/m: porcentaje masa/masa, kg: kilogramo, gal: galón

Tabla 2. Fórmula actual para la fabricación de pintura tipo esmalte, color amarillo con pigmento con plomo.

<i>Materias primas</i>		<i>(% m/m)</i>
		<i>F. actual</i>
1	Resina alquídica media de soja	26,40
2	Resina alquídica corta de soja	26,40
3	Solvente aromático	4,69
4	Resina alquídica media de soja	2,24
5	Intermedio de aditivo reológico	2,00
6	Concentrado de pigmento amarillo	21,25
7	Concentrado de pigmento blanco	8,56
8	Aditivo secante octoato de cobalto	0,61
9	Aditivo secante octoato de calcio	0,48
10	Aditivo secante octoato de circonio	1,38
11	Aditivo antipiel	0,16
12	Concentrado de pigmento negro	0,01
13	Solvente alifático	1,42
14	Solvente aromático	4,38
Total		100,00

F.: Fórmula

La fórmula actual fue reformulada, tomando en consideración las características de las materias primas hasta obtener el punto en el cual las propiedades críticas del producto tales como, la diferencia de color obtenida con el espectrofotómetro y el aspecto visual, la viscosidad, el valor de R/C, el brillo, secado y todas las propiedades fisicoquímicas de calidad estuvieran dentro de los rangos establecidos en las normas para este tipo de esmalte.

Finalmente, se compararon las propiedades de las pinturas con y sin contenido de pigmentos con plomo y, de esta manera, se pudo conocer la influencia de la sustitución de dicho pigmento sobre las propiedades de la pintura libre de plomo.

1.4 Procedimiento analítico

2.4.1. Método para determinar la concentración de plomo en las muestras de esmaltes

Para las determinaciones de las concentraciones de plomo se empleó la metodología descrita en la Norma EPA 6010C 2000 [34] seleccionando la línea de emisión del plomo a 220.353 nm. El análisis se realizó empleando un espectrómetro de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (Perkin Elmer Optima 7300 DV ICP-AES). Todas las muestras se analizaron por triplicado. Tal como se establece en EPA 6010C, para la determinación de plomo en pinturas, fue necesario realizar previamente un proceso de calcinación y digestión de las muestras. Basado en la metodología especificada por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2123, 1998 [35], las muestras fueron secadas a 80 °C, calcinadas a 450 °C, seguido por el proceso de disolución del residuo en ácido nítrico (HNO₃) concentrado.

Para la digestión, se pesó de (0,2 a 1,0) g por muestra de pintura en un crisol previamente tarado, luego se llevó a una estufa por un periodo de tiempo de (1 a 2) h a 80 °C con el fin de retirar la humedad que pudiera tener la muestra. Seguidamente la muestra fue calcinada por un horno de mufla a 450 °C por 2 h y luego se dejó enfriar a temperatura ambiente. Las cenizas obtenidas, se disolvieron con ácido nítrico (HNO₃) concentrado y se sometieron a calentamiento en un plato caliente a 105 °C.

Se filtró la solución obtenida a través de un papel de filtro de (148-152) µm en un balón aforado de

100 mL, lavando el crisol con agua destilada varias veces. Finalmente, se dejó enfriar la muestra y se aforó con agua destilada.

Una vez realizada la digestión ácida para cada muestra de pintura, se realizó la medición, intensidad de emisión de la línea de plomo medido en cuentas por segundo (cps) y a través de la fórmula (1) se logró determinar la concentración total de plomo de la porción no volátil total o de la capa de pintura seca.

$$\text{ppmPb} = (\text{pmmPbSA} \cdot V_{\text{af}} \cdot \text{Fd}) / \text{mTNv} \quad (1)$$

Dónde: SA: solución medida. Fd: factor de dilución af: aforo. Pb: Plomo. mTNv: Masa total no volátiles

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1 Formulación y evaluación de propiedades fisicoquímicas de las alternativas propuestas para la pintura libre de plomo

Se realizaron 9 formulaciones tal como se muestra en la Tabla 3, fue sustituido en su totalidad el pigmento amarillo que contiene plomo. El esmalte seleccionado que arrojó mejores resultados en cuanto a las propiedades físicas y química fue la novena fórmula, la cual se nombrará F9 de ahora en adelante y con base a ella se hicieron las comparaciones respectivas. Se observó que entre la fórmula actual y la fórmula F9 (ver Tabla 4) existe una variación significativa en la densidad o peso por galón y no significativas en otras propiedades, viscosidad, cubrimiento, resistencia a la intemperie, brillo y color.

En la fórmula F9 se observó una redistribución del contenido total de resina alquídica, a diferencia de la fórmula con plomo donde las cantidades de resina corta y media son iguales (50:50 en peso), en la reformulación F9 existe una mayor proporción de resina media (79:21 en peso), esto es debido a que el pigmento amarillo 74 presenta una mayor absorción de aceite, condición que generó un comportamiento reológico distinto en la pintura, siendo necesario incrementar la concentración de la resina alquídica media para mejorar propiedades como la adherencia y la nivelación, aunque inicialmente el secamiento fue más lento, se pudo corregir con una correcta dosificación de los aditivos secantes.

Según lo establecido por la Red Internacional para la eliminación de los contaminantes orgánicos persistentes [36, 37], la concentración de plomo en

los esmaltes se debe principalmente por la utilización de pigmentos inorgánicos que contienen plomo o por la utilización de aditivos secantes como octoato de plomo y naftenato de plomo [14]. Se debe recalcar que para estas formulaciones no se usaron secantes con plomo, para ello se utilizaron los octoatos de cobalto, calcio y circonio que son sales orgánicas de los respectivos metales con ácido octanoico. Y para reproducir igual condiciones de manufactura se utilizó la misma infraestructura con la que se elaboran los esmaltes que contienen pigmentos con plomo.

Aunque en los esmaltes reformulados no se aprecia directamente la utilización del solvente alifático que contiene la fórmula actual, esto realmente obedece a que al incrementar la cantidad de resina alquídica media, por esa vía se está incorporando ese tipo de solvente, además se usó solvente aromático en menor cantidad y se incorporó un solvente oxigenado (n-butanol), este último con la finalidad de ajustar la viscosidad con menor cantidad de solvente para no afectar el cubrimiento de la pintura.

Los pigmentos orgánicos como el amarillo 74, presentan un menor tamaño de partícula (mucho mayor área superficial) en comparación con los inorgánicos, razón por la cual requieren un mayor esfuerzo para dispersarlos, aun así, una vez dispersos son más intensamente coloreados y más luminosos, es decir, presentan una mayor fuerza de color y brillo.

Con el propósito de cumplir con los requisitos de alta opacidad (mayor poder cubriente) se emplearon combinaciones de pigmentos orgánicos e inorgánicos, porque de otra manera no se hubiera llegado a similitudes en el color. Se determinó que no existe la posibilidad de una sustitución al 100 por ciento de un pigmento por otro, debido a las diferencias intrínsecas al tipo de pigmento, por su naturaleza química, su cromaticidad y resto de

propiedades.

En la fórmula F9 se obtuvo un color más luminoso y verdoso al compararse con la fórmula actual, por lo que se debió incorporar pastas de concentrado de pigmento blanco, rojo y negro, con la intención de encontrar similitudes de color y tono con el producto fórmula actual, finalmente, el aspecto visual y las variables del espacio de color estuvieron dentro de especificación. Además, la mejor fórmula fabricada con pigmentos libre de plomo fue aquella donde se usó solvente oxigenado y se redujo la cantidad de solvente aromático.

Al comparar la viscosidad en ambas fórmulas, hubo un incremento en la pintura F9 con un valor 78,3 KU, sin embargo, no representa una amenaza para migrar y poner en marcha la elaboración de pinturas con pigmentos libre de plomo, porque se mantiene dentro de especificación siendo la variación permitida de 5 KU [33].

Como puede observarse, el esmalte reformulado sin plomo F9, cumple con todas las especificaciones de calidad establecidas en la hoja de especificaciones (ver Figura 1), es importante destacar que un fabricante de pintura puede evitar fácilmente el uso de ingredientes con altos contenidos en plomo mediante el uso de procedimientos de control de calidad apropiados e informando a los proveedores que tipo de materias primas libre de plomo requiere; la verificación de terceros es necesario para establecer la confiabilidad de que las pinturas no superan los límites permisibles de plomo [14]. Por lo que queda demostrado en esta investigación, que no hay necesidad de añadir plomo a las pinturas. Sin embargo, la mejor manera de asegurar que haya disponibilidad de pintura libre de plomo es que los países pongan en práctica leyes, reglamentos o normas obligatorias que prohíban la fabricación, importación, exportación, venta o uso de pintura con plomo" OMS, [38].

Tabla 3. Comparación de las fórmulas de esmaltes obtenidas que contienen pigmentos con y sin plomo.

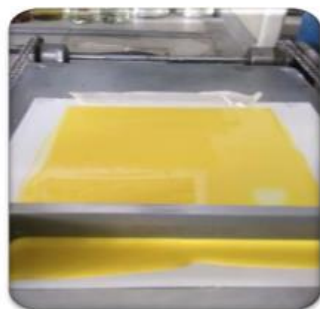
<i>Materias primas</i>	<i>%masa/masa</i>									
	<i>F 1</i>	<i>F 2</i>	<i>F 3</i>	<i>F 4</i>	<i>F 5</i>	<i>F 6</i>	<i>F 7</i>	<i>F 8</i>	<i>F 9</i>	
1 Resina alquídica media de soja	27,1	41,75	43,05	41,74	41,74	41,68	41,51	40,61	41,07	
2 Resina alquídica corta de soja	27,11	11,64	12,00	11,64	11,64	11,62	11,57	11,32	11,45	
3 Solvente aromático	6,36	4,75	4,89	4,75	4,74	4,74	4,72	4,62	4,46	
4 Resina alquídica media de soja	2,30	2,27	2,34	2,27	2,27	2,26	2,25	2,20	2,15	
5 Intermedio de aditivo reológico	2,60	2,03	2,09	2,03	2,03	2,02	2,01	1,97	1,92	
6 Concentrado de pigmento alternativo amarillo 74	18,19	21,49	22,16	21,49	21,48	21,45	21,36	20,90	18,73	
7 Concentrado de pigmento blanco	8,79	10,38	10,71	10,38	10,38	10,37	10,32	10,10	12,00	
8 Aditivo secante octoato de cobalto	0,63	0,62	0,64	0,62	0,62	0,62	0,61	0,60	0,79	
9 Aditivo secante octoato de calcio	0,49	0,49	0,50	0,49	0,49	0,49	0,48	0,47	0,46	
10 Aditivo secante octoato de circonio	1,42	1,40	1,44	1,40	1,40	1,40	1,39	1,36	1,33	
11 Aditivo antipiel	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	
12 Concentrado de pigmento rojo azulado	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	
13 Concentrado de pigmento negro	0,00	0,00	0,00	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	
14 Concentrado de pigmento blanco	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,55	0,97	1,39	
15 Solvente alifático	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
16 Solvente aromático	5,73	2,43	0,00	2,43	2,43	2,42	2,41	2,36	2,56	
17 Solvente oxigenado	0,00	0,61	0,00	0,61	0,61	0,61	0,60	0,59	1,52	
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	

Solvente oxigenado: n-butanol

Tabla 4. Comparación de las características de la fórmula del esmalte con plomo y una vez reformulada sin plomo (F9).

Estado de la muestra	Característica	Unidad	Especificación	Esmaltes	
				F. actual	F9
Muestra líquida	No volátiles	%	mín. 40	52,62	51,52
	Peso por galón	kg/gal	Según color	4,15	3,80
	Viscosidad	KU	70-80	78,3	73,6
	Grado de dispersión	µm	5-10	2	2
Secamiento	Al tacto	h	1 máx.	Pasa	Pasa
	Libre de huella	h	8 máx.	Pasa	Pasa
	Duro	h	24 máx.	Pasa	Pasa
Sobre sustrato	Adhesión (7 días)	N/A	mín. 4	5	4
	Brillo (Ángulo 60°) 24h	N/A	mín. 90	91,2	92,74
	Nivelación	N/A	mín. 6	6	6
	Cubrimiento	R/C	mín. 90	95,06	93,04
	Color (DE)	A	1,5 máx.	0,89	1,2
	Flotación	N/A	Pasa	Pasa	Pasa
	Resistencia intemperie	%	mín. 80	87,6	85,4
Especiales	Chorreamiento	N/A	Pasa	> 6	> 6
	Estabilidad en el envase:				
Especiales	1) Grado de sedimentación	N/A	mín. 8 (7 días al horno a 60°C)	10	10
	2) Piel				
	3) Grumos	N/A	Insignificante	Ausente	Ausente
	4) Variación de la viscosidad	N/A	Insignificante	Insig.	Ausente
		KU	máx. 5	3,6	1,2

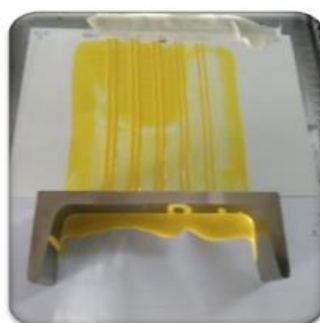
N/A: no aplica, DE: diferencia de color, KU: Krebs-Stormer, mín.: mínimo, máx.: máximo, R/C: radio contraste, PY 34: pigmento amarillo de sulfocromato de plomo, Insig.: Insignificante, A: adimensional



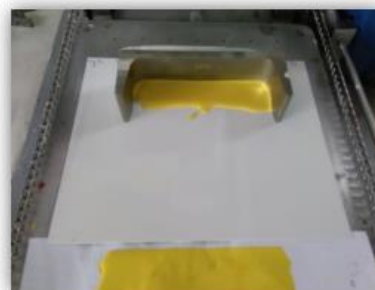
a) Color
Aplicador 10mil húmedos



b) Adhesión



c) Nivelación
Regla niveladora



d) Chorreamiento

Figura 1. Características del esmalte con pigmento sin plomo.

2.2 Contraste de la concentración de plomo en los esmaltes y su reformulación

3.2.1. Esmalte elaborado con pigmentos que contienen plomo

Las materias primas tienen fichas técnicas proporcionadas por los proveedores de allí se tomó en consideración los valores reportados en cuanto a cantidades de plomo y se calcularon las concentraciones de plomo teórico, este valor lo aportó únicamente el pigmento amarillo de sulfocromato de plomo (PY 34) arrojando un valor de 167.400 ppm para la pintura tipo esmalte de color amarillo fabricada con pigmentos que contienen plomo. Y de manera experimental se determinó la concentración de plomo en porcentaje del peso de la porción no volátil total de pintura seca obteniéndose un valor de 289.620 ppm. Valores que sobrepasa los límites máximos permitidos establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2020) de 90 mg/kg [39].

En un estudio en China, Lin et al. (2009) [40] reportaron resultados similares evaluaron muestras de pinturas y determinaron en una de ellas que la

concentración máxima de plomo era 153.000 mg/kg (ppm).

También, Adebamowo *et al.* reportaron en 2007 [29] que los niveles de plomo en 5 colores de pinturas, cada uno de diferentes fabricantes, se midieron mediante espectroscopía de absorción atómica de llama. Encontraron que el 96 % de las pinturas tenían niveles de plomo superiores a los recomendados. El nivel de plomo más alto encontrado en Nigeria estaba en pintura amarilla con 50.000 ppm de plomo en comparación con 187.000 ppm en muestra de pintura amarilla de la India, que fue la más alta encontrada en Asia. Mientras que el 96 % de las pinturas nigerianas tenían niveles de plomo por encima de 600 ppm, el 78% de las pinturas asiáticas estaban por encima este nivel. Igualmente, el 52 % de las pinturas nigerianas tenían niveles de plomo superiores a 5.000 ppm en comparación con el 66 % de las pinturas asiáticas.

En otro estudio Mohanty et al. (2013) [41], analizaron 57 muestras de pinturas fabricadas por el sector no organizado, de las cuales 53 muestras (93 %) superaron los 300 ppm. Las concentraciones promedio de plomo de las pinturas fabricadas por 6 pequeñas y medianas empresas oscilaron entre

4.213 ppm a 18.981 ppm, mientras que las concentraciones promedio de plomo en pinturas fabricado por 4 multinacionales y grandes empresas Indias abarcaron de 15 ppm a 231 ppm.

Asimismo, Ipen 2016 y Colnodo [42], estudiaron 39 muestras de pinturas en Colombia; el contenido total de plomo de todas las pinturas fue analizado en Estados Unidos de América con base en el peso seco de la pintura utilizando (Method Reference EPA 3050B/7000B) [43]. Se determinó que 25 de las 39 pinturas analizadas (64 % de las pinturas) contienen una concentración total de plomo superior a 600 ppm. La concentración total de plomo más elevada que se detectó en una pintura fue de 250.000 ppm.

3.3 Esmalte elaborado con pigmentos libre de plomo

El esmalte F9 que fue elaborado con pigmentos libre de plomo, arrojó una concentración de plomo de 110 ppm, valor mucho menor comparado con el esmalte que contiene pigmentos con plomo, esto se debió a que, se logró la sustitución completa de los pigmentos inorgánicos que contenía plomo por el pigmento orgánico libre de plomo. Sin embargo, las trazas de plomo obtenidas obedecen a que se usaron equipos de planta piloto para las moliendas de los pigmentos.

Finalmente, la sustitución de pigmentos que contienen plomo, por aquellos que no contienen concentraciones de plomo es viable, ya que se pudo obtener una pintura que conservó las mismas propiedades fisicoquímicas, mecánicas, de desempeño y calidad en su acabado final, y se logró disminuir la cantidad de plomo aportada por el pigmento, lo que permite potenciar el desarrollo de nuevas fórmulas amigables al ambiente.

La reformulación de pinturas con fines residenciales y decorativos para eliminar aditivos de plomo es factible y los impactos técnicos son manejables [13]. Las compañías que todavía producen pinturas con plomo deben discontinuar el uso de materias primas con dicho metal y las empresas que han optado por la producción de pintura sin plomo deberían certificar sus productos mediante procesos de verificación independiente realizados por terceros a fin de proporcionar al consumidor mayores oportunidades de elegir pinturas sin plomo añadido [38].

Por otro lado, se esperaba que para el año 2020 se

podría eliminar concentraciones de plomo en las pinturas a nivel mundial, pero aún se evidencian escenarios aislados, tal es el caso tratado por EcoWaste Coalition (2021) [44], quienes, para estudiar pinturas con plomo, adquirieron un total de 60 pinturas en aerosol de 16 marcas que se obtuvieron de distribuidores en línea y de varias tiendas minoristas en 11 ciudades en Filipinas, las muestras en su mayoría fueron importadas de China y Tailandia. Se utilizó para detectar plomo un analizador portátil de fluorescencia de rayos X (XRF), y 37 muestras excedieron el límite de 90 ppm, las mismas fueron enviadas a un segundo estudio por un laboratorio privado para corroborar el análisis del contenido total de plomo empleando la técnica espectroscopía de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES). Se confirmó que las 37 muestras que representaban a 11 marcas contenían concentraciones de plomo muy altas de hasta 97.100 ppm.

Muchos países se están sumando a la eliminación de plomo en las pinturas y otros están revisando sus leyes. Es por ello por lo que, desde el punto de vista de política pública y ambiental se evidencia la necesidad de contar con información acerca de las concentraciones de plomo en las pinturas como insumos para desarrollar e incluir nuevos principios ambientales en los instrumentos jurídicos [45]. Cabe resaltar UNEP 2020, confirma que, desde octubre de 2019, Colombia, Libano y Vietnam establecieron nuevas leyes para abordar el plomo en la pintura; China actualizó una ley existente y la situación de Ecuador, Pakistán y Qatar en la base de datos de la OMS se actualizó para reflejar las leyes existentes. En el caso concreto de Ecuador, en enero 2022 se realizó la revisión al reglamento técnico ecuatoriano PRTE INEN 061 “Pinturas”, donde se establecen el límite del contenido total de plomo en base seca entre 100 y 600 ppm dependiendo del tipo de pintura [46].

También, Perú se suma, a través de la Ley N° 31182, mediante la cual promulgan la “Ley que protege la salud e integridad física de las personas del contenido de plomo en pinturas y otros materiales de revestimiento”. La misma, prohíbe la fabricación, importación, distribución y/o comercialización de pinturas y otros materiales de revestimiento con presencia y concentración de plomo, que supere el límite máximo permitido establecido de 90 partes por millón (ppm) o 90 mg/kg, basado en el peso del

contenido total no volátil de la pintura o en el peso de la capa seca de pintura [47].

Finalmente, es urgente la necesidad de establecer controles mundiales eficaces para evitar el envenenamiento innecesario de millones de niños por esta exposición prevenible [48, 49]. En particular, se encontró que existe una falta general de consenso sobre la definición de pinturas con plomo; y el fortalecimiento de la supervisión regulatoria, la conciencia pública y la aceptación de la industria son vitales para combatir el problema global de las pinturas con plomo [10].

3. CONCLUSIONES

En la pintura tipo esmalte reformulada se ha encontrado que existe la tecnología y viabilidad técnica adecuada para hacer el cambio de fabricar pinturas esmaltes tipo alquídicos con pigmentos libre de plomo, y en apoyo para obtener una reglamentación que establezca marcos normativos adecuados que permitan poner fin a la fabricación, importación, exportación, distribución, venta y uso de pinturas con plomo.

Se logró reformular el esmalte tipo alquídico que contenía pigmento con concentraciones de plomo y estandarizar las características en cumplimiento con todos los parámetros exigidos en las normas de calidad para este tipo de pintura.

Se estableció que la mejor fórmula fabricada con pigmentos libre de plomo fue aquella donde se incrementó el contenido de resina alquídica media, se usó solvente oxigenado y se redujo el uso de solvente aromático.

La fórmula actual fabricada en el laboratorio presentó concentraciones de plomo mayores a 100.000 partes por millón (ppm) en peso seco. Mientras que con la reformulación se obtuvo 110 ppm, por lo que queda demostrado que existen alternativas seguras y eficaces que pueden ponerse en uso y en cumplimiento con normativas existentes en países Latinoamericanos con concentraciones de plomo permitido de hasta 600 ppm.

Sin embargo, de acuerdo con la Ley Pública 110-314 de los Estados Unidos [50], excede el límite de contenido de plomo de 90 ppm, sin dejar de ser un avance muy importante en la región. Aún existen muchos obstáculos para alcanzar la meta de

eliminar plomo en las pinturas, se necesita desarrollar mecanismos para ofrecer asistencias técnicas a los fabricantes en países pocos desarrollados para que reformulen sus pinturas y sensibilizar sobre los riesgos y daños que ocasionan al ambiente y a la salud en general.

Con base en las observaciones realizadas durante los procesos de fabricación de los esmaltes, así como con lo analizado a partir de las propiedades de los productos terminados, se plantearon opciones para las reformulaciones y obtención de pinturas con bajas concentraciones de plomo.

Es recomendable que, dado los altos valores de concentraciones de plomo en las pinturas tipo esmalte, es necesario crear un Plan Nacional de concienciación y que se establezca una normativa que regule o elimine el uso de pigmentos con contenido de plomo en las pinturas con el fin de disminuir el impacto del plomo en la salud y ambiente.

Por otra parte, es recomendable continuar con las reformulaciones de las pinturas extrapolando a otros colores como rojo, naranja, entre otros, que también contienen plomo y así tener un estudio completo sobre el impacto que producen las pinturas con plomo en la salud y el ambiente.

4. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. Kelim Vano Herrera por sus valiosos comentarios durante el proceso de preparación de este artículo.

5. REFERENCIAS

- [1]. WHO 7 million premature deaths annually linked to air pollution. World Health Organization. 2014.
- [2]. Global Health Observatory: Regulations and controls on lead paint. Geneva: World Health Organization. 2021.
- [3]. Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME). GBD Compare. Seattle, WA: IHME, University of Washington; 2019.
- [4]. Masindi V, Muedi KL. Environmental Contamination by Heavy Metals, Ed. IntechOpen (London, United Kingdom), 2018: Cap. 7.
- [5]. Khan, MR, Ahmad N, Ouladsmame M, Azam M. *Molecules*. 2021; 26: 2375.

- [6]. Xu J, Lian LJ, Wu C, Wang XF, Fu WY, Xu LH. *Food Chem. Toxicol.* 2008; 46(5), 1488-1494.
- [7]. Bello AO, Tawabini BS, Khalil AB, Boland CR, Saleh TA. *Ecol. Eng.* 2018; 120: 126-133.
- [8]. Reyes YC, Vergara I, Torres OE, Díaz-Lagos M, González EE. *Revista Ingeniería Investigación y Desarrollo.* 2016; 16 (2): 66-77.
- [9]. Wani AL, Ara A, Usmani JA, *Toxicología interdisciplinaria.* 2015; 8 (2): 55-64.
- [10]. O'Connor D, Hou D, Ye J, Zhang Y, Ok YS, Song Y, Coulon F, Peng T, Tian L. *Environment international.* 2018; 121(Pt 1), 85-101.
- [11]. World Health Organization & Global Environment Facility. *Brief guide to analytical methods for measuring lead in paint*, 2nd ed. World Health Organization. 2020.
- [12]. IPEN. *Lead in solvent-based paints for Home Use Global Report*, 2017.
- [13]. UNEP *Actualización del Estado Global de los Límites Legales de Plomo en la Pintura*, 2020.
- [14]. Brosché S, Denney V, Weinberg J, Calonzo M, Withanage H, Clark S, *Asia Regional Paint Report*, 2014.
- [15]. WHO PNUMA: Programa de Naciones Unidas para el medio Ambiente y OMS: Organización Mundial de la Salud. *Alianza mundial para eliminar el uso del plomo en las pinturas*, 2012.
- [16]. WHO. *Intoxicación por plomo y salud.* Organización Mundial de la Salud (OMS), 2015.
- [17]. Volke-Sepulveda T, Velasco-Trejo JA, De la Rosa-Pérez DA. *Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación.* Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. Ciudad de México, México, 144 pp. 2005.
- [18]. Tiwari S, Tripathi IP, Tiwari HL. *International Journal of Emerging Research in Management and Technology*, 2013; 2(6): 5.
- [19]. Clark S, Menrath W, Chen M, Succop P, Bornschein R, Galke W, Wilson J. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2004; 1: 273-282.
- [20]. Lanphear B, Matte TD, Rogers J, Cickner R, Dietz B, Bornschein R. *Environ Res.* 1998; 79: 51-68.
- [21]. Agency of Toxic Substances and Disease Registry. *Case studies in environmental medicine. Lead toxicity.* US Department of Health and Human Services, Public Health Service. Atlanta, GA, USA: The Agency. 2007.
- [22]. Burger M, Pose D. *Plomo salud y ambiente* Universidad de la República de Montevideo. Uruguay, 2010; p. 248.
- [23]. ATSDR. *Resúmenes de salud pública. Manganeso, plomo, vanadio.* Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2010.
- [24]. Combariza D. *Contaminación por metales pesados en el embalse del Muña y su relación con los niveles en sangre de plomo, mercurio y cadmio y alteraciones de salud en los habitantes del municipio de Sibaté (Cundinamarca), Tesis de Maestría.* Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2007.
- [25]. Greenway JA, Gerstenberger S. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 2010; 85: 363-366.
- [26]. Schweigger E. *Manual de pinturas y recubrimientos plásticos.* Editorial Díaz de Santos, 1era edición, España, 2005; p. 277.
- [27]. Calvo J. *Pinturas y Recubrimientos: Introducción a su tecnología.* Editorial Díaz de Santos. 1era edición, España, 2009; p. 342.
- [28]. González H, Solís D, Paredes M, Brosché S, Denney V, Clark S, Weinberg J. *Reporte nacional Plomo en las Pinturas de aceite para el hogar en Paraguay*, 2013.
- [29]. Adebamowo E, Clark C, Roda S, Agbede O, Sridhar M, Adebamowo C. *Science of the Total Environment*, 2007; 388 (1-3): 116-120.
- [30]. Apanpa-Qasim A, Adeyi AA, Mudliar SN, Raghunathan K, Thawale P. *Journal of health & pollution.* 2016; 6(12), 43-49.
- [31]. Paricaguan B, Muñoz JL, Sevilla F, Pérez J.

- Revista Ingeniería UC, 2018. 25 (3): 357-368
- [32]. Jiménez A. Sustitución de pigmentos que contienen metales pesados, Tesis de grado. Colombia: Universidad de Antioquia, Medellín, 2020.
- [33]. Paricaguan B, Muñoz JL, Sáenz-Palencia, L. Revista UIS Ingenierías. 2022; 21(2), 1–14.
- [34]. METHOD 6010C inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry. Revision 3 november, 2000.
- [35]. Norma INEN: Pinturas y productos afines. NTE INEN 2123. Determinación de plomo total por medio de ácido nítrico concentrado. Método de espectrofotometría por absorción atómica. Ecuador: Norma técnica ecuatoriana. Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1998.
- [36]. IPEN: International POPs Elimination Network. Lead in enamel decorative paints. National Paint testing results: a nine-country study, 2015.
- [37]. IPEN. Lead in solvent-based paints for home use in Bangladesh. 2021.
- [38]. IPEN. Lead in solvent-based paints for home use in the republic of Armenia, 2016.
- [39]. OMS. Orientación para organizar Campañas de promoción o de concienciación sobre el uso del plomo en la pintura. 2020.
- [40]. Lin GZ, Peng RF, Chen Q, Wu ZG, Du L, Environ. Res. 2009. 2009; 109: 1-5.
- [41]. Mohanty A, Budhwani N, Ghosh B, Tarafdar M, Chakravarty S. Environ Dev Sustain. 2013; 15: 1653–1661.
- [42]. Ipen y Conoldo. Plomo en pinturas a base de solventes para uso doméstico en Colombia, 2016.
- [43]. EPA 3050b Rev. 02// EPA 7000B. Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils //Flame Atomic Absorption Spectrophotometry. 1996.
- [44]. EcoWaste. Report Watchdog Finds Lead in Paints in Despite Regulation. 2022.
- [45]. Von Thaden HA, Robles C, Fuente ME. Rev. Int. Contam. Ambie. 2020; 36 (1), 165-175.
- [46]. Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 061 “Pinturas”. Ecuador, 2013.
- [47]. Ley N° 31182. Ley que protege la salud e integridad física de las personas del contenido de plomo en pinturas y otros materiales de revestimiento. Peru, 2021.
- [48]. Clark CS, Rampal, KG, Thuppil V, Roda SM., Succop P, Menrath W, Chen CK, Adebamowo EO, Agbede OA, Sridhar MK, Adebamowo CA., Zakaria Y, El-Safy A, Shinde RM, Yu J. Environmental research. 2009; 109(7), 930-936.
- [49]. Clarck CS, Speranskaya O, Brosche S, Gonzalez H, Solis D, Kodeih N, Roda S, Lind C. Environmental Research. 2015; 138 (9): 432-438.
- [50]. Public Law 110-314-Aug. 14. Consumer Product Safety Improvement Act of 2008.

6. MINIBIOGRAFÍA DE AUTORES



PhD BELÉN MARÍA PARICAGUAN MORALES Docencia, investigación y extensión en posgrado y pregrado (2005 – 2023). Consultora Independiente de ID & Producción Disther C. Ltda Ecuador. Licenciada en Química Universidad de Carabobo año 2004 Valencia Venezuela. Doctora en Ingeniería mención química Universidad de Carabobo año 2015 Valencia Venezuela. Par evaluador Educación Superior en CACES Ecuador año 2019. Magíster en educación Universidad tecnológica empresarial de Guayaquil Ecuador año 2023. Investigadora en el campo de Polímeros, pinturas y contaminantes derivados petroquímicos. belenparicaguan@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6327-7678>



LICENCIADO JOSÉ LUIS MUÑOZ CUEVAS Licenciado en química de la Universidad Central de Venezuela, (Caracas- Venezuela) en 1997. Ha desempeñado cargos en empresas privadas (1997 – 2023): Jefe de ID & Producción Disther C. Ltda Ecuador, Gerente del Centro de Investigación Corimon Pinturas C.A., Superintendente Planta Industrial Corimon Pinturas C.A., Líder Técnico Investigación y Desarrollo Corimon Pinturas C.A., Jefe Químico IDST&SM Resimon C.A., Químico IDST&SM Resimon C.A. Diseño de productos base de agua y base solvente para los mercados Arquitectónico, Madera, Repintado Automotriz, Pintura para Demarcación Vial, Mantenimiento Industrial Liviano y Cemento de Contacto. Investigador en el campo de Polímeros, pinturas y contaminantes derivados petroquímicos. joselmcuevas@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5454-9718>



FELIX GAINCE PARADA Actualmente estudia Genie de l'eau et environnement, ecole d'ingénieur ensil-ensci, (Limonges, France). Ingeniero químico Universidad de Carabobo (Valencia- Venezuela) año 2016. Ha desempeñado cargos en empresas privadas como analista químico en Venezuela, Colombia, es especialista en tecnología del agua. Supervisión industrial de los procesos de recuperación, incluyendo la elaboración de la fórmula y procedimiento de fabricación. Investigador en el campo de Agua, Polímeros, pinturas y contaminantes derivados petroquímicos. felix05gaince@gmail.com



PhD. LAURA SÁENZ PALENCIA. Ingeniero Metalúrgico, Universidad Central de Venezuela (Venezuela) en 1979, recibió su Maestría en Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales en la Universidad Central de Venezuela (Venezuela) en 1992. Doctorado en Ingeniería por la Universidad de Carabobo de Venezuela (Venezuela) en 2009. Investigador activo de Centro de Investigación en Mecánica, Universidad de Carabobo. Ha participado en Congresos, Conferencias, y encuentros de carácter Científico como expositor de alcance Nacional e Internacional. Profesor Titular Jubilado (pregrado y postgrado) de la Universidad de Carabobo. Su línea de investigación se enfoca en evaluar el comportamiento mecánico de los materiales, caracterización de materiales y mecánica de fractura. lsaenz29@gmail.com

ORCID: 0000-0003-4944-3032.