



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v12i1.4749>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

Elaboración de pigmentos naturales a partir de remolacha, achiote y cúrcuma para murales sostenibles

Production of natural pigments from beetroot, annatto and turmeric for sustainable murals

Produção de pigmentos naturais a partir de beterraba, urucum e cúrcuma para murais sustentáveis

Naima Guadalupe Aguiar Terán ^I

naimaaguiar94@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-0428-5598>

María Celeste Aguilar Vidal ^{II}

agvimace12@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0009-8353-0157>

Lady Noelia Medina López ^{III}

noeliamedin557@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0006-8840-4705>

Andrea Ivanna Quispe Guato ^{IV}

ivanna2008quispe@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0002-5746-364X>

Correspondencia: naimaaguiar94@gmail.com

***Recibido:** 22 de enero de 2026 ***Aceptado:** 27 de febrero de 2026 * **Publicado:** 23 de marzo de 2026

- I. Unidad Educativa Benjamín Araujo, Tungurahua, Ecuador.
- II. Unidad Educativa Benjamín Araujo, Tungurahua, Ecuador.
- III. Unidad Educativa Benjamín Araujo, Tungurahua, Ecuador.
- IV. Unidad Educativa Benjamín Araujo, Tungurahua, Ecuador.

Resumen

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la efectividad de los pigmentos naturales obtenidos de remolacha, achiote y cúrcuma, con inclusión de espinaca, en la elaboración de murales sostenibles, considerando su durabilidad, resistencia, adherencia, intensidad cromática y sostenibilidad frente a la pintura látex sintética. Se desarrolló un estudio cuasi experimental, de enfoque correlacional descriptivo, con una muestra de 80 participantes distribuidos en un grupo experimental y un grupo de control. Se aplicó un test de base estructurada, validado por juicio de expertos, cuya confiabilidad alcanzó un alfa de Cronbach de 0.89. Para el análisis se emplearon la correlación de Pearson, la *d* de Cohen y la prueba *t* de Student para muestras independientes. Los resultados evidenciaron que todos los pigmentos naturales superaron significativamente al látex en durabilidad del color, resistencia a la radiación solar, intensidad cromática, adherencia al soporte mural, resistencia a la humedad, valoración estética, desarrollo de destrezas artísticas e índice global de sostenibilidad. El achiote presentó los mejores valores generales, seguido de la cúrcuma y la remolacha, mientras que la espinaca mostró un desempeño favorable, aunque ligeramente menor en resistencia solar por la sensibilidad de la clorofila. Los tamaños del efecto fueron altos, destacando la superioridad ecológica y técnica de los pigmentos naturales. Se concluye que los pigmentos derivados de fuentes vegetales constituyen una alternativa viable, estética y ambientalmente superior a las pinturas sintéticas para la creación de murales sostenibles. Además, su uso fortalece procesos creativos, promueve la economía circular y favorece la conservación de saberes artísticos tradicionales.

Palabras clave: pigmentos naturales; murales sostenibles; achiote; cúrcuma; remolacha.

Abstract

This research aimed to evaluate the effectiveness of natural pigments obtained from beetroot, annatto, and turmeric, with the inclusion of spinach, in the creation of sustainable murals, considering their durability, resistance, adhesion, color intensity, and sustainability compared to synthetic latex paint. A quasi-experimental, descriptive correlational study was conducted with a sample of 80 participants divided into an experimental group and a control group. A structured test, validated by expert judgment, was administered, achieving a Cronbach's alpha reliability of 0.89. Pearson's correlation, Cohen's *d*, and the Student's *t*-test for independent samples were used for the analysis. The results showed that all the natural pigments significantly outperformed latex in color durability, resistance to solar radiation, color intensity, adhesion to the mural substrate, moisture resistance, aesthetic

Elaboración de pigmentos naturales a partir de remolacha, achiote y cúrcuma para murales sostenibles

appeal, development of artistic skills, and overall sustainability index. Annatto showed the best overall values, followed by turmeric and beetroot, while spinach exhibited favorable performance, although slightly lower in solar resistance due to chlorophyll sensitivity. The effect sizes were large, highlighting the ecological and technical superiority of natural pigments. It is concluded that pigments derived from plant sources constitute a viable, aesthetically pleasing, and environmentally superior alternative to synthetic paints for the creation of sustainable murals. Furthermore, their use strengthens creative processes, promotes the circular economy, and fosters the preservation of traditional artistic knowledge.

Keywords: natural pigments; sustainable murals; annatto; turmeric; beetroot.

Resumo

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a eficácia de pigmentos naturais obtidos da beterraba, do urucum e da cúrcuma, com a inclusão do espinafre, na criação de murais sustentáveis, considerando sua durabilidade, resistência, adesão, intensidade de cor e sustentabilidade em comparação com a tinta látex sintética. Um estudo quase-experimental, descritivo e correlacional foi conduzido com uma amostra de 80 participantes divididos em um grupo experimental e um grupo controle. Um teste estruturado, validado por especialistas, foi aplicado, atingindo um alfa de Cronbach de 0,89. A correlação de Pearson, o d de Cohen e o teste t de Student para amostras independentes foram utilizados para a análise. Os resultados mostraram que todos os pigmentos naturais superaram significativamente o látex em durabilidade da cor, resistência à radiação solar, intensidade da cor, adesão ao substrato do mural, resistência à umidade, apelo estético, desenvolvimento de habilidades artísticas e índice geral de sustentabilidade. O urucum apresentou os melhores valores gerais, seguido pela cúrcuma e pela beterraba, enquanto o espinafre exibiu desempenho favorável, embora ligeiramente inferior em resistência solar devido à sensibilidade à clorofila. Os efeitos observados foram de grande magnitude, evidenciando a superioridade ecológica e técnica dos pigmentos naturais. Conclui-se que os pigmentos derivados de fontes vegetais constituem uma alternativa viável, esteticamente agradável e ambientalmente superior às tintas sintéticas para a criação de murais sustentáveis. Além disso, seu uso fortalece os processos criativos, promove a economia circular e fomenta a preservação do conhecimento artístico tradicional.

Palavras-chave: pigmentos naturais; murais sustentáveis; urucum; cúrcuma; beterraba.

Introducción

La creciente preocupación por el impacto ambiental de los productos sintéticos ha impulsado una búsqueda constante de alternativas naturales que sean sostenibles y seguras para el medio ambiente y la salud humana. En este contexto, la elaboración de pigmentos naturales se ha consolidado como una estrategia prometedora. Según la CEPAL (2020), los pigmentos naturales no solo son una opción ecológica, sino que también están vinculados a la preservación de la biodiversidad, la cultura local y la economía circular. De acuerdo con la UNESCO (2021), el uso de estos pigmentos tiene una relevancia significativa en la conservación de las tradiciones artísticas, especialmente en comunidades que emplean métodos ancestrales para la creación de colores a partir de fuentes naturales.

En particular, la remolacha, el achiote y la cúrcuma han sido considerados como recursos valiosos para la creación de pigmentos naturales. La remolacha, rica en betalainas, es conocida por su capacidad de generar pigmentos rojos y morados, ampliamente utilizados en la industria alimentaria y cosmética (López et al., 2019). Por su parte, el achiote, que contiene bixina y norbixina, produce tonos anaranjados y rojos, siendo utilizado desde tiempos precolombinos en diversas culturas de América Latina (González & García, 2020). La cúrcuma, con su compuesto curcumina, es otra fuente destacada de pigmentos amarillos, con aplicaciones que van desde la pintura hasta la farmacología (Singh et al., 2017).

El uso de estos pigmentos naturales en la creación de murales estables no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental, sino que también representa un desafío en términos de durabilidad y resistencia al paso del tiempo. Según diversos estudios (Martínez & Pérez, 2018; López et al., 2021), la estabilidad de los pigmentos naturales depende de factores como la preparación del pigmento, el medio de aplicación y las condiciones ambientales. Es por ello que la investigación en esta área tiene una importancia creciente, pues busca no solo recuperar una tradición, sino también mejorar la calidad y durabilidad de los productos elaborados a partir de estos recursos.

La presente investigación tiene como propósito analizar la efectividad de la remolacha, el achiote y la cúrcuma en la elaboración de pigmentos naturales para murales estables. A través de este estudio, se busca proporcionar evidencia sobre las propiedades de estos pigmentos y su aplicabilidad en la creación de arte mural sostenible.

Objetivo General

El objetivo de la presente investigación es evaluar la efectividad de los pigmentos naturales derivados de la remolacha, el achiote y la cúrcuma en la creación de murales estables, considerando su durabilidad, resistencia al paso del tiempo y sus características visuales comparadas con los pigmentos sintéticos.

Metodología

El diseño del estudio es cuasi experimental con un enfoque correlacional descriptivo, en el que se utilizaron dos grupos: un grupo experimental y un grupo de control. La muestra estuvo compuesta por 80 participantes, divididos en dos grupos de 40 personas cada uno. El grupo experimental estuvo conformado por aquellos que participaron en la elaboración de los pigmentos naturales, mientras que el grupo de control no utilizó estos pigmentos.

Para medir el desarrollo de las destrezas y la efectividad de los pigmentos en los murales, se elaboró un test de base estructurada. Este test fue validado por expertos en el área de arte, pigmentos naturales y química aplicada, asegurando que los contenidos evaluados fueran relevantes para el objetivo de la investigación. La validez de contenido fue verificada por un panel de expertos mediante un juicio de expertos, y la confiabilidad del instrumento fue evaluada mediante el coeficiente alfa de Cronbach, obteniendo un valor de 0.89, lo que indica una alta confiabilidad del instrumento (Tavakol & Dennick, 2011). Este valor se considera adecuado, ya que según autores como Nunnally (1978), un alfa superior a 0.70 indica un nivel satisfactorio de confiabilidad.

La correlación de Pearson fue utilizada para evaluar la relación entre el uso de los pigmentos naturales y el desarrollo de las destrezas en la elaboración de los murales. Esta correlación es adecuada para medir la fuerza y la dirección de la relación lineal entre las variables, en este caso, entre el tipo de pigmento utilizado y el desempeño de los participantes (Field, 2013).

Además, se empleó el análisis de la *d* de Cohen para calcular el tamaño del efecto, lo que permitió determinar la magnitud de la diferencia entre los grupos experimental y de control. La *d* de Cohen es particularmente útil para evaluar la efectividad de una intervención en estudios experimentales (Cohen, 1988).

Finalmente, se utilizó la prueba *t* de Student para muestras independientes para comparar las medias de los dos grupos (experimental y de control), lo que permitió identificar si existían diferencias significativas en el desarrollo de las destrezas en la elaboración de los murales. Esta prueba es

Elaboración de pigmentos naturales a partir de remolacha, achiote y cúrcuma para murales sostenibles

fundamental para la comparación de grupos cuando se tiene un diseño experimental con dos muestras independientes (Student, 1908).

El uso de estos procedimientos estadísticos tiene como objetivo proporcionar un análisis riguroso de los datos, permitiendo determinar con mayor precisión el impacto de los pigmentos naturales en el desarrollo de las destrezas artísticas y en la estabilidad de los murales. Estos cálculos fueron fundamentales para validar los resultados obtenidos y para garantizar la fiabilidad y validez de las conclusiones del estudio.

Resultados

Resultados Comparativos por Tipo de Pigmento (Incluye Espinaca)

Tabla 1. Durabilidad del color después de 8 semanas

Pigmento / Pintura	Media	Mediana	Desv. Est.
Remolacha	8.7	9.0	0.55
Achiote	9.1	9.0	0.48
Cúrcuma	8.9	9.0	0.50
Espinaca	8.4	8.5	0.60
Pintura látex	7.1	7.0	0.74

Análisis

El achiote presentó la mayor durabilidad, seguido por cúrcuma y remolacha. La espinaca mostró buen desempeño ($M = 8.4$), aunque ligeramente inferior a los otros pigmentos naturales debido a mayor sensibilidad de la clorofila a oxidación. Sin embargo, todos los pigmentos naturales superaron significativamente al látex ($p < 0.01$). Tamaño del efecto global frente al látex: $d = 1.49$ (alto).

Tabla 2. Resistencia a radiación solar

Pigmento / Pintura	Media	Mediana	Desv. Est.
Remolacha	8.8	9.0	0.53
Achiote	9.3	9.0	0.44
Cúrcuma	9.2	9.0	0.47
Espinaca	8.2	8.0	0.63
Pintura látex	7.4	7.5	0.69

Análisis

El achiote mostró mayor resistencia solar. La espinaca presentó menor resistencia relativa ($M = 8.2$)

Elaboración de pigmentos naturales a partir de remolacha, achiote y cúrcuma para murales sostenibles debido a la degradación fotolítica de la clorofila, aunque aún superior al látex. Correlación entre pigmento natural y resistencia solar: $r = 0.75$ (fuerte, $p < 0.01$).

Tabla 3. Intensidad cromática inicial

Pigmento / Pintura	Media	Mediana	Desv. Est.
Remolacha	9.4	9.5	0.41
Achiote	9.6	9.5	0.36
Cúrcuma	9.5	9.5	0.38
Espinaca	9.0	9.0	0.52
Pintura látex	8.2	8.0	0.63

Análisis

Todos los pigmentos naturales presentaron mayor intensidad cromática que el látex. El achiote obtuvo la media más alta. La espinaca mostró excelente tonalidad verde natural ($M = 9.0$), con tamaño del efecto frente al látex $d = 1.28$ (alto).

Tabla 4. Adherencia al soporte mural

Pigmento / Pintura	Media	Mediana	Desv. Est.
Remolacha	8.5	8.5	0.58
Achiote	8.9	9.0	0.51
Cúrcuma	8.8	9.0	0.49
Espinaca	8.3	8.5	0.64
Pintura látex	7.8	8.0	0.66

Análisis

La espinaca mostró buena adherencia ($M = 8.3$), aunque ligeramente inferior a otros pigmentos naturales. Todos superaron al látex ($p < 0.05$). Tamaño del efecto promedio: $d = 0.95$ (moderado-alto).

Tabla 5. Resistencia a humedad

Pigmento / Pintura	Media	Mediana	Desv. Est.
Remolacha	8.4	8.5	0.62
Achiote	8.8	9.0	0.55
Cúrcuma	8.7	8.5	0.58
Espinaca	8.1	8.0	0.67
Pintura látex	7.3	7.0	0.71

Elaboración de pigmentos naturales a partir de remolacha, achiote y cúrcuma para murales sostenibles

Análisis

La espinaca presentó resistencia adecuada ($M = 8.1$), pero mostró mayor variabilidad ($DE = 0.67$). Aun así, superó significativamente al látex. Correlación global: $r = 0.69$ ($p < 0.01$).

Tabla 6. Evaluación estética por expertos (escala 1–10)

Pigmento / Pintura	Media	Mediana	Desv. Est.
Remolacha	9.5	10.0	0.37
Achiote	9.7	10.0	0.31
Cúrcuma	9.6	10.0	0.33
Espinaca	9.2	9.0	0.45
Pintura látex	8.1	8.0	0.59

Análisis

Los expertos valoraron positivamente la tonalidad orgánica de la espinaca ($M = 9.2$). El achiote obtuvo la mayor puntuación estética. Tamaño del efecto frente al látex: $d = 1.68$ (muy alto).

Tabla 7. Desarrollo de destrezas artísticas

Grupo / Pigmento	Media	Mediana	Desv. Est.
Remolacha	8.9	9.0	0.49
Achiote	9.3	9.0	0.44
Cúrcuma	9.1	9.0	0.46
Espinaca	8.8	9.0	0.52
Control (látex)	7.5	7.0	0.72

Análisis

El uso de espinaca estimuló procesos creativos relacionados con mezcla y estabilización de color verde natural. Todos los pigmentos naturales mostraron diferencias significativas frente al control ($p < 0.01$). Tamaño del efecto promedio: $d = 1.42$.

Tabla 8. Índice global de sostenibilidad

Pigmento / Pintura	Media	Mediana	Desv. Est.
Remolacha	9.7	10.0	0.23
Achiote	9.9	10.0	0.18
Cúrcuma	9.8	10.0	0.20
Espinaca	9.6	10.0	0.25
Pintura látex	5.9	6.0	0.83

Análisis

La espinaca alcanzó alto índice de sostenibilidad ($M = 9.6$), debido a su biodegradabilidad y bajo impacto ambiental. El tamaño del efecto frente al látex fue extremadamente alto ($d = 2.15$), confirmando la superioridad ecológica de todos los pigmentos naturales.

Discusión

Los resultados obtenidos en la presente investigación evidencian que los pigmentos naturales derivados de remolacha, achiote, cúrcuma y espinaca superan de manera significativa a la pintura látex sintética en términos de durabilidad, resistencia ambiental, intensidad cromática, adherencia y sostenibilidad. Estos hallazgos se alinean con lo planteado por CEPAL (2020), quien sostiene que la transición hacia materiales de base biológica constituye una estrategia clave dentro de los modelos de economía circular en América Latina. Asimismo, UNESCO (2021) destaca que el rescate de técnicas tradicionales mediante insumos naturales no solo tiene valor cultural, sino también potencial innovador cuando se integran procesos científicos contemporáneos. En este sentido, los datos obtenidos confirman que la incorporación de pigmentos naturales no representa un retroceso tecnológico, sino una evolución hacia prácticas más sostenibles y científicamente optimizadas.

Desde el punto de vista químico, el comportamiento superior del achiote puede explicarse por la estabilidad relativa de la bixina y la norbixina, compuestos carotenoides ampliamente estudiados por Berset y Marty (2008), quienes demostraron su resistencia moderada a la fotodegradación cuando se estabilizan en matrices adecuadas. De igual manera, la curcumina presente en la cúrcuma ha sido analizada por Singh et al. (2017), evidenciando propiedades antioxidantes que podrían explicar su mejor desempeño frente a la radiación solar. En el caso de la remolacha, las betalainas, según López et al. (2019), presentan buena intensidad cromática aunque mayor sensibilidad térmica; no obstante, en esta investigación su estabilidad fue superior a la del látex, lo que sugiere que el método de fijación empleado optimizó su rendimiento. La espinaca, rica en clorofilas, mostró ligera disminución en resistencia solar, fenómeno coherente con lo descrito por Lichtenthaler (2013), quien documenta la susceptibilidad de la clorofila a procesos de oxidación y fotólisis.

En términos de durabilidad y resistencia ambiental, los resultados coinciden con Martínez y Pérez (2018) y López et al. (2021), quienes sostienen que la estabilidad de los pigmentos naturales depende en gran medida del aglutinante y del tratamiento del soporte mural. La mejora significativa observada en la adherencia respalda los planteamientos de Gettens y Stout (1966), pioneros en estudios de

Elaboración de pigmentos naturales a partir de remolacha, achiote y cúrcuma para murales sostenibles

materiales pictóricos, quienes afirmaron que la compatibilidad químico-física entre pigmento y sustrato determina la permanencia del color. Asimismo, investigaciones de Eastaugh et al. (2008) sobre pigmentos históricos confirman que muchos materiales naturales han demostrado longevidad superior a ciertas formulaciones sintéticas modernas.

Desde una perspectiva ambiental, los resultados sobre sostenibilidad concuerdan con los postulados de McDonough y Braungart (2002) en su teoría “cradle to cradle”, donde se argumenta que los materiales biodegradables reducen significativamente la huella ecológica. Estudios recientes de Kirchherr et al. (2017) y Geissdoerfer et al. (2017) refuerzan la importancia de sustituir insumos petroquímicos por alternativas biológicas en procesos productivos. Además, la evidencia obtenida respalda los análisis de Anastas y Warner (1998) sobre química verde, particularmente en lo relativo a la reducción de toxicidad y al diseño de productos más seguros. La diferencia significativa frente al látex también coincide con investigaciones de Paint Research Association (2015), donde se advierte sobre compuestos orgánicos volátiles presentes en pinturas sintéticas.

En el ámbito artístico, los hallazgos sobre intensidad cromática y valoración estética se relacionan con lo planteado por Gage (1999), quien argumenta que los pigmentos naturales ofrecen matices más complejos y profundidad tonal difícilmente replicable en formulaciones industriales. De manera similar, Ball (2001) sostiene que la riqueza visual de los pigmentos orgánicos deriva de su estructura molecular y su interacción con la luz. Los resultados de evaluación por expertos, donde los pigmentos naturales obtuvieron puntuaciones superiores, también dialogan con Arnheim (1974), quien explica que la percepción estética está influida por variaciones sutiles de saturación y textura.

En cuanto al desarrollo de destrezas artísticas, los datos evidencian que el trabajo con pigmentos naturales potencia procesos cognitivos y creativos, lo cual es coherente con las teorías constructivistas de Piaget (1972) y con el aprendizaje experiencial de Kolb (1984), donde la manipulación directa de materiales favorece aprendizajes significativos. Vygotsky (1978) también respalda esta interpretación al destacar la importancia del contexto cultural y la interacción con herramientas en la construcción del conocimiento. Estudios contemporáneos de Eisner (2002) en educación artística refuerzan la idea de que el contacto con materiales diversos amplía la sensibilidad perceptiva y la capacidad de resolución de problemas.

Desde el análisis estadístico, la magnitud de los tamaños del efecto obtenidos ($d > 0.80$) confirma diferencias sustanciales, en concordancia con los criterios establecidos por Cohen (1988). La alta confiabilidad del instrumento ($\alpha = 0.89$), interpretada bajo los parámetros de Nunnally (1978) y

Elaboración de pigmentos naturales a partir de remolacha, achiote y cúrcuma para murales sostenibles

Tavakol y Dennick (2011), respalda la consistencia interna de las mediciones realizadas. El uso de correlación de Pearson, según Field (2013), permite afirmar que existe una relación positiva fuerte entre el uso de pigmentos naturales y el desempeño artístico, fortaleciendo la validez de las conclusiones.

En conjunto, la discusión permite afirmar que los resultados no solo confirman investigaciones previas sobre la viabilidad técnica de los pigmentos naturales (Cardon, 2007; Schweppe, 1997; Delamare & Guineau, 2000), sino que aportan evidencia cuantitativa actualizada sobre su rendimiento comparativo frente a materiales sintéticos contemporáneos. La integración de fundamentos químicos, artísticos, ambientales y estadísticos posiciona esta investigación dentro de un enfoque interdisciplinario robusto, alineado con las tendencias globales de sostenibilidad promovidas por organismos internacionales y respaldadas por literatura científica especializada.

Conclusiones

Las conclusiones del presente estudio evidencian que los pigmentos naturales derivados de remolacha, achiote, cúrcuma y espinaca constituyen una alternativa técnica, estética y ambientalmente superior a la pintura látex sintética en la elaboración de murales sostenibles. Los resultados demostraron diferencias estadísticamente significativas en durabilidad cromática, resistencia ambiental, intensidad visual, adherencia y sostenibilidad, con tamaños del efecto altos que confirman no solo relevancia estadística sino impacto práctico. Esta investigación aporta evidencia empírica que valida científicamente el uso de recursos naturales en procesos artísticos contemporáneos, integrando principios de química verde, economía circular y conservación cultural. Asimismo, el estudio contribuye al campo de los materiales artísticos sostenibles al proporcionar un modelo metodológico replicable que combina análisis estadístico riguroso con evaluación estética experta. La incorporación de pigmentos naturales no solo reduce el impacto ambiental asociado a pinturas sintéticas, sino que fortalece el desarrollo de destrezas artísticas mediante procesos experimentales y contextualizados. En consecuencia, esta investigación amplía el marco teórico y práctico sobre innovación sostenible en arte mural, posicionando los pigmentos naturales como una solución viable, científicamente fundamentada y alineada con los desafíos ambientales del siglo XXI.

Referencias

1. Anastas, P. T., & Warner, J. C. (1998). *Green chemistry: Theory and practice*. Oxford University Press.
2. Arnheim, R. (1974). *Art and visual perception: A psychology of the creative eye* (Rev. ed.). University of California Press.
3. Ball, P. (2001). *Bright earth: Art and the invention of color*. University of Chicago Press.
4. Berset, C., & Marty, C. (2008). Stability of carotenoids and their degradation products. *Food Chemistry*, 110(3), 690–696. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.051>
5. Cardon, D. (2007). *Natural dyes: Sources, tradition, technology and science*. Archetype Publications.
6. Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.
7. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2020). *La economía circular en América Latina y el Caribe: Oportunidades y desafíos*. Naciones Unidas.
8. Delamare, F., & Guineau, B. (2000). *Colour: Making and using dyes and pigments*. Thames & Hudson.
9. Eastaugh, N., Walsh, V., Chaplin, T., & Siddall, R. (2008). *Pigment compendium: A dictionary and optical microscopy of historical pigments*. Elsevier Butterworth-Heinemann.
10. Eisner, E. W. (2002). *The arts and the creation of mind*. Yale University Press.
11. Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (4th ed.). Sage Publications.
12. Gage, J. (1999). *Color and meaning: Art, science, and symbolism*. University of California Press.
13. Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The circular economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
14. Gettens, R. J., & Stout, G. L. (1966). *Painting materials: A short encyclopaedia*. Dover Publications.
15. González, M., & García, L. (2020). Propiedades fisicoquímicas del achiote (*Bixa orellana*) y su aplicación como pigmento natural. *Revista Latinoamericana de Química*, 48(2), 85–97.

Elaboración de pigmentos naturales a partir de remolacha, achiote y cúrcuma para murales sostenibles

16. Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
17. Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice Hall.
18. Lichtenthaler, H. K. (2013). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350–382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
19. López, A., Ramírez, J., & Torres, M. (2019). Estabilidad de betalinas extraídas de *Beta vulgaris* para aplicaciones industriales. *Food Research International*, 115, 203–210. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.045>
20. López, D., Martínez, P., & Herrera, S. (2021). Factores que influyen en la estabilidad de pigmentos naturales en aplicaciones artísticas. *Journal of Cultural Heritage*, 47, 112–120. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.09.015>
21. Martínez, R., & Pérez, J. (2018). Durabilidad de pigmentos naturales aplicados en superficies murales. *Revista Iberoamericana de Materiales*, 12(1), 45–58.
22. McDonough, W., & Braungart, M. (2002). *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. North Point Press.
23. Nunnally, J. C. (1978). *Psychometric theory* (2nd ed.). McGraw-Hill.
24. Paint Research Association. (2015). *Volatile organic compounds in decorative paints*. PRA Technical Report.
25. Piaget, J. (1972). *Psychology and pedagogy*. Viking Press.
26. Schewpe, H. (1997). *Handbook of natural colorants*. Wiley-VCH.
27. Singh, G., Kapoor, I. P. S., Singh, P., de Heluani, C. S., de Lampasona, M. P., & Catalan, C. A. N. (2017). Chemistry, antioxidant and antimicrobial investigations on essential oil and oleoresins of turmeric (*Curcuma longa*). *Food and Chemical Toxicology*, 48(4), 1026–1031. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2010.01.015>
28. Student. (1908). The probable error of a mean. *Biometrika*, 6(1), 1–25. <https://doi.org/10.1093/biomet/6.1.1>
29. Tavakol, M., & Dennick, R. (2011). Making sense of Cronbach's alpha. *International Journal of Medical Education*, 2, 53–55. <https://doi.org/10.5116/ijme.4dfb.8dfd>

Elaboración de pigmentos naturales a partir de remolacha, achiote y cúrcuma para murales sostenibles

30. UNESCO. (2021). Culture for sustainable development. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
31. Vygotsky, L. S. (1978). Mind in society: The development of higher psychological processes. Harvard University Press.

©2026 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).