



Deterioro y restauración del baluarte de Santiago murallas de Cartagena entre 2007-2019: un estudio fisicoquímico

Deterioration and restoration of the bastion of Santiago walls of Cartagena between 2007-2019: a physicochemical study

Aida Liliana Barbosa Lopez^{1*}, Arbey Guzmán Bohórquez², Yina Calderón Batista³, Roy David Tatis Castro⁴.

¹Doctor en Ciencias Químicas, abarbossal@unicartagena.edu.co, ORCID 0000-0002-9290-1564, Laboratorio en Catálisis y Nuevos Materiales de la Universidad de Cartagena (LICATUC), Programa de Química, Campus de Zaragocilla edificio Cread. -Colombia-<https://orcid.org/0000-0001-7781-8810>

²Químico, aguzmanbl@unicartagena.edu.co, Universidad de Cartagena, Laboratorio en Catálisis y Nuevos Materiales de la Universidad de Cartagena (LICATUC) Programa de Química, Campus de Zaragocilla edificio Cread. -Colombia-<https://orcid.org/0000-0001-7781-8810>

³Química, ycalderonbl@unicartagena.edu.co, Universidad de Cartagena, Laboratorio en Catálisis y Nuevos Materiales de la Universidad de Cartagena (LICATUC) Programa de Química, Campus de Zaragocilla edificio Cread. -Colombia-, <https://orcid.org/0000-0001-6806-2396>

⁴Master en Química davidtatis19@gmail.com, Universidad de Cartagena, Laboratorio en Catálisis y Nuevos Materiales de la Universidad de Cartagena (LICATUC) Programa de Química, Campus de Zaragocilla edificio Cread. -Colombia-,

Cómo citar: A.L. Barbosa-Lopez, A. Guzan-Bohorquez, Y. Calderon-Batista, R.D. Tatis-Castro "Deterioro y restauración del baluarte de Santiago murallas de Cartagena entre 2007-2019: un estudio fisicoquímico.". *Respuestas*, vol. 25, no. S1, 6-18. 2020

Recibido: Agosto 10, 2019; Aceptado: Noviembre 15, 2019

ABSTRAC

Keywords:

Deterioration of limestones, soluble chlorine, Cartagena walls, coral reef rocks

The stone material based on coral reef, present in the bastion of Santiago one of the oldest in the fortification of the wall of Cartagena. It has suffered deterioration, mainly due to factors such as the aggregation of salts, soluble chlorides and growth of biodeteriorating microorganisms, which are increased with environmental conditions such as humidity and high temperatures, added to anthropogenic causes. The aggregation of salts was determined by analyzing the chlorides, by means of the sampling of rock in the walled canvas during the years 2007 to 2019, showing a gradual increase of this indicator of deterioration in a 359 mg/L, while the conductivity electrolytic rose to 382 $\mu\text{S}/\text{cm}$, product of the decomposition of the rock, with precipitated salts: as carbonates and hydroxides, this contributes to the increase of the porosity, due to processes of solubilization. A decrease in resistivity of 0.003 $\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ shows a process of disintegration of the material making it less compact, increasing its risk of cracking, alveolation and posterior cavernization. X-ray diffraction showed a progressive loss of calcium, in relation to non-weathered rock or quarry, which may be due to leaching and/or biological processes, which have a significant chemical effect leading to the weathering of the rock, especially in climates with tropical temperatures. The processes of conservation and cleanliness in the sector of the bastion of Santiago have allowed moving from a moderate deterioration grade III to a degree of healthy rock, with skates dyed of grade II oxides according to the criteria of the scale of G. Moyer. Requiring constant monitoring on this heritage state of great historical value, in order to ensure its structural stability

RESUMEN

Palabras Clave:

Deterioro de caliza, cloruro soluble, lienzo de Cartagena, intemperismo sobre coralina

El material pétreo basado en coralina arrecifal, presente en el Baluarte de Santiago uno de los más antiguos en la fortificación de la Muralla de Cartagena ha sufrido deterioro, debido principalmente a factores como agregación de sales, cloruros solubles y crecimiento de microorganismos biodeteriorantes, que se incrementan con las condiciones medioambientales como humedad, régimen de vientos y temperaturas altas sumado a causas antropogénicas. La agregación de sales fue determinada analizando los cloruros, mediante la toma de muestras de roca en el lienzo amurallado durante los años 2007 al 2019, está revelando un incremento paulatino de este indicador de deterioro en un 359 mg/L, mientras que la conductividad electrolítica subió a 382 $\mu\text{S}/\text{cm}$, como producto de la descomposición de la roca, con sales precipitadas: como carbonatos e hidróxidos, que contribuye al aumento de la porosidad, debido a procesos de solubilización. Un descenso en la resistividad de 0.003 $\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$, esta de acorde con un proceso de disgregación del material haciéndolo menos compacto, aumentando su riesgo de fisuración, alveolación y posterior cavernización. Difracción de Rayos X mostro una pérdida progresiva del calcio, con relación a la roca no intemperizada o de cantera, que puede deberse a remoción por lixiviación y/o procesos biológicos, que tienen un efecto químico significativo que lleva a la meteorización de la roca, especialmente en climas con temperaturas tropicales. Los procesos de conservación y limpieza en el sector del Baluarte de Santiago, han permitido pasar de un deterioro moderado grado III a un grado de roca sana con patinas teñidas de óxidos grado II, según criterios de la escala de D.G. Moyer. Se hace necesario mantener un monitoreo constante sobre este bien inmueble de gran valor histórico, con el fin de asegurar su estabilidad estructural.

Introducción

La piedra coralina constituyente de las fortificaciones de Cartagena tuvo su origen en la evolución de los depósitos de carbonato marino y los ecosistemas del Cenozoico

circo-Caribe, lo cual se atribuyó a cambios climáticos y ambientales globales. Aunque las variaciones temporales en los depósitos de carbonatos marinos superficiales cenozoicos, en esta región parecen seguir las tendencias mundiales, poseen efectos debido a procesos regionales

*Corresponding author: abarbossal@unicartagena.edu.co Aida Liliana Barbosa Lopez

Peer review is the responsibility of the Universidad Francisco de Paula Santander. This is an article under the license CC BY-ND



como; la actividad tectónica y el cambio medioambiental local, por lo que la evolución de los depósitos, no está bien establecida [1]. Diferentes tipos de composiciones de las rocas fueron concebidas desde volcánicas, silíceas, transicionales continentales a marinas de origen profundo-superficial y rocas carbonáceas. Silva-Tamayo et al [1] estudiaron el cinturón formado en San Jacinto–

Bolívar y la evolución mineralógica, que nos permite dar información geofísica de estos materiales de partida, que pudieron ser empleados en fabricar las fortificaciones de Cartagena. Su evolución podemos apreciarla en la figura 1 adaptada para este artículo.

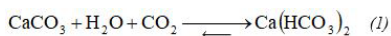
Periodo	CINTURON DEFORMADO DE SAN JACINTO						Alta Guajira
	Segmento Sur	Segmento Central		segmento Norte			
	Guzman (2007)	Guzman (2007)	U. Caldas, ANH (2009)	Luruaco Anticlinorio (Reyes y zapata. 2001;Guzman, 2007)	Carmen de Bolivar (Duque_Caro et al,1996)	Lockwood(1965) &Rollins(1965)	
Plioceno	1.8 - 2.6			Formación Rotinert	Formación Rotinert		1.8 - 2.6
	3.6		Formación Sincelajo			Formación Ware	3.6
Plioceno	5.3 - 7.2			Formación Tubará	Formación Zambrano		5.3 - 7.2
	7.2 - 11.6	Formación Cerrito	Formación Cerrito	Formación Cerrito	Formación Jesús del Monte		7.2 - 11.6
Mioceno	11.6 - 13.8	Formación Porquero	Formación Porquero	Formación Hibácharo	Miembro Mandatú	Formación Castillete	11.6 - 13.8
	13.8 - 16.0				Formación Rancho	Formación Jimol	13.8 - 16.0
Mioceno	16.0 - 20.4	Formación Porquero	Formación Porquero			Formación Utipta	16.0 - 20.4
	20.4 - 23.0	Formación Cienaga de Oro	Formación Cienaga de Oro	Formación Cienaga de Oro	Formación Carmen	Formación Siamaná	20.4 - 23.0
Oligoceno	23.0 - 28.1			Formación Perdices	Areniscas del oso		23.0 - 28.1
	28.1 - 33.9			Formación Perdices	Formación Carmen		28.1 - 33.9
Eoceno	33.9 - 37.8			Formación Tokuyajo			33.9 - 37.8
	37.8 - 41.2		Formación Tokuyajo	Formación Chengue	Formación San Jacinto	Formación Macarao	37.8 - 41.2
Eoceno	41.2 - 47.8	Formación Tamba	Formación Chengue	Formación Chengue	Formación Arroyo de Piedra	Formación Chengue	41.2 - 47.8
	47.8 - 56.0			Formación San Cayetano/Arroyo Seco	Formación Pendales	Formación Maco	47.8 - 56.0
Paleoceno	56.0 - 59.2	Formación San Cayetano	Formación San Cayetano	Formación San Cayetano	Formación San Cayetano/Luruaco	Formación San Cayetano	56.0 - 59.2
	59.2 - 61.6						59.2 - 61.6
Paleoceno	61.6 - 66.0						61.6 - 66.0
	66.0 - 72.1						66.0 - 72.1
Cretaceo superior	72.1 - 83.6	Formación Cansona	Formación Cansona	Formación Cansona	Formación Cansona	Formación Guaralimai	72.1 - 83.6
	83.6 -						83.6 -
	Volcán marino	Continental / Transición Siliciástica		Transicional a Marginal Marina		Rocas Carbonatadas	Profundidad Marina Siliciástica

Figura 1 Registro cronostratigrafico de las cuencas sedimentarias del Cenozoico a lo largo del sudoeste de la costa caribeña. Tomado de J.C. Silva-Tamayo et al. [1]. Modificado por los autores.

La roca coralina arrecifal al ser de naturaleza porosa, está sujeta a sufrir procesos de meteorización, estático donde la piedra se descompone in situ [2] rompiéndose en pequeños fragmentos, que se disuelven formando nuevos minerales, obteniéndose así la remoción y el transporte del producto resultante de la disgregación en partículas de material sólido, quedando listo para entrar en la siguiente etapa que sería la erosión [2], este fenómeno está íntegramente relacionada con los minerales, que poseen ciertas características que los hacen más o menos

resistentes al proceso de alteración, siendo importante de controlar [3]. Los procesos de meteorización pueden dividirse en dos principalmente: la desintegración física o mecánica, y la descomposición que es una alteración química, algunos autores, considera un tercero que es el biológico, donde ocurre la transformación química y volumétrica de la roca [4]. El deterioro está influenciado por dos factores fundamentales: el medio ambiente y los organismos que crecen sobre o dentro del sustrato a degradar [5], este daño físico, químico y estético causado

por agentes biológicos tales como insectos, algas, líquenes, hongos y bacterias, soportados por la presencia de sustancias orgánicas, susceptibles al ataque de microorganismos heterótrofos, está acabando con buena parte de las reliquias arquitectónicas en casi toda Latinoamérica [6], también es notoria la acción de las raíces de plantas superiores. El mortero es, tal vez, el material más bio-receptivo como se observa en edificios, monumentos y en pruebas de laboratorio [6-7], las condiciones microclimáticas como temperatura y humedad relativa aceleran los fenómenos corrosivos de este tipo de materiales [8]. Las modificaciones sufridas en la composición o estructura de la roca coralina arrecifal presente en el cordón amurallado de Cartagena de Indias Colombia, monumento emblemático a nivel del Caribe colombiano [9], son principalmente debidos a la acción de agentes atmosféricos, propiciando que en algunos de los baluartes se pierdan piezas por desintegración, dado que estos agentes físicos arrancan partículas por erosión, asociado con el agua estancada, que asciende capilarmente y forma grietas y/o fracturas y cambios de volumen debido a variaciones de temperatura, perdiéndose las juntas de los pañetes [10-11]. El clima tropical húmedo favorece las reacciones de oxidación, hidratación, hidrólisis, carbonatación y disolución, siendo los agentes químicos más importantes: H_2O , O_2 , CO_2 y ácidos orgánicos, que facilitan los procesos de solubilización de la matriz de carbonato de calcio, como se muestra en la ecuación 1 y lo reportan Elfving et al [12].



Podemos dividir los agentes degradantes que atacan las fortificaciones en dos tipos: externos e internos. Por su origen podemos establecer la siguiente clasificación:

a-Físico-mecánicos: el agua, el viento, cambios bruscos de temperatura, hielo, etc., **b-Ambientales químicos:** contaminación atmosférica, salitres, etc., **c-Biológicos:** musgos, líquenes, bacterias, etc. **d-Incompatibilidades:** con morteros, metales, incluso con otras piedras. **e-Uso inadecuado:** no elegir la piedra apropiada a cada uso, **f-Deficiente conservación y/o restauración:** falta de mantenimiento y conservación, o restauraciones mal ejecutadas. Otro factor es el agua que afecta la piedra natural, ya que es imposible mantener constante el nivel hídrico adecuado a cada piedra, si se lograra esto, la piedra sería un material casi eterno. El agua influye como disolvente de los compuestos de la propia piedra, transporta sales y otras sustancias que dañan la roca, y favorece

la aparición de distintos tipos de microorganismos [12].

El baluarte de Santiago fue uno de los primeros en ser construidos en la muralla de Cartagena entre los años 1595-1616. Conformado por lo que se denomina una “escarpa y una contraescarpa”, con un relleno interno. La mampostería era mixta de ladrillo y piedra pómez con pañete de mezcla de cal y arena. A diferencia de monumentos en América Latina que fueron de caliza, las murallas casi en su totalidad fueron hechas con piedra calcítica coralina arrecifal, lo que las hace porosas y con un valor más elevado por su antigüedad [9] sirviendo como marcadores paleoambientales y paleoclimáticas. Los procesos de alteración en este trozo del monumento han ocurrido por acción de muchos factores y mecanismos: radiación solar, vientos, humedad y contaminantes de naturaleza inorgánica cuya presencia es principalmente antropogénica [15]. Las alteraciones químicas también han inducido cambios físicos, de tipo esférico comúnmente debida a la (acción química entre fracturas) produciendo formas redondeadas o esféricas.

Existen varias clasificaciones para medir el intemperismo Moya [16], Ruxton [17], Anon [18], Dearman [19], ISRM [20], Anon [21]. La mayoría de las escalas de meteorización están referidas a rocas silíceas. Sin embargo, la disolución de la roca por las condiciones medioambientales y su desintegración cobran mayor significado en las rocas carbonáceas Fookes [22]. Para rocas metamórficas e ígneas intrusivas, Deere y Patton [23], proponen un perfil, que comprende cinco niveles similares a los cinco grados de meteorización de la escala de D.G.- Moya. Aunque pueden establecerse otras escalas más precisas, utilizando, por ejemplo, la alteración en la dureza.

La presencia de cloruros en disolución en el ambiente, es la situación más agresiva y la responsable de la corrosión de calcita, éstos afectan la migración de los iones cálcicos, influyendo en su estabilidad. Exceptuando las evaporitas y rocas de origen marino, las rocas por lo común presentan escasa proporción de cloruros, sin embargo, dada la elevada solubilidad de sus sales, éstos pasan rápidamente a la fase acuosa pudiendo alcanzar concentraciones muy altas, según López [24]. El agua de lluvia puede ser una fuente importante de ión cloruro, especialmente en zonas próximas a la costa, disminuyendo rápidamente tierra adentro. El ión cloruro no forma sales de baja solubilidad, no se oxida ni se reduce en aguas naturales, no es adsorbido significativamente ni entra a formar

parte de procesos bioquímicos, lo que le da un carácter de trazador casi ideal cuando se desea evaluar el avance de la corrosión pétreo, como lo denota Sengul [25], su determinación es por volumetría con AgNO_3 o por cromatografía iónica. Como consecuencia de la contaminación iónica, otro parámetro que nos brinda información de la presencia de sales solubles dentro de la roca, es la conductividad electrolítica y la resistividad. [13-14]. A medida que la concentración de iones disueltos particularmente, Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} y Cl^- están en mayor concentración en el material hacen aumentar también la conductividad eléctrica y la salinidad iónica según Wetzel [26], la unidad de medida es el $\mu\text{S}/\text{cm}$ ó $\mu\text{ohm}/\text{cm}$. La variación de la temperatura modifica el valor de la conductividad. La resistividad electrolítica es una expresión numérica que expresa la dificultad de una solución para transportar la corriente eléctrica [13]. Esta dificultad depende de la presencia de iones, su concentración relativa, su movilidad, estado de oxidación y temperatura. La unidad de resistividad en el Sistema Internacional es el ohm por metro (Ωm).

Este artículo presenta el estudio del impacto de las sales electrolíticas y cloruros solubles en la consolidación de la roca en el Baluarte de Santiago durante 12 años y el comportamiento de la concentración de calcio como evidencia de la corrosión pétreo. Mediante un mapa de patología en función del tiempo, se aprecia que los trabajos de reposición y mantenimiento, han mitigado las fisuras y pérdidas estructurales, pero que de forma lenta y silenciosa, el problema de las sales persiste, conduciendo a la lixiviación del material cementante y formación de cráteres que están facilitando la posterior pulverización y caída de la roca [13]. Las medidas de conductividad y resistividad electrolítica, corresponden con una actividad media en sales, que están facilitando los procesos de lixiviación del calcio y causando aumento de la meteorización, lo que se corroboró con la disminución del contenido de calcio en el material antiguo expuesto en relación con el material fresco. Con la finalidad de estudiar la acción perniciosa de los cloruros sobre las estructuras de calcita presentes en la muralla y material no intemperizado, se diseñó un conjunto de ensayos con el fin de cuantificar el efecto de este ion en las muestras. La apariencia estética de las murallas se ha modificado en los últimos doce años, debido al aumento de superficies con crecimiento de biopatinas, los cuales son aglomeraciones extensas de microorganismos capaces de destruir la roca coralina arrecifal por los

procesos de biomineralización. Durante los años 2007, 2014 y 2016 se realizaron tareas de mantenimiento con la reposición de piezas y la restauración ha consistido en la consolidación estructural del muro, que da hacia el mar eliminándose las fracturas en la estructura y reconstruyéndose la trama original del mismo, en toda su extensión. [27-28].

Materiales y Metodos

Selección del área de estudio.

Se realizó con base al plan que poseía la sociedad de mejoras Institucion pública, que durante 93 años fue la encargada de la conservación de las fortificaciones de la ciudad de Cartagena. Desde el año 2012 acoge los trabajos de recuperación.

Restauración y consolidación la escuela Taller Cartagena de Indias. Se escogió el Baluarte de Santiago, cuya ubicación fue $10^{\circ}25'26.82''\text{N}$, $75^{\circ}33'14.64''\text{O}$, en el centro de la ciudad, por estar en procesos de consolidación y reposición de piezas en el 2007, 2011, 2016 y 2019, facilitando el acopio de las muestras. La inspección visual mostró un alto grado de daño estructural, heterogeneidad del mortero y pañete, se pudo identificar que es uno de los sitios afectados por los procesos de intemperismo y de factores descritos anteriormente como se aprecia en la figura 2



Figura 2 Aspecto visual general del Baluarte de Santiago en los periodos de estudio.
Fuente. Autores

Toma de muestras.

En el año 2007 fueron realizadas consolidaciones en el Baluarte de Santiago, utilizando el reemplazo de estratos de roca caliza superficial, con un espesor variable de medio a un metro. Los bloques fueron removidos del estrato superficial usando pico, pala y barra. En cada caso se tuvo el cuidado de señalar la cara superior y la profundidad del bloque recolectado dentro del estrato, ya que las características físicas de la roca de material intemperizado debería ser lo más cercanas posible al material no consolidado.[10-11], fueron seleccionados de 100 a

150 kg, para las pruebas de laboratorio. En el 2011, 2014, 2016 y 2019 fueron extraídos testigos del material removido para consolidación mediante un raspado con espátulas asépticas (scrapping) descrita por Herrera [14]. Cantidades mayores del material pétreo fueron recolectadas de residuos de restauración a una profundidad aproximada de 30 centímetros, además se tuvo en cuenta la precaución de envasar las muestras en un material de plástico para conservar su humedad y evitar su carbonatación según Useche [29]. El material pétreo no intemperizado ubicadas en Turbaco-Bolívar codificadas como piedra cimientado, malecón y cicom y se empleó como blanco de referencia para hallar la descalcificación de la roca y presencia de SiO_2 .

Determinación de calcio presente en el material fresco y meteorizado.

Mediante imagen satelital y visitas a las cantera se apreciaron zonas heterogéneas de extensión pequeña, en las cuales se escogieron puntos con cambios notorios en relieve, textura, color superficial, vegetación, en una área de aproximadamente 5Ha. Esta área se delimitó de izquierda a derecha, haciendo un plano cartesiano y colocando números que correspondieron a una posición georreferenciada, de esto números se seleccionaron de forma simple aleatoria, los sitios donde se acopio las muestras frescas sin intemperizar, para analizar, las cuales se tomaron como blanco [30]. Con la finalidad de establecer la pérdida de calcio a lo largo de los años de estudio, fueron recolectados especímenes de roca caliza, empleados en las restauraciones, para su posterior ensayo químico y espectroscópico, el material fue macerado hasta obtener un polvo fino el cual pasó malla 100, se secó a 120°C por 12 horas. Luego se dispersó en agua y se agitó continuamente a 345 rpm por 48 h se filtró y en el filtrado fueron realizadas las pruebas químicas de pH conductividad y resistividad. Los análisis por difracción de rayos X se realizaron en un difractómetro Philips Pw1710, de radiación monocromática de Cu, $\lambda = 1.54056 \text{ \AA}$, con 40 kV y 30 mA, con una constante de tiempo 2.0 s y una constante de paso angular 0.100 grados para 2θ , con medidas directas de la superficie expuesta.

Un estimativo de la pérdida de calcio en el proceso de meteorización, se hizo analizando la disminución del porcentaje de calcio en las rocas antiguas, con relación a las de cantera. Para este cálculo de forma empírica

según Krauskopf [31] y Minarik [32], se normalizó la señal del pico mayoritario de calcita $2\theta = 29.5^\circ$ para el total de los difractogramas, luego se seleccionaron los picos DRX de calcita, en las muestras de cantera conservadas en condiciones estándar en el laboratorio y se tomó esta área como el porcentaje máximo de carbonato (para una caliza en Colombia está entre 60% y 90%)[33], de forma igual se procedió con los litotipos presentes en la muralla. Los resultados de la relación del área normalizada de las muestras tomadas en el monumento sobre la intensidad del área de la muestra no intemperizada*100, nos permitieron determinar la pérdida de calcio, como se muestra en el histograma de la figura 6.

Medidas de pH, conductividad, cloruros y resistividad.

La secuencia de mediciones de laboratorio en los especímenes de los materiales presentes, en el monumento en los años 2007 hasta el 2019 y en los materiales no intemperizados, se efectuó partiendo siempre del estado saturado, que fue 24 a 48 horas de inmersión en un recipiente de agua desionizada [34]. El agua empleada para humedecer y lixiviar los especímenes de roca, presentó una conductividad eléctrica de 1,2 a 1,5 $\mu\text{s/cm}$ y una resistividad eléctrica de 8.3 a 6.7 $\mu\text{ohms-cm}$. Los análisis de cloruro emplearon la norma ASTM C 471M-01, mediante una titulación volumétrica con cromato de potasio como indicador. Los valores correspondientes a pH se midieron en un equipo marca VWR Scientific Inc acoplado a un electrodo de pH Hanna HI 1332, la conductividad con un conductímetro Hanna HI87314 acoplado a una sonda Hanna HI76302 y la resistividad con un equipo Hanna HI87314 acoplado a una sonda, HI3316D utilizando soluciones estándares de calibración.

Resultados y Análisis

Aspecto físico de las muestras recolectadas.

En la figura 3-a a la 3-c se muestra el material testigo no intemperizado de piedra cimientado (PC) procedente de Turbaco-Bolívar de forma irregular, color amarillento, consistencia compacta, porosidad discreta es normalmente utilizada para soporte de suelos en construcciones.

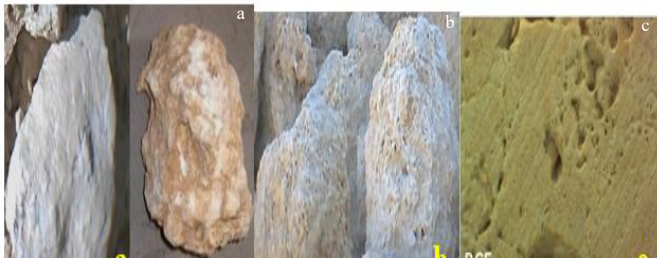


Figura 3 a- Piedra coralina intemperizada cemento , b- muestra intemperizada malecon , c-muestra intemperizada cicom de las canteras de Bolívar-Colombia. Fuente. Autores

La piedra procedente de malecón presento mayor porosidad y disgregación, registrando otra calidad que no sería

adecuada para procesos de restauración.

La mejor apariencia y propiedades como poros más pequeños, mayor uniformidad y dureza presento la muestra 4c rotulada Cicom, la cual presento al pulir trozos de SiO₂ indicando un proceso de meteorización leve.

Con las muestras recolectadas durante 12 años se elaboró el cuadro de patologías de este tramo de muralla figura 4. presentado fracturas, pérdidas de juntas entre los sillares que conformaban la estructura de la muralla,

				Las fisuras y fracturas. Son alteraciones que afectan a más materia pétre, más allá de la superficie.	Producida por esfuerzos mecánicos de sollicitación a la piedra o debido a esfuerzos internos provocados por la alteración química de la piedra.
2007	2011	2016	2019		
2007	2011	2016	2019	La alveolización (red de huecos conectados entre si, similar a los túneles que dejan las abejas en las colmenas)	Las sales pueden provenir también directamente de las aguas marinas como se evidencia en la frecuente formación de alveolos. Las cavidades son excavadas por las sales procedentes, en gran medida, de las salpicaduras de las olas; cuando el agua se evapora precipitan, pudiendo ser observadas en el interior de las cavidades alveolares.
				Excavación o cavernización (Huecos individuales, no conectados entre si)	Cavidad de gran tamaño producida, principalmente, en piedras calcáreas, por disolución. Acción y efecto de disolverse un material, generalmente por las aguas meteóricas.
2007	2011	2016	2019		
Síntomas				Descripción	Causas
				La eflorescencia de sales (los polvillos blancos resultantes de la cristalización y precipitación de las sales a las superficies.	El terreno puede contener sales, el contacto directo entre el terreno y el muro o el suelo sumado a la humedad del mismo es otra de las causas frecuentes de eflorescencias.
2007	2011	2016	2019		
				La colonización biológica	Musgos, líquenes, bacterias, etc
2007	2011	2016	2019		
				Las manchas, las pátinas, las costras negras y las variaciones de color en la piedra	La costra negra ataca la piedra produciendo yeso (proceso químico de alteración). Esta costra con el tiempo termina despegándose y fracturando la piedra (proceso físico de alteración).
2007	2011	2016	2019		

Figura 4 Resumen de las patologías pétreas registradas por el Baluarte de Santiago durante el periodo de estudio. Fuente. Autores

fracturas múltiples y desestabilización de la roca constituyente, oquedades, pérdidas de masa, alveolización, deslaminación, fenómenos de erosión y agregación de sales, orificios formados por el efecto abrasivo del viento sobre la superficie (deterioro mecánico), a lo largo del tiempo se presentan biopatinas de color verde y negro en la superficie de la pared, que no son uniformes conformada por líquenes, musgos y bacterias cianofitas, Vide-la [34]. Actualmente se observan procesos de fracturas y oquedades, el trabajo de relleno de grietas de gran profundidad en la parte interna del material pétreo (deterioro físico); ha sido repuesto casi en su totalidad, sin embargo, mediante maceración del material se aprecia que su dureza, es variable en diferentes partes del cordón amurallado en 2019. Se hizo un diagnóstico empírico del grado de deterioro registrado por el lienzo amurallado en este baluarte durante 2007 al 2019 con base en el resumen de patologías de la figura 4 empleando la escala de D.Moye.

Grado de Deterioro o alteración	Denominación	Criterios de Reconocimiento
I	Sana	Roca no deteriorada. Conserva el color y el lustre en toda la masa.
II	Sana con patinas teñidas de óxidos	Las caras de las rocas están manchadas de óxidos pero el bloque unitario entre ellas mantiene el color y el lustre de la roca sana.
III	Moderadamente Deteriorada	Claramente deteriorada a través de su entorno puede identificarse el cambio de color respecto de la roca sana. El cambio de color puede ser desde simples manchas a variación de color en toda la masa, generalmente a colores típicos de óxidos de hierro, la resistencia de la roca puede variar desde muy análoga a la roca grado II a bastante más baja, pero tal que trozos de 25 cm ² de sección no pueden romperse a mano.
IV	Muy Deteriorada	Roca intensamente meteorizada, que puede desmenuzarse y romperse a mano, aunque sus elementos son perfectamente reconocibles.
V	Completamente Deteriorada	Material con aspecto de suelo, completamente descompuesto por meteorización "in-situ", pero en el cual se puede reconocer la estructura de la roca original. Los elementos constitutivos de la roca se encuentran diferenciados, aunque totalmente diferenciados

Fuente: Autores

Tabla I. Escala de Deterioro o Alteración de las Rocas (Basada en la de D.G. Moye)

Teniendo en cuenta la escala de deterioro o alteración de D.G. Moye [27] en el año 2007, ver tabla I, el grado de deterioro era III en la parte más cercana al puente peatonal, debido a que cumple con los criterios de reconocimiento como lo son: cambios de color en todo el tramo del baluarte, oquedades, algunos trozos de sección se fracturaban con la mano, en algunas partes coloraciones amarillentas y pardas rojizas de óxido de hierro, abundantes biopatinas de coloraciones verde y/o negras y resistencia mecánica variable en diferentes partes del Baluarte, del cual se pudo apreciar en el momento de la toma de muestra. En la parte céntrica del baluarte cara exterior el grado fue IV muy deteriorada con grietas, alveolización, fluorescencia y disgregación del material, que requirió

reemplazo de las piezas. Según el grado de meteorización de Deere y Patton [17], se puede decir que la roca en los años 2007-2014, se encontraba débilmente meteorizada ya que cumplía con las características tales como: pérdida en el color original por parte de la superficie, fracturas de algunos milímetros o centímetros hacia el interior de la roca, entre otros.

En el año 2016-2019 existe evidencia de reposición de piezas siendo el color más claro y su aspecto menos poroso, con una incidencia menor de patinas. Se podría concluir que el deterioro ha bajado a II sana con presencia de patinas, las cuales deben ser actualmente por el aumento de tráfico que aporta hidrocarburos, este grado está acorde con una lenta y no detenida corrosión electrolítica debida a sales de hierro, magnesio, aluminio e hidróxidos. Las mejoras en la permanencia y salud de la roca, han sido principalmente por las tareas de mantenimiento, las cuales deben ser permanentes y en lo posible extenderse a lo largo de los 14 kilómetros de fortificación.

Análisis Difracción de rayos X

Los difractogramas, figura 5a,b y c. manifiestan picos característicos de la fase calcita con alto grado de cristalización, en un sistema romboédrico hexagonal con señales en $2\theta=29^\circ, 38^\circ, 39^\circ, 40^\circ, 47,51^\circ, 48,51^\circ$, en casi la totalidad de las muestras de distintas procedencias.

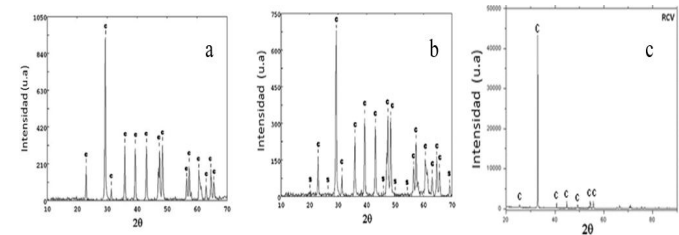


Figura 5. Difracción de rayos x. (a) roca cemento (RC), (b) roca malecón (RM), (c) roca cicom (R) procedentes de las canteras de Turbaco-Bolívar. Fuente: Autores

Se pudieron identificar picos característicos para óxido de silicio SiO₂ con sistema primitivo hexagonal según las coordenadas $2\theta= 20,73^\circ; 26,59^\circ; 45,80^\circ; 50,10^\circ; 54,61^\circ$ y $68,20^\circ$, los cuales están reportados en JCPDS86-1630. [32]. La presencia de óxido de silicio en el material fresco está relacionado con alteración tipo skarn, la cual corresponde a la transformación de rocas carbonatadas metamorizadas (calizas y dolomíticas), a minerales tipo calcosilicados no siendo muy aptos para los procesos de restauración según descrito por Corbett [33]. Se pudo

apreciar que las muestras recolectadas en los años 2007, 2011 y 2016 mantuvieron la cantidad de calcio similar, figura 6, mientras que en las muestras de la muralla se apreció una pérdida gradual indicando procesos de disolución con pérdida de material particulado, acelerado por lixiviación y vapor de agua, figura 6.

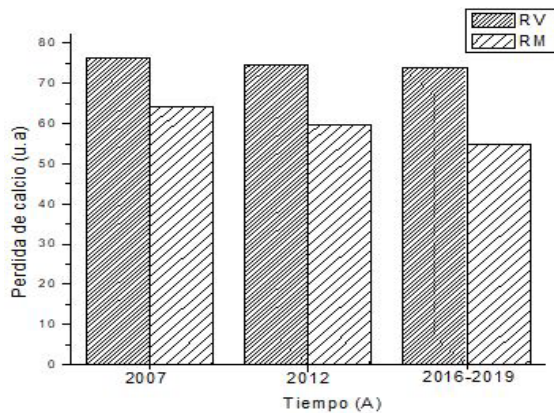


Figura 6. Histograma descalcificación versus tiempo en años. (RV) roca virgen, (RM) rocas del Baluarte de Santiago. Fuente. Autores

Los difractogramas para las muestras de piedra antigua de las Murallas (PAM)-2007, figura 7a, figura 7b-2016 y figura 7c roca actual, se apreciaron picos característicos para carbonato de calcio en la fase calcita y correspondió a un sistema cristalino romboédrico hexagonal con coordenadas 2θ con los principales picos de mayor intensidad en $2\theta=29,37^\circ$; $39,40^\circ$; $47,51^\circ$; $48,51^\circ$ (JCPDS 47-1743, 81-2027 y 86-0174). [35]. Cabe señalar que la presencia de SiO_2 es casi imperceptible con señales muy débiles en $2\theta=55^\circ$ y 68° , en el año 2007, pero que ha ido en aumento progresivo como se aprecia en la fig7b y 7c, corroborando una alteración en la roca antigua, aumentando el porcentaje en peso de SiO_2 con el aumento de los álcalis por fenómenos de cristalización de las sales, que en nuestro caso provee el entorno, presentando una disminución en el calcio, fue observado por DRX.

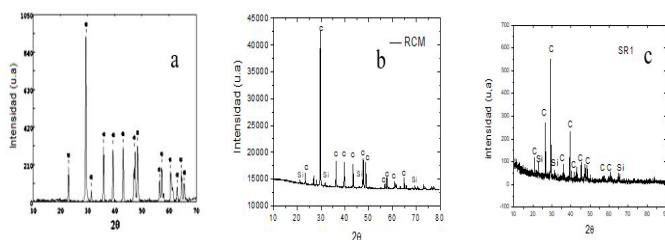


Figura 7 Difracción de rayos X. (a) roca antigua (PAM) 2007, (b) roca 2016, (c) roca actual 2019. Rocas del Baluarte de Santiago. Fuente. Autores

Se requiere explorar qué fracción del calcio entra con los aerosoles y el polvo atmosférico, para determinar la lixiviación progresiva del calcio por meteorización de las rocas cálcicas, como se ha evidenciado en cuencas costeras del Caribe en Costa Rica y Puerto Rico [37-39].

Análisis de cloruros conductividad y resistividad.

El material extraído de cantera en el mismo sitio de acopio, mostro una variación en el contenido de cloruro correspondiente a un material que ya posee corrosión, requiriéndose un mayor control de exposición a la intemperie. Es conveniente realizar este tipo de análisis a las rocas que se van a utilizar en los procesos de consolidación y reemplazo en el monumento, seleccionando el material no solo utilizando criterios mecánicos de porosidad, dureza y resistencia, como se efectúa, sino criterios químicos relacionados con la contaminación electrolítica. La atmósfera agresiva rica en cloruros en el entorno natural del monumento permite su infiltración marina, así como procesos de evaporación quedando atrapado dentro de la roca, convirtiéndolo en un factor de deterioro constante e inmodificable, que fue medido durante el 2007-2019, notándose un gran incremento y que se asume ser el responsable del alto deterioro y de las oquedades en forma cráteres en parte del Baluarte observadas en 2019, cuya concentración se halló promediando el valor en varios puntos siendo 886 mg/L , está en comparación con lo encontrado en el material pétreo del 2007 sin intemperizar de 212 mg/L , evidencia un valor cuatro veces más alto. La tabla 2 deja ver un incremento porcentual en la concentración de cloruros del 68,1%, recordando que un mayor contenido de cloruros solubles favorece los procesos de difusión iónica de las calizas, incrementando los procesos electroquímicos que inducen la corrosión pétreo. La concentración alta de cloruros también sugiere una fuerte influencia marina, la cual es necesario explorar posteriormente, puesto que la deposición de sales marinas y polvo sobre el monumento, es por deposición seca causada por los fuertes vientos alisios y brisas marinas [37,40-41].

Año	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	Resistividad ($\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$)	Concentración de iones cloruros totales (mg/L)
2007	212	0.0047	527
2011	313	0.0032	779
2016	467	0.0021	856
2019	594	0.0017	886

Fuente. Autores

Tabla II. Valores de conductividad, resistividad electrolítica y cloruros en piedra del Baluarte de Santiago.

De otra parte, una cantidad considerable de estos cloruros pueden provenir de agua lluvia. Cabe resaltar que los valores del cloruro en los patrones de rocas sin intemperizar, tabla III, también han incrementado las concentraciones de cloro en un 94,8% con el tiempo, denotando un comienzo de deterioro, debido a su proceso de almacenamiento.

Año	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	Resistividad ($\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$)	Concentración de iones cloruro totales (mg/L)
2007	80	0.0125	212
2011	112	0.0089	341
2016	129	0.0077	389
2019	153	0.0065	413

Fuente. Autores

Tabla III. Valores de conductividad, resistividad electrolítica y cloruros en piedra coralina arrecifal fresca.

Con la finalidad de evaluar las reacciones de intercambio iónico, entre los minerales constituyentes de la roca tipo calcita y los aportados por el medio, se realizaron curvas de las medidas de conductividad y resistividad en función de la temperatura. El fluido caliente que circuló por las muestras permitió apreciar un incremento gradual de la conductividad, figura 8, vemos que en el material fresco de piedra coralina, los valores son menores y se aprecia mayor dispersión con el aumento de la temperatura, esto debido a la naturaleza permeable y poco compacta de este material, que es fácilmente invadida por fluidos hidrotermales que pueden causar efectos de alteración.

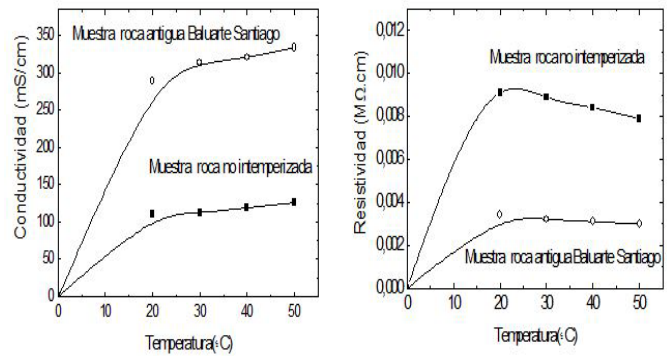


Figura 8. Medidas de conductividad (a) y resistividad (b) en función de la temperatura, para la roca antigua (PAM) y la roca no intemperizada. Fuente. Autores

En este estudio los valores de conductividad en el material antiguo frente a la temperatura, estuvieron entre $212\mu\text{S/cm}$ y $594\mu\text{S/cm}$, un contenido medio en sales si se tiene en cuenta que: según la teoría el 60-70% de este valor corresponde a sales disueltas totales, pertenecientes a iones calcio, magnesio y aluminio. Se quiso hacer el experimento con el incremento de la temperatura en función del tiempo, para simular el proceso que lleva a cabo en este clima tropical húmedo, figura 8. Pudiéndose observar el favorecimiento de la conductividad de sales en la roca de la muralla con temperatura, incremento solubilidad y pérdida de material cementante, debido a la porosidad existente. En tanto que en la roca patrón el incremento es más bajo y la porosidad más baja. Los valores de conductividad iónica para las rocas patrón, muestran una ligera contaminación iónica, producto de las condiciones de almacenamiento de las mismas, que mantienen en ambientes externos a campo abierto.

El material antiguo presentó una permeabilidad mayor y una concentración mayor de sales, que son producto de los procesos de corrosión química y contaminación atmosférica, como también se correlaciono con el mayor contenido de cloruros solubles encontrados. El aumento en el tamaño de los poros cuando el calcio disminuye, favorece el intercambio de iones, los cuales, pueden producir fracturamiento hidráulico en la roca o disolución de minerales, generando permeabilidad secundaria, avanzando así, los procesos de corrosión. Las condiciones en climas tropicales costeros, hace que la circulación de agua caliente sea en mayor volumen, por lo que con el tiempo las modificaciones mineralógicas serán más completas y deteriorantes de forma irreversible.

Los valores de resistividad medidos en los especímenes

frescos y en la roca antigua, figura 8, estuvieron entre 0.0030 MΩ-cm y 0.0091 MΩ-cm característicos de exposición a un medio agresivo y sugieren un alto riesgo de corrosión según Telford [42]. De forma general se aprecia que la temperatura, es un parámetro importante para controlar la solubilidad de determinadas sales por ejemplo el carbonato de calcio, constituyente mayoritario de los especímenes estudiados, lo que se constató midiendo el pH que reporto un valor de 8.7 en la solución a 50°C, lo que también podría asociarse con fenómenos de hidrólisis.

La dependencia que tiene la resistividad de los especímenes estudiados con la temperatura, dependió notablemente de los fluidos que hay en los poros, se aprecia que con un aumento de la temperatura se provoca una disminución de la resistividad, considerándose que las muestras estudiadas se comportan como un conductor electrolítico. Se pudo apreciar que la roca del material antiguo ha acumulado con el tiempo (3años), figura 8, una mayor proporción de poros ocupados por electrolitos que el aumento de la temperatura, facilita su solubilización y salen al medio causando un descenso en el valor de la resistividad. La alta concentración de electrolitos presentes en la roca calcítica, también es debida a la impregnación con agua salada que sufre el monumento o a la presencia de fisuras. Además, la roca se ha hecho más permeable y menos compacta, pudiendo ser invadida por un mayor número de fluidos hidrotermales, causando efectos de alteración, que con el aumento de temperatura, facilita la salida de los iones por los poros al medio produciendo resistividad baja. Para los especímenes recolectados frescos, se aprecian valores de resistividad mas altos, estando en concordancia con una menor cantidad de poros ocupados por electrolitos, en relación con el material más meteorizado, otro factor lo constituye la alteración hidrotermal que en el material, fresco resulta ser menor porque ha estado menos expuesto a la intemperie, como lo expresa Einauidi et al [43].

Los valores de resistividad en función de la temperatura, para el material fresco fueron más altos, propios de una contaminación menor por los iones, debido a que no se ha expuesto al medio de forma directa. La disminución de los valores de resistividad fue más rápida, con relación al material antiguo, dado que los poros pequeños y las estructuras compactas dificultan la movilidad iónica y aumentan la resistividad.

Conclusiones

El incremento de la concentración de cloruros en doce años en la piedra, que permanece en el Cordón amurallado Baluarte Santiago, refleja el avance del deterioro en el material pétreo de forma lenta pero consistente. Una mayor conductividad electrolítica en la roca antigua principalmente por iones magnesio, aluminio y hierro y un menor contenido de calcio en comparación con la roca coralina fresca, revalida la afirmación de la existencia de corrosión pétreo y meteorización persistente por el problema de sales. Los procesos de mantenimiento del Baluarte por los entes gubernamentales han bajado el deterioro a grado II que significa ligeramente deteriorado con limpieza de las patinas biológicas, en la escala D.Moye, lo que es favorable. Sin embargo sigue siendo notorio que la abrasión, vientos fuertes y salinidad alta producen erosión, estimada con la pérdida de calcio y niveles crecientes de cloruros.

Agradecimientos

A la vicerrectoría de investigación de la Universidad de Cartagena por el plan de sostenibilidad 2015-2018. Arbey Guzmán agradece a Unicartagena su beca matrícula para estudios de química 2017- 2018. Al proyecto 004-2016 de Geociencias -Colciencias Unicartagena. Empresas GNR SRL Analytical Instruments SySingenieria.co por la contribución en la adquisición del equipo DRX.

Referencias

- [1] J.C. Silva, M.E. Lara y L. Nana, et. al, "Tectonic and environmental factors controlling on the evolution of Oligo-Miocene shallow marine carbonate factories along a tropical SE Circum-Caribbean ", *Journal of South American Earth Sciences* vol.78, pp. 213-237, October 2017.
- [2] Blight, Wardle, & Fourie, "Geotechnical engineering for mine waste storage facilities av Geoffrey E Blight", *Inbunden Engelska*, pp.11-16,2017.

- [3] M. Selby "Hillslope materials and processes", *Oxford University Press, U.S.A.*; Edition: 2nd Revised edition, 1982.
- [4] D.G. Price, "Weathering and weathering processes", *Quarterly Journal of Engineering Geology*, Vol. 28, pp.243-252, August 1995.
- [5] Th. Warscheid, J. Braams, "Biodeterioration of stone", a review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, Vol. 46, pp.348, December 2000
- [6] M. F. Macedo, A. Miller, A. Dionisio, et. al, "Biodiversity of cyanobacteria and green algae on monuments in the Mediterranean Basin: an overview", *Microbiology*. Vol.155, pp. 3476–3490, 2009.
- [7] C .Saiz, X. Ariño " Colonización biológica y deterioro de morteros por organismos fotótrofos, *Sevilla – España Red Temática del CSIC de Patrimonio Histórico y Cultural Novena Reunión Avances Recientes en la Investigación sobre Patrimonio* , Marzo 2008.
- [8] C.M. Vaillant, y N. Valentin, "Principios básicos de la conservación documental y causas de su deterioro" , *Editorial del Ministerio de la Educación y Cultura Madrid, España* pp.158, 1996.
- [9] E. Cunion, C. Rinaudo, "Las murallas de Cartagena entre patrimonio, turismo y desarrollo urbano. El papel de la sociedad de mejoras públicas", *Universidad del Norte Barranquilla*, Vol. 2, pp.1-20, 2005.
- [10] J. Rocha, "Informe patológico de la estructura del lienzo de murallas y baluartes. Cartagena de Indias" *proyecto GEO Ciudades PNUMA*. 2007
- [11] A.L. Barbosa, C. Buendía, " Estudio fisicoquímico del deterioro del material pétreo estructural antiguo de las murallas de Cartagena de Indias-Colombia (Baluarte de Santiago)" *Revista Ciencias e Ingenierías al Día*. Vol.1, no.3, pp. 101. 2007
- [12] P. Elfving, I . Panas, O. Lindqvist, " Model Study of the First Steps in the Deterioration of Calcareous Stone: III. Manganese and Iron mediated sulphation of natural stone", *Applied Surface*, Vol.78, pp.373-384. August 1994
- [13] ASTM, D. Designation, " Standard test methods for electrical conductivity and resistivity of water" , Vol.11, pp. 1125-82, 1982.
- [14] L.K . Herrera, C. Arroyave, "Protección y prevención del biodeterioro de materiales estructurales del patrimonio cultural colombiano. Iglesia La Veracruz en Medellín". En: *Memorias de las Jornadas sobre prevención y protección del Patrimonio Cultural Iberoamericano de los efectos del biodeterioro Ambiental. Moya S.A. Medellín CYTED*, pp.155-169, 2002.
- [15] R. Segovia, " Las fortificaciones de Cartagena de Indias Estrategia e Historia. " *Bogotá: Ancora* pp.633, 2009.
- [16] D.G. Moye, " Engineering geology for the Snowy Mountain scheme", *Journal of Institution of Engineers*, Vol. 27, pp. 287-298, 1955.
- [17] P. Bryan ,B.P .Ruxton y L.Berry, " Weathering of granite and associated erosional features in Hong Kong", *Bulletin of Geological Society of America*, Vol. 68, pp.1263-1292, October 1957.
- [18] A. Anon, " The description and classification of weathered rocks for engineering purposes", *Quarterly Journal of Engineering Geology*, Vol. 28, pp. 207-242, 1995.

- [19] W.R. Dearman, "Weathering classification in the characterization of rock for engineering purposes in British practice", *Bulletin of International Association of Engineering Geology*, Vol. 9, pp.33-42, 1974
- [20] ISRM, In: Brown, E.T. (Ed.), *Rock Characterization, Testing and Monitoring ISRM Suggested Methods*, Pergamon Press. Oxford, pp.211,1981
- [21] A. Anon, "The logging of rock cores for engineering purposes ", Engineering Group Working Party Report. *Quarterly Journal of Engineering Geology* 3, pp.1-24,1970
- [22] P.G. Fookes, A.B. Hawkins, "Limestone weathering: its engineering significance and a proposed classification scheme", *Quarterly Journal of Engineering Geology*, Vol. 21, pp. 7-31,1988.
- [23] D. U. Deere, F. D. Patton, "Slope stability in residual soils, Fourth Panam"Conf. SMFE, San Juan, Puerto Rico, Vol. 1, pp.87-170,1971.
- [24] B. Lope, J. Barrios, V. Flores, et al " Materiales de construcción", Vol. 45, n° 237, pp.37-52. 1995.
- [25] O. Sengul, T. Illica, y H. Yildirim, , " Effect of cement type on the resistance of concrete against chloride penetration", *Construction and building materials* Vol. 25, pp.1282-2010.
- [26] R.G. Wetzel "Limnology. Lake and river ecosystems" 3a. Ed. San Diego (CA): Academic Press. pp. 1006,2001.
- [27] A. Samudio, " Caminando por Cartagena: Un recorrido histórico y arquitectónico", *Cartagena: Producciones Araujo y Samudio* p.30, 2005
- [28] A. Samudio, "Cartagena veintiún años después de ser declarada patrimonio mundial", *Memorias Revista Digital de Historia y Arqueología desde el Caribe*, Vol.3, pp.1 – 12, 2006.
- [29] L.A. Useche, "Estudio de Morteros y Pañetes Antiguos para la conservación de monumentos históricos" Tesis para la obtención del título de Master en Ciencias Químicas), *Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Química. Bogotá*,1993.
- [30] I.C.E Valencia, B.A Hernández. "Muestreo de suelos preparación de muestras y guía de campo". 1a. ed. *Universidad Autónoma de México*. p 111, 2002
- [30] L Espinosa, G. Carrillo, "Propiedades geofísicas de rocas y suelos calcáreos", *Mediciones de laboratorio en especímenes pequeños, Ingeniería*, Vol.6-2, pp. 23-32,2002.
- [31] K. B Krauskopf. "Introduction to Geochemistry". *McGraw-Hill Book Company* 176, pp.518-527,1967.
- [32] L. Minarik, K. Absolon, Z. Kollnerova, M. Klecka. "Chemical change of granite during its weathering". In: Augustithis, S. S. (ed), *Leaching and Diffusion in Rocks and Their Weathering Products. Theophrastus Publications. S. A. Athens*, 293-306 pp. 1983.
- [33] "La caliza en Colombia Geología, recursos, calidad y potencial" Publicaciones Geológicas Especiales • *Servicio Geológico Colombiano* Número 31, 2012

- [34] H.A. Videla, “Procesos de biodeterioro, biocorrosión e intemperismo: Deterioro del Patrimonio Cultural, similitudes y diferencias. En: Memorias de las Jornadas sobre Prevención y Protección del Patrimonio Cultural Iberoamericano de los Efectos del Biodeterioro Ambiental”, Ed. H.A. Videla, RT XV-E CYTED Cartagena, pp. 25-34, 2003.
- [35] JCPDS -International. “Centre for diffraction data a través del software PCPDFWIN version 2.02”, 2002.
- [36] G.J. Corbett, y T.M. Leach, “Southwest Pacific rim gold-copper systems: structure, alteration, and mineralization”, *Society of Economic Geologist, Special Publication*, Vol. 6, pp.1-75 y 237,1998
- [37] T. Heartsill-Scalley, F.N. Scatena, C. Estrada, W.H. McDowell ,A.E. Lugo “Disturbance and longterm patterns of rainfall and throughfall nutrient fluxes in a subtropical wet forest in Puerto Rico”, *Journal of Hydrology*, Vol. 333, pp. 472-485,2007.
- [38] T.J. Eklund, W Mcdowell, C.M. Pringle, “Seasonal patterns in tropical precipitation chemistry: La Selva, Costa Rica”, *Atmospheric Environment*, Vol. 31, pp.3903-3910,1997.
- [39] W.H. Mcdowell, C. Ginés, C.E.Asbury, et.al, “Influence of sea salt aerosols and long range transport on precipitation chemistry at El Verde, Puerto Rico”, *Atmospheric Environment*. Vol. 24A, pp. 2813-2821,1990.
- [40] J . Cavelier, M. Jaramillo y D. Solis, “Water balance and nutrient inputs in bulk precipitation in tropical montane cloud forest in Panama”, *Journal of Hydrology*, Vol. 193, pp.83-96,1997.
- [41] C. E. Asbury , W. H Mcdowell . R. Trinidad-Pizarro , S Berrios Solute deposition from cloud water to the canopy of a Puerto Rican montane forest. *Atmos. Environ.*,Vol. 28,pp. 1773–1780,1994
- [42] V.M. Telford, L.P. Geldart, y R. E. Sheriff, “Applied Geophysics Cambridge” *University Press*, Vol. 283-293, No. 8, pp. 522-576,1990.
- [43] M.T. Einaudi, L.D. Meinert, y R.J. Newberry, “Skarn Deposits”, *Economic Geology, 75th Anniversary* Vol. 7, pp. 317-391,1981.



Residuos De Metales Tóxicos En Suelos Agrícolas De Veredas Cercanas A Explotaciones Petroleras En Tibú, Norte De Santander

Toxic Metal Waste In Agricultural Soils Of Areas Close To Oil Exploitations In Tibú, Norte De Santander

Arrieta-Soto Alexandre¹; Chaparro-García Amanda Lucía^{2*}; Montañez-Acevedo Gladys³; Bustamante-Cano John Jairo⁴

¹ Maestría en Ciencia y tecnología de los Alimentos, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad de Pamplona, Colombia. <https://orcid.org/0000-0001-9757-5510>

² Departamento de Química, Facultad de Ciencias Básicas. Universidad de Pamplona, Colombia. <https://orcid.org/0000-0001-9728-0931>

³ Departamento de Matemáticas. Facultad de Ciencias Básicas. Universidad de Pamplona <https://orcid.org/0000-0002-4285-3218>

⁴ Departamento de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Pamplona, Colombia. <https://orcid.org/0000-0003-3960-5659>

How to cite: A. Arrieta-Soto, A.L. Chaparro-García, G. Montañez-Acevedo, J.J. Bustamante-Cano "Residuos De Metales Tóxicos En Suelos Agrícolas De Veredas Cercanas A Explotaciones Petroleras En Tibú, Norte De Santander". *Respuestas*, vol. 25, no. S1, pp. 19-27, 2020.

Received on September 27, 2019; Approved on December 03, 2019

ABSTRACT

Keywords:

Soil pollution, Pasture contamination, Oil industry, Heavy metals.

Soil pollution is a serious environmental problem, involving environmental impacts of human activities on air and water, affecting those places where mineral extraction and concentration activities have developed, as well as industrial processes in which they appear as raw materials and waste. In the Americas, including Colombia, the contamination of soils by heavy metals is becoming increasingly important; From the beginning of this century, the determinations of metal concentrations in soils and pastures, especially cadmium, began to rise. The objective of the present work was to determine the concentrations of heavy metals Cu, Cd and Pb collected in sidewalks close to oil farms in soils, pastures and waters. The determination of the levels of these metals was performed by atomic absorption spectroscopy. The results were compared with the regulations of the European Union, since Colombia does not have its own regulations to compare the concentrations of these metals in the soil, pasture and animal drink water. The results obtained showed that the concentrations of Cu, Cd and Pb in the Village subject of this research were found above the limits allowed by the European Union, with the exception of Pb in the samples of waters and pastures of these Villages, in which the concentrations were found according to the norm.

RESUMEN

Palabras clave:

Contaminación de suelos, Contaminación de pastos, Industria petrolera, Metales pesados.

La contaminación de los suelos debido a las actividades humanas ha tenido repercusiones ambientales graves sobre el aire y las aguas. De igual forma se ven afectados todos aquellos lugares en los que se desarrollan procesos de extracción y concentración de minerales, así como procesos industriales en donde los contaminantes aparecen como materias primas y residuos. En el continente Americano, incluyendo a Colombia, cada vez cobra mayor relevancia la contaminación de suelos por metales pesados; desde comienzos del presente siglo empezaron a tomar auge las determinaciones de las concentraciones de los metales en suelos y pastos, especialmente del cadmio. El objetivo del presente trabajo fue determinar las concentraciones de los metales pesados Cu, Cd y Pb en muestras de suelos, pastos y aguas colectados en veredas cercanas a explotaciones petroleras. La determinación de los niveles de estos metales se realizó por espectroscopia de absorción atómica. Actualmente Colombia no cuenta con una normativa que permita comparar las concentraciones de estos metales en el suelo, pastos y aguas de bebida animal, por lo tanto, en el presente estudio se utilizó la normativa de la Unión Europea como referencia. Los resultados obtenidos mostraron que las concentraciones de Cu, Cd y Pb, en las veredas objeto de esta investigación, se encontraron por encima de los límites permitidos por la Unión Europea, a excepción del Pb en las muestras de suelo y pasto de estas veredas, en las cuales las concentraciones se encontraron de acuerdo a la norma.

*Corresponding au-

E-mail ad- achaparro@unipamplona.edu.co Chaparro-García Amanda Lucía



Peer review is the responsibility of the Universidad Francisco de Paula Santander.
This is an article under the license CC BY-ND

Introducción

El uso de aguas residuales urbanas e industriales, la aplicación de fertilizantes, agroquímicos y estiércol de ganado son algunas de las actividades que contaminan los suelos dedicados a las actividades agrícolas y ganaderas (Igiri et al., 2018; Hernández-Ruíz et al., 2017; Reyes et al., 2016; Zeng et al., 2011). Actualmente, el papel de los metales pesados como contaminantes ha sido ampliamente reconocido debido a los efectos negativos que producen cuando ingresan al medio ambiente y se combinan con compuestos orgánicos presentes en sedimentos o, con los iones del agua para posteriormente ingresar a los sucesivos eslabones de las redes alimentarias en donde ocurren procesos de bioconcentración, bioacumulación y biomagnificación (Wang & Zhang, 2018; Hashemi, 2018; Madero & Marrugo, 2011).

Los cambios estructurales del sector pecuario, tales como el aumento de los sistemas de producción intensiva, el incremento de la producción mono específica, la integración vertical, el desarrollo de una distribución a nivel mundial y el establecimiento de sistemas pecuarios intensivos cercanos a centros urbanos, han creado una interfaz animal – personas – ecosistemas que ha aumentado el riesgo de aparición de nuevas enfermedades y/o la intensificación de las ya conocidas (FAO, 2009). Se ha demostrado que los metales pesados como el plomo, cadmio, arsénico y mercurio pueden ser transferidos y producir efectos tóxicos sobre la salud de las personas, por lo que se consideran un factor de riesgo de intoxicación en la salud pública (Wang & Zhang, 2018; Londoño et al., 2016; Mancera & Álvarez, 2006).

Colombia no es ajena a esta problemática. La erosión y lixiviación causada por la tala indiscriminada de los bosques en las cuencas de los ríos Magdalena, Cauca, Sinú, San Jorge, Atrato y Orinoco, así como las actividades portuarias, minería del oro y el carbón, la explotación petrolera, producción pecuaria intensiva y la creciente actividad industrial de las grandes ciudades están generando diversos problemas ambientales entre ellos la contaminación de suelos y aguas con metales pesados. En los últimos 20 años, solamente en la cuenca del río Magdalena se han talado aproximadamente 3,5 millones de hectáreas de bosques, esto ha generado el transporte de unas 133.000 ton/año de sedimentos, arrastrando consigo una alta concentración de metales pesados como cadmio, mercurio, plomo y zinc hacia los principales ríos

de cuenca cuya concentración supera los niveles máximos permitidos en aguas naturales (MADR, 2009).

La información relacionada con la presencia de metales pesados en zonas agrícolas e industriales es escasa en Colombia. Entre los pocos trabajos se encuentran el realizado por Díaz-Urbe et al. (2015), en el que se evaluó el contenido de metales pesados en pastos para ganadería por medio de Espectroscopia Dispersiva de Fluorescencia de Rayos-X y se encontró un elevado contenido de Fe, Mn, Zn y Cu en aquellos pastos que crecieron cercanos a la carretera. De acuerdo con los autores, se recomienda una distancia mínima de 120 m desde la carretera a los campos de pastizales con el fin de reducir el riesgo de contaminación por metales provenientes del tráfico vehicular.

Por su parte, Roqueme et al. (2014), encontraron altas concentraciones de metales pesados en suelos agrícolas del valle medio y bajo de río Sinú, del Departamento de Córdoba. Este estudio fue fundamental en proporcionar información a las entidades correspondientes a fin de tomar medidas preventivas y decisiones de mejora a esta problemática, que pueden traer consecuencias negativas para la salud de los habitantes de la región.

Se ha encontrado una alta correlación entre el contenido de metales pesados presente en el alimento consumido por el ganado. Hashemi (2018) determinó la concentración de metales tóxicos como el plomo, cadmio y mercurio y elementos trazas esenciales (cobre y zinc) en muestras de tejidos provenientes de músculos, hígado y riñón de bovino y sus relaciones con las concentraciones de metales pesados en los alimentos consumidos fueron y encontró valores medios (mg/kg de peso húmedo) de plomo (Pb), cadmio (Cd) y mercurio (Hg) de 0,221, 0,028 y 0,003 en músculo, 0,273, 0,047 y 0,002 en hígado y 0,244, 0,114 y 0,003 en riñón, respectivamente. A su vez, estas concentraciones estuvieron positivamente correlacionadas con las encontradas en el alimento consumido por los animales.

En un estudio desarrollado por Oymak et al. (2017) se encontró altas concentraciones de metales tóxicos en diferentes muestras de tejidos animales (pulmón, hígado, riñón, músculo y cerebro) provenientes de granjas comerciales locales en Sivas-Turkia. Por su parte, Okareh & Oladipo (2015) en Nigeria encontraron concentraciones de cadmio y cromo en sangre, músculo, riñón e hí-

gado de ganado bovino superiores a los límites máximos establecidos por la FAO y la Organización Mundial de la Salud. Los mencionados autores señalan que la presencia de esos metales pesados podría estar asociada con la liberación ambiental a los suelos de pastoreo producto de la utilización de agua contaminada.

En otra investigación publicada por Canty et al. (2014) se encontró que, en las zonas con altos contenidos de Cd en suelos, la concentración de estos metales en la especie bovina se encontraban por encima de los límites máximos permitidos por la Unión Europea para los animales adultos, mientras que en los animales menores de tres años de edad, la concentración de este metal se encontró dentro del límite establecido como normal. El estudio realizado por Miranda et al. (2009), sobre la relación entre la concentración de metales trazas en el suelo, forraje y tejido animal de bovinos criados en un área de suelo serpentino en el Noreste de España, concluyó que el uso industrial de las sales de cadmio junto con el cobre, plomo y zinc, fueron productoras de actividad carcinogénica en animales y posteriormente en humanos.

Las áreas adyacentes a vertederos de basura también son susceptibles de sufrir contaminación por metales pesados. Al respecto, Abah et al. (2017) evaluaron los niveles de Pb, Cr, Cd, As, Ni, Co, Cu y Mn en muestras de pastizales recolectadas alrededor de vertederos de desechos y encontraron que el grado de contaminación de los pastos fue significativamente más en las muestras provenientes de las zonas adyacentes a los vertederos. Por lo tanto, recomiendan hacer un monitoreo periódico de los niveles de metales pesados en los pastos alrededor del vertedero de desechos y aconsejan tomar medidas de precaución para limitar la exposición no deseada del ganado y, por lo tanto, de los seres humanos a los metales tóxicos.

En esta investigación se determinó la concentración de metales pesados en muestras de agua, suelo y pasto utilizadas para bebida de bovinos en el municipio de Tibú-Norte de Santander para poder evaluar su potencial impacto en la cadena trófica y posible afectación de la salud pública de esta región.

Metodología

El presente estudio fue realizado en el municipio de Tibú, municipio de Norte de Santander, localizado en el

nororiente colombiano, en el cual se determinaron la concentración de los metales pesados cadmio, cobre y plomo en zonas agrícolas aledañas a campos de explotación de petrolera (Figura 1).

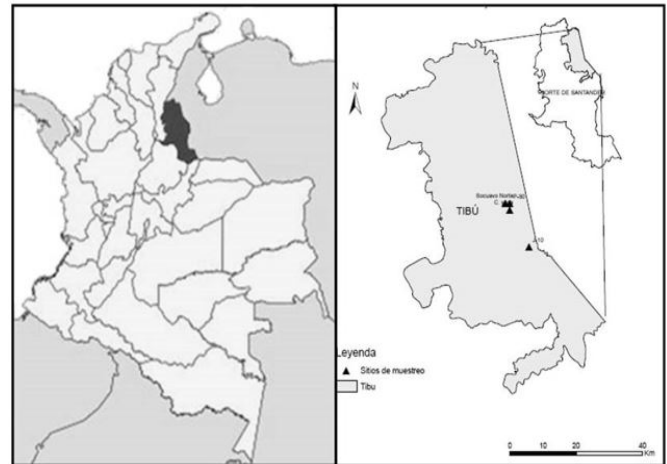


Figura 1. Zona de estudio

Las concentraciones de cadmio, cobre y plomo en el suelo, el agua y forraje fueron evaluadas en cuatro veredas del municipio de Tibú, cercanas a zonas petroleras (Campo Yuca, J – 10, Socuavó Norte y P – 30)

Determinación de Cd, Cu y Pb en PASTOS de consumo Animal

Para la cuantificación de la concentración de los metales Cd, Cu y Pb en muestras de forrajes *Brachiaria sp* en las veredas Campo Yuca, J – 10, Socuavó Norte y P – 30, el material vegetal fue recolectado en las horas de la mañana y empacado en bolsas plásticas con sellado hermético. Buscando determinar analíticamente estos metales, se siguió la metodología propuesta por García (2012) en la cual se tomaron 5 gramos de muestra y se le adicionaron 7 mL de una solución de HCl 37% y HNO₃ 65% en proporción 3: 1, los cuales fueron sometidas a baño ultrasónico en un equipo Branson 1510, durante una hora, luego de este tiempo las muestras fueron filtradas y diluidas hasta completar 25 mL y fueron utilizadas para la determinación de los metales, en el equipo de absorción atómica SHIMADZU AA7000.

Determinación de Cd, Cu y Pb en AGUA de bebida Animal

Para el análisis del agua, con el fin de cuantificar los

de estos metales se emplearon 250 mL de agua en diferentes pozos de las veredas Campo Yuca, J – 10, Socuavó Norte y P – 30. A una profundidad de cincuenta 50 centímetros, las muestras fueron obtenidas de diferentes puntos de las veredas objeto de la presente investigación. Las muestras se transportaron al laboratorio para su análisis y se le adicionaron una solución de HNO₃ 65% y H₂O₂ 30% en proporción 5:1, se dejaron durante cuatro horas y filtraron con papel Whatman N°40, esta solución se utilizó para la determinación de los metales en el equipo de absorción atómica SHIMADZU AA7000.

Determinación de Cd, Cu y Pb en Suelos

Para la medición de los metales en estudio, en concentraciones potencialmente tóxicas para los bovinos que sirven como fuente de nutrición a los seres humanos se empleó aproximadamente un kilogramo de tierra, la cual fue extraída con una pala a una profundidad de 30 centímetros, las muestras fueron obtenidas de diferentes puntos en las veredas Campo Yuca, J – 10, Socuavó Norte y P – 30, se establecieron 10 estaciones en las cuales los bovinos pastorean. El material fue empacado en bolsas de polietileno y transportadas al laboratorio para su análisis. Todas las muestras de suelo fueron mezcladas de acuerdo a las veredas y puestas a secar al aire libre, luego de este proceso se procedió a eliminar el contenido de raíces y tallos, por último se pasaron por un tamiz y se procedió a realizar la digestión ácida de la siguiente manera; se tomaron 30 gramos de muestra, se le adicionaron 20 mL de una solución extractora de suelos (HCl 0,05 N y HNO₃ 0,025 N en proporción 1:1), las muestras fueron sometidas a agitación mediante un equipo agitador breaker a 50 rpm durante 30 minutos, las muestras fueron filtradas y se analizaron en el equipo de absorción atómica SHIMADZU A7000, metodología propuesta por Roqueme et al. (2014),

Las concentraciones de Cd, Cu y Pb se obtuvieron a partir de la absorbancia de cada elemento a su longitud de onda específica en un equipo de absorción atómica SHIMADZU AA 7000 con llama aire-acetileno. Las ecuaciones de cada curva de calibración y el respectivo coeficiente de correlación (R²) para estos se exponen en la Tabla 1.

Metal	Longitud de onda	Ecuación de la recta	R ²
Cu	324,8nm	A=0,1183C - 0,0125	0,9991
Cd	228,8nm	A=0,3346C +0,0125	0,9976
Pb	283,3nm	A=123,44C - 0,0198	0,9988

Tabla 1. Longitud De Onda Para Los Metales Evaluados En Veredas De Tibú.

Se realizaron diluciones para las curvas de calibración empleando estándares certificados Merck de 1000 ppm. A partir de la solución madre que tenía una concentración de 1000 ppm y con las disoluciones adecuadas se hicieron diversas soluciones con concentraciones que iban de 0,5 ppm a 2 ppm, pudiendo cuantificar cada uno de los metales estudiados. Esta curva de calibración se realizó con el fin de conocer la concentración exacta de las soluciones resultantes de los procedimientos de digestión y extracción de los metales en estudio

Resultados y Discusión

Determinación de CADMIO en suelos, pastos y agua de bebida animal

Debido a que Colombia no cuenta con una normatividad propia, se decidió comparar los resultados obtenidos con la normatividad de la Unión Europea. Los resultados encontrados en la presente investigación, muestran que las concentraciones de cadmio presentes en las muestras de suelos, pastos y agua de bebida animal provenientes de las veredas Campo Yuca, J- 10, Socuavó Norte y P- 30 del municipio de Tibú, se encuentran por encima de los límites permitidos por la norma, a excepción de la vereda P- 30 donde los niveles de cadmio se encontraron por debajo de la normativa. La mayor concentración de cadmio encontrada en las muestras de suelos, se presentó en la vereda J-10, mientras que en el agua de bebida animal la mayor concentración de este metal se encontró en las muestras procedentes de la vereda P-30 y en menor concentración en las muestras de la vereda J-10. Las concentraciones más altas de cadmio en las muestras de pasto, se encontraron en la vereda Campo Yuca y en menor concentración en la vereda J-10.

En la figura 2, se muestran las concentraciones de cadmio en mg/kg encontradas en cada una de las matrices

evaluadas. Las concentraciones de cadmio se encuentran por encima de los límites permitidos por la normativa europea (0,15 mg/kg para pasto, 0,05 mg/kg para agua y 0,5 mg/kg para suelo).

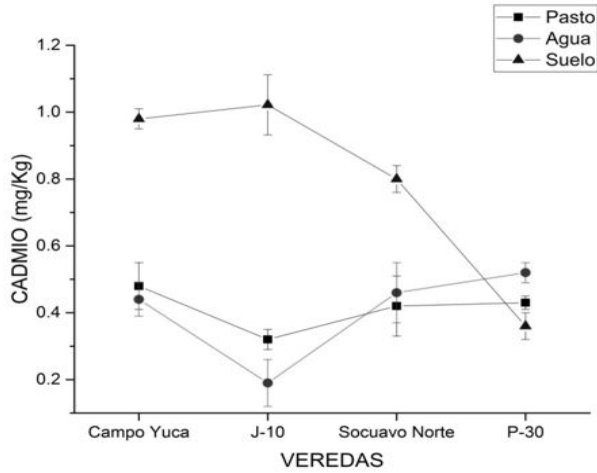


Figura 2. Concentración (mg/kg) de Cd en pasto, agua de bebida animal y suelo en veredas de Tibú.

En un estudio realizado por Zamora et al. (2008) se señala que la utilización continua de aguas residuales contribuye a una disminución significativa de pH, a la oxidación de sulfitos y a la producción de ácidos orgánicos con el consecuente aumento en la concentración de metales pesados como el cadmio a niveles tan elevados como 2,30 mg/kg en el suelo, valores muy superiores a los reportados en esta investigación y también mayores con respecto a los máximos establecidos en la mayoría de normas mundiales para este elemento. Estos autores sostienen que el uso de aguas residuales en las actividades agrícolas debe ser monitoreado para evitar potencial contaminación del suelo y afectaciones a la salud humana.

En ambientes no contaminados, una concentración de cadmio normal y máxima del suelo oscila entre 0,1 y 0,2 mg/kg (Brooks, 1998). Niveles de cadmio de 1 mg/kg en los suelos superan los límites máximos permitidos y se consideran como suelos contaminados (Fay et al., 2007). En el presente estudio, los valores de cadmio encontrados en las veredas Campo Yuca y J-10 superan los límites establecidos en la normativa de la Unión Europea.

El cadmio es un elemento que es fácilmente absorbido desde el suelo por las plantas y a su vez ser transferido indirectamente a los animales a través del consumo. Este metal puede estar presente de forma natural en el suelo

o, en áreas agrícolas, provenir de la aplicación de fertilizantes fosfatados y pesticidas (Canty et al., 2014).

Determinación de COBRE en suelos, pastos y agua de bebida animal

La Unión Europea establece que la concentración máxima permitida del metal cobre para agua de bebida animal es de 0,5 mg/L, en suelo de 0,5 mg/kg y para pastos de 0,15 mg/kg. Al comparar las concentraciones de este elemento obtenidas en las veredas del municipio Tibú Norte de Santander con la normativa, se puede ver que los niveles de Cu en las muestras de agua de bebida animal se encontraron por encima del límite permisible con excepción de la vereda J-10 en donde las concentraciones estuvieron dentro de los parámetros establecidos como normales. Lo mismo ocurrió con las muestras de pasto cuyas concentraciones no excedieron los parámetros establecidos como normales para este metal. Por su parte, las concentraciones cobre en las muestras de suelo provenientes de la vereda J-10 y P-30 estuvieron por encima de los límites permitidos, mientras que los suelos de las veredas Socuavo Norte y Campo Yuca presentaron valores dentro de los límites permitidos considerados como normales de acuerdo con la normativa europea (Figura 3).

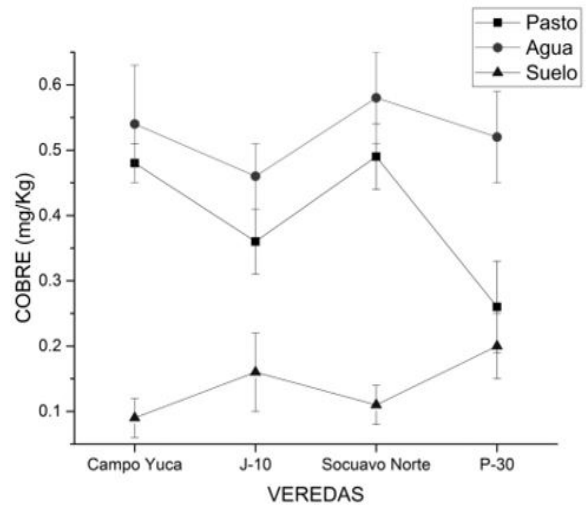


Figura 3. Concentración de Cu (mg/kg) en pasto, agua de bebida animal y suelo en veredas de Tibú.

De manera similar a los resultados obtenidos en esta investigación, en diferentes estudios se ha reportado altos niveles de Cu y Pb en suelos y tejido vegetal incluyendo los pastos, producto de diferentes actividades como la

minería o por el uso de aguas residuales y/o desechos sólidos (Igiri et al., 2018; Hernández-Ruíz et al., 2017; Reyes et al., 2016; Yacomelo, 2014; Zamora et al., 2008; García, 2004). A este respecto, Zamora et al. (2008) en Navarra (España) comprobaron que la contaminación por biosólidos o por minería, aumentaron los niveles totales y asimilables de cobre en el suelo.

Determinación de PLOMO en suelos, pastos y agua de bebida animal.

Las concentraciones halladas para este metal en las muestras de suelo y pasto de las veredas objeto de esta investigación, se encontraron dentro de los parámetros establecidos como normales por la Unión Europea (50,00 mg/kg para pasto, 0,10 mg/L para agua y 50,00 mg/kg para suelo). La Directiva 86/278/CEE establece una concentración máxima permitida del metal plomo en muestras de agua destinada al consumo animal de 0,1 mg/L. Según dicha normativa, en las veredas del municipio de Tibú, las concentraciones halladas estuvieron por encima de los límites permitidos.

La Figura 4 permite visualizar la distribución de las concentraciones de plomo en las muestras de pasto, suelo y agua, encontradas en las veredas estudiadas en Tibú.

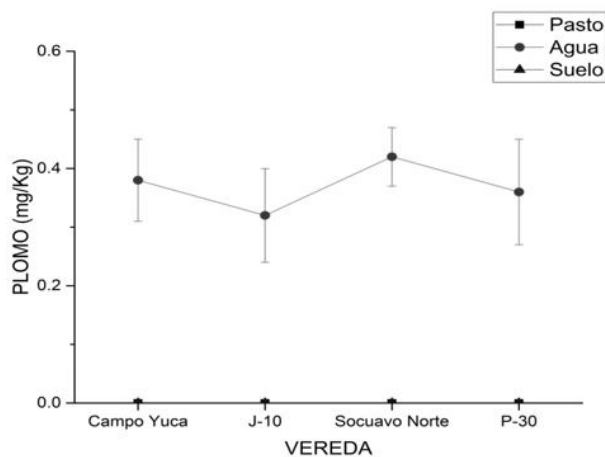


Figura 4. Concentración (mg/kg) de Pb en muestras de pasto, agua y suelo en veredas de Tibú.

Si bien, las concentraciones de Pb halladas en suelo y forrajes estaban dentro de los límites permisibles normales, los niveles mayores que los permitidos hallados en agua, constituye un hallazgo sustancial por la relación con la actividad minera petroquímica en las proximidades de las zonas de muestreo, lo que genera de por sí un

para la salud animal y para la salud pública.

Conclusiones

Las concentraciones de Cd, Cu y Pb encontradas en las muestras de suelo, pasto y agua de bebida animal provenientes de las veredas objeto de esta investigación superaron los límites permitidos por la Unión Europea, con excepción del Pb en las muestras de suelo y pastos. Sin embargo, los niveles de los metales Cd, Cu y Pb presentes en los suelos estudiados son inferiores a los encontrados en otros estudios.

Los niveles de Pb en suelo y tejido vegetal estuvieron dentro de los límites normales. No obstante, la alta concentración de este metal hallada en el agua, constituye un riesgo sustancial para la salud animal, especialmente para los bovinos que pastorean y consumen agua en la zona de estudio y, por consiguiente, para la salud pública, debido a los hábitos alimenticios con base en proteína animal.

La contaminación por metales pesados evidenciada en las veredas estudiadas se debe a que la mayoría de las acciones ejecutadas emplean en sus procedimientos productivos insumos o materias primas conteniendo metales como cadmio y plomo, que impactan negativamente y en grado severo la calidad de los recursos evaluados.

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación COLCIENCIAS, por su apoyo financiero a esta investigación bajo el macro proyecto titulado Determinación de metales pesados expuestos en áreas de alto grado de contaminación y detención de puntos críticos para su control, bajo el código Colciencias pre00503030302; y al Laboratorio de Control de Calidad de la Universidad de Pamplona.

Referencias

- [1] Abah J, Mashebe P, and Onjefu SA (2017). Assessment of Heavy Metals Pollution Status of the Pasture Grass around Katima Mulilo Municipal Solid Wastes Dumpsite, Namibia. *International Journal of Environmental Science and Development*. 8(5): 372-377.

- [2] Arrieta A., Lizcano W., Vera J. (2016). Valoración y cuantificación de metales pesados en cuatro especies de carnes comercializadas en Pamplona Norte de Santander. *Rev. @limentech* 13 (2): P 163-171.
- [3] Geobotany and hyperaccumulators. in Brooks RR (Ed), plants that hyperaccumulate heavy metals. CAB International, Wallingford, Oxon, UK. pp 55-94.
- [4] Sheridan M (2014) Cadmium and other heavy metal concentrations in bovine Kidneys in the republic of Ireland. *Sci Total Environ* 1 (485-486): 223 – 231.
- [5] Contaminación por metales pesados de los productos cárnicos. *Rev. Agroquim. Tecnol. Aliment.* 23.(2): 202-216
- [6] CORPOICA (2007). Guía para la implementación de las buenas prácticas ganaderas, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Colombia. 73 p.
- [7] Díaz-Uribe CE, Vallejo WA, Villamizar LA, Vides N (2015). Analysis of content of heavy metals in grass used to feed cattle by Energy Disperse X-Ray Fluorescence Spectroscopy. *Prospect.* 13(1): 7-11.
- [8] EPA (2018). EPA Unable to Assess the Impact of Hundreds of Unregulated Pollutants in Land-Applied Biosolids on Human Health and the Environment. U.S. Environmental Protection Agency Office of Inspector General. Washington, DC. 66 pp.
- [9] Falcó G, Bocio A, Llobet JM, Domingo JL (2005). Health risks of dietary intake of environmental pollutants by elite sportsmen and sportswomen. *Food Chem.Toxicol.* 43: 1713–1721.
- [10] (2009). El estado mundial de la agricultura y la alimentación; parte 1. Cambios en el sector agropecuario. 2009
- [11] Fay D S. *et al* (2007). Atlas geoquímico de Irlanda. Colourbooks Ltd.,Dublín, Irlanda.
- [12] *Revista Electrónica de Veterinaria*, 15 (1): 1-7.
- [13] García J (2012). Estandarización de un método para la digestión y extracción de Metales Pesados (Cd, Pb y Zn) tesis de grado título de químico.
- [14] Hashemi M (2018). Heavy metal concentrations in bovine tissues (muscle, liver and kidney) and their relationship with heavy metal contents in consumed feed. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 15: 263-267.
- [15] Hernández-Ruiz GM, Álvarez-Orozco NA, Ríos-Osorio LA (2017). Biorremediación de organofosforados por hongos y bacterias en suelos agrícolas: revisión sistemática. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecuaria.* 18(1):139-159.
- [16] org/ articulo.oa?id=60812688008> ISSN 0568-2517.
- [17] Johnsen IV, Aaneby J (2019). Soil intake in ruminants grazing on heavy-metal contaminated shooting ranges. *Science of the Total Environment* 687: 41-49. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.086>
- [18] Igiri BE, Okoduwa SIR, Idoko GO, Akabuogu EP, Adeyi AO & Ejiogu, IK (2018). Toxicity and Bioremediation of Heavy Metals Contaminated Ecosystem from Tannery Wastewater: A Review. *Journal of Toxicology*, pp 1-16. <https://doi.org/10.1155/2018/2568038>, Google ScholarCrossref
- [19] Iwegbue CMA (2008). Heavy metal composition of livers and kidneys of cattle from Southern Nigeria. *Vet Arch;* 78:401-410.
- [20] Londoño-Franco LF, Londoño-Muñoz PT,n Muñoz-García FG (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial.* 14(2): 145-153.

- [21] Madero GA & Marrugo NJ (2011). Detection of heavy metals in cattle, in the valleys of the Sinu and San Jorge rivers, department of Cordoba, Colombia. *Rev. MVZ Cordoba*, 16; 2391-2401.
- [22] Mancera N; Alvarez R (2006). Current state of knowledge of the concentration of mercury and other heavy metals in fresh water fish in Colombia. Departamento de producción animal. Facultad de ciencias agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Fundación geosur. Bogotá, Colombia.
- [23] Martí-Cid R, Bocio A, Llobet JM, Domingo JL (2008). Balancing health benefits and chemical risks associated to dietary habits: RIBEFood, a new Internet resource. *Toxicology* 244:242–248.
- [24] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) (2009), Federación Colombiana de Ganaderos (Fedegán), Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) y Universidad Nacional (UNAL). La ruta de la industria bovina: agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena cárnica bovina en Colombia. Pp: 250.
- [25] Miranda M, Lopez-Alonso M, Castillo C, Hernandez J, Benedito JL (2009). Effects of moderate pollution on toxic and trace metal level in calves from a polluted area of Norther Spain. *Environ Int.* 31:543-548.
- [26] Muñoz O, Vélez D, Montoro R (1999). Optimization of the solubilization, extraction and determination of inorganic arsenic (As (III) + As (V) in seafood products by acid digestion, solvent extraction and hybride generation atomic absorption spectrometry. *Analyst.* 124 (4):601-607.
- [27] National Academy of Sciences (1974). *Nutrients and Toxic Substances in Water for Livestock and Poultry* (Washington, D.C.)
- [28] Nwude DO, Okoye PAC, Babayemi JO (2011). Assessment of heavy metal concentrations in the liver of cattle slaughter during three different seasons. *Res J Environ Sci.* 5(3):288-294
- [29] Oymak T, Ulusoy H, Hastaoğlu E, Yılmaz V, Yıldırım Ş (2017). Some Heavy Metal Contents of Various Slaughtered Cattle Tissues in Sivas-Turkey. *JOTCSA.* 4(3): 737-746.
- [30] Reyes YC, Vergara I, Torres OE, Díaz-Lagos M, González EE (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería Investigación y Desarrollo.* 16(2): 66-77.
- [31] Roqueme J, Pinedo J, Marrugo J, Aparicio A. (2014). Metales pesados en suelos agrícolas del valle medio y bajo del rio Sinú, departamento de Córdoba. (Memorias del II Seminario de Ciencias Ambientales Sue-Caribe & VII Seminario Internacional de Gestión Ambiental, 2014). Universidad de Córdoba, Montería. Colombia.
- [32] Schecter A, Pöpke O, Tung KC, Brown T, Musumba A. (2006). Changes in polybrominated diphenyl ether (PBDE) levels in coked food. *Toxicol Environ Chem.* 88: 207–211.
- [33] Sharif R, Ghazali AR, Rajab NF, Haron H, Osman F (2008). Toxicological evaluation of some Malaysian locally processed raw food products. *Food Chem. Toxicol.* 46: 368–374.
- [34] Wang M, Zhang H (2018). Accumulation of Heavy Metals in Roadside Soil in Urban Area and the Related Impacting Factors. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 15: 1064; 11 pp. doi: 10.3390/ijerph15061064

- [35] Wu Z, Li C, Lv S, Zhou B (2009). Pantothenate kinase-associated neurodegeneration: insights from a *Drosophila* model. *Hum. Mol. Genet.* 18(19): 3659--3672. (Export to RIS)
- [36] Yacomelo HM (2014). Riesgo tóxico en personas expuestas a suelos y vegetales, con posibles concentraciones de metales pesados, al sur del atlántico. Tesis de grado. Título Magister en ciencias Agrarias.
- [37] Zamora FR, Torres RD, Rodríguez G, Yendis C (2009). Uso de agua residual y contenido de materia orgánica y biomasa microbiana en suelos de la llanura de Coro, Venezuela. *Agricultura Técnica en México [en línea]* 2009. 35 (Abril-Junio): [Fecha de consulta: 7 de septiembre de 2016] Disponible en:<
- [38] Zeng F, Ali S, Zhang H, Ouyang Y, Qiu B, Wu F, Zhang G (2011). The influence of pH and organic matter content in paddy soil on heavy metal availability and their uptake by rice plants. *Environ Polut.* 159 (1): 84-91.



Elaboración Y Caracterización De Bloques Cerámicos Extruídos Usando Cenizas De La Combustión De Carbón A Escala De Laboratorio

Elaboration And Characterization At Laboratory Scale Of Extruded Ceramic Blocks Using Carbon Combustion Ashes

Karen Bibiana Díez Contreras¹, Jorge Sánchez Molina², Diana Alexandra Torres Sánchez³

¹Maestría en Química, karen.diez@unipamplona.edu.co, Universidad de Pamplona, Pamplona, Norte de Santander, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-8735-9600>

²PhD en Avances en Ingeniería de los Materiales y Energías Sostenibles, jorgesm@ufps.edu.co, orcid.org/0000-0002-9080-8526, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Norte de Santander, Colombia.

³Doctora en Ciencias - Química, datorres@unipamplona.edu.co, orcid.org/0000-0002-1733-2904, Universidad de Pamplona, Pamplona, Norte de Santander, Colombia.

How to cite: K.B Díez-Contreras, J. Sanchez-Molina, D.A. Torres-Sanchez, "Elaboración Y Caracterización De Bloques Cerámicos Extruídos Usando Cenizas De La Combustión De Carbón A Escala De Laboratorio". Respuestas, vol. 25, no. S1, pp. 28-35, 2020.

Received on August 30, 2019; Approved on November 7, 2019

ABSTRACT

Keywords:

Clay,
coal ash,
ceramic blocks,
FTIR-ATR,
DRX,
technological behavior.

Ashes resulting from the combustion of coal used to feed the hive furnaces of the ceramic industry of Norte de Santander, contain potentially hazardous pollutants for the environment and have no practical application so far, for that reason they become a waste material. In this study, a formulation was developed to make a ceramic material composed of a mixture of clay from Norte de Santander (Colombia) and ash residues from the combustion of coal used to feed hive kilns in the region, which were added in proportions of 10, 20 and 30% w/w, forming prototype mixtures of extruded and sintered ceramic blocks in a temperature range between 900 to 1100 ° C, with gradients of 50 ° C. FTIR-ATR was used to identify the presence of different functional groups and the mineralogical composition was studied by DRX of the raw materials; Likewise, the technological behavior of the developed mixtures was evaluated. The results allowed to select the mixture in which 10% of coal ashes and a cooking temperature of 950 ° C were added, since it has a percentage of water absorption and a compressive strength according to the ranges established by the Colombian standards, generating as an added value the lightening and reduction of the cooking temperature, becoming an alternative of innovation and development that can be used in the production processes of traditional materials of the region with an ecological seal.

RESUMEN

Palabras clave:

Arcilla,
cenizas de carbón,
bloques cerámicos,
FTIR-ATR,
DRX,
comportamiento
tecnológico.

Las cenizas producto de la combustión del carbón utilizado para alimentar los hornos colmena de la industria cerámica de Norte de Santander, contienen contaminantes potencialmente peligrosos para el medio ambiente y hasta el momento no tienen ninguna aplicación práctica, por lo cual, se convierten en un material de desecho en el departamento. En este estudio, se desarrolló una formulación para realizar un material cerámico compuesto de una mezcla de arcilla de Norte de Santander (Colombia) y residuos de cenizas provenientes de la combustión del carbón utilizado para alimentar hornos colmena de la región, las cuales fueron adicionadas en proporciones de 10, 20 y 30% en peso, conformando con las mezclas prototipos de bloques cerámicos extruídos y sinterizados en un rango de temperatura entre 900 a 1100 °C, con gradientes de 50°C. Se usó FTIR-ATR para identificar la presencia de diferentes grupos funcionales y se estudió la composición mineralógica mediante DRX de las materias primas; así mismo, se evaluó el comportamiento tecnológico de las mezclas desarrolladas. Los resultados permitieron seleccionar la mezcla en la que se agregó el 10 % de cenizas de carbón y una temperatura de cocción de 950 °C, ya que presentó un porcentaje de absorción de agua y una resistencia a la compresión acorde a los rangos establecidos por las normas colombianas, generando como valor agregado el aligeramiento y reducción de la temperatura de cocción, convirtiéndose en una alternativa de innovación y desarrollo que se puede utilizar en los procesos de producción de materiales tradicionales de la región con un sello ecológico

*Corresponding author:
E-mail: karen.diez@unipamplona.edu.co

Karen Díez Contreras



Peer review is the responsibility of the Universidad Francisco de Paula Santander.
This is an article under the license CC BY-ND

Introducción.

Los bloques cerámicos desde hace décadas se han producido principalmente a partir de arcilla pura; sin embargo, la extracción continua de arcilla y la remoción de la capa superior del suelo para la fabricación de bloques causa un agotamiento sustancial de este recurso natural (Castells, 2015) (Çiçek & Çinçin, 2015).

En el área metropolitana de Cúcuta, la mayoría de los productos cerámicos se fabrican en hornos colmena o de llama invertida, siendo su utilización un 77% que corresponde a aproximadamente 220 hornos de este tipo, los cuales se pueden encontrar en diferentes tamaños sin presentar variaciones significativas en sus características de diseño (Sánchez Molina & Ramírez Delgado, 2013). En las empresas de cerámica de la región, el material utilizado como combustible para la operación de estos hornos es el carbón dosificado principalmente por operarios y de donde se producen cenizas como residuos del carbón quemado durante la combustión en las hornillas (Sánchez & Díaz, 2011). Las cenizas producidas por la combustión de carbón en los hornos cerámicos industriales de Norte de Santander (Colombia) contienen sustancias contaminantes que son potencialmente peligrosas para el medio ambiente y debido a que no tienen aplicaciones prácticas, se convierten en materiales de desecho (Lafarge, 2014).

La inclusión de cuerpos no arcillosos desde un punto de vista cerámico tiene ciertos límites, y se deben evaluar las cantidades máximas de estos materiales ajenos (nutrientes) que pueden ser incorporados a la mezcla de arcilla para elaborar cerámica estructural, sin cambios en la calidad de los productos (Castells, 2015). Si el nutriente tecnológico entra a formar parte químicamente del nuevo compuesto su futuro comportamiento será bueno; pero si el nutriente solo es retenido físicamente sin cambio alguno en su estructura morfológica y/o química, quedará encapsulado y su futura evolución dependerá más del medio donde se halle que de su propia estabilidad y resistencia. En el primer caso se tratará de una ceramización, que viene a ser la verdadera inertización, mientras que en el segundo escenario se deberá hablar de encapsulación (Arsenovic, Radojević, Jakšić, & Pezo, 2015) (Consoli, Rocha, & Saldanha, 2014).

El uso de nutrientes tecnológicos en la industria cerámica ha sido un tema de investigación a nivel internacional, de-

bido a que ambientalmente existe la necesidad de generar una disposición de los residuos, que sean recirculados y/o usados como aditivos para la fabricación de nuevos productos y con esto disminuir el consumo de materias primas naturales. Entre los nutrientes tecnológicos que han sido estudiados para la fabricación de nuevos materiales cerámicos, se encuentran las cenizas de incinerador de biomasa, residuos maderables, tierra blanqueada de la industria del petróleo, lodos de aguas residuales urbanas, bagazo de caña de azúcar, lodos de la industria cervecera, aguas residuales del molino de aceituna, residuo de café molido, cenizas de cisco de café, cascarilla de arroz, ceniza de la cascarilla de arroz, residuos de la industria del papel, residuos de producción de biodiesel, lodo rojo derivado de la industria del aluminio, cenizas volantes de la combustión del carbón, entre otros (Castells, 2015) (Sánchez Molina, Corpas, & Álvarez Rozo, 2019) (Vidal, Torres, Mejía, & Gonzalez, 2012) (Barrera Castro, 2009) (Roza, 2013) (Balaguera & Carvajal, 2004) (Monroy & Mora, 2005) (Durán Angarita & Pinto Gelvez, 2001) (Díaz Fuentes, 2014).

Para el campo cerámico en específico, el uso de cenizas de carbón que se ha reportado corresponde a las cenizas volantes provenientes de proceso de combustión del carbón de las termoeléctricas, obteniéndose cuerpos cerámicos con propiedades como la contracción, la absorción de agua y la resistencia similares y en algunas ocasiones mejores a la de los materiales cerámicos comerciales que se utilizan para baldosas y pavimentos; sin embargo, se evidencia la aparición de corazón negro en las muestras cocidas rápidamente a altas temperaturas. (Kockal, 2012) (Díaz Fuentes, 2014) (Yang, Shili, Shuhua, Chunli, & Xiaohui, 2017) (Sarabia, Ramirez, & Sánchez, 2018).

Teniendo en cuenta que las cenizas de la combustión del carbón de hornos colmena y los inquemados de carbón generados en el proceso, han sido objeto de un estudio reciente (Sánchez Molina et al., 2019), la presente investigación es pionera en la inclusión de estos para la fabricación de bloques cerámicos extruídos, los cuales presentaron mejores propiedades tecnológicas a temperaturas menores que las usadas actualmente para la cocción de los mismos.

Materiales y métodos.

A nivel industrial, las empresas del sector cerámico adi

cionan el carbón utilizado para las quemas por medio de operarios (dosificación con pala) y por medio de carbojet (dosificación mecánica); en este estudio, se recolectaron cenizas mezcladas de una empresa de la región (figura 1) provenientes de la combustión de carbón de los hornos

colmena, se molieron en un molino de martillos y se tamizaron en malla ASTM 40. La arcilla fue recolectada en la mina La Alejandra ubicada en el municipio de El Zulia en Norte de Santander, Colombia.



Figura 1. Recolección de cenizas de carbon de los hornos colmena Fuente: Autores

La arcilla se mezcló con la ceniza en proporciones de 10, 20 y 30% p/p, para construir prototipos de bloques que se extruyeron en una extrusora de vacío New Wave serie 101 y se cocieron en un rango de temperatura entre 900 a 1100 °C, con gradientes de 50 °C Se usó FTIR-ATR (IR Prestige-21, Shimadzu, Japón) para identificar la presencia de diferentes grupos funcionales y se estudió la composición mineralógica mediante DRX (difractómetro de polvo, Bruker, D8 ADVANCE con Geometría DaVinci) de las materias primas; así mismo, se evaluó el comportamiento tecnológico de las mezclas desarrolladas según la norma NTC 4017 (ICONTEC, n.d.-a).

Resultados y discusión.

Análisis mineralógico.

Con el propósito de determinar los grupos funcionales principales de las materias primas empleadas en la elaboración de los prototipos de bloques cerámicos, se utilizó la espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR), que además sirve como complemento de los análisis mineralógicos realizados por DRX, ya que FTIR es una técnica que permite la identificación de los cambios tanto de las fases cristalinas como de las fases amorfas, en tanto que DRX se limita a las fases cristalinas (Madejová, 2003) (Shoval & Beck, 2005).

Difracción de rayos X de la muestra de arcilla.

La caracterización mineralógica de la muestra de arcilla se realizó mediante difracción de rayos X (DRX). En la figura 2 se muestra el patrón de difracción obtenido y en la tabla 1 el análisis mineralógico cuantitativo realizado mediante refinamiento Rietveld.

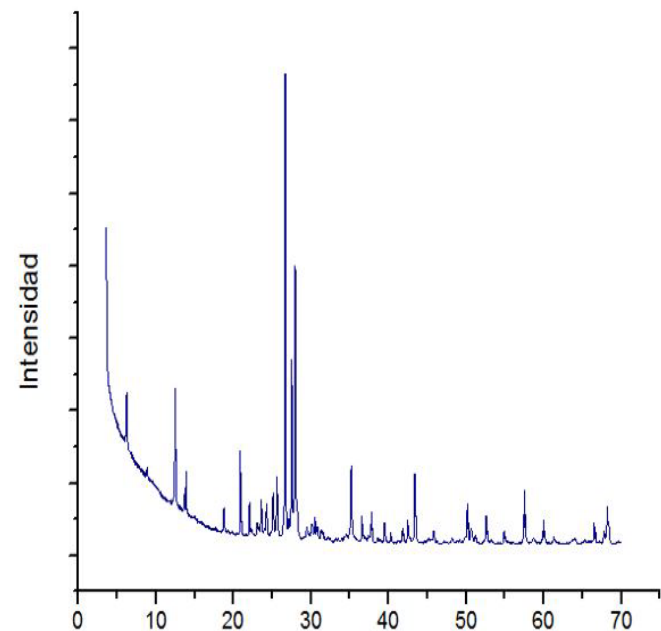


Figura 2. Difracción de rayos X de la muestra de arcilla proveniente de la mina La Alejandra del municipio de El Zulia

FÓRMULA	FASE MINERALÓGICA IDENTIFICADA	CUANTIFICACIÓN (%)
SiO ₂	Cuarzo	22,1
KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀) (OH) ₂	Moscovita	7,2
(Mg, Fe ⁺²) ₅ Al((OH) ₈ /AlSi ₃ O ₁₀)	Clinocloro	10,8
Ca(CO ₃)	Calcita	1,7
Na(AlSi ₃ O ₈)	Albita	25,1
Al ₂ (Si ₂ O ₅) (OH) ₄	Caolinita	<<1,0
K(AlSi ₃ O ₈)	Microclina	13,4
Na - Ca - Al - Si ₄ O ₁₀ - O	Montmorillonita	10,0
Mg ₃ (Si ₄ O ₁₀) (OH) ₂	Vermiculita	0,3
Total cristalino		90,6
Total amorfo		9,4

Tabla I. Análisis mineralógico cuantitativo de la muestra de arcilla de la mina La Alejandra del municipio de El Zulia

De acuerdo con esto, las fases identificadas predominantes en la muestra son la albita y el cuarzo; además se observa la presencia en porcentajes considerables de microclina, clinocloro, montmorillonita y moscovita. La calcita se encuentra en un bajo porcentaje mientras que la caolinita y la vermiculita se encuentran en porcentajes por debajo del 1 %. Estos resultados no concuerdan con estudios previos realizados a materiales arcillosos de la formación Guayabo de la región, ya que en estos se presenta mayor contenido de cuarzo y de caolinita (Gelves, Monroy, Sánchez, & Ramirez, 2013) (Mora Basto, 2015) (Cáceres, 2018). Se debe tener en cuenta que la muestra de arcilla fue obtenida de un límite, lo que puede explicar las diferencias en cuanto a su composición.

Al realizar el análisis mineralógico es realmente elevado el porcentaje de feldespatos presentes; tectosilicatos en los que parte de los átomos de silicio están sustituidos por aluminio, ya que en la arcilla se encuentran de Na (albita) y de K (microclina) que se engloban dentro de los feldespatos alcalinos (Barba et al., 2002).

La elevada cantidad de álcalis que presenta esta materia prima determina su facilidad para fundir y reaccionar con otros componentes y en la muestra analizada se observó que a temperaturas de cocción bajas se obtuvieron buenos resultados. Adicionalmente, los feldespatos alcalinos son los más empleados en la industria cerámica (Barba et al., 2002)

Difracción de rayos X de la muestra de cenizas de carbón

Se realizó el análisis de difracción de rayos X de cada uno de los procesos de generación de cenizas (dosificación con pala y con carbojet) mostrando en la figura 3 los perfiles obtenidos.

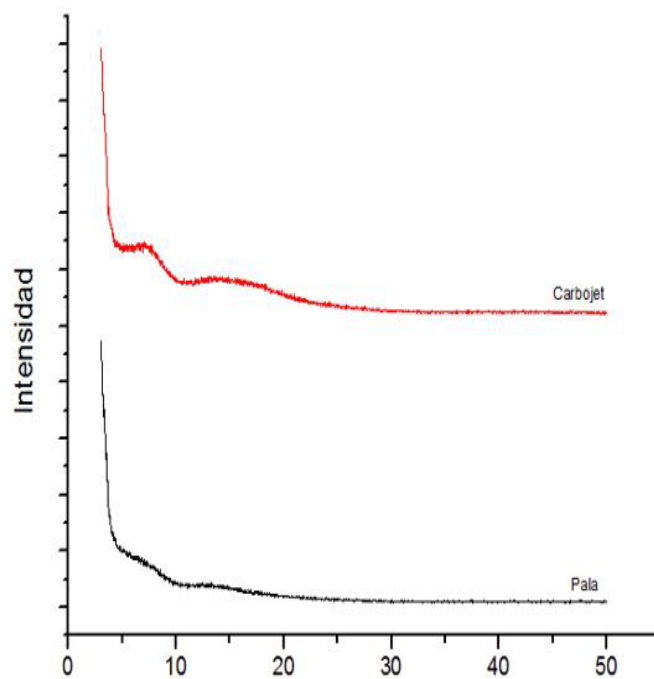


Figura 3. Difracción de rayos X de las muestras de cenizas de carbón

El difractograma de las cenizas de carbojet muestra un pico centrado en $6,98^\circ 2\theta$ con una distancia interplanar de $12,60 \text{ \AA}$ en el plano de reflexión 001 y otra señal menos intensa en $14,26^\circ 2\theta$ con una distancia interplanar de $6,21 \text{ \AA}$ en el plano de reflexión 002. Mientras que para el perfil de las cenizas de pala se presenta un pico en $6,96^\circ 2\theta$ con una distancia interplanar de $12,69 \text{ \AA}$ y otro en $12,83^\circ 2\theta$ con una distancia interplanar de $6,80 \text{ \AA}$, en los planos de reflexión hkl (001) y (002), respectivamente.

De acuerdo con lo anterior, se puede decir que los perfiles de difracción obtenidos son característicos para carbón amorfo como lo son las cenizas, cuyos planos representativos son el hkl (001) y el hkl (002) lo que indica una estructura tipo grafito, debido a su empaquetamiento en el eje z (Peña & Ortega, 2014) (Moreno Xavier; Ayora, Carles; Pereira, Constantino Fernández; Janssen-Jurkovicová, Maria, 2001)

Espectroscopia infrarroja de la arcilla

En la figura 4 se muestra el espectro FTIR-ATR normalizado obtenido para la muestra de arcilla utilizada.

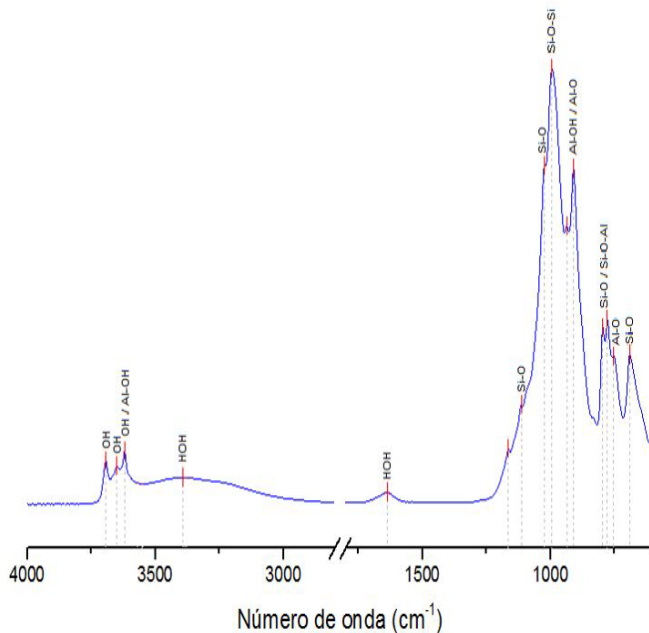


Figura 4. Espectro FTIR-ATR de la muestra de arcilla de la mina La Alejandra del municipio El Zulia

Los minerales de las arcillas se pueden diferenciar por la disposición de apilamiento de sus hojas y por la ocupación de los iones en los sitios octaédricos y tetraédricos. Por esto, para identificar un mineral de arcilla respecto a otro, se utiliza el análisis por FTIR, en el cual las bandas

de absorción que producen los grupos OH estructurales y Si-O son fundamentales.

Se pueden observar bandas en el espectro infrarrojo en 3393 y 1647 cm^{-1} referentes al estiramiento H-O-H del agua absorbida en la muestra (Madejová, 2003). La moscovita presenta una vibración de estiramiento de los grupos OH en 3618 cm^{-1} , así mismo la banda a 795 cm^{-1} se debe a la vibración de flexión del enlace O-Si-O que confirma la presencia de moscovita (Nayak & Singh, 2007).

En el espectro FTIR-ATR se pueden observar otras absorciones a 908 cm^{-1} que corresponde a las vibraciones de flexión del enlace Al-Al-OH y otro pico en 1023 cm^{-1} que hace referencia al estiramiento del enlace Si-O (Madejová, 2003).

La muestra de arcilla analizada presenta bandas de estiramiento y flexión del enlace Si-O en el intervalo de 1163 a 631 cm^{-1} , de las cuales la tensión asimétrica del enlace Si-O a 1163 y las vibraciones de estiramiento del enlace Si-O a 795 y 691 cm^{-1} , muestran la presencia de cuarzo. Los diferentes arreglos dentro de las capas de los minerales se reflejan en la forma y posición de las bandas (Madejová, 2003).

Espectroscopia infrarroja de la ceniza

Los espectros FTIR de las muestras de cenizas de carbón obtenidas ya sea por dosificación con pala o carbojet, muestran un comportamiento semejante, con bandas características de los minerales que la componen en 1083 cm^{-1} correspondiente a la vibración de estiramiento de Si-O del cuarzo, y un pico en 791 cm^{-1} correspondiente al enlace Al/Si-O que puede hacer referencia a la presencia de mullita en las cenizas (Muñoz Lucas, 2012) (Kant, Saxena, Sarkar, Varma, & Mishra, 2012).

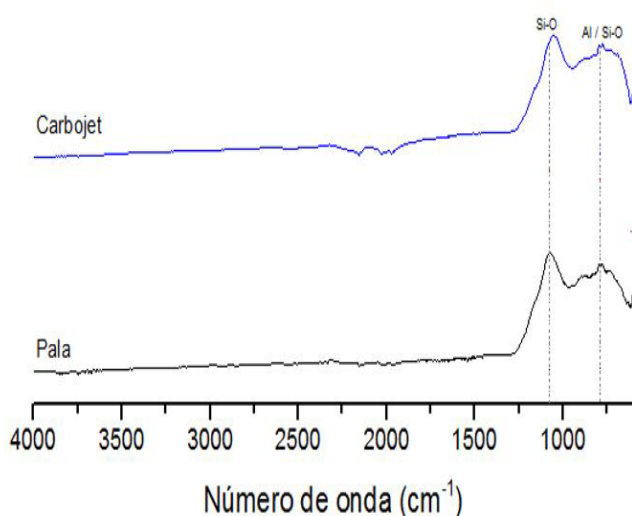


Figura 5. Espectro FTIR-ATR de las muestras de cenizas de carbón

Comportamiento tecnológico

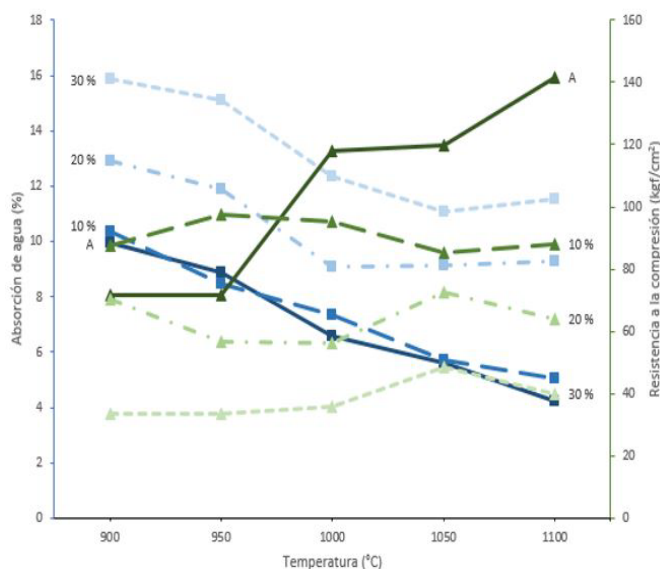


Figura 6. Absorción de agua y resistencia a la compresión de las mezclas elaboradas

La absorción de agua de una arcilla está determinada principalmente por el tipo y la proporción de los minerales que la componen. El análisis del comportamiento tecnológico muestra que se pueden elaborar bloques sinterizados a una temperatura de 900 y 950 °C, mezclando arcilla y 10% de ceniza obteniendo resultados favorables en términos de aumento de la resistencia a la compresión con una ligera variación en el porcentaje de absorción de agua (figura 6). Esto demuestra que se reduce la temperatura tradicional de cocción de los bloques de cerámica en la región.

Al comparar los valores de absorción de agua y de resistencia a la compresión obtenidos en este estudio, con los establecidos en la norma NTC 4205 (ICONTEC, n.d.-b) para bloques no estructurales para interiores de perforación horizontal, se evidencia que estos cumplen dichos parámetros que permite porcentajes de absorción máximos de 17 % en promedio y los resultados obtenidos tanto para los bloques de arcilla pura como para los de la mezcla son inferiores. Además, se logró cumplir con el parámetro de resistencia a la compresión ya que la norma establece un valor mínimo de 30 kgf/cm² en promedio por muestra analizada con un valor mínimo de 20 kgf/cm² para cada unidad.

Conclusiones

Con la presente investigación se logró estudiar el efecto de la incorporación de un nutriente tecnológico como las cenizas de carbón provenientes de la combustión de los hornos colmena en una pasta cerámica, para evaluar su potencial uso y de esta manera contribuir con una alternativa para la utilización de este desecho de la industria cerámica.

Los resultados obtenidos permiten corroborar que el comportamiento tecnológico de la arcilla está estrechamente relacionado con la composición mineralógica y granulométrica, ya que los mejores resultados obtenidos se presentan a bajas temperaturas lo cual se debe a la cantidad de fundentes alcalinos presentes en la muestra de arcilla utilizada.

Los resultados muestran que el material fabricado presenta un porcentaje de absorción de agua y una resistencia a la compresión de acuerdo con los rangos establecidos por los estándares colombianos. Además, también es más liviano de lo habitual, lo que reduce los costos de transporte y se puede utilizar en los procesos de producción de materiales tradicionales de la región con un sello ecológico.

Referencias

- [1] Arsenovic, M., Radojević, Z., Jakšić, Ž., & Pezo, L. (2015). Mathematical approach to application of industrial wastes in clay brick production - Part II: Optimization. *Ceramics International*, 41(3), 4899–4905. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2014.12.050>

- [2] Balaguera, L., & Carvajal, J. (2004). Estudio para producir bloque aligerado a partir de mezclas de arcilla, cenizas volantes y poliestireno expandido en la empresa Cerámicas Támesis S.A. 1–81.
- [3] Barba, A., Beltrán, V., Felú, C., García, J., Ginés, F., Sánchez, E., & Vicente., S. (2002). *Materias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas* (Segunda ed). Castellón: Instituto de Tecnología Cerámica.
- [4] Barrera Castro, M. Y. (2009). Estudio físico-mecánico de un material compuesto pigmentado de Pead/arcilla orgánicamente modificada. Universidad Industrial de Santander.
- [5] Cáceres, V. I. (2018). Caracterización de material arcilloso proveniente de tres formaciones geológicas del área metropolitana de Cúcuta y su potencial aplicación en cerámica. Universidad de Pamplona.
- [6] Castells, X. E. (2015). Nutrientes tecnológicos para la industria cerámica. UNIVERSIDAD DE JAÉN.
- [7] Çiçek, T., & Çinçin, Y. (2015). Use of fly ash in production of light-weight building bricks. *Construction and Building Materials*, 94, 521–527. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.029>
- [8] Consoli, N. C., Rocha, C. G. Da, & Saldanha, R. B. (2014). Coal fly ash-carbide lime bricks: An environment friendly building product. *Construction and Building Materials*, 69, 301–309. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.067>
- [9] Díaz Fuentes, C. X. (2014). Elaboración y caracterización de un material compuesto, de matriz polvos de arcilla atomizados y refuerzo residuos de la combustión del carbón, conformado por prensado uniaxial. Universidad Francisco de Paula Santander: Cúcuta.
- [10] Durán Angarita, E. J., & Pinto Gelvez, Y. X. (2001). Estudio de factibilidad técnico-económico de utilización de residuos de lodos de cal y tierras diatomáceas de la cervecería Bavaria de Cúcuta, mezclados con arcilla para la fabricación de bloques en cerámicas Támesis S.A in Ingeniería de producción indust. Universidad Francisco de Paula Santander: Cúcuta.
- [11] Gelves, J. F., Monroy, R., Sánchez, J., & Ramirez, R. P. (2013). Estudio comparativo de las técnicas de extrusión y prensado como procesos de conformado de productos cerámicos de construcción en el Área Metropolitana de Cúcuta. *Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 52(1), 48–54. <https://doi.org/10.3989/cyv.62013>
- [12] ICONTEC. (n.d.-a). Norma técnica colombiana NTC-4017. Ingeniería Civil y Arquitectura. Métodos para muestreo. Ensayos de unidades de mampostería de arcilla. Bogotá.
- [13] ICONTEC. (n.d.-b). Norma técnica colombiana NTC 4205. Ingeniería civil y arquitectura. Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. Bogotá.
- [14] Kant, U., Saxena, V. K., Sarkar, A., Varma, A., & Mishra, K. (2012). Characterization of Coal ash from a Captive Power plant for Potential End uses. *Thessaloniki Greece*, 10(9), 25–27.
- [15] Kockal, N. (2012). Utilization of different types of coal fly ash in the production of ceramic tiles. *Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 297–304.

- [16] Lafarge. (2014). Hoja de datos de seguridad de materiales. HDSM: Cenizas volantes y cenizas de fondo Lafarge.
- [17] Madejová, J. (2003). Review: FTIR techniques in clay mineral studies. *Vibrational Spectroscopy*, 31, 1–10.
- [18] Monroy, R., & Mora, S. (2005). Estudio para producir termoarcilla con mezclas de arcilla, poliestireno y cenizas. Universidad Francisco de Paula Santander: Cúcuta.
- [19] Mora Basto, R. L. (2015). Caracterización de arcillas provenientes de la mina Murano del municipio El Zulia, Norte de Santander, Colombia. Universidad de Pamplon.
- [20] Moreno Xavier; Ayora, Carles; Pereira, Constantino Fernández; Janssen-Jurkovicová, Maria, N. Q. (2001). 2. Caracterización De Las Cenizas Volantes. Utilization of Zeolites Synthesized from Coal Fly Ash for the Purification of Acid Mine Waters, 33–72.
- [21] Muñoz Lucas, M. I. (2012). Caracterización y acondicionamiento de cenizas volantes para la eliminación de metales pesados en aguas contaminadas. 324.
- [22] Nayak, P. S., & Singh, B. K. (2007). Instrumental characterization of clay by XRF, XRD and FTIR. *Bolletín of Materials Science*, 30(3), 235–238.
- [23] Peña, G., & Ortega, L. (2014). Caracterización morfológica y estructural de polvo de cenizas volantes. 14(2), 14–19.
- [24] Rozo, S. (2013). Evaluación de los cambios en las propiedades térmicas y mecánicas del bloque # 5 fabricado en la región, según las mezclas entre arcilla y residuos industriales. Universidad Francisco de Paula Santander: Cúcuta.
- [25] Sánchez, J., & Díaz, J. I. (2011). Introducción a los hornos utilizados en la industria cerámica tradicional (Universida). Colombia.
- [26] Sánchez Molina, J., Corpas, F. A., & Álvarez Rozo, D. C. (2019). Aplicaciones de los nutrientes tecnológicos en la industria cerámica del área metropolitana de Cúcuta (Ecoe Edici). Bogotá: Universidad Francisco de Paula Santander.
- [27] Sánchez Molina, J., & Ramírez Delgado, P. (2013). El cluster de la cerámica del Área Metropolitana de Cúcuta (Primera). Cúcuta - Norte de Santander: Universidad Francisco de Paula Santander.
- [28] Sarabia, A., Ramirez, R., & Sánchez, J. (2018). Use of central thermoelectric plant's coal fly ash for the production of ceramic tiles in the metropolitan area of Cúcuta. *IEEE Explore*, 1–7.
- [29] Shoal, S., & Beck, P. (2005). THERMO-FTIR SPECTROSCOPY ANALYSIS AS A METHOD OF CHARACTERIZING ANCIENT CERAMIC TECHNOLOGY. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 1–8.
- [30] Vidal, D., Torres, J., Mejia, R., & Gonzalez, L. (2012). Estudio comparativo de cenizas de bagazo de caña como adición puzolanica. *Revista Colombiana de Materiales*, 93–99.
- [31] Yang, L., Shili, Z., Shuhua, M., Chunli, L., & Xiaohui, W. (2017). Ceramic tiles derived from coal fly ash: Preparation and mechanical characterization. *Ceramics International*, 11953–11966.



Espectroscopia Vibracional Como Una Alternativa Para La Discriminación De Drogas Ilícitas Incautadas En La Ciudad De Cúcuta

Vibrational Spectroscopy as an Alternative for the Discrimination of Illicit Drugs Seized in the City of Cúcuta

Jose Manuel Mendez-Hernandez¹, Amanda Lucía Chaparro García², María Esther Rivera³

¹Ingeniero Químico, Estudiante de Maestría en Química, jomendez@fiscalia.gov.co, ORCID 0000-0002-2257-7543 Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia, km1 via Bucaramanga, Pamplona, Colombia.

²Química, M.Sc., Ph.D., achaparro@unipamplona.edu.co, ORCID 0000-0001-9728-0931, Universidad de Pamplona, km1 via Bucaramanga, Pamplona, Colombia.

³Lic. Matemáticas y Física, Ph.D., maes@unipamplona.edu.co, ORCID 0000-0002-1289-9776, Universidad de Pamplona, km1 via Bucaramanga, Pamplona, Colombia.

How to cite: J.M Mendez-Hernandez, A.L Chaparro-García, M.E. Rivera, “Espectroscopia Vibracional Como Una Alternativa Para La Discriminación De Drogas Ilícitas Incautadas En La Ciudad De Cúcuta”. *Respuestas*, vol. 25, no. S1, pp. 36-42, 2020

Received on August 30, 2019; Approved on November 7, 2019

ABSTRACT

Keywords:

FTIR, Cocaine, Base, Hydrochloride, DLA, Discriminant, Second Derivative.

The infrared spectroscopy with Fourier transform coupled to attenuated total reflectance (ATR-FTIR), is being used for the identification of illicit drugs, being an alternative to the method of Gas Chromatography with flame detector or selective mass detector. Additionally, the technique standardized by forensic laboratories for the analysis of seized drugs does not allow differentiation between the two forms of cocaine (base and hydrochloride) marketed. In this investigation, four hundred (400) samples seized in the city of Cúcuta during the period July 2017 to June 2018 were analyzed by the ATR-FTIR technique, performing SNV (Standard Normal Variate) and second spectrum-derived treatment for the discrimination between cocaine base and cocaine hydrochloride forms, in mixtures with phenacetin, caffeine, lidocaine, levamisole adulteration, as well as the presence of lactose and sodium bicarbonate as diluents. A linear discriminant analysis (LDA) model was implemented in order to differentiate the types of cocaine in more complex matrices or adulterants different from those included in the study. 100% of the samples were correctly discriminated and the methodology was validated in two spectrophotometers that were in different environmental conditions of different references.

RESUMEN

Palabras clave:

FTIR, Cocaína, Base, Clorhidrato, DLA, Discriminante, Segunda Derivada.

La espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier acoplada a reflectancia total atenuada (ATR-FTIR), está siendo utilizada para la identificación de drogas ilícitas, siendo una alternativa al método de Cromatografía de Gases con detector de llama o de detector selectivo de masas. Adicionalmente, la técnica estandarizada por los laboratorios forenses para el análisis de drogas incautada, no permite diferenciar entre las dos formas de cocaína (base y clorhidrato) comercializadas. En esta investigación se analizaron cuatrocientas (400) muestras incautadas en la ciudad de Cúcuta durante el periodo julio de 2017 a junio de 2018 por la técnica de ATR-FTIR, realizando tratamiento de normalización SNV (Standard Normal Variate) y segunda derivada de los espectros para la discriminación entre las formas de cocaína base y cocaína clorhidrato, en mezclas con adulteración de fenacetina, cafeína, lidocaína, levamisol, al igual que presencia de lactosa y bicarbonato de sodio como diluyentes. Se implementó un modelo de análisis discriminante lineal (LDA) con el fin de diferenciar los tipos de cocaína en matrices más complejas o adulterantes diferentes a los incluidos en el estudio. El 100% de las muestras se discriminaron correctamente y la metodología fue validada en dos espectrofotómetros que se encontraban en condiciones ambientales diferentes de referencias distintas.

*Corresponding au-

E-mail ad-achaparro@unipamplona.edu.co Amanda Lucía Chaparro García



Peer review is the responsibility of the Universidad Francisco de Paula Santander.
This is an article under the license CC BY-ND

Introducción

La necesidad de buscar alternativas para el análisis de muestras en las diferentes disciplinas ha llevado al uso frecuente de la quimiometría [1], dicho de otra manera, la aplicación de modelos matemáticos a los resultados experimentales. Para el caso que se aborda, es la perfilación de drogas mediante la espectrometría infrarroja, la cual permite incluso hacer valoraciones a concentraciones bajas, siendo útil en la disciplina de la química forense [2]. Uno de los temas tratados por la química forense es la perfilación de la cocaína, ya que esta permite identificar rutas de narcotráfico o distribución a nivel local. La relevancia de la cocaína es debido a que corresponde a la segunda droga consumida en el mundo y en el último año registro cerca de 18 millones de consumidores [3] y en las personas actúa en los transportadores de neurotransmisores monoaminérgicos para bloquear la captación de las monoaminas, dopamina, serotonina y norepinefrina [4]. En Colombia, la cocaína proviene principalmente de tres variedades de plantas (*Erythroxylum novogranatense* variedad Novogranatense (también llamada Crespa), *Erythroxylum novogranatense* variedad Truxillense (también llamada pajarito) y *Erythroxylum coca* variedad Ipadu (también llamada dulce) [5] obteniendo un producto que puede variar desde la cocaína base (de color habano e insoluble en agua) hasta cocaína clorhidrato (de color blanco y soluble en agua) con una estructura química relacionada con la familia del tropano [6] (Figura 1).

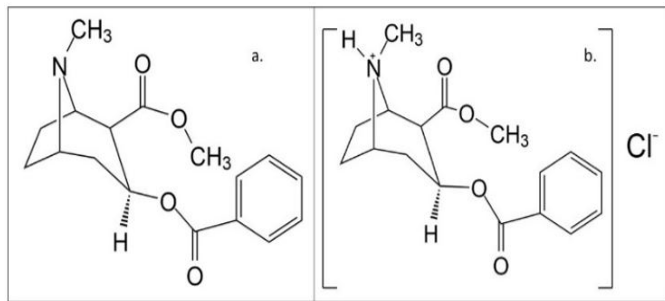


Figura 1. Estructura de la cocaína base (a) y cocaína clorhidrato (b) Fuente: Autor

La cocaína, dependiendo de su forma, en el comercio varía su precio, teniendo la cocaína base un costo del 37% del valor que se paga por la cocaína clorhidrato [7]. Esto fortalece el tráfico y uso ilícito, que ha llevado a ser incluida en la lista de sustancias controladas desde 1961 por las Naciones Unidas, requiriendo de técnicas para su identificación que van desde pruebas de color [8] hasta la implementación de técnicas instrumentales, tradicionalmente Cromatografía de Gases [9]. Estos requieren

de insumos químicos para el tratamiento de la muestra, la implementación de dichas tecnologías demanda una inversión económica y condiciones locativas mínimas. Por tal motivo, en el mundo se están explorando alternativas como la espectrometría infrarroja de transformada de Fourier acoplada a reflectancia total atenuada (ATR-FTIR), que permiten un análisis de las muestras de forma rápida, económica y amigable con el ambiente. Dicha técnica ha experimentado un crecimiento en uso como alternativa para el estudio de la cocaína, facilitando la organización de perfiles químicos de las incautaciones realizadas en el mundo [10][11]. Al combinarse con quimiometría permite la valoración más rigurosa de los espectros y obtener información que a simple vista no es posible percibir.

Esta investigación propone una alternativa para la discriminación entre formas de presentación de cocaína base y cocaína clorhidrato en mezclas compuesta por un número determinado de adulterantes y diluyentes, mediante el uso de tratamiento de segunda derivada y/o el método quimiométrico de análisis discriminante lineal (DLA), validados con un conjunto de muestras incautadas en la ciudad de Cúcuta, eliminando el uso de reactivos, reduciendo el tiempo de preparación de muestras y resultados inmediatos.

Materiales y Metodos

Se recolectaron cuatrocientas (400) muestras de cocaína en el periodo julio de 2018 a junio de 2019, en las 10 comunas de la ciudad de Cúcuta y su área metropolitana (Figura 2). Se almacenaron bajo las condiciones ambientales del laboratorio de química de la Fiscalía General de la Nación (FGN) en Cúcuta, donde se les realizaron los estudios de rutina cumpliendo con cada uno de los parámetros establecidos por el laboratorio.

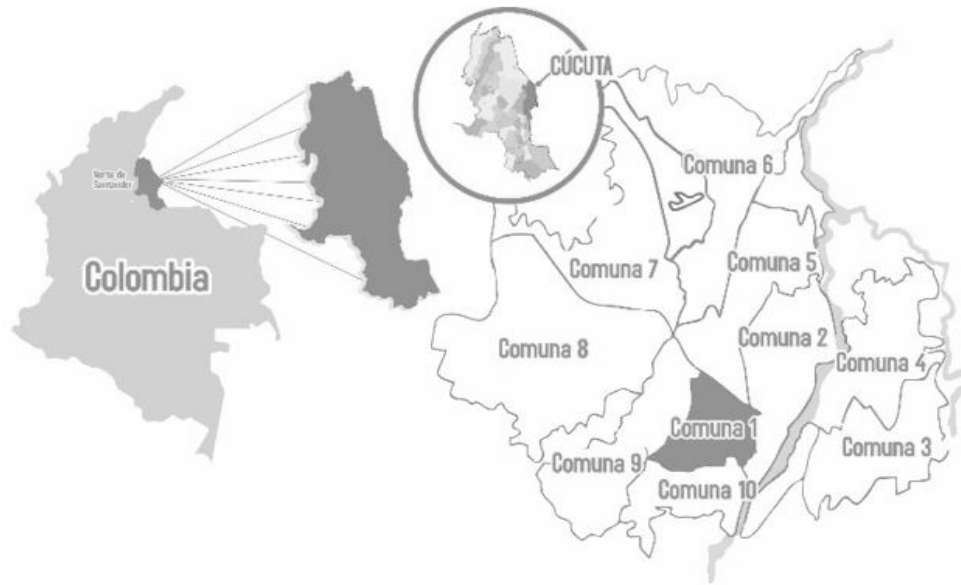


Figura 2. Lugar de muestreo. Fuente: Autor

Reactivos

Los reactivos utilizados fueron Cocaína Clorhidrato Lipomed Lote 156.1B18.1, Cocaína Base Lote SIGMA Lote 026K1865, Fenacetina ALDRICH Lote WXBC5210V, Cafeína SIGMA – ALDRICH Lote BCBV8010, Lidocaína SIGMA Lote MKCD6808, Levamisol SIGMA – ALDRICH Lote BCBR4973, Tetracosano (estándar interno) MERCK Lote S5346789 545, Lactosa anhidra SIGMA ALDRICH Lote LRAB2931, Bicarbonato de Sodio PanReac Lote 0001260339, Etanol MERCK Lote K49329183732.

Métodos de análisis instrumentales

Se utilizó el método acreditado por la Fiscalía General de la Nación-Colombia para la identificación de cocaína, en un equipo Shimadzu QP-2010 Ultra como método de referencia. En el procedimiento se pesó 1 mg de muestra (sustancia incautada) en un vial, se adicionó 1 ml de etanol (solvente) y se inyectó 0,2 µl de la solución al GC/MS y se aplicó el método de análisis cualitativo. Las condiciones del método se indican en la tabla 1.

Equipo	Shimadzu Modelo QP2010 Ultra
Gas de arrastre	Helio 1,5 ml/min
Columna	DB 5 MS de 30 m
Temperatura	Horno 180°C mantener por 1 min Rampla 15°C/min hasta 230°C mantener por 5 min Rampla 30°C/min hasta 310°C mantener por 4 min Puerto de Inyección 280°C Fuente de Iones 250°C Temperatura de Interface 312°
Inyección	Modo Split, Volumen 0,2 µl
Split	1/39
Modo Adquisición	SCAN (30uma a 450 uma)

Fuente: Fiscalía General de la Nación - Colombia

Tabla I. Parámetros para análisis cualitativo por GC/MS

Previo homogenización de las muestras, se realizó estudio por espectroscopia infrarroja (ATR-FTIR), en equipo Shimadzu IRAffinity-1 con accesorio ATR MIRacle10 con cristal Diamante / Zn / Se, bajo las condiciones expuestas en la tabla 2. Los resultados obtenidos se reprodujeron en el equipo IRPrestige-21 del laboratorio de biocalorimetría de la Universidad de Pamplona.

Equipo	IRAffinity-1	IRPrestige-21.
Accesorio	ATR	ATR
Medida	Absorbancia	Absorbancia
Apodización	Happ-Genzel	Happ-Genzel
Numero de Scan	40	40
Resolución	4	4
Rango	4000 – 600 cm ⁻¹	4000 - 600 cm ⁻¹
Entidad	Fiscalía General de la Nación	Universidad de Pamplona

Fuente: Autor

Tabla II. Parámetros para análisis por espectrofotometría infrarrojo

Análisis Quimiométrico

A los espectros infrarrojos se les aplicó tratamiento de corrección de línea base, normalización SNV y segunda derivada utilizando el programa UNSCRAMBLER X Versión 10.5.1, seguidamente se realizó el análisis discriminante lineal.

Resultados y Análisis

Los materiales de referencia y las muestras incautadas fueron analizados por GC/MS para la identificación de la presencia de cocaína. Se obtuvo cromatograma evidenciando la separación de las sustancias presentes en las muestras (Figura 3), especialmente el analito de interés de la presente investigación “la Cocaína”, mostrando igual tiempo de retención (7,2 minutos) para las dos presentaciones base o clorhidrato.

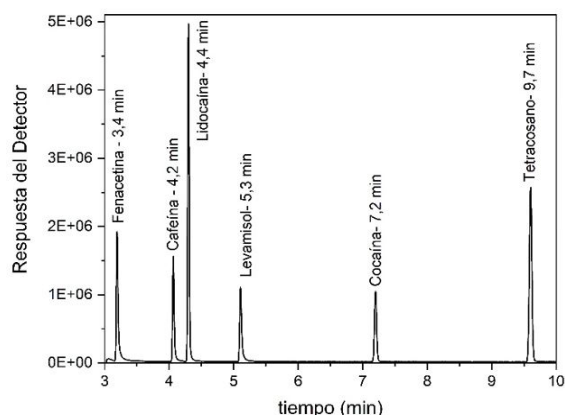


Figura 3. GC-MS de materiales de referencia por el método cualitativo. Fuente: Autor.

La Cromatografía de gases con detector selectivo de masas no permite la diferenciación entre cocaína base y cocaína clorhidrato, lo cual no presenta repercusiones en el ejercicio de la acción penal. Sin embargo, esta información puede ser utilizada con finalidades de generar política criminal definiendo que tipo de cocaína se trafica o distribuye en las calles [12], o generar política en salud pública al definir sus efectos derivados de los patrones de consumo (la cocaína base se fuma, la cocaína clorhidrato se inhala o debido a su solubilidad en agua se puede consumir vía intravenosa).

La diferenciación se realizó por la técnica de espectroscopia infrarroja, y en la tabla 3 se indican las diferencias por los numero de onda [13] [14] y especialmente en la región de 3200 a 2200 cm^{-1} en donde la vibración del enlace N-H de cocaína clorhidrato marca una

significativa diferencia con la vibración C-H de la cocaína base (Figura 4 y 5).

SUSTANCIA	NUMERO DE ONDA (cm^{-1})	ASIGNACION
Cocaína Base	726	C-H
	1040	C-O y C-N
	1110	C-O y C-N
	1280	C-O y C-N
	1453	C=C Anillo aromático
	1710	C=O
	1740	C=O
	2945	C-H, sp^3 y sp^2
Cocaína Clorhidrato	736	C-H fuera del plano
	1030	C-O y C-N
	1270	C-O y C-N
	1489	C=C Anillo aromático
	1713	C=O
	1732	C=O
	2540	N-H

Fuente: Autor

Tabla III. Posiciones de las principales bandas de vibración de los espectros IR en las diferentes formas de la cocaína.

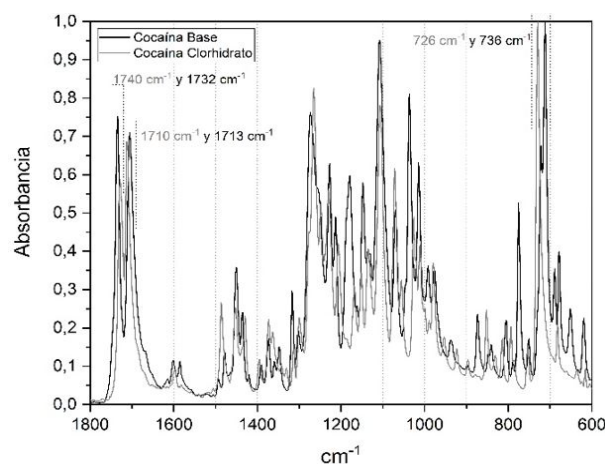


Figura 4. Espectro infrarrojo de Cocaína Clorhidrato y Cocaína Base de 1800 cm^{-1} a 600 cm^{-1} . Fuente: Autor

En la figura 4, se indican los numero de onda para las dos formas de cocaína, donde la cocaína base se caracteriza por la longitud de onda de mayor intensidad a 726 cm^{-1} correspondiente a la vibración C-H y para la cocaína clorhidrato a 736 cm^{-1} correspondiente a la vibración C-H. En la figura 5, la mayor diferencia radica en la vibración N-H de la cocaína clorhidrato a 2540 cm^{-1} y una vibración C-H de gran intensidad de la cocaína base a 2945 cm^{-1} .

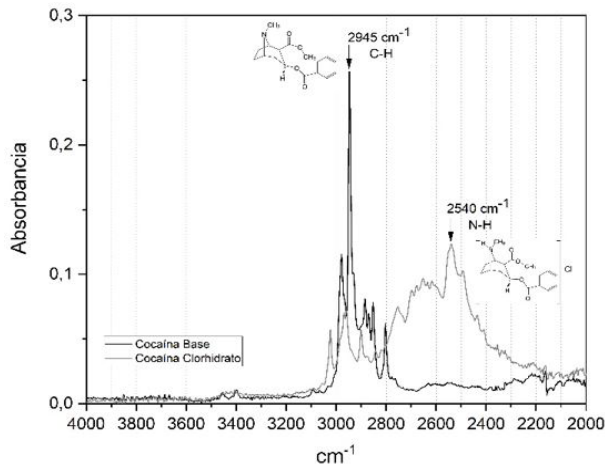


Figura 5. Espectro infrarrojo de Cocaína Clorhidrato y Cocaína Base de 4000 cm^{-1} a 2000 cm^{-1} . Fuente: Autor

Debido a que la cocaína se encuentra adulterada [4], se estudiaron materiales de referencia de adulterantes más comunes de acuerdo a la literatura y a los resultados de GC/MS, encontrando que no es posible identificar a simple vista la presencia o ausencia de cocaína en espectros infrarrojos, sin tratamiento alguno, cuando está presente en matrices compuestas por adulterantes y/o diluyentes. Por tal razón, los espectros infrarrojos se normalizaron utilizando SNV (Standard Normal Variate) y se aplicó tratamiento de segunda derivada [15] identificando y diferenciando las diferentes formas de cocaína cuando se encuentre en mezcla adulteradas, en un mismo espectro tomado directamente a la muestra sin ningún método de purificación como se muestra en la figura 6, donde el número de onda 731 cm^{-1} corresponde a cocaína clorhidrato y 775 cm^{-1} para cocaína base en segunda derivada, siendo señales que no presentan superposición con ninguna de las sustancias adicionadas.

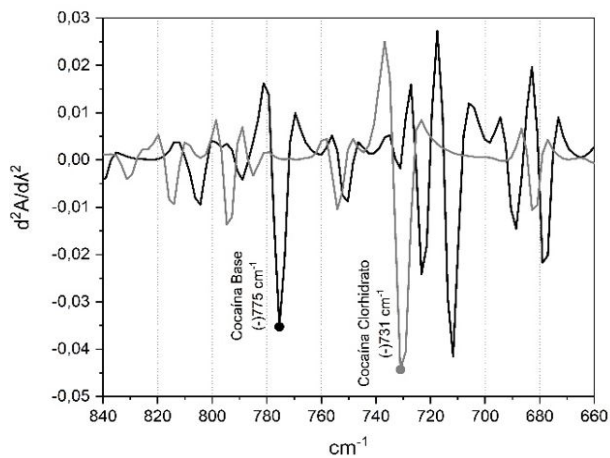


Figura 6. Espectro infrarrojo en segunda derivada para la cocaína base y cocaína clorhidrato. Fuente: Autor

Una vez definido el número de onda para identificar las dos formas de cocaína, y con los espectros tratados de las muestras incautadas se estableció el porcentaje de participación en el mercado local de tráfico de cocaína, donde la cocaína base se encontró en el 70% de las incautaciones y el 30% correspondió a cocaína clorhidrato (Figura 7).

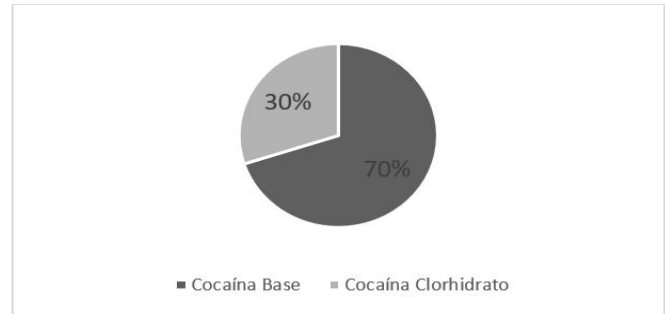


Figura 7. Porcentaje de participación en el mercado de tráfico de estupefacientes de las dos formas de cocaína. Fuente: Autor

Debido a la necesidad de diferenciar entre la presencia de cocaína clorhidrato y cocaína base se desarrolló un modelo por Análisis Discriminante Lineal (DLA por sus siglas en ingles) en el software The Unscrambler X 10.5.1 utilizando material de referencia y validando el método con las muestras incautadas, obteniendo el resultado de la figura 8.

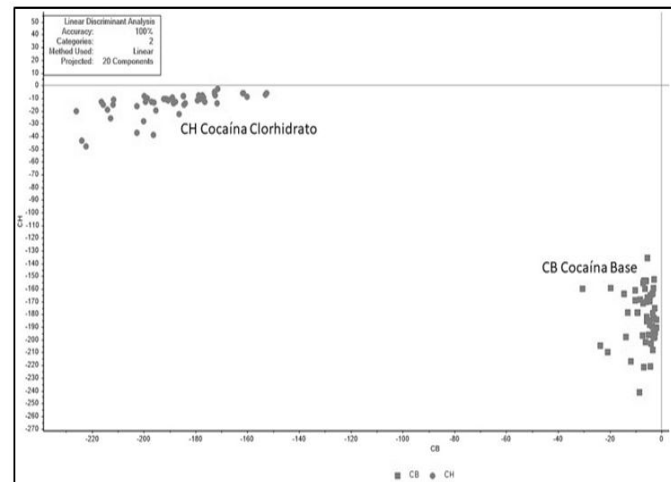


Figura 8. Análisis discriminante lineal de las 400 muestras incautadas. Fuente: Autor

La totalidad de las muestras fueron correctamente separadas, convirtiéndose en un método que facilita la discriminación de las formas de cocaína, inclusive en matrices más complejas, aumentando el número de posibles adulterantes que acompañen la preparación, lo cual se corroboró con lo encontrado por Monfreda y otros, utilizaron

LDA para discriminar la presencia de cocaína clorhidrato y cocaína base en 70 muestras analizadas por ATR-FTIR, encontrando que los resultados pueden estar influenciados por la presencia de adulterantes [10]. En este trabajo la discriminación se realizó correctamente, sin que influyera el número o tipo de adulterante.

Los análisis realizados, tanto para para la discriminación de cocaína por segunda derivada y análisis discriminante lineal se valido en el espectrofotómetro de la Universidad de Pamplona, con 40 muestras tomadas al azar, donde se obtuvieron los mismos resultados.

Conclusiones

El tratamiento de espectros infrarrojos en segunda derivada permite la identificación de las formas de cocaína en mezclas con presencia de adulterantes.

El análisis discriminante lineal es una alternativa para la discriminación eficaz de las formas de cocaína en presencia de mezclas complejas de adulterantes.

Se discriminó la presencia de Cocaína Base o Cocaína Clorhidrato, encontrándose que el 70% de las muestras incautadas correspondieron a Cocaína Base y el 30% correspondieron a Cocaína Clorhidrato.

En la validación del método se obtuvieron resultados reproducibles en otro equipo ATR-FTIR bajos las mismas condiciones instrumentales mediante el análisis de 40 muestras tomadas al azar.

Agradecimientos

Al Laboratorio de Biocalorimetria de la Universidad de Pamplona por el acceso a los equipos instrumentales.

A la Fiscalía General de la Nación, por el suministro de insumo, uso de los equipos instrumentales y acceso a las muestras incautadas.

Referencias

- [1] N. Kumar, A. Bansal, G.S. Sarma, R.K. Rawal, Chemometrics tools used in analytical chemistry: An overview, *Talanta*. 123 (2014) 186–199. doi:10.1016/j.talanta.2014.02.003.
- [2] M. Bovens, B. Ahrens, I. Alberink, A. Nordgaard, T. Salonen, S. Huhtala, Chemometrics in forensic chemistry — Part I : Implications to the forensic work flow, *Forensic Sci. Int.* 301 (2019) 82–90. doi:10.1016/j.forsciint.2019.05.030.
- [3] UNODC, Executive summary — Conclusions and policy implications, in: *World Drug Rep.* 2018, Vienna, 2018: pp. 1–31. doi:10.18356/a1062695-en.
- [4] O. Kudlacek, T. Hofmaier, A. Luf, F.P. Mayer, T. Stockner, C. Nagy, M. Holy, M. Freissmuth, R. Schmid, H.H. Sitte, F.P. Mayer, R. Schmid, M. Freissmuth, C. Nagy, O. Kudlacek, T. Hofmaier, Cocaine adulteration, *J. Chem. Neuroanat.* 83–84 (2017) 75–81. doi:10.1016/j.jchemneu.2017.06.001.
- [5] J.F. Casale, J.R. Mallette, L.M. Jones, Chemosystematic identification of fifteen new cocaine-bearing *Erythroxylum* cultigens grown in Colombia for illicit cocaine production, *Forensic Sci. Int.* 237 (2014) 30–39. doi:10.1016/j.forsciint.2014.01.012.
- [6] P. Fagan, M. Tatarkovic, P. Bour, Cocaine Hydrochloride Structure in Solution Revealed by Three Chiroptical Methods, *Chemphyschem.* 18 (2017) 2258–2265. doi:10.1002/cphc.201700452.
- [7] Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito UNODC, Monitoreo de territorios afectados por cultivos ilícitos 2018, Bogota:UNODC-SIMCI, 2019. https://www.unodc.org/documents/colombia/2019/Agosto/Informe_de_Monitoreo_de_Territorios_Afectador_por_Cultivos_Illicitos_en_Colombia_2018_.pdf.

- [8] V.N. Conceicao, L. Souza, B. Merlo, ESTUDO DO TESTE DE SCOTT VIA TÉCNICAS ESPECTROSCÓPICAS: UM MÉTODO ALTERNATIVO PARA DIFERENCIAR CLORIDRATO DE COCAÍNA E SEUS ADULTERANTES, *Quim. Nova.* 37 (2014) 1538–1544.
- [9] T.S. Grobério, J.J. Zacca, É.D. Botelho, M. Talhavini, J.W.B. Braga, Discrimination and quantification of cocaine and adulterants in seized drug samples by infrared spectroscopy and PLSR, *Forensic Sci. Int.* 257 (2015) 297–306. doi:10.1016/j.forsciint.2015.09.012.
- [10] M. Monfreda, F. Varani, F. Cattaruzza, S. Ciabrone, A. Proposito, Fast profiling of cocaine seizures by FTIR spectroscopy and GC-MS analysis of minor alkaloids and residual solvents, *Sci. Justice.* 55 (2015) 456–466. doi:10.1016/j.scijus.2015.06.002.
- [11] J. Broseus, S. Huhtala, P. Esseiva, First systematic chemical profiling of cocaine police seizures in Finland in the framework of an intelligence-led approach, *Forensic Sci. Int.* 251 (2015) 87–94. doi:10.1016/j.forsciint.2015.03.026.
- [12] M. Morelato, A. Beavis, M. Tahtouh, O. Ribaux, P. Kirkbride, C. Roux, The use of forensic case data in intelligence-led policing: The example of drug profiling, *Forensic Sci. Int.* 226 (2013) 1–9. doi:10.1016/j.forsciint.2013.01.003.
- [13] C.A.F.O. Penido, M.T.T. Pacheco, R.A. Zângaro, L. Silveira, R. Zangaro, L. Silveira, Identification of different forms of cocaine and substances used in adulteration using near-infrared raman spectroscopy and infrared absorption spectroscopy, *J. Forensic Sci.* 60 (2015) 171–178. doi:10.1111/1556-4029.12666.
- [14] N.V.S.S. Rodrigues, E.M. Cardoso, M.V.O.O. Andrade, C.L. Donnici, M.M. Sena, Analysis of seized cocaine samples by using chemometric methods and FTIR spectroscopy, *J. Braz. Chem. Soc.* 24 (2013) 507–517. doi:10.5935/0103-5053.20130066.
- [15] S.T. Hassib, G.S. Hassan, A.A. El-Zaher, M.A. Fouad, E.A. Taha, Quantitative analysis of anti-inflammatory drugs using FTIR-ATR spectrometry, *Spectrochim. Acta - Part A Mol. Biomol. Spectrosc.* 186 (2017) 59–65. doi:10.1016/j.saa.2017.06.002.



Caracterización térmica y técnica del ladrillo multiperforado a nivel de laboratorio

Thermal and technical characterization of multi-perforated brick at the laboratory level

Andrea P. Colmenares-Uribe¹, Jorge Sánchez-Molina², Carmen X. Díaz-Fuentes³

¹ Arquitecto. Joven Investigador, Grupo de Investigación en Tecnología Cerámica GITEC, Facultad de Ciencias Básicas, UFPS. <https://orcid.org/0000-0002-2034-3583>

² PhD Doctorado en Ingeniería de los materiales y energías sostenibles, EPS de Linares, Universidad de Jaén-España. Director Grupo de Investigación en Tecnología Cerámica GITEC. Docente titular, Facultad de Ciencias Básicas, UFPS. <http://orcid.org/0000-0002-9080-8526>

³ PhD (c) Doctorado en Tecnología de la Arquitectura, Edificación y Urbanismo, Universidad Politécnica de Cataluña. Director del Grupo de Investigación en Arquitectura y Materiales Alternativos GRAMA. Docente auxiliar, Facultad de Educación, Artes y Humanidades, UFPS. <https://orcid.org/0000-0002-8223-5887>

How to cite: A.P Colmenares-Uribe, J. Sanchez-Molina, C.X Diaz-Fuentes, “Caracterización térmica y técnica del ladrillo multiperforado a nivel de laboratorio”. *Respuestas*, vol. 25, no. S1, pp. 43-49, 2020

Received on September 10, 2019; Approved on December 19, 2019

ABSTRACT

Keywords:

Brick; Ceramic industry;
Clay; Norte de Santander;
Sustainability.

The ceramics industry in Norte de Santander is recognized for the quality of the raw material that the products offer. However, the guild has limited itself to the mass production of units to satisfy the construction market, leaving aside research and innovation fields to develop new proposals. The characterization of multi-perforated brick MB at laboratory level is a thermal and technical referent of a conventional product and positioned in the construction world. The product was developed on a laboratory scale by extrusion in clay and coffee dust in the CIMAC Ceramic Materials Research Center from the Francisco de Paula Santander University, in order to characterize the MB physical and mechanical properties such as linear contraction, mass losses, determination of efflorescence, resistance to compression, dimensions, water absorption, initial rate of capillarity, porosity and apparent specific weight at the laboratory level. In parallel, it was validated thermally through simulations using the finite element method performed in the ANSYS R16 software to identify the energy behavior by transfer and heat fluxes. This research is the starting point for future projects focused on the design of ceramic products. The results provide technical and thermal data to develop new innovative products that contribute to sustainability.

RESUMEN

Palabras clave:

Arcilla; Industria cerámica; Ladrillo caravista; Norte de Santander; Sostenibilidad.

La industria cerámica en Norte de Santander es reconocida por la calidad de la materia prima de los productos ofrece. Sin embargo, el gremio se ha limitado a la producción masiva de unidades para satisfacer el mercado de la construcción, dejando a un lado campos de investigación e innovación para desarrollar nuevas propuestas. La caracterización de ladrillo multiperforado LM a nivel de laboratorio es un referente térmico y técnico de un producto convencional y posicionado en el mundo de la construcción. El producto se desarrolló a escala de laboratorio por extrusión en arcilla y cisco de café en el Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC de la Universidad Francisco de Paula Santander, con el fin de caracterizar a nivel de laboratorio las propiedades físicas y mecánicas de LM como la contracción lineal, pérdidas de masa, determinación de eflorescencias, resistencia a la compresión, dimensiones, absorción de agua, tasa inicial de capilaridad, porosidad y peso específico aparente. Paralelamente, se validó térmicamente por medio de simulaciones a través del método de elementos finitos realizado en el software ANSYS R16 para identificar el comportamiento energético por transferencia y flujos de calor. Esta investigación es el punto de partida para próximos proyectos enfocados en el diseño de producto cerámico. Los resultados abonan datos técnicos y térmicos para desarrollar nuevos productos innovadores que aporten a la sostenibilidad.

*Corresponding au-

E-mail ad- auribe3094@hotmail.com Andrea P. Colmenares Uribe

Peer review is the responsibility of the Universidad Francisco de Paula Santander.
This is an article under the license CC BY-ND



Introducción

El desarrollo de productos para mampostería representa un factor crucial para la determinación del consumo energético de un edificio. Debido a la agudización del calentamiento global, se ha estimulado el uso incontrolable de sistemas de calefacción artificial para acondicionar las temperaturas de los espacios interiores. Alrededor del mundo se han realizado múltiples investigaciones enfocadas a la eficiencia energética desde los muros a través de nuevos materiales, elementos y sistemas constructivos [1, 2].

Bassiouny, Ali, & NourEldenn (2015) toman como punto de partida el ladrillo tradicional multiperforado (LM) perforado o cara vista, para analizar su comportamiento en diferentes situaciones. El objetivo consistía en descubrir qué tipo de material lograba reducir la transferencia de calor desde el exterior hacia el interior de la superficie, la investigación intentó con mortero, espuma, caucho y corcho. El ejercicio comprobó que la baja conductividad de la espuma y el corcho mantenían los valores más bajos, a diferencia de la muestra con mortero y la tradicional.

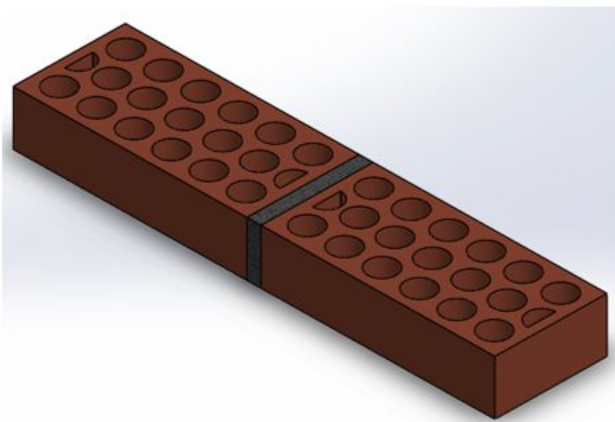


Fig. 1 El ladrillo multiperforado LM.

Fuente propia

El ladrillo multiperforado es un elemento constructivo para mampostería con acabados caravista, es decir, no requiere acabados extras después de su instalación. El diseño de LM es sencillo, es un ortoedro con perforaciones cilíndricas verticales [3]. Es muy común en la industria cerámica de Norte de Santander. Es fabricado por empresas como Arcillas Castilla Ladrillera El Topacio, Merkares, Pisos y Enchapes MARGRES, Arcillas del Rosario,

Tejar Santa Rosa, Cerámica Támesis, Ladrillera NOR-SAN, entre otros. Sin embargo, la literatura respecto a la caracterización de LM en la región es escasa.

El enfoque de este proyecto se dirige hacia la investigación de las propiedades físicas, mecánicas y térmicas de LM a escala de laboratorio y realidades virtuales. El objetivo de obtener esta información trasciende en la necesidad de definir un punto de comparación con respecto a la elaboración de nuevos productos, ya que es importante tener un punto de referencia real para distinguir las ventajas y desventajas de cada elemento constructivo de esta categoría. Asimismo, se desarrolló a escala de laboratorio porque los costos de la innovación de producto cerámico en laboratorio son más económicos que a nivel industrial. De esta manera, los intentos pueden proyectar posibles comportamientos o errores que pueden ser corregidos previamente a la etapa industrial.

Metodología

La caracterización del ladrillo multiperforado se divide en dos fases: validación térmica y validación técnica. Para la validación térmica se realizaron simulaciones de transferencia de calor por conducción y flujos de calor en el software ANSYS R16. La validación técnica se llevó a cabo en el Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC, lugar donde se fabricó por extruido a escala 1:75 en arcillas y mezclas con nutrientes tecnológicos como el cisco de café y posteriormente, se realizaron los análisis regidos por normas nacionales e internacionales para la medición de ensayos de elementos constructivos para mampostería como la NTC, UNE y ASTM. Se determinó la contracción lineal, pérdidas de masa, eflorescencias, resistencia a la compresión, dimensiones, absorción de agua, entre otros.

Validación térmica por transferencia y flujos de calor

La validación térmica de un producto valora el comportamiento energético según las temperaturas obtenidas por la transferencia de calor por conducción o la energía almacenada de acuerdo a su forma. Para la determinación de estos valores, se realizaron simulaciones en el software ANSYS R16 utilizando el método de elementos finitos (FEM).

El software exige información específica de materiales, entorno y variables de convección. Fue necesario cono

cer la conductividad de la arcilla, el mortero y la mezcla con aditivos de nutrientes tecnológicos [4]. Los datos del entorno se obtuvieron del IDEAM (2010), como radiación solar, velocidad del viento y temperatura de la ciudad de Cúcuta en Norte de Santander. La información seleccionada corresponde a los valores máximos promedios del mes de septiembre en el horario entre 12:00 y 13:00 horas, con el fin de validar la información en el escenario más extremo de la región. Las variables de convección se aplicaron según la cara del ladrillo, para el exterior se utilizó el coeficiente de transferencia de calor por convección (C) y flujo de calor (B) y para el interior, convección natural (A)

- LM M-A – Ladrillo Multiperforado en 100% Arcilla
- LM M-ACC – Ladrillo Multiperforado en 95% Arcilla y 5% Cisco de café

Materiales	Entorno (Septiembre, Cúcuta)	Convección
$k_{\text{Arcilla (M-A)}} = 0,691 \text{ Wm}^{-2}\text{C}$	$T^{\circ} \text{máx} = 33^{\circ}\text{C}$ Radiación solar máx. = $796,8 \text{ Wh}\cdot\text{m}^{-2}$ $t = 12:00-13:00$	A: Convección ($5 \text{ Wm}^{-2}\text{C}$)
$k_{\text{M-ACC}} = 0,677 \text{ Wm}^{-2}\text{C}$	$Q_{\text{rad}} = 796,8 \text{ Wm}^{-2}$	B: Flujo de calor ($796,8 \text{ Wm}^{-2}$)
$k_{\text{Mortero}} = 0,88 \text{ Wm}^{-2}\text{C}$	Velocidad viento = 4 m/s	C: Convección ($25,903 \text{ Wm}^{-2}\text{C}$)

Tabla I. Datos De La Conductividad De Los Materiales, Características Del Entorno Y Variables De Convección Suministrados En El Software Ansys R16 Para Las Simulaciones De Transferencia De Calor Y Flujos De Calor De Lm En M-A Y M-Acc.

La validación térmica por transferencia de calor por conducción es la medición de las temperaturas a lo largo de la superficie exterior hacia la interior [5]. Las temperaturas de las superficies exteriores son $62,23^{\circ}\text{C}$ (M-A) y $62,26^{\circ}\text{C}$ (M-ACC); las interiores registran $41,70^{\circ}\text{C}$ en M-A y $41,58$ en M-ACC. Si bien es claro, la variación es inapreciable porque la diferencia no supera $0,5^{\circ}\text{C}$. De todas maneras, la consideración de aditivos de nutrientes tecnológicos aporta al desarrollo de la economía circular y mitiga la contaminación por desperdicio de desechos sólidos [6].

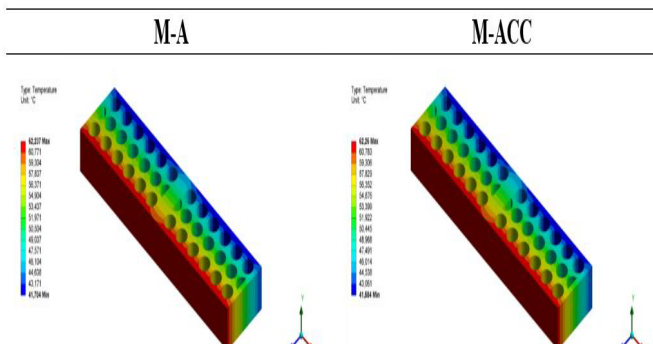


TABLA II. Validación Térmica De Lm Por Transferencia De Calor ($^{\circ}\text{C}$)

Simultáneamente, se valoró el flujo de calor en LM y las variaciones posibles entre mezclas. En estas imágenes, se observa cómo se almacena la energía y se analiza los puntos críticos de LM donde se acumula en mayor medida el calor. En ambas mezclas se reconoce que las zonas con mayor flujo de calor son las transversales tanto en el ladrillo como el mortero; sin embargo, las distancias en LM son muy cortas y están interferidas por masas longitudinales que disipan el calor 100 W/m^2 , aproximadamente. Por otra parte, se identifica la zona donde está distribuido el mortero, la cual conserva los valores altos desde la cara externa hasta la interna en su totalidad. Es decir que, la exposición directa del mortero puede ser un factor para el aumento de las temperaturas interiores.

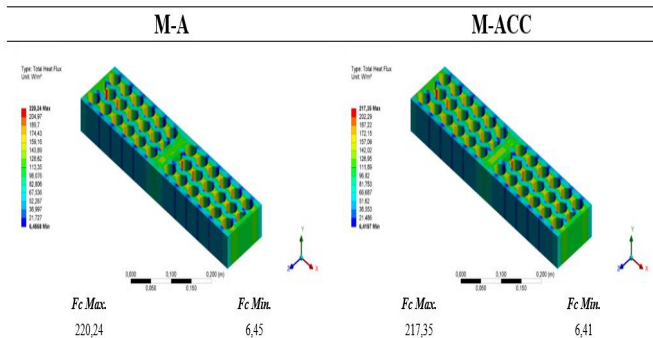


TABLA III. Validación Térmica De Lm Por Flujos De Calor (W/M^2)

Validación técnica a nivel de laboratorio

Desarrollo de producto

Para la caracterización técnica de LM a nivel de laboratorio, se desarrolló previamente probetas a escala 1:75 en arcilla y mezcla con aditivos de nutrientes tecnológicos. Como primera instancia, se fabricó la boquilla metálica de LM para adaptarla en la extrusora de laboratorio del Centro de Investigación en Materiales Cerámicos

CIMAC. Para la fabricación de las probetas, se preparó la materia prima de las pastas en las que se extruirían a continuación; M-A (100% Arcilla) y M-ACC (95% Arcilla – 5% Cisco de café). La preparación de la arcilla demandó triturado y molienda; por otra parte, el cisco de café requirió molienda y tamizado pasante malla 80; finalmente, se amasó la materia prima de acuerdo a la composición de las pastas hasta completar una mezcla homogénea.



Figura 2. Materia prima. (1) Arcilla molida; (2) Cisco de café previo a la preparación
Fuente propia

El extrusionado de LM requirió algunos ajustes en el diseño de la boquilla según las pruebas que se realizaron en el laboratorio de extrusión del CIMAC. Ya que, la pasta no pasaba completamente a través de la boquilla. Finalmente, la pasta extruida se cortó de acuerdo al espesor de los ladrillos; se dispusieron en horno de secado a 100°C – 110°C durante 24 horas; y por último, se realizó la quema a 1000°C. Paralelamente a la fabricación del producto, se tomaron medidas de ancho, longitud, espesor y peso de las probetas en condiciones húmedas, secas y cocidas para determinar la contracción lineal y pérdidas de masa.



Figura 3. Proceso de fabricación. (1) Mezcla de materias primas para amasado; (2) Prueba de boquilla en la extrusora; (3) Probetas listas para cocción
Fuente propia

Análisis de propiedades físicas y mecánicas a nivel de laboratorio

La validación técnica de LM a nivel de laboratorio se estructuró de acuerdo a diferentes normas nacionales e internacionales de ensayos de medición para unidades de mampostería. En la mayoría de los casos, se seleccionaron 9 probetas para obtener resultados promedios de cada propiedad.

Los primeros datos obtenidos fueron contracción lineal y pérdidas de masa, se realizó paralelamente al proceso de fabricación donde se tomaron las medidas en condiciones húmedas, secas y cocidas [7]. Seguido, la determinación de dimensiones se efectuó con las probetas cocidas y secas; para la medición de longitud, ancho, espesor, ancho de tabique y área de perforaciones se utilizó el calibrador de mordazas paralelas [8].

Muestra	L (mm)	B (mm)	H (mm)	BTabique (mm)	Área perforaciones (mm ²)	Peso (gr)
ZMM-A	45,99	21,26	12,56	3,88	32,79	15,89
ZMM-ACC	45,58	21,12	12,83	4,29	30,07	15,02

Tabla IV. Determinación De Dimensiones Para Unidades De Mampostería

La determinación de eflorescencias es un proceso de observación donde se analiza la concentración de sales de la mezcla del producto en la superficie exterior del mismo, no resulta tan técnico en comparación con los demás ensayos [9]. Para este análisis se registraron fotográficamente las probetas antes y después del ensayo, se sometieron en agua destilada sobre la cara interna (altura del agua: 2mm) durante 7 días. Finalizada la evaporación del agua, se secaron las muestras a 100°C por 24 horas para examinar la concentración de sales. El color de las manchas resultantes fue amarillo, correspondiente a sales de vanadio [8].

Muestra	Impacto Visual (Intensidad De La Eflorescencia, Superficie afectada y Calificación de la probeta)
LM-M-A <i>General</i>	Manchas amarillas concentradas principalmente en el canto, en las esquinas y borde de la superficie. En algunos casos, las eflorescencias se dirigían hacia las testas, principalmente la testa 1.  
LM-M-ACC <i>General</i>	Las eflorescencias se presentaron tipo manchas, velos gruesos y finos amarillos en las esquinas del canto. En las testas se presentaron velos gruesos en menores proporciones ubicadas en las aristas que conectan al canto.

Tabla V. Determinación Cualitativa De Eflorescencias Para Unidades De Mampostería

Según la NTC 4017, para la determinación de la resistencia a la compresión se calcula y divide la carga máxima de rotura (W) entre el área bruta de la superficie (A) [8].

$$Resistencia\ a\ la\ compresion\ C = \frac{W}{A}$$

Por otra parte, la determinación de absorción de agua procedió de acuerdo a las normas internacionales ASTM y UNE. Se realizaron 3 ensayos de absorción de agua: (1) Por capilaridad [10]; (2) Por inmersión en agua fría [11]; y (3) Por ebullición [12]. Los resultados obtenidos fueron (1) tasa inicial de absorción de agua por capilaridad; (2) porcentaje de absorción de agua por inmersión en agua fría; (3) porcentaje de absorción en agua por ebullición, porcentaje de porosidad aparente, peso específico aparente y densidad aparente.

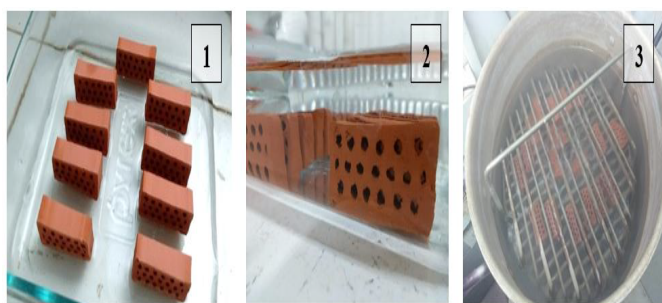


Figura 4. Ensayos de absorción de agua: (1) Por capilaridad; (2) Por inmersión en agua fría; y (3) Por ebullición. Fuente propia

	Validación	LM-M-A	LM-M-ACC	
Térmica	Transferencia de calor	T° Ext.	62,23	62,26
		T° Int.	41,70	41,58
	Flujos de calor	Max.	220,24	217,35
		Min.	6,45	6,41
Técnica	Contracción %	0,93	0,75	
	Pérdidas de masa %	7,13	9,46	
	Resistencia a la compresión kgf/cm²	5,56	5,00	
	Tasa inicial de absorción de agua por capilaridad	0,47	0,47	
	Absorción de agua por inmersión en agua fría %	13,49	17,40	
	Absorción de agua por ebullición %	14,29	18,13	
	Porosidad aparente %	27,04	32,25	
	Peso específico aparente	2,61	2,63	
	Densidad aparente B g/cm.3	1,90	1,78	
	Eflorescencias	Eflorecido, manchas amarillas	Eflorecido, manchas amarillas	

Tabla VI. Caracterización Térmica Y Técnica De Producto a Nivel De Laboratorio: Lm

Conclusiones

La caracterización de LM a nivel de laboratorio es un referente real de un elemento de la construcción muy ofertado en el mundo de la construcción, especialmente en la industria cerámica de Norte de Santander. La importancia de esta información radica en que determina pautas para futuras propuestas de diseño e innovación de producto a nivel de laboratorio; asimismo, el ejercicio establece un precedente de prueba y ensayo a escala como estrategia de minimización de costos en el desarrollo y producción industrial de una unidad constructiva.

La validación técnica demuestra disminución en la resistencia a la compresión de las probetas con aditivos de nutrientes tecnológicos. Sin embargo, no afecta el comportamiento mecánico del producto considerablemente. Estos resultados se relacionan con el aumento de la absorción de agua en las muestras de M-ACC, ya que la calcinación del cisco de café en la mezcla genera vacíos y poros que incrementa los porcentajes de absorción y porosidad.

Referencias

- [1] L. Muniz, C. Cotrim, M. Henriques y L. Moreira, «Eficiência térmica de materiais de cobertura,» *Ambiente Construido*, vol. 18, nº 1, pp. 503-518, 2018.
- [2] K. Johnsen y F. Winther, «Dynamic facades, the smart way of meeting the energy requirements,» *Energy Procedia*, vol. 78, pp. 1568-1573, 2015.
- [3] ICONTEC, *NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 4205*, 2017.
- [4] CISBE , Guide A: Environmental design, vol. Chapter 3: Thermal properties of building structures, 2007.
- [5] A. Garcia, «Aislamiento, bienestar y ahorro de energía,» *Informes de la construccion*, vol. 28, nº 277, pp. 35-54, 1976.
- [6] A. Sarabia, J. Sanchez y J. C. Leyva, «Uso de nutrientes tecnológicos como materia prima en la fabricación de materiales de construcción en el paradigma de la economía circular,» *Respuestas*, vol. 22, nº 1, pp. 6-16, 2017.
- [7] J. L. Amoros, E. Sanchez, J. Garcia-Ten, V. Sanz y M. Monzo, Manual para el control de la calidad de materias primas arcillosas, 2 Edición, Instituto de Tecnología Cerámica ITC, 2004, pp. 121-122.
- [8] ICONTEC, *NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 4017*, 2018.
- [9] R. Fombella, «Eflorescencias en las fachadas de ladrillo cara vista,» NA: *nueva arquitectura con arcilla cocida*, nº 5, pp. 55-62, 1997.
- [10] UNE Normalizacion Española, *UNE-EN 772-II:2011 Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería.*, 2011.
- [11] UNE Normalizacion Española, *UNE-EN 772-21:2011 Métodos de ensayo de piezas para fábricas de albañilería.*, 2011.
- [12] ASTM International, *ASTM C373*, 2018.
- [13] J. Sanchez, A. Sarabia y D. Alvarez, «Evaluación de materias primas utilizadas en la fabricación de baldosas de gres en el sector cerámico de Norte de Santander (Colombia),» *Respuestas*, vol. 21, nº 2, pp. 48-56, 2016.
- [14] IDEAM, «Atlas Interactivo de Colombia,» 2010. [En línea]. Available: <http://atlas.ideam.gov.co/>.
- [15] W. Bustamante, A. Bobadilla, B. Navarrete, G. Saelzer y S. Vidal, «Uso eficiente de la energía en edificios habitacionales. Mejoramiento termico de muros de albañilería de ladrillos ceramicos. El caso de Chile,» *Revista de la Construccion*, vol. 4, nº 2, pp. 5-12, 2005.
- [16] M. & N. J. Niño. Norte de Santander, Colombia Patente 30561, 2015.
- [17] V. Marincionia, N. May y H. Medina, «Parametric study on the impact of thermal bridges on the heat loss of internally insulated buildings,» *Energy Procedia*, vol. 78, pp. 889-894, 2015.
- [18] L. Dumitrescu, I. Baran y R. Pescaru, «The influence of thermal bridges in the process of buildings thermal rehabilitation,» *Procedia Engineering*, vol. 181, pp. 682-689, 2017.
- [19] N. Arias y A. Bobadilla, «Evaluacion experimental y analisis de la mejora con aislamiento termico para el caso de puente termico en el frente de forjado,» *Informes de la construccion*, vol. 69, nº 546, pp. 1-14, 2017.

- [20] M. & N. J. Fuente Niño. Norte de Santander, Colombia Patente 30561, 2015.
- [21] E. Garcia y M. Suarez, *Las arcillas: Propiedades y usos*, Universidad Complutense (Madrid), Universidad de Salamanca, 2004.
- [22] K. Johnsen y F. Winther, «Dynamic facades, the smart way of meeting the energy requirements,» *Energy Procedia*, vol. 78, pp. 1568-1573, 2015.
- [23] R. Bassiouny, M. Ali y E. NourEldenn, «Modeling the Thermal Behavior of Egyptian Perforated Masonry Red Brick Filled with Material of Low Thermal Conductivity,» *Journal of Building Engineering*, pp. 1-22, 2015.



Herramienta para el establecimiento de indicadores en el diseño de objetos.

Tool for the establishment of indicators in the design of objects.

Claudia Almaraz Córdova ¹, Juan Manuel Madrid Solórzano², Luis Enrique Macías Martín³

¹Maestría en Ciencias del Hábitat, claudia.almaraz@uacj.mx; orcid: 0000-0003-1704-5056; Profesor-investigador de la licenciatura en diseño industrial de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez; garambullo 5615, colonia infonavit aeropuerto, código postal 32661, Ciudad Juárez, Chihuahua; teléfono: 011 52 656 315 3576.

²Maestría en Ciencias en Ingeniería Industrial, jmadrid@uacj.mx; orcid: 0000-0002-2888-4413; Profesor-investigador de la licenciatura en diseño industrial de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez; calzada del río 7915-15, fraccionamiento Antares, código postal 32420, Ciudad Juárez, Chihuahua; teléfono: 011 52 656 105 1547.

³Doctor en Ciencias de la Administración lumacias@uacj.mx; orcid: 0000-0002-3919-2682; Profesor-investigador de la licenciatura en diseño industrial de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez; Paseo de Álamo 9050, fraccionamiento La Florida, código postal 32470, Ciudad Juárez, Chihuahua; teléfono: 011 52 656 1978348.

How to cite: C. Almaraz Córdova J.M Madrid Solórzano y L.E Macías Martín, “Herramienta para el establecimiento de indicadores en el diseño de objetos.”. *Respuestas*, vol. 25, no. S1, pp. 50-56, 2020.

Received on September 05, 2019; Approved on December 15, 2019

ABSTRACT

Keywords:

design, intervention,
crafts, conceptualization,
indicators, methods.

According to a literature review, within the discipline of industrial design, there is no measurable process founded on design indicators, which allows strengthening decision-making in the development of objects. In the same way, there is few information regarding the documentation of intervention cases of the industrial designer in the artisanal processes, particularly in the communities of the Chihuahua State. During the analysis it was observed that through the correlation of the quantitative and qualitative variables organized into four design formal criteria, the solution to the design proposals can be given in an integral way. Therefore, the construction of a quantitative analysis instrument based on industrial design indicators, tries to find to lay the foundations for people interested in its application, to understand the facets, factors and ground rules involved in the process of formal synthesis setup of an object.

RESUMEN

Palabras clave:

diseño, intervención,
artesanías,
conceptualización,
indicadores, métodos.

Acorde a una revisión de la literatura, dentro de la disciplina del diseño industrial, no existe un proceso cuantitativo en indicadores del diseño, que permita fortalecer la toma de decisiones en el desarrollo de objetos. De igual manera, existe poca información en cuanto a la documentación de casos de intervención del diseñador industrial en los procesos artesanales, particularmente de las comunidades del Estado de Chihuahua. Durante la investigación realizada al proceso artesanal, se observó que, mediante la correlación de variables cualitativas y cuantitativas organizadas en cuatro criterios formales del diseño, la solución a las propuestas de intervención del diseño podrá darse de manera integral. Por lo anterior, la construcción de la herramienta con base a indicadores del diseño industrial busca sentar las bases para que las personas interesadas en su aplicación comprendan los aspectos, factores y fundamentos que intervienen en el proceso de configuración de la síntesis formal del objeto.

*Corresponding au-

E-mail ad- claudia.almaraz@uacj.mxco Claudia Almaraz Córdova



Peer review is the responsibility of the Universidad Francisco de Paula Santander.
This is an article under the license CC BY-ND

Introducción

Actualmente se han desarrollado propuestas de intervención con grupos multidisciplinarios orientados a impulsar la innovación en el proceso del diseño artesanal con la finalidad de aumentar su comercialización y competitividad dentro y fuera de los mercados. Sin embargo, el Fondo Nacional para el Fomento de las Artesanías (FONART) [1], hace hincapié en que dichas intervenciones no han generado los resultados deseados, en particular, porque los diseñadores que intervienen en proyectos en comunidades artesanales no reciben una adecuada capacitación para trabajar con artesanos tradicionales. De acuerdo con lo anterior, varios autores [2] [3] [4] [5] mencionan que dichas intervenciones, en ocasiones originan modificaciones en el diseño de los productos, ocasionando, pérdida de identidad en los objetos desarrollados.

Entonces, es necesario considerar tres problemas que pueden surgir en el momento de intervenir el diseño artesanal; primero, la falta de aplicación de técnicas etnográficas y antropológicas [6] para los diseñadores, ya que sin éstas, se convierten en propuestas de objetos sin identidad por el escaso conocimiento de la cosmovisión de cada comunidad; segundo, que los artesanos conozcan las implicaciones de rediseñar su trabajo en forma colaborativa con disciplinas como lo es el diseño; tercero, los diseñadores no cuentan con una guía para evaluar qué tan profunda debe ser la intervención en el proceso de elaboración de una artesanía, es decir, si es necesario modificar su forma, o si solamente es necesario modificar el proceso de producción.

Por lo anterior, se considera que desde el diseño industrial se puede intervenir en las problemáticas antes mencionadas, sin embargo, las dos primeras pueden ser resueltas con una capacitación, en cambio para la última, es necesario una investigación para conocer los aspectos a intervenir por tal motivo, este trabajo presenta una herramienta que permite categorizar la intervención del diseñador industrial en el proceso de diseño artesanal centrándose en cuatro indicadores (ver tabla I): a) valoración, b) colaboración, c) rediseño, d) nuevo producto. Los resultados de la aplicación de la herramienta podrán ser utilizados por gestores de la construcción y conceptualización de objetos, en donde se necesite evaluar las acciones tomadas que guíen a nuevas soluciones según el interés en el cual se involucre el objeto.

La relación entre el diseño y el trabajo artesanal ha ido ganando terreno. Por un lado, se pueden ver ejercicios de integración del diseño en la construcción difusión y comercialización de artesanía para el desarrollo de las comunidades. Pero al mismo tiempo los objetos artesanales han aportado a los diseñadores además de inspiración una serie de aspectos como valor agregado y beneficios personales que tienen como pilar el uso de códigos significativos de conocimientos tradicionales, procesos, funciones y técnicas locales. Actualmente existen casos de vinculaciones que han arrojado como resultados por ejemplo de la relación entre diseñadores industriales y artesanos: nuevos productos catalogados como diseño artesanal entre profesionales del campo de la mercadotecnia o gestión empresarial, han surgido estrategias comerciales incluso la conformación de grupos organizados para la producción y difusión. Muchas de las interacciones han sido propiciadas por instituciones para el desarrollo social como ya se ha visto pero algunas otras también han sido promovidas por instancias académicas o independientes [7].

Materiales y métodos

La construcción de la herramienta (ver tabla I) toma como eje rector los vectores de la forma; expresivo, funcional, tecnológico y comercial [8], se jerarquizan y ordenan los ejes temáticos según el análisis de los criterios y objetivos formales del diseño que establecen cuatro autores [6] [9] [10] [11], otorgando a la expresividad un mayor porcentaje debido a que es parte irrenunciable de la forma y siempre estará presente en la composición final.

Vectores de la Forma		
Eje temático	Objetivo de los criterios formales del diseño	Valor
Eje Temático 1: Vector Expresivo	Analizar y ofrecer la solución para las características de la forma que la hacen aceptable para el usuario.	40%
Eje Temático 2: Vector Funcional	Analizar aquellos aspectos relativos al uso del objeto, procurando obtener los requerimientos que definen los rangos aceptables, en términos de la relación del ser humano con el objeto y del objeto con respecto a sus partes.	30%
Eje Temático 3: Vector Tecnológico	Su objetivo principal es el de dar las especificaciones que permiten la producción de un proyecto, por lo tanto, se encarga de establecer límites físicos y de definir factibilidades productivas.	20%
Eje Temático 4: Vector Comercial	Su objetivo es aportar datos generados por el contexto de la comercialización y de competencia.	10%
Total		100 %

Fuente: Almaraz [12]. Obtenida de Rodríguez L.

Tabla I: Criterios formales del diseño.

Proceso de la herramienta

La herramienta consta de tres pasos; el primero, realizar un análisis de productos similares; segundo, llenado de la hoja de indicadores por parte del diseñador; por último, analizar los resultados con base a la puntuación.

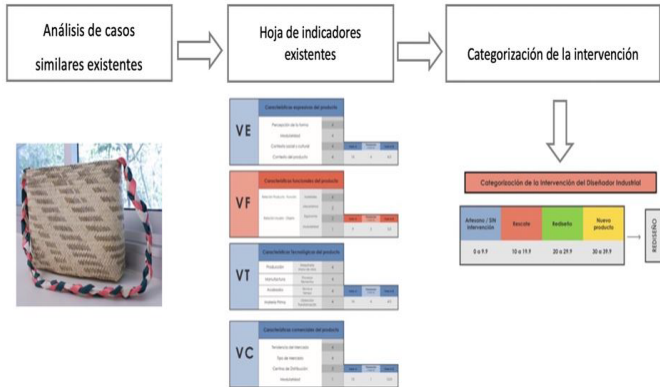


Figura 1. Piñón, Priscila (2018)

Fuente: Piñón, Priscila (2018). Caso de estudio: Artesanas de la comunidad de San José del Pinal, Urique.

A continuación, se describe a detalle cada uno de los pasos de la herramienta:

Paso uno. Análisis de similares existentes: clasificar los datos según lo establecido en los criterios formales del diseño. Paso dos. Llenar la hoja de indicadores: la cual consiste en 14 indicadores, variables y subvariables según los requerimientos de los criterios formales del diseño, donde el valor (A) establece un valor aritmético a cada variable y se asignan ponderaciones en una escala Likert donde el valor 1 es el número más bajo (desacuerdo) y el 4 el más alto (de acuerdo); sin embargo, la escala puede ser ajustada a los requerimientos según sean las necesidades del investigador. Los resultados se dividen entre el valor (B) el cual corresponde a los porcentajes establecidos en los ejes temáticos de cada vector. Paso tres. Categorización de la intervención: la suma de los cuatro indicadores nos indica los resultados del nivel de intervención del diseñador, donde:

1. Columna A (0 a 9.9): Categorización Valoración: es decir cuando no se necesita intervención del diseñador ya que el artesano elabora el producto sin la necesidad de este, por consiguiente, los vectores son cumplidos al 100%.

2. Columna B (10 a 19.9): Categorización Colaboración, en esta categorización la intervención será desde el trabajo colaborativo entre ambos enfoques, artesanal e industrial, que permitan la combinación del conocimiento que desemboque en propuestas que fomenten los valores culturales, y promover o destacar el trabajo artesanal.

3. Columna C (20 a 29.9): Categorización Rediseño, en esta categorización la intervención será en características específicas, sin alterar la función del objeto original.

4. Columna D (30 a 39.9): Nuevo producto, en esta categorización se desarrollan nuevos productos con elementos estéticos y culturales, la intervención será por vector y puede resultar en objetos totalmente nuevos, sustitución de materia prima, modularidad, estrategia comercial, forma y función.

5. Columna Total General: en ésta se vacían los resultados de los porcentajes los cuales establecen la categorización del indicador de la intervención al proceso de diseño.

Casos de Estudio

Para ejemplificar el uso de la herramienta, se presentan dos casos de estudio en los que se trabajó en colaboración con el Centro de Desarrollo Indígena (CEDAIN) [13].

El primer caso, fue en conjunto con las artesanas de la comunidad de San José del Pinal, en la Sierra Tarahumara del Estado de Chihuahua. Las artesanas elaboran bolsos a partir de las fibras de sotol [14], las cuales han implementado algunos elementos de diseño para que su producto tenga mayor atracción para el mercado (Ver imagen II), sin embargo, no se ha logrado obtener resultados positivos en cuanto a la venta de este.

Por lo anterior se solicitó la intervención del diseño industrial, implementando la herramienta en base a indicadores del diseño por parte de Piñón, Priscila [15], la cual identificó que los elementos a intervenir partir principalmente en la configuración de la forma, es decir ajustarse a nuevas tendencias en el mercado que permita una producción y venta del bolso [16].



Figura 2. Bolso de sotol, elaborado por la comunidad de San José del Pinal, en la Sierra Tarahumara del Estado de Chihuahua. Fuente: Piñon, Priscila (2018).

VE	Características expresivas del producto		Puntuación			
	Percepción de la forma		4			
	Modularidad		4			
	Contexto social y cultural		4	Valor A	Priorización (Valor B)	TOTAL (A / B)
	Contexto del producto		4	16	4	4.0

VF	Características funcionales del producto		Puntuación			
	Relación Producto - Función	Materiales	4			
		Mecanismos	2			
	Relación Usuario - Objeto	Ergonomía	2	Valor A	Priorización (Valor B)	TOTAL (A / B)
		Modularidad	1	9	3	3.0

VT	Características Tecnológicas del producto		Puntuación		
	Producción	Maquinaria	2		
		Mano de obra	2		
	Manufactura	Procesos	3		
		Elementos	3		
	Acabados	Técnica	4		
		Tiempo	2		
Materia Prima	Obtención	3	Valor A	Priorización (Valor B)	TOTAL (A / B)
	Transformación	1	19	2	9.5

VC	Características Comerciales del producto		Puntuación			
	Tendencia del Mercado		4			
	Tipo de Mercado		4			
	Centros de Distribución		3	Valor A	Priorización	TOTAL (A / B)
	Modularidad		1	12	1	12.0

Resultado Vectores				
VE	VF	VT	VC	Total General
4.0	3.0	9.5	12.0	28.5

Categorización de la Intervención del Diseñador Industrial



Fuente: Piñon, Priscila (2018). Caso de estudio: Artesanas de la comunidad de San José del Pinal, Urique

Figura 3. Hoja de indicadores.

Los resultados obtenidos (Ver imagen VI) permitieron establecer los siguientes requerimientos: rediseño en la forma de los bolsos, añadiendo nuevos elementos expresivos con materiales de uso común y de fácil acceso, que permiten variedad de usos y funciones, además de, moldes y patrones sencillos los cuales se explican en un manual de uso propuesto por Piñon, Priscila [13].

Otro caso de estudio en el que se aplicó la herramienta para el establecimiento de indicadores en el diseño de objetos fue la propuesta del diseño y desarrollo de sistema de empaque [17] para ofrecer protección a productos elaborados por los Tarahumaras, como jarrones de barro, talla en madera y otros materiales frágiles como el vidrio para envases de conservas y cestería. Este proyecto desarrollado en colaboración con el CEDAIN [11] como caso de estudio fue realizado por Cruz y Malo [18] como proyecto de titulación denominado “Desarrollo de sistemas de empaques para artesanías Tarahumaras”.

El diseño y desarrollo de este sistema de empaque tuvo una doble intención. La primera fue proteger los productos fabricados por los Tarahumaras durante su transporte y almacenamiento, y el segundo con una proyección de apoyo comercial para venderlo y promocionarlo en los diferentes foros en los que se distribuye, vende y se lleva a cabo el proceso de trueque dentro del CEDAIN [11].

El proyecto se llevó a cabo caminando las fases de un proceso de desarrollo de nuevos productos realizando alternativas de solución. Durante la fase de validación de estas alternativas se llevó a cabo el análisis por medio de la matriz de indicadores de diseño, la cual sirvió como una herramienta útil para obtener los indicadores. Un indicador se define como una expresión cualitativa o cuantitativa observable, que permite describir características, comportamientos o fenómenos de la realidad a través de la evolución de una variable o el establecimiento de una relación entre variables, la que, comparada con periodos

anteriores, productos similares o una meta o compromiso, permite evaluar el desempeño y su evolución en el tiempo [19].

Cruz y Malo en su documento de tesis citan a [11] quien establece que existen dos tipos de parámetros, los cuantitativos y cualitativos, los cuales tienen características específicas que permiten observar a los productos de una manera distinta y pasar de aquellos conceptos subjetivos a conceptos concretos, dirigidos y medibles, las diferencias entre estos parámetros son:

1. Los parámetros cuantitativos o primarios son todos aquellos valores que pueden recibir los requerimientos de diseño susceptibles de ser medidos. Parámetros que representan un momento o estado de una magnitud normalmente relacionada con la extensión, forma, resistencia y movimiento.

2. Los parámetros cualitativos o secundarios son características peculiares que determinan fundamentalmente los criterios formales del proyecto. Están relacionados de alguna manera con propiedades subjetivas de las impresiones sensoriales referidas a olores, sabores, colores, texturas, arreglos, composiciones, entre otros. ellas son determinadas por hábitos, disposiciones y afecciones cuyas variables en la mayoría de los casos no pueden ser cuantificables.

A manera de llevar a cabo una ponderación para la selección de las alternativas obtenidas durante la fase de conceptualización; Cruz y Malo, llevaron a cabo una evaluación de los productos artesanales tarahumaras que realizaron durante sus tesis y así obtener los indicadores de diseño.

En la hoja de indicadores (Ver tabla IV) se pueden observar los criterios de los ejes temáticos de los vectores de la forma que fueron usados para ponderar las alternativas propuestas. Una vez que se evaluaron las alternativas, se estructuraron, ponderaron y organizaron los indicadores y variables para la realización de las alternativas (Ver imagen 5).

VE	Características Expresivas del producto		Puntuación			
	Percepción de la forma	Modularidad	5	Valor A	Priorización (Valor B)	TOTAL (A / B)
		Contexto social y cultural	5			
	Contexto del producto		5			
		5	20			

VF	Características Funcionales del producto		Puntuación			
	Relación Producto - Función	Materiales	1	Valor A	Priorización (Valor B)	TOTAL (A / B)
		Mecanismos	1			
	Relación Usuario - Objeto	Ergonomía	1			
Modularidad		1	4			

VT	Características Tecnológicas del producto		Puntuación			
	Producción	Maquinaria	2	Valor A	Priorización (Valor B)	TOTAL (A / B)
		Mano de obra	2			
	Manufactura	Procesos	2			
		Elementos	2			
	Acabados	Técnica	1			
Tiempo		1				
Materia Prima	Obtención	1	12	2	6.0	
	Transformación	1				

VC	Características Comerciales del producto		Puntuación					
	Tendencia del Mercado		2	Valor A	Priorización (Valor B)	TOTAL (A / B)		
		Tipo de Mercado	2					
	Centros de Distribución	2						
	Modularidad		2				8	2
		2						

Resultado Vectores				
VE	VF	VT	VC	Total General
4.0	4.0	6.0	4.0	18.0

Categorización de la Intervención del Diseñador Industrial



Fuente: Cruz y Malo (2017).

Resultados de la intervención

La aplicación de la herramienta para el primer caso de estudio arrojó como indicador principal un rediseño de la bolsa, para dar énfasis a la comercialización, por lo tanto, se tomó en cuenta el tipo y la tendencia del mercado, la variedad de usos, tamaños y diseños sin perder su identidad [20], utilizando elementos de fácil acceso como la tela de paliacate [] y la faja []. Como puede observarse en las siguientes imágenes.



Figura 4 Propuestas finales de diseño. Fuente: Piñon, Priscila (2018).

En el segundo caso de estudio, de acuerdo con la ponderación, se consideraron los siguientes indicadores los cuales obtuvieron la escala más alta: Para el vector Expresivo, el indicador Percepción de la Forma; para el vector Funcional, el indicador Relación Producto-Función; para el vector tecnológico, el indicador producción y para el vector Comercial, el indicador Tendencia del Mercado. Dando como resultado lo diseños mostrados en la imagen 5, los cuales del mismo modo cumplieron con los requerimientos de diseño tanto obligatorios como deseables:

- 1 Tela utilizada por los Raramuris.
- 2 Cinturón Rarámuri.



Figura 5 Propuestas finales de diseño. Fuente: Cruz y Malo (2017)

Las reflexiones de Cruz y Malo fueron que “a través de estas variables el diseño industrial puede crear una identidad formal, estructural y de percepción hacia los productos por medio del empaque con el propósito de anclar al consumidor a través del diseño y que este se disponga a pagar un precio justo y accesible por el producto”.

Por consiguiente, enfatizamos que el objetivo de la herramienta con base en indicadores del diseño es que sea implementada en áreas de interés y usuarios como dependencias de gobierno que ofrezcan capacitaciones, grupos multidisciplinarios, asociaciones civiles, gubernamentales, estatales, institucionales, etcétera, públicas y privadas. Introducir a los artesanos y diseñadores industriales a una metodología colaborativa, además, se podrá implementar en procesos pedagógicos para su aplicación en talleres artesanales, en aulas de conceptualización y creatividad del diseño.

Por último, la herramienta hace hincapié en los objetivos del Fondo Nacional para el Fomento de las artesanías y busca ser una aportación del diseño industrial en el proceso de configuración del diseño y trabajo artesanal, la cual continuará retroalimentándose con la transferencia de información y conocimiento que otorguen los usuarios e interesados en el tema.

Referencias

- [1] FONART, Manual de diseño artesanal, FONART, México, 2013.
- [2] M. Turok, Wallace, Análisis social de los artesanos y artesanas en latinoamérica., *Revista Artesanías de América*, n° 73, pp. pp. 22-29, 2013.

- [3] SEDESOL, Diagnóstico de la capacidad de los artesanos en pobreza para generar ingresos sostenibles., 7 Mayo 2009. [En línea]. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/32043/Diagnostico_FONART_3_.pdf. [Último acceso: 2013].
- [4] N. Barroso, Diseño y Artesanía: Los límites de la intervención, 1999.
- [5] V. Novelo, La capacitación de artesanos en México, una revisión., México: Plaza y valdés, S.A. de C.V., 2003.
- [6] F. Martín, Diseño local con tecnología global, *Revista del Centro Interamericano de Artesanías y Artes Populares*, n° 55, 2003.
- [7] J. M. Madrid y E. Rangel-Guzmán, Los símbolos en morrales de la cultura Tepehuana., Juárez, Chihuahua: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, 2012.
- [8] L. Rodríguez, Diseño, estrategia y táctica., México: Designio, 2004.
- [9] G. Rodríguez, Manual del diseño industrial., México: G. Gili, S/A.
- [10] R. Morris, Fundamentos del diseño., Barcelona: Alfaomega, 2012.
- [11] G. Simón, La trama del diseño, porque necesitamos métodos para diseñar., México: Designio, 2009.
- [12] C. Almaraz, *Proyectando diseño independiente*, Desarrollo de nuevos productos, n° Primera edición, pp. 92-101, 2015.
- [13] P. G. Thompson, Impacto social de una organización de la sociedad civil: Centro de Desarrollo Alternativo Indígena A.C., *Nueva Antropol*, vol. 21, n° 69, 2008.
- [14] J. Madrid, J. Valles, L. Macías y L. Soto, Generación de un material a partir del bagazo de Sotol, *Mundo Fesc*, vol. 9, n° 17, pp. 31-34, 2019.
- [15] P. Piñón, Proceso de gestión del diseño en la elaboración de bolsos artesanales., Juárez, Chihuahua: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, 2018.
- [16] D. Bramston, Bases del diseño de producto, de la idea al producto., Barcelona: Parramón, 2010.
- [17] V. Ariza y M. Andrade, La relación artesanía y diseño. Estudios desde el norte de México., *Cuadernos del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación*, vol. 22, n° 90, pp. 193-211, 2020.
- [18] G. Cruz y D. Malo, Desarrollo de sistemas de empaques para artesanías Tarahumaras., Juárez, Chihuahua: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, 2017.
- [19] DANE, Guía para la construcción e interpretación de indicadores, Estrategia para el Fortalecimiento estadístico territorial, 2014. [En línea]. Available: https://www.dane.gov.co/files/planificacion/fortalecimiento/cuadernillo/Guia_construccion_interpretacion_indicadores.pdf. [Último acceso: ENERO 2014].
- [20] FASHIONARY, Bag Design, A Handbook for Accesories Designers., China: Fashionary International Ltd, 2016.



Innovación: ¿Es una realidad en las micro, medianas y pequeñas empresas (MiPyME's) de Ciudad Juárez, México?

Innovation: Is it a reality in the small businesses of Ciudad Juarez, México?

Dr. Ludovico Soto Nogueira¹, Juan Manuel Madrid Solórzano²

¹Doctorado en investigación, lusoto@uacj.mx; ORCID: 0000-0001-6133-1039; profesor-investigador de la licenciatura en diseño industrial, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez; Bosques de Chapultepec 5386, Col. Los Bosques, Cd. Juárez, Chihuahua, Mx

²Maestría en Ciencias en Ingeniería Industrial, jmadrid@uacj.mx; ORCID: 0000-0002-2888-4413; profesor-investigador de la licenciatura en diseño industrial, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez; Ciudad Juárez, Chihuahua

How to cite: L. Soto Nogueira, J.M Madrid Solórzano “Innovación: ¿Es una realidad en las micro, medianas y pequeñas empresas (MiPyME's) de Ciudad Juárez, México?”. *Respuestas*, vol. 25, no. S1, pp. 57-66, 2020.

Received on September 25, 2019; Approved on December 10, 2019

ABSTRACT

Keywords:

Implementation, innovation, management, small business, product.

The small businesses in Ciudad Juarez, as in the whole country, are important sources of employment, being at the same time, from local and national origin. It is known that this companies have a very short subsistence cycles, the employment rate for this sector it has remain steady since 2010, establishing that many small businesses disappear as others begins and the sector has shown no growth, for this reason; this paper presents those factors that determine innovation in a small business and the relation between these factors and key indicators for the survival of the company. These same elements were also compared in a small business recognized as successful, as a real base. In the analysis of the comparisons, defining factors were identified that are common in the literature and the successful company, notwithstanding, absent in the surveyed companies, which indicates critical shortcomings in their management.

RESUMEN

Palabras clave:

Administración, implementación, innovación, MiPyMES, producto.

En Ciudad Juárez las MiPyME's como en todo el país, son fuentes de empleo importantes y que además son de origen local nacional. Es también conocido que estas empresas tienen ciclos de supervivencia muy cortos, el porcentaje de empleo para este sector se ha mantenido muy estable desde el año de 2010, esto quiere decir que MiPyME's mueren y otras empiezan y que el sector no ha crecido, por esto mismo; este trabajo presenta aquellos factores que determinan la innovación en una MiPyME y su relación con indicadores clave para la supervivencia de la misma. Se realizó una revisión bibliográfica para identificar elementos que determinan la innovación en una empresa y se eligieron cuarenta MiPyME's locales para identificar la existencia de estos elementos en los indicadores clave de la empresa. También se compararon estos mismos elementos en una empresa MiPyME reconocida como exitosa, como una base real. En el análisis de las comparaciones se identifican factores determinantes que son comunes en la literatura y empresa exitosa, pero que no aparecen en las empresas encuestadas, lo que nos indicó carencias críticas en el manejo de estas.

*Corresponding author

E-mail: ad-lusoto@uacj.mx

Ludovico Soto Nogueira



Peer review is the responsibility of the Universidad Francisco de Paula Santander.
This is an article under the license CC BY-ND

Introducción

En diciembre 2018 el total de empleos registrados por el seguro social era de 459,482, donde el 65.3% es relacionado con la industria de la transformación [1]. De este total, solo el 5.7% de los empleos son de la industria nacional y el resto de 59.6% labora en la industria manufacturera extranjera [2]. La ciudad tiene registro de 2,313 empresas nacionales relacionadas con el sector de la transformación las cuales emplean a 27,000 personas, mientras que las extranjeras con 326, emplean a 273,300 individuos (IMIP,2018). Las MiPyME's manufactureras locales nacionales, estas presentan una problemática de estancamiento, el número de empresas y empleos generados por ellas, siguen siendo muy similares los del 2018 a los de hace 14 años, existen datos que indican que mueren empresas y nacen otras, con una cifra de desaparición del 80% en los primeros 5 años de fundación y a los 10 años, el otro 20% dejan de existir [3].

Al observar estos datos se observa que la industria foránea (o industria maquiladora como se conoce en la región) es el motor económico de la ciudad ya que, por el número de empleos generados y toda la actividad productiva que se mueve alrededor de ellas, tales como transporte, materia prima utilizada en los procesos, manejo de los productos terminados, entre otros, hace también que se muevan otros sectores de la economía de la ciudad, como son construcciones, servicios, hoteles, etcétera. Por lo tanto, Ciudad Juárez depende económicamente de la industria maquiladora en dos aspectos fundamentales; primero, que genera la mayoría de las fuentes de trabajo en la localidad; segundo, que las industrias foráneas se mueven bajo el vaivén de la economía que rige sus países de origen, esto implica que, si el país de origen tiene un buen ciclo económico, la industria manufacturera local se beneficia de este, pero, si sucede al contrario, la industria se comprime y todo lo que se mueve a su alrededor también.

Esta problemática nos hace reflexionar y enfocar esfuerzos para que la industria local nacional sea más duradera, con más crecimiento y que realmente pueda llegar a ser una fuente de empleo y economía si no a la par, que sea cercano al de la industria manufacturera extranjera. Aquí es, donde el factor innovación se vuelve crítico y olvidado por las micros, pequeñas y medianas empresas. La innovación es uno de los elementos clave de la ven-

taja competitiva de las organizaciones, es una fortaleza que las organizaciones deben tener para poder superar a las demás en los ambientes competitivos y dinámicos actuales [4]. Para las empresas, la innovación trae como resultado mejores retornos derivados de la posibilidad de producir bienes y servicios diferenciados, preferidos para sus clientes o de utilizar técnicas productivas más eficientes que sus competidores.

Asimismo, aquellas empresas que generan capacidades permanentes en el campo de la innovación contarán con el conocimiento necesario para dar respuesta rápida y eficaz a las amenazas competitivas de sus rivales. Todo ello se traduce en la posibilidad de crecer sostenidamente, generar más y mejores empleos, incrementar las remuneraciones y mejorar las condiciones laborales [5]. Hernández y Rodríguez en su texto describen que innovación es aplicar en la práctica, nuevas formas de producir y se logra gracias a la investigación y creatividad de sus elementos; pero es el resultado de traducir esa investigación y creatividad a un proceso rentable o por lo menos que genere una recuperación.

Para Moskowitz [6], innovación es la aplicación de nuevas ideas, conceptos, productos servicios y prácticas con la intención de ser útiles para el incremento de la productividad. En referencia a los productos, un elemento esencial de la innovación es su aplicación exitosa de forma comercial.

“No solo hay que inventar algo, sino, por ejemplo, introducirlo en el mercado para que el consumidor pague por él y además que lo pueda disfrutar.”

Dr. Herbert Moskowitz, Purdue University.

La productividad es en esencia el efecto de las buenas prácticas de la innovación. Para las empresas en términos reales, productividad es el mejorar los presupuestos, es la relación entre la producción y la optimización de los recursos utilizados para llevarla a cabo. De acuerdo con Moskowitz, en la mayoría de los casos, en el aspecto interno de la empresa, la productividad global se basa en el buen aprovechamiento de los materiales y la mejora continua de la calidad en todas sus actividades y procesos. Este autor afirma por estudio llevado a cabo en alrededor de 600 empresas de los Estados Unidos de Norte América, que el costo del material va desde el 50 al 75% del costo de la operación y que los procesos o actividades

mal llevados o realizados de mala manera o con mala calidad dentro de la empresa, siendo estas de cualquier índole (finanzas, producción, diseño, etc.) toman del 5 al 15 % de este costo total, es por eso, que los esfuerzos en productividad deberán ser centrados en estos dos factores.

La innovación se puede implementar de varias maneras dentro de una industria, por ejemplo, con la implementación de un programa de mejora continua como herramienta de gestión, modificación directa en el producto y/o servicio o cambios del proceso (tales como: utilización de maquinaria o integración de nuevo equipo), pero algunas MiPyME's, no ven la innovación como una ventaja competitiva y de desarrollo, sino como un aspecto estético nada más. [7]. Un programa de mejora continua resulta en productividad para la empresa, siendo este un elemento clave para su competitividad. Así mismo, la competitividad es uno de los rubros importantes de desarrollo de las MiPyMES, ya que es el estímulo para crear estructuras estables administrativas, de producción y de satisfacción al cliente. Sin embargo, las MiPyME's, tienen el problema de que no son estructuradas, para lo cual se han hecho múltiples investigaciones con el objetivo de encontrar la forma de volverlas estables implementando logística y gestión dentro de estas empresas.

Un factor crítico muy olvidado para contribuir a la productividad de la empresa es el entrenamiento y capacitación de los empleados, Méndez Morales [8], dice que el empleado no solo debe capacitarse en una tarea específica, enfatiza que una de las soluciones que puede aplicarse es el de entrenar a toda la organización para que busquen el aumento de la eficiencia de sus procesos, que utilicen al máximo su capacidad instalada, que promuevan el crecimiento del negocio y por ende generen empleos. El expone que esta actividad debería ser apoyada por el estado, ya que enfatiza que México sufre una devastación por la falta de preparación en ciencia y tecnología.

Pero, no solo los factores internos se implican en el éxito de las MiPyME's, los factores externos también son contribuidores críticos. Ya se menciona que el primero es todo lo que pasa dentro de la empresa, desde la administración, tecnología, conocimiento y percepción del entorno, mientras que los factores externos, el principal es la competitividad, que involucra niveles de innovación, imagen de la empresa, ventaja competitiva, diferencia-

ción, valor agregado y rivalidad en el sector, así mismo, otros rubros pueden ser la seguridad, la macroeconomía y el financiamiento. Es de esperarse, que, si no hay una buena estructura interna y externa, no se genera las ganancias esperadas, y esto pasa por las deficiencias en la organización, costos y mala calidad de sus productos. [9].

De acuerdo a otras investigaciones, Navarrete y Sansores [10] mencionan a las siguientes problemáticas como los principales obstáculos a los que se enfrentan las PyME's y que afectan a la supervivencia de la misma: Falta de un plan de negocios, se refiere a la falta del documento que contenga los objetivos, las metas y planeación de la empresa, así como su estructura organizacional y su modelo de negocios a seguir, la ausencia de un plan de negocios hace que las PYME pierdan de vista sus objetivos y se les obstaculiza identificar sus posibles fuentes de financiamiento. Así mismo, existen varios factores que afectan el desarrollo y éxito de un negocio tales como: El transporte a utilizar para entregas de pedidos; de este factor se derivan indicadores tales como el tiempo de viaje (minutos), si es privado o rentado, el costo del mantenimiento, la frecuencia del uso y la capacidad vehicular. [11]

La distribución de igual manera es un factor importante, según Calderón, Álvarez y Cornetero [12], es decir, el contar con una ubicación estratégica que permita a clientes y proveedores ubicar la empresa con el fin de entregar sus productos en condiciones óptimas y en el momento oportuno. De igual manera es necesario aplicar la Administración de inventarios determinando los puntos de rotación, el modelo de re-inventario y los métodos de control a utilizar. [11]. Así mismo, como el inventario, la empresa debe contar con un proceso productivo eficiente que le permita producir los mismos productos que su competencia, pero a menor costo; de igual manera contar con personal altamente calificado que le permita tener una productividad alta. [13]

Datos y Metodología

Recopilación y Análisis de literatura

Se realizó una búsqueda de investigaciones y trabajos relacionados con innovación y su relación con el éxito o fracaso de MiPyME's en México, tratando de buscar trabajos relacionados con nuestra región. De acuerdo a las fuentes consultadas, la siguiente tabla I,

AUTORES	Elementos de innovación											
	En productos	En procesos	Innovación en la administración	Tecnología usada	Generar/Implementar ideas en el personal	Miedo a la novedad	Presupuesto para innovación	Benchmarking	Cliente/producto	Calidad	Proveedores e innovación	Venta a maquilas
G. Góngora Biachi y A. Madrid Guijarar, 2010.				X	X		X					
O. Rodarte Contreras y F. Bribiescas Silva, 2014.	X	X							X	X	X	X
J. R. Sánchez Navarro y J. R. Ríos Ramírez, 2013.			X			X						
Á. Ortiz Flor, 2006.	X	X	X	X	X		X			X		
H. Aranda Gutiérrez, J. Solleiro Rebolledo y D. Heneberry, 2008.		X		X		X						X
L. Soto Nogueira, J. Madrid Solórzano y P. Peinado Coronado, 2018.			X		X			X		X		
D. RODEIRO PAZOS y M. C. LÓPEZ PENABAD, 2007.	X		X	X		X	X					
A. de la Rosa Albuquerque, 2007.			X			X				X	X	
L. Heres Méndez, K. J. Ortiz Villalobos y O. J. Montiel Méndez, 2014.			X	X								
H. Aranda Gutierrez, 2010.	X		X	X								X
J. Castellanos, 2003.	X	X	X	X	X			X	X			X
S. Ripoll, F. y H. Oliver, 2011.			X	X	X							X
E. Goldstien, 2011.	X			X			X		X	X		
J. Cervantes Aldana, (s.f.).	X											X
C. MEISEL, H. P. BERMEO y L. OVIEDO MUÑOZ, 2006.	X	X	X			X						X
Z. FERNÁNDEZ y A. Revilla, (s.f.)			X	X	X		X	X				X
M. Villalba Benítez, H. Hurtado Bolaños, H. O. Guarín Rincón y J. Casas Ochoa, 2013.			X	X		X			X			
M. Zahera, 2000.		X	X	X		X				X		
H. Formento, N. Braidot, J. Pittaluga, C. Abrevaya, R. Barrios, P. Corradini, D. Grossmuller, F. Jauré, C. Monti, J. Nicolini y O. Ramírez, 2005.		X	X	X				X	X	X		
L. Cárdenas Gomez y E. Fecci Pérez, 2007.			X	X	X							X
A. Rubio Bañón y A. Aragón Sánchez, 2008.	X	X	X	X					X	X		
V. M. Molina Morejón, M. d. C. Armenteros Acosta, M. Medina Elizondo, J. D. Barquero Cabrero y J. d. J. Espinoza Arellano, 2011.			X							X	X	

TABLA I: RESÚMEN DE INFORMACIÓN POR REVISIÓN DE LA LITERATURA.

Utilizando la información contenida en la tabla anterior, se realiza el siguiente esquemático donde se observan los elementos encontrados y la posición por su importancia de mención.

Elementos de innovación en MiPyME's					
Descripción	Menciones	Posición	Descripción	Menciones	Posición
Innovación en procesos administrativos	18	1	Generar/ Implementar ideas en el personal	7	7
Uso de la Tecnología a favor de la empresa	15	2	Relación Cliente/Producto	7	8
Influencia de los proveedores	10	3	Miedo a implementar Novedad	6	9
Calidad en el producto	9	4	Presupuesto para implementar innovación	6	10
Innovación en procesos productivos	8	5	Benchmarking o comparaciones	3	11
Innovación en productos	8	6	Venta a empresas maquiladoras	2	12

TABLA II: RESUMEN DE ELEMENTOS COMUNES PARA LA INNOVACIÓN

Análisis de revisión de literatura

El primer elemento encontrado en la mayoría de los trabajos de investigación es el de la “Innovación en la administración”, en segundo término, se encuentra la utilización de la tecnología en la empresa, lo cual demuestra que, en la actualidad, estos elementos son relevantes para las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (MiPyME's).

Dentro del aspecto de la Innovación en la administración, la mayoría de los artículos concuerdan en un punto importante: si bien las MiPyME's no tienen los mismos recursos que las grandes empresas, el utilizar la cultura organizacional como un elemento diferenciador y más que eso, una ventaja competitiva, es trascendental para el éxito de dichas empresas. El hecho de que buena parte de los artículos mencionen a la administración como punto fundamental de la innovación no es coincidencia ya que de este factor interno se desarrollan muchos más, tales como la innovación de los procesos, la innovación en los productos, la implementación de ideas en el personal y el servicio al cliente.

Por otra parte, la tecnología utilizada en las empresas juega un papel fundamental para ser competitivo en el mercado; el innovar los instrumentos, maquinaria e industrializar los procesos productivos desarrollan una empresa eficiente en tiempos y recursos, lo cual se traduce en mejores productos y un servicio adecuado al cliente.

Empresas MiPyME'S

El estudio se realizó en tres fases:

En la primera se recopiló información por medio de encuestas a cuarenta empresas tipo MiPyME's de la localidad escogidas en forma aleatoria. La encuesta se llevó a cabo a través de un instrumento que incluyó a los doce elementos encontrados en la revisión de literatura, además de datos generales para el conocimiento de las empresas. Se utilizó una escala de medición tipo Licker, con el propósito de encontrar el nivel de aplicación de esos elementos de innovación en cada una de esas empresas (donde el cinco indicaba lo esperado o más, cuatro, menos del 75%, tres, indicaba que las ganancias estaban abajo del 50%, dos, abajo del 30% y el uno, menos del 10%). La segunda fase consistió en identificar una MiPyME reconocida como exitosa, obtener datos de ella con la misma información que se tomó de las empresas encuestadas, para luego, en una tercera fase, llevar a cabo una comparación entre esta empresa, la teoría que presentaron los investigadores y los resultados obtenidos de las empresas tomadas al azar. Se evaluaron tendencias que se generaron entre ellas, para generar ideas en la mejora dentro de la fabricación de los productos.

Debido a que el éxito o fracaso, el desarrollo o estancamiento de las MiPyMES es multi factorial y estos pueden ser factores internos o los que provienen del exterior, tales como son los entornos económicos, sociales y políticos, este trabajo se enfocó a la identificación de elementos de carácter interno. Así mismo para la selección de la MiPyME exitosa se tomó la definición de dos autores, para Luck, una empresa es exitosa si el dueño o administrador ha obtenido un excedente en las ganancias en el tiempo cantidad que se ha propuesto como meta [14], también, que el éxito de una empresa, se demuestra cuando su dueño o administrador comprueba que ha logrado el éxito porque las utilidades obtenidas son mayores que la cantidad de activos invertidos en la empresa [15].

Resultados

Los datos generales nos presentan el siguiente análisis y estos se presentan por medio de la Tabla III abajo mostrada:

Empresas encuestadas			Género de Dueños ó Administradores		Carrera Profesional de Dueños ó Administradores		Ganancias / Crecimiento	
Micros	Pequeñas	Medianas	F	M	Si	No	5 - Esperados	4 - < 75%
71%	24%	5%	21%	79%	67%	33%	3.39	3.34

TABLA III: RESULTADOS GENERALES DE ENCUESTA A EMPRESAS LOCALES

El dato importante de esta tabla es que la percepción de ganancias y crecimiento que se detectó a través de la encuesta fue de que no estaban en los números esperados. Los resultados mostrados fueron en el rango cercano al 60% de lo esperado por sus dueños.

Interpretación de los datos para elementos de innovación

Los elementos de innovación encontrados en la revisión de literatura, los datos y resultados obtenidos de las encuestas a las MIPYMES locales, además de la ponderación que se obtuvo de la empresa exitosa, todos ellos fueron integrados a una matriz para obtener un resultado final de estas combinaciones, las cuales son mostradas en la siguiente Tabla 4.

ítem	LITERATURA	EMPRESAS	MiPyME (CASO)
1	INNOVACIÓN EN LOS PROCESOS ADMINISTRATIVOS	CALIDAD EN LOS PRODUCTOS	INNOVACIÓN EN LOS PROCESOS ADMINISTRATIVOS
2	USO DE LA TECNOLOGÍA	REQUERIMIENTOS/CLIENTE	REQUERIMIENTOS/CLIENTE

TABLA IV: COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE LOS DIFERENTES GRUPOS

Para el análisis de los resultados se escogieron los primeros seis elementos principales de cada categoría, comenzando el análisis con la prioridad que se encontró en la revisión de literatura:

Innovación en los procesos administrativos

La Innovación en los procesos administrativos o capacidades directivas salen en primer plano como la motriz de éxito en la MiPyME de comparación, esto es igualmente cierto para los autores de la literatura analizada, en cambio, los resultados del estudio de campo muestran que para las MiPyME's encuestadas, la atención en los procesos administrativos no es su enfoque primario.

Uso de la Tecnología

El uso de la tecnología a favor de la empresa aparece en todas las categorías. Quiere decir que es un elemento

común al que se debe mantener dentro de las atenciones de las empresas.

Influencia de los proveedores

La participación de los proveedores para innovar dentro de las empresas es en mayor grado mencionado en la revisión de literatura, mientras que en las empresas encuestadas si aparece en sus resultados como el número seis, pero en los resultados en la MiPyME caso de estudio no aparece.

Calidad en los productos

Se manifiesta que la calidad en los productos es uno de los factores más importante en la competitividad y supervivencia de las empresas, por esto mismo aparece en las tres categorías siendo el primer lugar de las empresas encuestadas, el tercero de la MiPyME caso de estudio y cuarto en la literatura. Cabe hacer mención, que aparece tanto en empresas encuestadas como en la MiPyME, un factor que no está en la revisión de literatura, denominado Requerimientos del Cliente, esto puede pasar por su implicación natural dentro del elemento de la Calidad y su estrecha relación con este factor.

Innovación en los productos y procesos de fabricación

Estos dos factores están realmente integrados, ya que aparecen en la categoría de literatura en lugares consecutivos, mientras que en empresas y MiPyME aparece solo uno de ellos, respectivamente, la innovación de productos y en la otra innovación de los procesos de fabricación.

En las empresas encuestadas, con respecto a la relación entre ganancias/crecimiento versus estos seis elementos de innovación, existe una correlación casi directa ya que la aplicación de los elementos de innovación percibido a través de la encuesta fue de alrededor del 60% el cual es casi idéntico a la medida de las ganancias/ crecimiento.

Conclusiones

El sobrevivir y competir en la actualidad es realmente un reto para las MiPyME's, se ha indicado que por factores diversos, tanto internos o externos que la supervivencia de cuatro de diez de los micros, pequeños y medianos negocios locales ya no llegan ni siquiera a un año, [16],

y las razones expuestas son: la inversión inicial incluyendo aquella para la apertura de la empresa, el exceso de regulaciones legales, tanto de pagos como de los criterios de las autoridades para multar y cancelar cuando estas no son cubiertas, así mismo, la falta de información de los nuevos emprendedores y desconocimiento de un modelo de negocios, pero también y principalmente, que el proyecto de negocio no funcionó por fallas en la administración correcta de la empresa y falta de estrategias para mantenerse vigente con los consumidores

La ausencia de innovación en los procesos administrativos de las MiPyME's nos puede indicar la carencia de capacidades directivas de los administradores o dueños de estas empresas, su foco de atención es mantener trabajando el negocio, su atención es más reactiva a las condiciones diarias, anteponiendo la atención pro-activa de planear y luego ejecutar, Este planteamiento nos puede indicar una pauta de falla en las empresas. El consultor de pequeñas empresas Humberto Calzada [17], expone, que, para sacar provecho cuando se es dueño o administrador es necesario seguir ciertas reglas, tales como: aprender, aplicar e innovar sistemas que dirijan el negocio, aprender, aplicar e innovar procesos donde equipo o maquinaria y el recurso humano intervienen, tales como, procesos de fabricación, formación de equipos y delegación de tareas a sus empleados, ser creativo en la asignación de los recursos donde es necesario y por último aprender e innovar, en generar/hacer más dinero, lo que significa, no estar viviendo el día a día, ya que esto es frustrante y consume mucha energía resultando en poner menos atención a sus finanzas y a otros rubros de importancia crítica para el negocio (su progreso y desarrollo). Habrá que resaltar las palabras "aprender" e "innovar", como una de las acciones más importantes para el desarrollo de verdaderas capacidades directivas.

Por otro lado, la implementación de procesos de innovación y diseño debería ser más evidente en las MiPyME's [18], los empresarios en la búsqueda de mejorar su manera de competir, dar mayor calidad a sus productos, reducir tanto los costos de producción como el tiempo requerido para introducirlos en el mercado y satisfacer las demandas de los clientes, en muchos de los casos no logran la anhelada competitividad, es necesario que dichos factores permitan configurar verdaderas diferencias o ventajas competitivas de las empresas frente a sus competidores, y de esta manera lograr su sostenibilidad.

Ya se ha indicado la importancia de la calidad como elemento de innovación para obtener mayor productividad, pero existen otros factores que pueden influenciar en la percepción del cliente como ventaja competitiva no solo en la calidad del producto, sino también, la consideración de tener mejor conocimiento de lo que ellos quieren, así como la adaptación a esos requerimientos. Se debe pensar que en la empresa se pueden desarrollar nuevos productos y con innovación para ofertar a sus clientes, la relación con ellos es el motor del proceso de innovación; es decir, “*la proximidad y conocimiento del cliente*” son factores claves en la innovación de las MiPyME’s [19].

En referencia al área de Tecnología, esta se ha entendido básicamente en como programas o aplicaciones computacionales son de gran ayuda para el buen funcionamiento de la empresa, tanto en lo operativo como en lo operacional. Pero por otro lado, la visión que se tiene de las MiPyME’s es que deben ser empresas con poca inversión y de baja tecnología, sin la suficiente capacidad para proyectos mayores como es la proveeduría a la industria de inversión extranjera, para esto, Sergio Torres Flores Propietario y Director de innovación de la empresa Tamuse, insiste que la visión local deberá estar volcada totalmente a la maquiladora, a su generación de empleo y movimiento económico a su alrededor, que esta visión es errada, que por ahora, es lo que resulta mejor financieramente hablando [20]. Torres, indica que lo que se debe hacer, es maquinizar, automatizar y robotizar a nuestras propias empresas, porque es la única forma de hacerlas crecer y mantenerlas vivas. Las empresas locales tienen que encontrar la forma de automatizar sus procesos y desarrollar modelos de negocios con tecnología, para poder hacerlas redituables.

Existe desconocimiento acerca de cómo automatizar a bajo costo las empresas locales, cuando se piensa en tecnología para los negocios, la tendencia es buscar máquinas en el extranjero, pero aquí en la localidad tenemos empresas que pueden diseñar las máquinas que las empresas necesiten, “lo que sea” así lo expresa el propietario de la empresa local Tamuse, negocio que nació para diseño y fabricación de equipo y maquinaria para las maquiladoras, pero que ya actualmente trabaja en proyectos con empresas locales, trabajos a pequeña escala y muy a la medida. Se están resolviendo problemas locales, con talento y capital local, lo que genera mejores negocios y riqueza local [20].

Un factor que se ha hecho a un lado y que está en la última posición como factores de innovación es la venta a maquiladoras, esta oportunidad para que las MiPyMES sean proveedores de esta industria está abierta. Sólo el 2% de los materiales usados en ella son de la industria nacional local, mientras que a nivel estatal y nacional representan sólo el 4% y 24% respectivamente [21], desafortunadamente falta mucha cultura empresarial entre las pequeñas y medianas empresas locales para poder llegar a ese nivel de proveeduría y eso es en parte, lo que la ha frenado [22].

Referencias

- [1] Instituto Mexicano del Seguro Social, «IMSS,» Obtenido de Datos Ocupación, 2018.
- [2] INDEX, «Asociación de Maquiladoras de Cd. Juárez,» Datos de ocupación. Informe en Revista de manufactura. Diciembre, México, 2018.
- [3] L. Heres Méndez, K. J. Ortiz Villalobos y O. J. Montiel Méndez, «Perfil operativo de las PyMES Juarenses,» nova Rua, pp. 11-20, 2014.
- [4] I. Chiavenato, Administración en los nuevos tiempos, Bogotá, Colombia: Mc Graw Hill, 2008.
- [5] F. N, «Zona Económica,» 17 octubre 2019. [En línea]. Available: <https://www.zonaeconomica.com/innovar>.
- [6] H. Moskowitz, «Quality and Productivity Improvement,» Thomson Consumer Electronics, Indianapolis, In, USA, 2010.
- [7] A. A. de la Torre Ramos, «Evaluación y diagnóstico de la integración del diseño en las PyMES de los principales sectores industriales de Ciudad Juárez, Chih. Mex.,» Julio 2016. [En línea]. Available: <https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https%3A%2F%2Friunet.upv>.

- [8] J. Mendez Morales, *Problemas de México y Sustentabilidad*, México, D. F.: Mc Graw Hill, 2012.
- [9] J. R. Sánchez Navarro y J. R. Ríos Ramírez, «Facotres de éxito de la micro, pequeña y mediana empresa en edad temprana; Caso chihuahua,» ITESM, Chihuahua, Chih., 2013.
- [10] E. Navarrete y E. Sansores, *El fracaso de las micro, pequeñas y medianas empresas en México: un análisis multivariante*, México: Revista Internacional de Administración y Finanzas, 2011.
- [11] B. Salazar, «Medios y Gestión de Transporte,» 17 10 2012. [En línea]. Available: <http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/medios-y-gesti%C3%B3n-del-transporte>.
- [12] Calderon, Alvarez y Cornetero, «Evaluación de la Gestión Logística y su influencia en la determinación del costo de ventas en la empresa,» Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, 2014.
- [13] «CreceNegocios,» 17 10 2015. [En línea]. Available: <http://www.crecenegocios.com/que-es-una-ventaja-competitiva/>.
- [14] S. Luck, "Success in Hong Kong: Factors self-reported by successful small business," *Journal of Small Business*, pp. 68-75, 1996.
- [15] R. Lussier, «A comparison of business success versus failure variables between U. S.,» *Entrepreneurship. Theory & Practice*, 24, pp. 59-68, 2000.
- [16] H. Nuñez Muñoz, «Coordinador Expo mercadotecnia Juárez 2016,» Juárez, 2016.
- [17] H. Calzada, «Presentación: el gerente y los números,» 31 Octubre 2014. [En línea]. Available: <http://coachcalzada.mx/conoce-tus-numeros-2.html>.
- [18] C. Ramírez León, «Propuesta metodológica para el desarrollo de productos,» *Pensamiento y gestión*, pp. 21-46, 10 Abril 2011.
- [19] J. Ó. Ollivier Fierro y P. I. Thompson Gutiérrez, «Diferencias en el proceso de innovación en empresas pequeñas y medianas de la industria manufacturera de la ciudad de Chihuahua, México,» *Contaduría y Administración*, pp. 9-28, 2013.
- [20] M. Coronado, *Urge Maquinizar a PYMES locales*, Juárez, Chihuahua: Diario de Juárez, 2017.
- [21] «MEXICONOW,» 1 Oct 2016. [En línea]. Available: <https://mexico-now.com/>.
- [22] J. M. Márquez Venzor, «Los Muros de la Industria Local,» *MANUFACTURA: La revista de la industria*, pp. 42-45, 5 Abril 2017.
- [23] PyMES.org.mx, «PyMES.org.mx,» 2019. [En línea]. Available: https://pymes.org.mx/municipio/juarez-84bd.html?Pyme_page=39&municipio%2Fjuarez-84bd_html=&sort=nombre. [Último acceso: 12 febrero 2019].
- [24] O. Rodríguez Ramírez, «Legislación del diseño,» 2017. [En línea]. [Último acceso: 17 febrero 2019].
- [25] G. Góngora Biachi y A. Madriol Guijarro, «Investigación y Ciencia,» *Investigación y Ciencia*, vol. 18, n° 47, pp. 21-30, 1 Abril 2010.

- [26] O. Rodarte Contreras y F. Bribiescas Silva, «El Proceso De Certificación De Gestión De Calidad En Las Pymes De La Región Fronteriza De Cd. Juárez, Chih. México Como Estrategia Competitiva,» Revista Global de Negocios, pp. 117-127, 13 Febrero 2014.
- [27] Á. Ortiz Flor, «Gestión de innovación tecnológica en PyMes manufactureras,» Universidad de Carabobo, Venezuela, 2006.
- [28] H. Aranda Gutiérrez, J. Solleiro Rebolledo y D. Heneberry, «Gestión de la innovación tecnológica en PyMES Agroindustriales Chihuahuenses,» Revista Mexicana de Agroindustrias, pp. 681-684, 2008.
- [29] L. Soto Nogueira, J. Madrid Solórzano y P. Peinado Coronado, «Identificación de Factores de Exito en MiPYMES de Ciudad Juárez, Chih., Mx.,» Academia Journals Juárez 2018, pp. 988-996, 2018.
- [30] D. RODEIRO PAZOS y M. C. LÓPEZ PENABAD, «LA INNOVACIÓN COMO FACTOR CLAVE EN LA COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL: UN ESTUDIO EMPÍRICO EN PYMES,» Revista Galega de Economía, pp. 1-18, 207.
- [31] A. de la Rosa Albuquerque, «La micro, pequeña y mediana empresa en México: sus saberes, mitos y problemática,» IZTAPALAPA 48, pp. 183-220, 2007.
- [32] S. Hernández y Rodríguez, ADMINISTRACIÓN Pensamiento, proceso, estrategia y vanguardia, México: Mc GrawHill, 2004.
- [33] H. Aranda Gutierrez, M. De la Fuente Martínez y M. Becerra Reza, «PROPUESTA METODOLOGICA PARA EVALUAR LA GESTIÓN DE LA INNOVACION TECNOLOGICA (GIT) EN PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS,» Revista Mexicana de Agronegocios, pp. 226-238, 2010.
- [34] J. Castellanos, «PyMES INNOVADORAS. Cambio de estrategias e instrumentos,» REVISTA ESCUELA DE ADMINISTRACION DE NEGOCIOS, pp. 10-33, 2003.
- [35] S. Ripoll, F. y H. Oliver, «¿Que explica la innovación en PyMES?,» Dirección y Organización, pp. 1-78, 2011.
- [36] E. Goldstien, «El crédito a las PyMES en la Argentina,» CEPAL, Buenos Aires, Argentina, 2011.
- [37] J. Cervantes Aldana, «EL MERCADO DE LOS PRODUCTOS NOSTALGIA:UNA OPORTUNIDAD PARA LAS PYMES,» División de Investigación de la Facultad de Contaduría y Administración UNAM, México, XV Congreso Internacional de Contaduría Administración e Informática.
- [38] C. MEISEL, H. P. BERMEO y L. OVIEDO MUÑOZ, «GENERACIÓN DE VALOR A TRAVÉS DE LA GESTIÓN ESTRATÉGICA DELCONOCIMIENTO, DE LA INNOVACIÓN Y LA MEJORA CONTINUA “UN MODELO DEAPLICACIÓN AL SISTEMA DE OPERACIONES DE UNA PYME MANUFACTURERA”,» Scientia et Technica Año XII, pp. 165-170, 2006.
- [39] «Radiografía Socioeconómica del Municipio de Juárez 2017- 2018,» Juárez, 2018.

- [40] Z. FERNÁNDEZ y A. Revilla, «HACER DE LA NECESIDAD VIRTUD: LOS RECURSOS DE LAS PYMES,» Universidad Carlos III de Madrid, pp. 53-64, S.A..
- [41] M. Villalba Benítez, H. Hurtado Bolaños, H. O. Guarín Rincón y J. Casas Ochoa, «Innovación en pymes artesanales de Morroa, Sucre, 2012,» Revista Económicas, vol. Volumen 34, n° Número 1, pp. 15-27, 2013.
- [42] M. Zahera, «Las PYMES españolas y la innovación,» Harvard Deusto Business Review, pp. 62-66, 2000.
- [43] H. Formento, N. Braidot, J. Pittaluga, C. Abrevaya, R. Barrios, P. Corradini, D. Grossmuller, F. Jauré, C. Monti, J. Nicolini y O. Ramírez, «Estudio de las condiciones endógenas que impiden el desarrollo de procesos de mejora continua en PyMEs y desarrollo de un modelo que permita su efectiva implementación,» Universidad Nacional de General Sarmiento, Argentina, 2005.
- [44] L. Cárdenas Gomez y E. Fecci Pérez, «Propuesta de un modelo de gestión para PYMEs, centrado en la mejora continua,» Síntesis Tecnológica, pp. 59-67, 2007.
- [45] A. Rubio Bañón y A. Aragón Sánchez, «Recursos estratégicos en las pymes,» Revista Europea de Dirección y Economía de la Empresa, vol. Volumen 17, n° Número 1, pp. 103-125, 2008.
- [46] V. M. Molina Morejón, M. d. C. Armenteros Acosta, M. Medina Elizondo, J. D. Barquero Cabrero y J. d. J. Espinoza Arellano, «REFLEXION SOBRE LA SOBREVIVENCIA DE LAS PYME EN EL ESTADO DE COAHUILA, MÉXICO,» REVISTA INTERNACIONAL ADMINISTRACION & FINANZAS, vol. Volumen 4, n° Numero 1, pp. 47-66, 2011.



Retos y tendencias del sector cerámico artesanal de Cúcuta y su área metropolitana

Challenges and trends in the handmade ceramic sector in Cúcuta and its metropolitan area

Alejandra Sarabia Guarín¹, Jorge Sánchez Molina², Julio Alfonso González Mendoza³

¹Ingeniero Industrial. Maestrante en Gerencia de Empresas, Universidad Francisco de Paula Santander. Correo electrónico: alejandra_sguarin@hotmail.com. ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8094-5538>. Universidad Francisco de Paula Santander, Avenida Gran Colombia No. 12E-96 Colsag, San José de Cúcuta, Colombia. Teléfono celular: 3012907215

²Doctor en Avances en Ingeniería de los Materiales y Energías. Correo electrónico: jorgesm@ufps.edu.co. Director del Grupo de Investigación en Tecnología Cerámica GITEC. Director del Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC, Docente titular, Universidad Francisco de Paula Santander. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9080-8526>. Universidad Francisco de Paula Santander, Avenida Gran Colombia No. 12E-96 Colsag, San José de Cúcuta, Colombia. Teléfono celular: 3112308746

³Doctor en Administración de Negocios. Correo electrónico: alfonsogonzalez@ufps.edu.co. DOI <https://orcid.org/0000-0001-6329-3347>. Universidad Francisco de Paula Santander, Avenida Gran Colombia No. 12E-96 Colsag, San José de Cúcuta, Colombia. Teléfono celular: 3153356007

How to cite: A. Sarabia-Guarín, J. Sánchez-Molina y J.A. González-Mendoza, “Retos y tendencias del sector cerámico artesanal de Cúcuta y su área metropolitana”. *Respuestas*, vol. 25, no. S1, pp. 67-79, 2020.

Received on September 20, 2019; Approved on December 03, 2019

ABSTRACT

Keywords:

crafts, ceramics, trends, Cúcuta, challenges, scientific tourism, cultural tourism.

Crafts are recognized worldwide as an economic activity that involves technical, productive, economic, commercial, social, aesthetic and cultural elements, which are strategic importance for the economic and competitive development of a country, generating employment and earnings, and consolidating as an alternative for scientific and cultural tourism. In view of this situation, this document was prepared with the aim of identifying strategic business opportunities for the handcrafted ceramics industry of the Norte de Santander department, especially in the city of Cúcuta and its metropolitan area, derived from the study of its most recent characterization, and the challenges and trends of the sector according to its behavior in Latin America and mega trends. This document is the result of the analysis, systematization and integration of a careful bibliographic review, which includes results of published research, books and documents from public and private institutions on the field of economic sciences, aimed especially at the artisan ceramic sector, with the objective to give an account of the advances and trends that this economic sector must adequately assume before an increasingly globalized society, and that allow to strengthen in the future the processes and dynamics of strategic planning for its productive chain. As a result of the research, it is concluded that due to the importance of crafts for the social and economic development of the region, it is necessary to understand the context in which the artisan activity is carried out with the aim of consolidating bases to promote the generation of policies efficient according to local capacities, with the validation of artisans around the problems and practices of their activity, to transform it into a sustainable productive project, which contributes to the improvement of the living conditions of artisans who generally live in poverty.

RESUMEN

Palabras clave:

artesanía, cerámica, Cúcuta, retos, tendencias, turismo científico, turismo cultural.

La artesanía es reconocida mundialmente como una actividad económica que involucra elementos técnicos, productivos, económicos, comerciales, sociales, estéticos y culturales, que revisten importancia estratégica para el desarrollo económico y competitivo de un país, al generar empleo e ingresos, además se consolida como una alternativa para el turismo científico y cultural. Ante esta situación, el presente documento fue elaborado con el fin de identificar las oportunidades estratégicas de negocios futuros para la industria cerámica artesanal del departamento Norte de Santander, especialmente en la ciudad de Cúcuta y su área metropolitana, derivado del estudio de su caracterización más reciente, y los retos y tendencias del sector de acuerdo con su comportamiento a nivel latinoamericano y las mega tendencias. Este documento es el resultado del análisis, sistematización e integración de una cuidadosa revisión bibliográfica, que incluye resultados de investigaciones publicadas, libros y documentos de instituciones públicas y privadas sobre el campo de las ciencias económicas, dirigido especialmente al sector cerámico artesanal, con el objetivo de dar cuenta de los avances y las tendencias que este sector económico debe asumir adecuadamente ante una sociedad cada vez más globalizada, y que permitan fortalecer a futuro los procesos y dinámicas de planeación estratégica a su cadena productiva. Como resultado de la investigación, se concluye que debido a la importancia de la artesanía para el desarrollo social y económico de la región, es necesario comprender el contexto en que se desenvuelve la actividad artesana con el objetivo de consolidar bases para impulsar la generación de políticas eficientes de acuerdo a las capacidades locales, con la validación de los artesanos en torno a las problemáticas y prácticas de su actividad, para transformarla en un proyecto productivo sustentable, que contribuya a la mejora de las condiciones de vida de los artesanos que generalmente viven en pobreza.

*Corresponding author

E-mail address: dpattym7@gmail.com (Doris Patricia Mora Marín)



Peer review is the responsibility of the Universidad Francisco de Paula Santander.
This is an article under the license CC BY-ND

Introducción

“Colombia, un país biodiverso y multicultural, se reconoce en su pluralidad por medio de la artesanía. La riqueza de nuestra Nación se manifiesta en el conocimiento ancestral, las tradiciones presentes en los oficios, el uso de materiales y las expresiones simbólicas que se ponen en juego en el ejercicio artesanal” [1, p. 2].

Las artesanías revisten importancia estratégica para el desarrollo económico y competitivo de Colombia, en tanto se consolidan como una actividad generadora de empleo e ingresos, que aportan al bienestar de la comunidad. Además de contribuir al avivamiento de la cultura y la afirmación de la identidad de las comunidades indígena, afrocolombiana y campesina, que conforman el 70% de la comunidad artesana, cuyos productos son los pocos bienes de intercambio con que cuentan, representa un atractivo comercial para atender necesidades estéticas y utilitarias del mercado nacional e internacional, con potencial para la penetración de mercados verdes y el biocomercio [3], [4].

Sin embargo, sin desmerecer los esfuerzos que actualmente se realizan a través de organizaciones públicas y privada, en Cúcuta y su área metropolitana así como en otras regiones a nivel nacional, la atención a la actividad artesanal es insuficiente [5], [6]. La subvaloración dada a la actividad artesanal por la sociedad en general, la no asignación de mecanismos administrativos de protección al producto y a la actividad, estimada como una producción adicional sin gran impacto económico y social, puede resultar en la incoherencia entre los esfuerzos que se crean para dar una respuesta eficiente y, las necesidades y prioridades que realmente requiere y reclama la actividad.

Es apropiado entonces reconocer la artesanía cerámica como factor de desarrollo socioeconómico y cultural de Cúcuta y su área metropolitana, y proponer acciones que protejan y contribuyan al desarrollo de esta actividad, para incorporarla al tejido económico, a través del mejoramiento de la calidad de los productos, y de estrategias para aumentar su competitividad. El desarrollo de esta actividad constituye una fuente de generación de empleo de calidad, y el favorecimiento la inclusión social y la diversidad cultura, además de consolidarse como una alternativa para que la región pueda iniciarse en un tipo de turismo científico y cultural, a través de la explotación

de los derechos de propiedad intelectual, de base en la economía creativa, lo que exige una redefinición de las estrategias comerciales y de sostenibilidad del sector y su adecuada inserción en la cadena de valor de la oferta comercial y turística regional [7].

La artesanía se encuentra definida como uno de los sectores que se integran en las industrias creativas, siendo esta un factor esencial que marcará el desarrollo de las sociedades en este siglo. La economía creativa se caracteriza por ir más allá de los factores tradicionales de producción analizados en la economía; por tanto, la cultura, el conocimiento y la generación de valor por parte de los actores económicos resaltan como factores centrales en los territorios desarrollados, además de constituirse como una herramienta necesaria para el crecimiento económico de las zonas de bajo desarrollo [8].

El creciente interés por los estudios del crecimiento y el desarrollo desde el vértice económico, han estimulado a que existan varias reflexiones en torno a la importancia de modelos de desarrollo que respondan a las necesidades imperantes de la sociedad, en condiciones de globalización, que ha abierto grandes oportunidades a países por las ventajas generadas tras la eliminación de restricciones a la operación de los agentes económicos, sin embargo, también plantea importantes desafíos; por ello es necesario que las empresas aprovechen las corrientes internacionales de bienes, servicios, tecnología y capitales para lograr condiciones de creciente competitividad [9], [10].

El proceso de globalización conlleva a cambios permanentes en el panorama económico, social, político, tecnológico y cultural mundial, obligando a gobiernos, empresas y a la sociedad a implementar mecanismos de adaptación y de creación de ventajas competitivas sostenibles, para poder perdurar en el futuro [11], [12], esto lleva a contemplar el interrogante ¿Cómo adaptar el presente del sector cerámico artesanal para el futuro?

Este documento es el resultado del análisis, sistematización e integración de una cuidadosa revisión bibliográfica, que incluye resultados de investigaciones publicadas, libros y documentos de instituciones públicas y privadas sobre el campo de las ciencias económicas, dirigido especialmente al sector cerámico artesanal, con el objetivo de dar cuenta de los avances y las tendencias que este

sector económico debe asumir adecuadamente ante una sociedad cada vez más globalizada, y que permitan fortalecer a futuro los procesos y dinámicas de planeación estratégica a su cadena productiva.

En este orden de ideas, el artículo se compone de 4 secciones; la primera inicia con la descripción del contexto actual del sector cerámico artesanal regional, en el que se destacan las principales fortalezas y debilidades de este, así como la relevancia del sector en las políticas gubernamentales; la segunda describe su contexto internacional, donde se resalta la situación actual de la actividad artesanal en América Latina; la tercera parte resalta las megatendencias actuales y su impacto en la identificación de oportunidades estratégicas de negocios futuros para este sector económico a nivel regional; finalmente se consolidan las principales conclusiones de este análisis.

Contexto del sector cerámico artesanal de Cúcuta y su área metropolitana

Descripción del sector

De acuerdo con [13] y [14], el perfil de la actividad artesanal del sector cerámico de Norte de Santander se ha caracterizado por contar con mano de obra poco calificada, la escasa división de trabajo y la alta vinculación del núcleo familiar aunado al bajo nivel salarial y a las altas condiciones de informalidad, constituyen un estado de inestabilidad y condicionan el número de trabajadores a la productividad y a la demanda del mercado, resultando en la vinculación del recurso humano a otras actividades económicas, configurando una dedicación intermitente a la producción artesanal, que afecta el entorno laboral.

Sumado a esto, el bajo acceso a servicios públicos, configura déficits en la calidad de los procesos de producción, ejemplo de ello es el servicio de energía eléctrica, cuya deficiencia no permite el uso de maquinaria que podría dinamizar fases del proceso productivo, así como el servicio telefónico y de internet que dificultan los procesos de comercialización, tecnológicos y financieros [14], [15].

A nivel tectológico, los procesos de producción artesanal se fundamentan en operaciones manuales y el uso de herramientas relativamente simples que afectan el proceso productivo en términos de su productividad. Por otra parte, los procedimientos no están documentados, por lo que no se encuentran registros de mediciones sobre el

proceso y del producto, solo se llevan registros manuales del inventario de piezas procesadas; dificultando la implementación de mejoras en los procesos [16].

El sistema de aprendizaje de los oficios artesanales se caracteriza por ser autoaprendizaje informal en talleres de propiedad familiar y/o en talleres de terceros e iniciativa propia [13]; el bajo nivel de escolaridad básica primaria y secundaria en la población artesanal afecta los procesos de diseño y desarrollo de programas de capacitación y actualización del sector, que se evidencia en el bajo nivel de innovación y la transferencia de diseños entre regiones por observación directa, sin mencionar el desligamiento a mercados externos fuera del propio taller de producción o en su municipio, dependiendo más de la influencia turística que de posicionamiento y la producción artesanal [14], [15], [17].

La articulación entre nivel de producción y la comercialización ha buscado ser resuelto con la organización de ferias y/o eventos breves y difusos, sin obtenerse efectos positivos a largo plazo, lo que demuestra la poca visión social del desarrollo de los oficios artesanales y la baja eficacia de políticas y la carencia de programas de fomento que cubran desde los aspectos antropológicos, la producción, distribución y comercialización de los productos [14], [15].

De acuerdo con [18], para el año 2012 la mayor parte de las empresas fabricantes de cerámica roja ubicadas en la zona metropolitana de San José de Cúcuta conformada por los municipios de Cúcuta, El Zulia, Los Patios, Villa del Rosario y San Cayetano, eran pequeñas y sus principales productos eran destinados a la industria de la construcción; la actividad artesanal se desarrollaba especialmente por mujeres; y, a nivel de formación, tan solo el 8% poseían estudios universitarios y menos del 1% estudios de posgrado.

Según [14], estas cifras han mejorado para 2017 para la población artesana, refiriéndose a ella de forma general, es decir, aquella compuesta por artesanos de todo tipo de productos, en el departamento de Norte de Santander; de la que se encontró que el 34% tiene educación media, el 14% accedió a la educación superior técnica o universitaria y el 1% ha tenido acceso a estudios de posgrado; este aumento en el capital humano de alto nivel impacta positivamente el mejoramiento de las técnicas, la producción y la comercialización de los productos artesanales,

relacionándose con que el 78,2% de los artesanos se capacitan

y actualizan sobre el oficio artesanal utilizando las TIC, talleres y cursos formales e informales y consultando textos para ver nuevos diseños o técnicas. En cuanto al aprendizaje de los oficios artesanales el 29% de la población se considera autodidacta, el 28% aprendió con alguien de su familia, el 12% en talleres, el 9% en una institución y el 8% con otros artesanos.

[15] también señala que los principales hallazgos de las dificultades de los artesanos, radican en el lugar de desarrollo de la actividad productiva y venta de los productos; se resaltan que, el 96,6% vende sus productos en el mercado de la localidad o en el municipio, resultando en un bajo acceso a mercados en otros departamentos e incluso fuera del país, lo que coincide con que el 96,8% de los artesanos no han exportado nunca, manifestando desconocimiento del funcionamiento del mercado en el exterior y mal estado de las vías. El 73% de los artesanos además afirman no conocer cómo acceder a créditos o préstamos especiales, y el 80% desconoce instituciones que apoyen el sector de las artesanías, lo que en muchas ocasiones les impide participar en ferias y eventos locales o nacionales.

Las condiciones de este sector económico no son ajenas a las condiciones generales de la ciudad y del país [6], [19], ni en su contexto histórico [13]; [20] resalta el reto existente en el departamento de Norte de Santander de alcanzar un sano proceso de subregionalización a través de un instrumento de planificación de largo plazo, sobre el que deberá dirigirse los esfuerzos de gestión de los sectores públicos y privados, en atención a 20 sectores prioritarios y 193 problemáticas territoriales, dentro de las cuales se enmarcan las debilidades del sector artesanal. Al relacionar las diversas caracterizaciones hechas al sector en estudio con los factores de competitividad, de acuerdo con lo planteado por [21] es posible afirmar que existen una serie de factores que dificultan su inserción en mercados competitivos.

Como fortalezas del sector se encuentra la riqueza en cantidad y calidad de las materias primas, principalmente arcilla, lo que contribuye a no comprometer la continuidad de las operaciones productivas. Además, Norte de Santander dispone de varios centros de formación y universidades donde se ofertan programas en disciplinas

relacionadas o transversales al sector cerámico, así como un Centro de Investigación en Materiales Cerámicos y grupos de investigación que contribuyen al fortalecimiento de la educación profesional para el aumento de la productividad y competitividad del sector en el departamento [16].

Relevancia del sector en las políticas gubernamentales

La artesanía, más que una actividad económica, se ha convertido en un laboratorio de experiencias sensoriales, emocionales y simbólicas, hasta llegar a considerarse una industria cultural importante en las economías modernas, en la que interviene el componente tecnológico, las formas de producción y las formas de creación [22]. Lo anterior se evidencia en el Plan de Desarrollo para Norte de Santander 2016-2019, en el que la identidad y fortalecimiento a los artesanos se plantea como un subprograma dentro del eje temático del turismo; así mismo, las artesanías fueron identificadas dentro de una de las apuestas productivas estratégicas para la promoción del desarrollo del departamento; planteando la necesidad de “creación o fortalecimiento de sus cadenas productivas, los planes estratégicos, la asociatividad, la generación de programas de política en los ejes transversales de innovación, emprendimiento, investigación y desarrollo, aplicación en las TIC y fortalecimiento del talento humano” [23, p. 3].

Adicionalmente, el Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019 se plantea la promoción del arte y la cultura con acciones dirigidas a jóvenes, adultos, adulto mayor, personas en situación de discapacidad, artesanos, entre otros grupos especiales, en las comunas y corregimientos del municipio de San José de Cúcuta, como parte del programa cultural para la construcción de la paz y la reconciliación; y la organización de ferias empresariales para los sectores calzado, artesanías, moda, confección y textiles, como uno de los objetivos del plan de fortalecimiento del Banco del Progreso de la Ciudad de Cúcuta [24].

A nivel nacional, dentro de los objetivos y estrategias presentados en las bases del Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 “Pacto por Colombia, Pacto por la equidad”, se encuentra que el Ministerio del Trabajo y la Unidad Administrativa Especial de Organizaciones Solidarias promoverá los emprendimientos que desarrollen las dimensiones social, ambiental, cultural y política del país,

como la artesanía, con el propósito de “promover la generación de ingresos y la inclusión productiva de la población vulnerable y en situación de pobreza, en contextos urbanos y rurales a través del emprendimiento” [25, p. 121].

Así mismo, la artesanía hace parte de las actividades de la economía naranja dentro del Pacto por la identidad y la creatividad: desarrollo de la economía naranja y protección y promoción de nuestra cultura [25], en el eje de Turismo y patrimonio cultural material e inmaterial, por lo que proponer un plan estratégico derivado de un estudio prospectivo de esta cadena económica podría ayudar a visibilizar su pertinencia y el interés de diferentes organizaciones tanto de carácter privado como público de invertir sus esfuerzos para hacer de esta actividad una estrategia de crecimiento y desarrollo de la región, además de potencializar el acceso a beneficios dados por las políticas enmarcadas en la economía naranja (acceso a crédito, promoción de exportaciones y facilidades de comercialización).

El sector cerámico artesanal en Latinoamérica

En América Latina los países miembros de la Red Iberoamericana de Innovación y Transferencia Tecnología para el Fortalecimiento Artesanal RIFTA, son Colombia, Argentina, Chile, Ecuador, México, República Dominicana y Venezuela [26] considerados pluriculturales por su composición indígena y la presencia de grupos culturales diversos.

México es, y ha sido, un espacio etnocultural plural, las culturas prehispánicas propiciaron la elaboración de artesanías distintivas de cada región, y gracias a la conquista española, se introdujeron nuevas técnicas que diversificaron la producción de objetos [27]; hecho enriquecido a través del tiempo, con el fomento de esta actividad entre los más jóvenes. Los productos artesanales derivados de arcilla para el mercado de exportación son, principalmente: talavera (Puebla), barro negro (Oaxaca), cerámica y artículos de decoración en barro (región sureste) [28]. El 98% de las empresas artesanales son pequeñas y medianas, y usan dentro de sus procesos de producción una gran variedad de materias primas naturales, minerales y animales [29]. El sector artesanal también desempeña un papel importante dentro del contexto de la economía peruana, tanto por su significado de identidad cultural,

como por el gran número de empleos que involucra esta actividad [30].

A pesar del reconocimiento a nivel internacional de la artesanía, con el paso del tiempo se aprecian ciertas tendencias de caída en la producción, debido principalmente a la disminución de los fondos aplicados a la promoción de este tipo de actividad productiva y al crecimiento industrial que va rezagando la actividad artesanal, sumado a la disminución del número de artesanos apoyados por las organizaciones gubernamentales y ONG's, y a factores de débiles en la ocupación, donde la población subocupada del gremio duplica al total del sector ocupado y más del 50% de los trabajadores gana menos de un salario mínimo; siendo además común el regateo por parte de toda la cadena de compradores [30], [31]. Lo anterior ha provocado, que los padres busquen alternativas diferentes de subsistencia y promuevan que sus hijos inicien estudios de alguna carrera técnica o universitaria que les ofrezca un reconocimiento social y mayores opciones laborales y económicas, desalentándolos a continuar con la actividad artesanal; evidenciándose en la planta productiva artesanal envejecida [32].

Para promover la visión de negocio de la que carecen los artesanos latinoamericanos y así aumentar su grado de incidencia en el contexto económico gubernamental, se han formulado programas para comercializar productos de cada una de las regiones en mayor escala a nivel internacional. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos de las instituciones en beneficio del sector, no se ha logrado modificar las condiciones de pobreza y marginación que imperan entre la población artesana, siendo estas dos condiciones, base para la formulación de políticas públicas [33]. Estas organizaciones coordinan las políticas y recursos entre los organismos públicos, privados y gubernamentales, fomentando la actividad artesanal a través de la adquisición de artesanías, organización de concursos de arte popular, visibilizarían del sector por medio de ferias comerciales y encuentros profesionales, capacitación y asesoría técnica de artesanos y otorgamiento de créditos, fomento de la internacionalización del sector [34], [35].

A pesar de esto, el oficio artesanal en los países de América Latina persiste, aun cuando su posible disolución ha sido advertida numerosa en la literatura [31]. [36] reflexiona sobre el tema, y afirma que a través de la artesanía se

crean objetos de tipo decorativo y/o utilitario que reflejan en sí mismos aspectos económicos, sociales y culturales que han hecho de México un país pluricultural, y que se ha venido dando a conocer a través del turismo, convirtiéndolo además en una de sus apuestas económicas. El turismo cultural es significativo para la artesanía y los artesanos que forman parte de un sistema patrimonial, en tanto los transforman en atractivos principales para la actividad turística [37], en donde, el artesano vende su producto, el Estado vende su conocimiento tradicional, y el turista más que comprar artesanía, adquiere un producto que refleja el patrimonio cultural [38], [39].

Algunos factores de éxito del sector artesanal son: innovación administrativa, impacto del financiamiento, tecnología de producción, tecnología en administración, capacidad de manejo del proceso, del empaque, desarrollo de estrategias de generación de valor al cliente y a la empresa, y el manejo de información [31], [40]; factores que se ven potencializados por la intención de las poblaciones artesanas en generar un mayor volumen de producción, conocer los gustos, modas y preferencias de otras culturas, asociarse para posicionar y dar a conocer sus productos en nuevos mercados [41].

Desafíos y Tendencias

La artesanía históricamente ha tenido que enfrentar contradicciones internas en cada país de origen y la globalización plantea un escenario nuevo. La economía mundial se encuentra sumergida en un entorno constantemente variante y competitivo, en donde para poder mantener o incrementar el posicionamiento de las empresas en el mercado, es necesario adoptar la industrialización, la producción de bienes de consumo, productos con ciclo de vida cada vez más corto, la innovación de productos, tecnología de punta, costos de producción mínimos, cadenas de distribución a escala; donde los patrones culturales y simbólicos vienen siendo homogeneizados y las muestras de identidad de los territorios corren el riesgo de desaparecer [42].

Dentro del sector artesanal ha surgido la vertiente de manualidades como una forma de generación de ingresos, lo que desvaloriza la artesanía a un producto sin ningún valor agregado de identidad y cultura local; adicional a esto, el desarrollo de la industria turística ha convertido la artesanía en un souvenir barato dirigido a consumi-

dores que no valoran el trabajo de los artesanos [43]. En la cotidianidad, es común el regateo por parte de toda la cadena de abastecimiento: el distribuidor o mayorista local, los minoristas, los turistas, coleccionistas e incluso el consumidor de la región de origen.

Lo anterior no difiere de lo manifestado por Olga Correa, citada por [29], quien sostiene que la actividad artesanal enfrenta diferentes desafíos para su desarrollo, entre los cuales destaca la dificultad para conservar elementos culturales ancestrales, la entrada en los mercados de souvenirs y difusión masiva de tecnología para la manufactura de productos mal llamados artesanales, falta de capital de trabajo, y exigencias del mercado externo para incluir detalles ajenos en los diseños tradicionales.

Estos cambios disruptivos, no deben ser considerados solo una amenaza potencial, sino una oportunidad latente, para transformar los negocios; para ello, es necesario comprender la conectividad entre las fuerzas primarias y las megatendencias. En el ámbito latinoamericano se han definido por [44] tres fuerzas primarias: la tecnología (perfeccionamiento humano), la globalización y la demografía (envejecimiento de la población) y diez megatendencias (siendo esta lista no absoluta): Industria redefinida, el futuro del trabajo, super consumidor, diseño del comportamiento, regulación adaptativa, rediseño del urbanismo, comunidades innovadoras, salud reinventada, comida a la medida y economía molecular, que pueden ciertamente afectar a cualquier actividad económica.

A nivel mundial, las tendencias identificadas por [45] señalan que a 2030 el mundo que conocemos hoy cambiará radicalmente, a tal grado que se proyecta que ningún país será una potencia hegemónica; el empoderamiento individual aumentará a medida que disminuyen los índices de pobreza, crece la clase media mundial, aumentan los logros educativos, el uso generalizado de las nuevas tecnologías de comunicaciones y de fabricación, y los avances en la atención de la salud.

Otras dos tendencias, que son prácticamente ciertas, existen hoy, pero se proyectan que durante los próximos quince años ganarán un impulso mucho mayor son los patrones demográficos, especialmente el envejecimiento poblacional y la migración; y crecientes demandas de recursos que, en el caso de los alimentos y el agua, podrían llevar a la escasez [45]. Esta última enmarca un factor cla-

ve en la formación de lo que [46] ha llamado Consumidor Ecológico, refiriéndose a la tendencia de los compradores por realizar compras consciente de las repercusiones de sus hábitos de consumo sobre el desarrollo sostenible de región donde vive, aun cuando esto requiera asumir costos económicos adicionales.

La tecnología había sido un impulsor de las actividades humanas, ahora ambos trabajan de la mano; se incluye en esta fuerza: la inteligencia artificial, la realidad aumentada, la realidad virtual, sensores y blockchain [47]. La actividad artesanal no es ajena a esta fuerza, de esta se plantea la posibilidad de que los artesanos expongan sus catálogos de productos en modo realidad aumentada, aumenten los canales, de comunicación con clientes potenciales y, además, cierren sus ventas Online; así mismo se sumerjan en el mundo del almacenamiento de datos de lo que se está vendiendo y cómo se está haciendo; es decir, aprovechar el bigdata para desarrollar estrategias que permitan comprender y prever tendencias que afectan a las sociedades. Tal como lo indica [48], el escenario global implica que tanto empresas como organizaciones deben tener la capacidad de adaptarse y estar dispuestas a tomar parte activa de los cambios tecnológicos, centrarse en la innovación y saber desprenderse de jerarquías innecesarias o del bagaje psicológico de su pasado, en lugar de permanecer como espectadores.

A nivel tecnológico, la fabricación aditiva, también llamada impresión 3D, ya está en uso para fabricar modelos de plásticos e introducir algunas mejoras en el rendimiento de los objetos metálicos y cerámicos, tendiendo que a 2030, la fabricación aditiva pueda reemplazar algunas producciones en serie convencionales, en particular para series cortas o donde la personalización masiva tiene un alto valor, llegando a tener un gran número de microempresas similares a los gremios artesanales, pero con capacidades de fabricación modernas [45].

La tecnología había sido un impulsor de las actividades humanas, ahora ambos trabajan de la mano; se incluye en esta fuerza: la inteligencia artificial, la realidad aumentada, la realidad virtual, sensores y blockchain [47]. La actividad artesanal no es ajena a esta fuerza, de esta se plantea la posibilidad de que los artesanos expongan sus catálogos de productos en modo realidad aumentada, aumenten los canales, de comunicación con clientes potenciales y, además, cierren sus ventas Online; así

se sumerjan en el mundo del almacenamiento de datos de lo que se está vendiendo y cómo se está haciendo; es decir, aprovechar el bigdata para desarrollar estrategias que permitan comprender y prever tendencias que afectan a las sociedades. Tal como lo indica [48], el escenario global implica que tanto empresas como organizaciones deben tener la capacidad de adaptarse y estar dispuestas a tomar parte activa de los cambios tecnológicos, centrarse en la innovación y saber desprenderse de jerarquías innecesarias o del bagaje psicológico de su pasado, en lugar de permanecer como espectadores.

A nivel tecnológico, la fabricación aditiva, también llamada impresión 3D, ya está en uso para fabricar modelos de plásticos e introducir algunas mejoras en el rendimiento de los objetos metálicos y cerámicos, tendiendo que a 2030, la fabricación aditiva pueda reemplazar algunas producciones en serie convencionales, en particular para series cortas o donde la personalización masiva tiene un alto valor, llegando a tener un gran número de microempresas similares a los gremios artesanales, pero con capacidades de fabricación modernas [45].

Cuando se habla de industria redefinida, se refiere a la desaparición de las barreras de entrada tradicionales; ahora las empresas tienden a comprar a otras empresas de otras industrias y el establecer alianzas entre industrias para ingresar a diferentes mercados, desarrollar nuevos negocios y ampliar sus capacidades; también se está dando paso a la formación de “nodos”, en el cual se alienta a los nuevos participantes con oportunidades para unirse y formar ecosistemas [44]. Estas dos últimas tendencias pueden llegar a ser provechosas para el sector cerámico artesanal, en tanto se establezcan estrategias de cooperación y beneficio en el impulso de un trabajo conjunto, basado en la participación de los actores involucrados en esta actividad económica.

Si bien el futuro del trabajo se ha visto como el reemplazo de la mano de obra humana por máquinas, este no es su objetivo, realmente este consiste en facilitar los procesos y ayudar al ser humano a realizar un trabajo más eficiente [49]. Y es así como debe implantarse en la industria artesanal; quizá suene contradictorio, pero si se quiere que esta actividad ingrese a un nivel de comercialización superior, deberá mejorar sus procesos de producción con introducción de herramientas tecnológicas que faciliten el trabajo del artesano, sin alterar el

que este emana. En este aspecto, es importante considerar la tendencia al déficit poblacional que presenta el mundo rural, tanto en términos envejecimiento, y migración como en elementos clave que afectan al capital social (brecha tecnológica y alfabetización digital).

Por otra parte, gracias a la tecnología y a la mayor interacción cliente-empresa, se ha transformado la manera en que los consumidores intercambian información e incorporan interfaces para simplificar sus vidas. Por ello, entre el 41-47% de los latinoamericanos ha comprado alguna vez ropa, accesorios de moda, libros, entre otros, vía internet; a medida que los consumidores adquieren confianza para comprar Online, crece la penetración de los compradores, el volumen y la frecuencia de compra Online contraria al comportamiento de las compras en tiendas físicas. Para los bienes durables, como las artesanías, la balanza indica que solo el 22% compra más este tipo de productos en tiendas físicas, el 40% compra con la misma frecuencia Online que en físico y el 38% más Online [50].

Los productos artesanales se encuentran en el centro de un conjunto de disrupciones; aun cuando se les valora por su forma de producción ancestral, se les impulsa para que se inserten en procesos productivos más innovadores. Se espera que los objetos artesanales sigan siendo representativos de los valores tradicionales e históricos de las regiones, pero que se incluyan en los procesos contemporáneos de producción y consumo mundial [33]; en palabras de [51]: “un cambio basado más en la evolución que en un salto revolucionario”.

El sector turístico interfiere directamente con la producción artesanal, en tanto que implica una demanda de productos locales representativos de la cultura de la región. No obstante, esto no garantiza que los productos demandados provengan de sistemas de producción artesanal, pues la dinámica comercial puede desplazar a los sistemas locales de producción por otros industriales que ofrezcan productos inspirados en la cultura local pero producida de formas ajena a la misma [52], [53], [54]. Este proceso se conoce estandariza el turismo, homogeniza la cultural local y limita el potencial de desarrollo asociado al turismo [55], [56]. Las tendencias aquí expuestas no son un manifiesto de las únicas posibles, pues el futuro nunca está totalmente determinado. Cualquiera que sea la tendencia, se encuentra susceptible a varios futuros

posibles, por lo que depende en gran medida de los grados de libertad de los actores del sistema y de las acciones estratégicas que estos diseñen e implementen para alcanzar los fines propuesto [57].

Así pues, haciendo un recuento de observaciones, demandas y problemáticas para el sector cerámico artesanal derivadas de las tendencias mundiales, alineado a los hallazgos de investigaciones dirigidas al sector cerámico regional [58]- [61], se proponen algunas necesidades propias para el fomento de esta actividad, de la cual deberían proyectarse las acciones estratégicas: apoyo e impulso a la población artesana joven, promoción de la importancia de la artesanía para su valoración comercial justa, búsqueda de nuevos usos de la artesanía, encadenamiento Universidad-Empresa-Estado para promover la innovación e investigación y la transferencia de conocimientos, capacitación del artesano sobre la adaptación ante los cambios tecnológicos, difusión efectiva de los programas gubernamentales en beneficio o perjuicio del artesano, e inclusión de la población artesana en la toma de toda decisiones que afecten al sector, fomento de la inserción de la artesanía en las estrategias de gestión y planificación del turismo.

Conclusiones

Aun cuando la artesanía contrasta una forma tradicional de producción en plena era digital, esta representa no solo una forma de transformación de materias primas en productos que impactan un mercado, sino que además simboliza rasgos sociales, culturales y económicos de una región, conservándola a sí misma, como parte de una cultura en la dinámica de una sociedad, en un contexto nacional e internacional, como factor de desarrollo humano.

La producción artesanal sigue estando en manos de microempresarios o empresas familiares, con bajas inversiones de capital y poca mano de obra calificada intensiva, la comercialización de los productos se encuentra a cargo de los propios artesanos y los conocimientos técnicos suelen ser básicos y tradicionales, generalmente transmitidos de generación en generación o en talleres informales.

La cerámica artesanal de Cúcuta y su área metropolitana, vinculado a la calidad de las materias primas de la

región, puede ser vista desde una nueva perspectiva como una riqueza regional desarrollada por artesanos que forman parte del patrimonio intangible del área y que materializan en piezas únicas conocimientos y técnicas adquiridas a través del tiempo de las diferentes culturas y raíces étnicas de la región y sus alrededores, y que con un cambio de proyección pueden contribuir a favorecer el desarrollo económico, social y cultural de la región.

Debido a la importancia de la artesanía para el desarrollo social y económico de la región, resulta necesario comprender el contexto particular en que se desenvuelven los artesanos y sus productos, con el objetivo de consolidar bases para impulsar la generación de políticas eficientes de acuerdo a las capacidades locales, con la validación de la población artesana en torno a las problemáticas y prácticas de su actividad, para transformarla en un proyecto productivo sustentable, sin que esto quede solo como un resultado teórico o académico, sino para lograr paulatinamente una mejora en las condiciones de vida de los artesanos que generalmente viven en pobreza.

Ya que las artesanías son piezas únicas y representativas de la región de origen, tienen un amplio mercado interno y potencial mercado externo, que se ve impulsado por el llamado turismo cultural, del que se vienen adelantando políticas de fomento en la ciudad de Cúcuta y el departamento de Norte de Santander.

Dentro de los retos y dificultades de los artesanos y sus productos, se considera, a criterio de los autores, que el poco reconocimiento y prestigio social de esta actividad, la tendencia al envejecimiento de la población artesana como resultado del abandono del oficio por parte de los jóvenes, pueden ser las más fuertes, pues estas involucran intervenir un paradigma social, lo que podría tener resultados ya en el largo plazo. Así mismo, se considera que retos derivados de las tendencias mundiales, como la migración de la población rural a la ciudad, la importación de productos sustitutos a precios inferiores, el regateo, el crecimiento, los intercambios culturales que imponen diseños ajenos a las tradiciones y al contexto artesanal nacional, la inmersión del artesano en la innovación de procesos y productos, entre otros, pueden ser tratados mediante políticas públicas cuyo éxito depende de la participación activa de todos los actores involucrados.

Una vez identificados los retos, algunas acciones

sugeridas incluyen: promocionar la artesanía con base en los contextos de la región y del país; educar al artesano y al público consumidor sobre el valor intrínseco del trabajo artesanal y sus productos; capacitar a vendedores de artesanías; facilitar el establecimiento de canales directos modernos entre artesanos y consumidores; establecer estrategias de marketing; promover el apoyo de instituciones gubernamentales al mercado artesanal a través de programas de: Capacitación y asistencia técnica, incentivos económicos para la producción, adquisición de artesanías para desarrollo de eventos del orden regional, nacional e internacional, apoyos para la comercialización y concursos de estímulos a los artesanos cuyos productos destaquen las técnicas de trabajo ancestral y el uso sostenible de los recursos naturales; crear y regular corredores artesanales; y, otorgar estímulos fiscales, apoyos estatales y municipales.

Referencias

- [1] L. Molina, “Programa Orígenes, Honrando las Raíces de la Artesanía Colombiana,” de Foro Internacional Perspectivas y retos para el sector artesanal, Bogotá, 2013.
- [2] S. Benítez, “La artesanía latinoamericana como factor de desarrollo económico, social y cultural: a la luz de los nuevos conceptos de cultura y desarrollo,” *Cultura y Desarrollo*, n° 6, pp. 1-19, 2009.
- [3] Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, “Política de turismo y artesanías: Iniciativas conjuntas para el impulso y la promoción del patrimonio artesanal y el turismo colombiano,” Diciembre 2009. [Online]. Disponible en: http://www.mincit.gov.co/minturismo/publicaciones/194/politica_de_turismo_y_artesantias.
- [4] Artesanías de Colombia, “Apoyo y fortalecimiento del sector artesanal en Colombia,” Artesanías de Colombia, Bogotá D.C., 2018b.

- [5] Artesanías de Colombia, “Proyectos Inversión Nacional: Apoyo y fortalecimiento del sector artesanal de Colombia,” 7 Junio 2018. [Online]. Disponible en: http://artesaniasdecolombia.com.co/PortalAC/C_nosotros/apoyo-y-fortalecimiento-del-sector-artesanal_727.
- [6] G. López y D. Martínez, “Visión prospectiva para las Mipymes del subsector artesanal en Pasto,” *Estrategia Organizacional*, vol. 1, n° 1, pp. 31-40, 2012.
- [7] M. Rivera y R. Hernández, “Microempresas de artesanía, turismo y estrategias de desarrollo local: retos y oportunidades en una ciudad histórico-patrimonial (Córdoba, España),” *Estudios Geográficos*, vol. 79, n° 285, pp. 529-553, 2018.
- [8] F. Casani, J. Rodríguez y F. Sánchez, “Los nuevos modelos de negocio en la economía creativa: Emociones y redes sociales,” *Universia Business Review*, n° 33, pp. 48-69, 2012.
- [9] M. Mortimore y W. Peres, “La competitividad empresarial en America Latina y el Caribe,” *Revista de la CEPAL*, vol. 74, pp. 37-59, 2001.
- [10] I. Pérez, “Las teorías del crecimiento económico: notas críticas para incursionar en un debate inconcluso,” *Revista Latinoamericana de Desarrollo Económico*, n° 25, pp. 73-125, 2016.
- [11] H. River y M. Malaver, “La importancia de la prospectiva en la sociedad,” *Universidad & Empresa*, vol. 5, n° 10, pp. 257-260, 2006.
- [12] C. Mera, “Pensamiento prospectivo: visión sistémica de la construcción del futuro,” *Análisis*, vol. 46, n° 84, pp. 89-104, 2014.
- [13] Artesanías de Colombia, “Diagnóstico del sector artesanal colombiano,” 1998. [Online]. Disponible en: <http://repositorio.artesaniasdecolombia.com.co/handle/001/2479>.
- [14] P. Salazar, “Informe Levantamiento de línea base de artesanos de Norte de Santander,” Artesanías de Colombia, Cúcuta, 2017.
- [15] A. Mogrovejo, L. Bastos y P. J. Antuny, “Impacto económico del sector cerámico en San José de Cúcuta (Colombia),” *Universidad & Empresa*, vol. 17, n° 29, pp. 157-180, 2015.
- [16] R. Ramírez y. Romero, “Posición Competitiva de los chircales artesanales del área metropolitana de Cúcuta (Colombia),” *Espacios*, vol. 38, n° 61, pp. 28-45, 2017.
- [17] R. Ramírez, “La innovación tecnológica en las empresas del sector cerámico del área metropolitana de Cúcuta,” *Respuestas*, vol. 17, n° 1, pp. 66-77, 2012.
- [18] J. Sanchez, J. Gelves y. Romero, “Caracterización tecnológica y del talento humano de las empresas fabricantes de cerámica roja ubicadas en el área metropolitana de Cúcuta,” *Respuestas*, vol. 17, n° 2, pp. 71-80, 2012.
- [19] L. Márquez y D. Serrano, “Diagnóstico del sector artesanal en Colombia: resultado del levantamiento de información realizado por Artesanías de Colombia entre 2014-2016.,” Artesanías de Colombia, 2017. [Online]. Disponible en: <https://repositorio.artesaniasdecolombia.com.co/handle/001/4102>.

- [20] Corporación Nueva Sociedad de la Región Nororiental de Colombia, “Definición de la visión prospectiva área metropolitana de Cúcuta Subregión Oriental: Cúcuta frontera de desarrollo,” Agosto 2014. [Online]. Disponible en: http://www.sisubregionalns.gov.co:8080/sis/files/sid_vision_subregionales/Vision_prospectiva_Oriental.pdf.
- [21] M. Porter, *The competitive advantage of nations*, Nueva York: Free Press, 1990.
- [22] S. Navarro, “La artesanía como industria cultural: desafíos y oportunidades,” de XII Congreso Español de Sociología: Grandes transformaciones sociales, nuevos desafíos para la sociología, Gijón, 2016.
- [23] Gobernación de Norte de Santander, “Plan de Desarrollo del Departamento Norte de Santander, “Un Norte Productivo para Todos,”” Abril 2016. [Online]. Disponible en: <http://www.sednortedesantander.gov.co/index.php/informes-de-gestion>. [Último acceso: 3 Agosto 2018].
- [24] Gabinete Municipal, “Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019: San José de Cúcuta, Si se puede progresar,” 14 Junio 2016. [Online]. Disponible en: <http://cucutanortedesantander.micolombiadigital.gov.co/planes/plan-de-desarrollo-20162019>.
- [25] DNP, “Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022,” 2018. [Online]. Disponible en: <https://www.dnp.gov.co/Plan-Nacional-de-Desarrollo/Paginas/Bases-del-Plan-Nacional-de-Desarrollo-2018-2022.aspx>.
- [26] A. Uribe, *Estado del arte del sector artesanal en Latinoamérica: una mirada a través de la investigación realizada por la Red Iberoamericana de Innovación y Transferencia Tecnología para el Fortalecimiento Artesanal*, Barranquilla: Universidad Simón Bolívar, 2012.
- [27] A. Barabas, “Multiculturalismo, pluralismo cultural y interculturalidad en el contexto de América Latina: la presencia de los pueblos originarios,” *Configurações Revista de Sociología*, vol. 14, pp. 11-24, 2014.
- [28] J. Vargas, M. Brione y L. Rivera, “Estrategias de la industria cultural mexicana para el desarrollo regional del norte de Jalisco. El caso de la artesanía Huichol,” *Huellas*, n° 18, pp. 105-117, 2014.
- [29] F. Sales, *Las artesanías en México, Situación actual y retos*, México: Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública, 2013.
- [30] R. Duarte y J. Uribe, “Desarrollo e Innovación Artesanal en el Perú: Un estudio de caso en Chulucanas Piura,” *INCEPTUM Revista de Investigación en Ciencias y Administración*, vol. 7, n° 12, pp. 193-229, 2012.
- [31] J. Hernández, M. Yescas y M. Domínguez, “Factores de éxito en los negocios de artesanía en México,” *Estudios Gerenciales*, vol. 23, n° 104, pp. 77-99, 2007.
- [32] V. Novelo, “La fuerza de trabajo artesanal mexicana, protagonista ¿permanente? de la industria,” *Alteridades*, vol. 18, n° 35, pp. 117-126, 2008.
- [33] R. Duarte, “Políticas públicas para el desarrollo regional de las artesanías,” *INCEPTUM Revista de Investigación en Ciencias y Administración*, vol. 8, n° 15, pp. 229-258, 2013.
- [34] Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Desarrollo Social, “Acuerdo por el que se emiten las Reglas de Operación de Programas del Fondo Nacional de Fomento a las Artesanías

- [35] R. Abeledo, V. Coll y P. Rausell, “La cultura como factor de innovación socio-económica en el medio rural: el caso del clúster de artesanía artística de La Città Europea dei Mestieri d’Arte (CITEMA),” *Revista de Estudios sobre Despoblación y Desarrollo Rural*, n° 20, pp. 73-103, 2016.
- [36] O. del Carpio, S. Perla y V. Freitag, “Motivos para seguir haciendo artesanías en México: Convergencias y diferencias del contexto artesanal de Chiapas y Jalisco,” *Ra Ximhai*, vol. 9, n° 1, pp. 79-98, 2013.
- [37] J. Prada, D. Armijos y A. T. L. Crespo, “Ciudades patrimoniales, turismo cultural y perfiles de los visitantes algunas consideraciones a partir del caso de estudio de Cuenca (Ecuador),” *Lurralde: Investigación y espacio*, n° 39, pp. 199-216, 2016.
- [38] M. Rivera, P. Alberti, V. Vázquez y M. Mendoza, “La artesanía como producción cultural susceptible de ser atractivo turístico en Santa Catarina del Monte, Texcoco,” *Convergencia*, vol. 15, n° 46, pp. 225-247, 2008.
- [39] O. Saldaña, R. Serrano, M. Pastor y Y. Palmas, “Análisis interpretativo del impacto del turismo en el patrimonio cultural artesanal. Tepoztlán, México,” *Revista Investigaciones Turísticas*, n° 16, pp. 46-67, 2018.
- [40] J. Jiménez, M. Domínguez y C. Martínez, “Estrategias de competitividad de los negocios de artesanías en México,” *Pensamiento & Gestión*, n° 26, pp. 165-190, 2009.
- [41] B. Bringas y I. Capaldi, “Artesanos y el comercio internacional. Comercio justo,” de *Simpósio de Estudios del Desarrollo. Nuevas rutas hacia el bienestar social, económico y ambiental*, Santiago de Chile, 2013.
- [42] J. Serrano, “Artesanía y su sentido en la historia: Incertidumbres y posibilidades en el tiempo presente,” *Revista del Centro Interamericano de Artesanías y Artes Populares CIDAP*, n° 73, pp. 9-21, 2013.
- [43] C. Iuva y C. Ciliane, “El souvenir artesanal y la promoción de la imagen del lugar turístico,” *Estudios y Perspectivas en Turismo*, vol. 24, pp. 188-204, 2015.
- [44] Ernst & Young Global Limited, “¿Qué nos traerá el futuro? Megatendencias Latinoamericanas, más allá de la disrupción,” 2018. [Online]. Disponible en: [https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Megatendencias-Latam/\\$File/EY-Megatendencias-Latam.pdf](https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Megatendencias-Latam/$File/EY-Megatendencias-Latam.pdf).
- [45] National Intelligence Council, “Global Trends 2030: Alternative Worlds,” 2012. [Online]. Disponible en: <https://www.dni.gov/index.php/who-we-are/organizations/mission-integration/nic/nic-related-menus/nic-related-content/global-trends-2030?highlight=WyJ0cmVuZHMiLCJ0cmVuZCIsInRyZW5kaW5nIl0=>.
- [46] Grupo de Desarrollo Regional del Tecnológico de Monterrey, “Las megatendencias sociales actuales y su impacto en la identificación de oportunidades estratégicas de negocios,” Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Monterrey, 2009.
- [47] BID, “Servicios sociales para ciudadanos digitales: Oportunidades para América Latina y el Caribe,” Banco Interamericano de Desarrollo, 2018.
- [48] K. Ohmae, *El mercado de futuros*, Barcelona: Norma, 2005.

- [49] M. Bosch, L. Ripani y C. Pagés, “El futuro del trabajo en América Latina y el Caribe: ¿Una gran oportunidad para la región?,” Banco Interamericano de Desarrollo, 2018. [Online]. Disponible en: <https://publications.iadb.org/es/el-futuro-del-trabajo-en-america-latina-y-el-caribe-una-gran-oportunidad-para-la-region-version>.
- [50] The Nielsen Company, “Comercio Conectado,” Encuesta global sobre comercio conectado de Nielsen, Estados Unidos, 2018.
- [51] G. Reyes, “Principales teorías sobre el desarrollo económico y social,” *Nómadas*, n° 4, pp. 1-23, 2001.
- [52] J.M. Guaita, J.M. Martín, J.A. Salinas y H.Mogorrón-Guerrero. “An analysis of the stability of rural tourism as a desired condition for sustainable tourism,” *Journal of Business Research*, Vol. 100, pp. 165-174, 2019.
- [52] J.M. Martín, J.A. Salinas y J.A. Rodríguez. “Comprehensive evaluation of the tourism seasonality using a synthetic DP2 indicator,” *Tourism Geographies*, Vol. 21, n° 2, pp. 284-305, 2019.
- [54] J.M. Martín. “Impacts of the Tourist Activity and Citizens’ Evaluation About the Necessity for Resting Periods,” *Strategic Perspectives in Destination Marketing*, p.p. 81-112, 2019.
- [55] J.M. Martín, J.D. Jiménez y V.Molina. “Impacts of seasonality on environmental sustainability in the tourism sector based on destination type: An application to Spain’s Andalusia region,” *Tourism Economics*, Vol. 20, n° 1, p.p. 123-142, 2014.
- [56] P. Rani. “Customer-based brand equity index of Kurukshetra,” *Journal of Tourism Analysis: Revista de Análisis Turístico*, Vol. 26, n°. 1, pp. 48-61, 2019.
- [57] M. Godet, *De la anticipación a la acción: Manual de prospectiva y estrategia*. Barcelona: Marcombo, S.A., 1993.
- [58] J. Sánchez y R.P. Ramírez. *El Clúster de la cerámica del área metropolitana de Cúcuta*. San José de Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander, 2013.
- [59] J. Sánchez, R.P. Ramírez y J.A. González. *La industria de los chircales artesanales del área metropolitana de Cúcuta*. Bogotá: Ecoe Ediciones Limitada; San José de Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander, 2019.
- [60] J. Sánchez, F.A. Corpas y D.C. Álvarez. *Aplicaciones de los nutrientes tecnológicos en la industria cerámica del área metropolitana de Cúcuta*. Bogotá: Ecoe Ediciones Limitada; San José de Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander, 2018.
- [61] J. Sánchez, J.A. González Y E. F. Avendaño. *El clúster cerámico: Apuesta de desarrollo socioeconómico de Norte de Santander*. Ecoe Ediciones Limitada; San José de Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander, 2019.