



Nivel de sales, cloruros y sulfatos y su relación con la eflorescencia en ladrillos de cinco ladrilleras en Cajamarca, Perú

Level of salts, chlorides and sulfates and their relationship with efflorescence in bricks from five brick kilns in Cajamarca, Peru

José Wilson Guevara Fustamante¹ *  Miguel Ángel Silva Tarrillo¹ 

¹Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH), Ciudad Universitaria Colpamatará, 06120, Chota, Cajamarca, Perú.

* Autor de correspondencia [e-mail: joswilguevara98@gmail.com]

RESUMEN

La eflorescencia en ladrillos es una falla estética, arquitectónica y/o estructural común que se da por la presencia de componentes químicos en el suelo que se ha utilizado para su fabricación. El objetivo en este estudio fue determinar la relación entre el nivel de sales, cloruros y sulfatos del suelo con la eflorescencia de los ladrillos de cinco Huaironas de Mayhuasi en Bambamarca. Para ello, 400 ladrillos de cinco ladrilleras se sometieron a ensayos de variación dimensional, absorción, resistencia a compresión y eflorescencia en velo de secadero, velo de horno, y velo de obra. Así, los ladrillos cumplen con la variación dimensional, alabeo y absorción según la norma E.070 (MVCS, 2006), pero, el ladrillo de la ladrillera Abanto no supera la resistencia a compresión mínima de la clasificación tipo I. El suelo que se utiliza en la fabricación de ladrillos es de tipo areno limosa según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), con sales solubles de 0.02% a 0.33%, cloruros de 0.0102% a 0.0106% y sulfatos de 0.0052% a 0.0056%. Los ladrillos a velo de horno a los 28 días de contacto con el agua de las ladrilleras Goicochea y Villanueva son ligeramente eflorescentes, de las ladrilleras Abanto y Olivares son eflorescentes, y de la ladrillera Álvarez no son eflorescentes. Se concluye que, el contenido de sales solubles y sulfatos en el suelo influyen en la eflorescencia de los ladrillos fabricados en la ladrillera Olivares.

Palabras clave: sales solubles, velo de horno, ladrillera, huairona, compresión.

ABSTRACT

Efflorescence in bricks is a common aesthetic, architectural and/or structural failure caused by the presence of chemical components in the soil used for its manufacture. The objective of this study was to determine the relationship between the level of salts, chlorides and sulfates in the soil and efflorescence in bricks from five Huaironas de

Mayhuasi in Bambamarca. For this purpose, 400 bricks from five brick kilns were tested for dimensional variation, absorption, compressive strength and efflorescence in the drying kiln veil, kiln veil and work veil. Thus, the bricks comply with dimensional variation, warping and absorption according to standard E.070 (MVCS, 2006), but the brick from the Abanto brickyard does not exceed the minimum compressive strength of type I classification. The soil used in brick manufacturing is silty sand type according to the unified soil classification system (SUCS), with soluble salts from 0.02% to 0.33%, chlorides from 0.0102% to 0.0106% and sulfates from 0.0052% to 0.0056%. The bricks with kiln veil at 28 days of contact with water from the Goicochea and Villanueva brick kilns are slightly efflorescent, from the Abanto and Olivares brick kilns they are efflorescent, and from the Álvarez brick kiln they are not efflorescent. It is concluded that the content of soluble salts and sulfates in the soil influence the efflorescence of the bricks manufactured at the Olivares brickyard.

Keywords: soluble salts, oven veil, brickworks, huairona, compression.

INTRODUCCIÓN

La mampostería es susceptible a la eflorescencia, pero, esta puede pasar de ser un problema estético a fallas estructurales (Baptista et al., 2019). La eflorescencia, puede deberse a la presencia de agua, componentes químicos en el suelo o al potencial eflorescente que hayan tenido los ladrillos (Lesovick et al., 2020). El hidróxido alcalino, la sal alcalina, y otras sales solubles son considerados la principal razón de la eflorescencia en las paredes hechas de mampostería (Vinichenko et al., 2019). En Sanjonia, Alemania, en más de 300 muestras de eflorescencia en edificios, se encontraron que más del 50% presentaron sales y sulfatos, en el 15% nitratos y en el 6% halita de cloruro (Siedel, 2018).

El ladrillo es uno de los materiales más usados, en el Perú, 4 298 274 viviendas en el 2017 tenían paredes de albañilería (INEI, 2018); pero la albañilería confinada, presenta diversas patologías durante su vida útil, siendo una de las más recurrentes la eflorescencia. A pesar de

ello, los ladrillos generalmente solo son estudiados física y mecánicamente, como sugiere la norma E.070 (MVCS, 2006), pero se obvia los ensayos químicos que determinan la presencia de eflorescencia en los ladrillos.

El Distrito de Bambamarca y su capital la ciudad del mismo nombre tiene gran cantidad de edificaciones construidas con ladrillos artesanales que proceden de las ladrilleras locales ubicadas en los alrededores de los centros poblados: Frutillo bajo, Frutillo Alto, Mayhuasi, Agomarca Bajo, Agomarca Alto, Cruz Verde. Según INEI (2018) en la ciudad de Bambamarca había 3497 viviendas construidas con material noble provenientes de las huaironas; no obstante, tomando como referencia una muestra aleatoria, se han identificado que, algunas viviendas presentan fallas arquitectónicas y/o estructurales en su construcción por eflorescencia en la ciudad de Bambamarca; lo que demostraría la presencia de eflorescencia a causa del uso de materiales con algunos componentes químicos

provenientes de las canteras, pero, en las paredes de las viviendas no se pueden individualizar o evaluar los niveles de sales que contienen.

De otro lado, en las ladrilleras del centro poblado de Mayhuasi en Bambamarca no se han realizado estudios de caracterización de la materia prima y de los ladrillos fabricados, para saber si estos cumplen con la norma E.070 (MVCS, 2006). En ese sentido, el objetivo en este estudio fue determinar la relación entre los niveles de sales, cloruros y sulfatos del suelo con la eflorescencia de los ladrillos a velo de secadero, de horno, y velo de obra en Bambamarca, Cajamarca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio fue realizado en el centro poblado Mayhuasi, distrito de Bambamarca, provincia de Hualgayoc, Cajamarca, donde fueron colectados muestras de suelos de cinco canteras que se dedican a la fabricación de ladrillos, los cuales se localizan en las coordenadas UTM WGS84 17S (Tabla 1 y Figura 1) y a 3915 m.s.n.m. En el lugar la temperatura varía de 5 °C a 30 °C según época del año donde las precipitaciones pluviales son más recurrentes de diciembre a mayo de cada año (SENAMHI, 2023).

Tabla 1. Ubicación de las canteras de suelo para producción de ladrillos.

Ladrillera (L)	Denominación	Propietario(a)	Coordenadas	
			E (m E)	N (m S)
1	L-Álvarez	Oiler Álvarez Pérez	773695.66	9258499.05
2	L-Abanto	Pablo Abanto Peralta	773706.00	9258743.35
3	L-Olivares	Josué Antonio Olivares Vásquez	774087.25	9258571.42
4	L-Goicochea	Segundo Goicochea Vásquez	773524.18	9258194.89
5	L-Villanueva	Aurelio Villanueva Cruz	773376.04	9258582.89

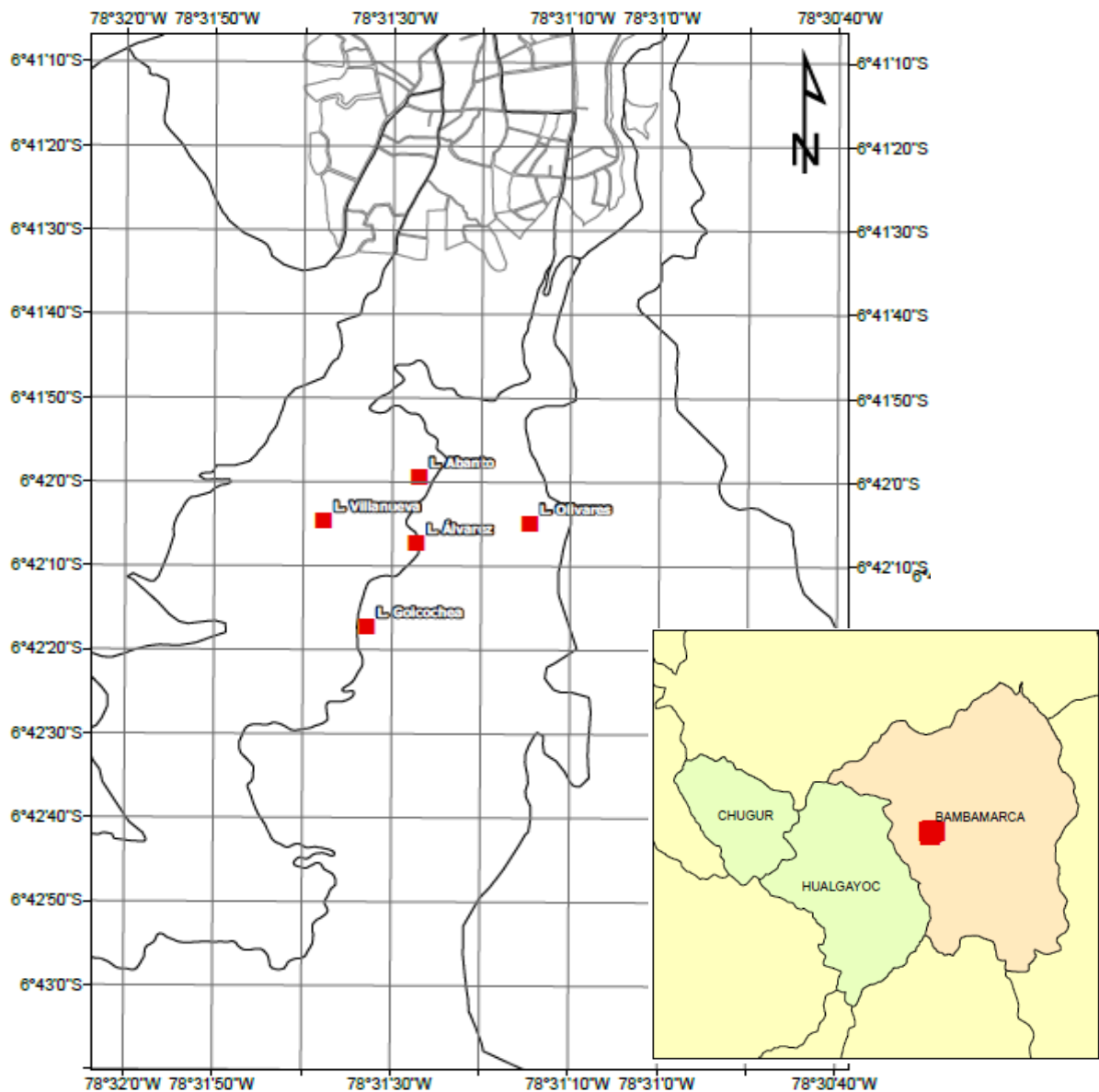


Figura 1. Ubicación de las ladrilleras del centro poblado Mayhuasi, Bambamarca.

Procedimiento de toma de datos

Para determinar las propiedades físicas (humedad, granulometría, límite líquido, límite plástico) y químicas (contenido de sales, cloruros y sulfatos) del suelo al ser canteras en explotación, se colectó muestras del perfil del talud siguiendo las recomendaciones de la NTP 339.252 (INACAL, 2019a), y luego fueron trasladadas al laboratorio GSE-Chota, para analizar las propiedades físicas de acuerdo con la NTP 339.127 para la humedad (INACAL, 2019b), la NTP 339.128 para el análisis de gradación de

partículas (INACAL, 2019c), la NTP 339.129 para las pruebas de límite líquido y límite de plasticidad (INACAL, 2019d) y químicas con la NTP 339.152 (INACAL, 2015) para determinar el contenido de sales, cloruros y sulfatos del suelo utilizado en la producción de ladrillos.

Para los ensayos en los ladrillos se ha determinado las características físicas de variación dimensional, alabeo, y absorción; en químicas la eflorescencia y en mecánicas la resistencia a compresión en 400 ladrillos pertenecientes a cinco ladrilleras del centro poblado Mayhuasi,

mediante la NTP 399.613 (INACAL, 2018), y la NTP 331.017 (INACAL, 2016) (Tabla 2).

Tabla 2. Total, de ladrillos para ensayos físico-mecánicos y químicos

Ensayos	Ladrillera					N° de ladrillos
	1	2	3	4	5	
Variación dimensional y alabeo	5	5	5	5	5	25
Absorción	5	5	5	5	5	25
Resistencia a la compresión	5	5	5	5	5	25
Eflorescencia	65	65	65	65	65	325
Total	80	80	80	80	80	400

Para el ensayo de eflorescencia se colectaron muestras de cinco (5) ladrillos en velo de secadero (ladrillos amasados y dejados para secar por un periodo de siete días, antes de ser llevados al horno), 15 ladrillos en velo de horno (ladrillos cocinados en horno, pero que, aun no han sido llevados a obra) y 45 ladrillos en velo de obra (ladrillos que, tienen contacto con el mortero formando pilas de albañilería de dos ladrillos) por cada ladrillera.

Rincón & Romero (2000), analizaron las manchas eflorescentes (Figura 2).

Los ladrillos en velo de secadero no fueron sometidos a contacto con el agua (0 días), debido a que, al estar amasados, pero no cocidos, en agua se desmoronan, y se convierten en lodo. Los ladrillos a velo de horno y velo de obra fueron expuestos a tiempos de 7, 14 y 28 días de contacto con el agua para verificar la eflorescencia, considerando que, la humedad es el detonante para los procesos de eflorescencia en los ladrillos (Tabla 3).

Tabla 3. Número de ladrillos por cada ladrillera para análisis de eflorescencia.

Eflorescencia	Tiempo de contacto con el agua (días)				N° de ladrillos
	0	7	14	28	
Velo secadero	5	0	0	0	5
Velo de horno	0	5	5	5	15
Velo de obra	0	15	15	15	45
Total	5	20	20	20	65

Nota: Para velo de obra se ha trabajado con cinco pilas para cada tiempo de contacto, cada una integrada por tres ladrillos unidos con mortero convencional 1:4 cemento: arena, según especificaciones de la norma E.070 (MVCS, 2006).

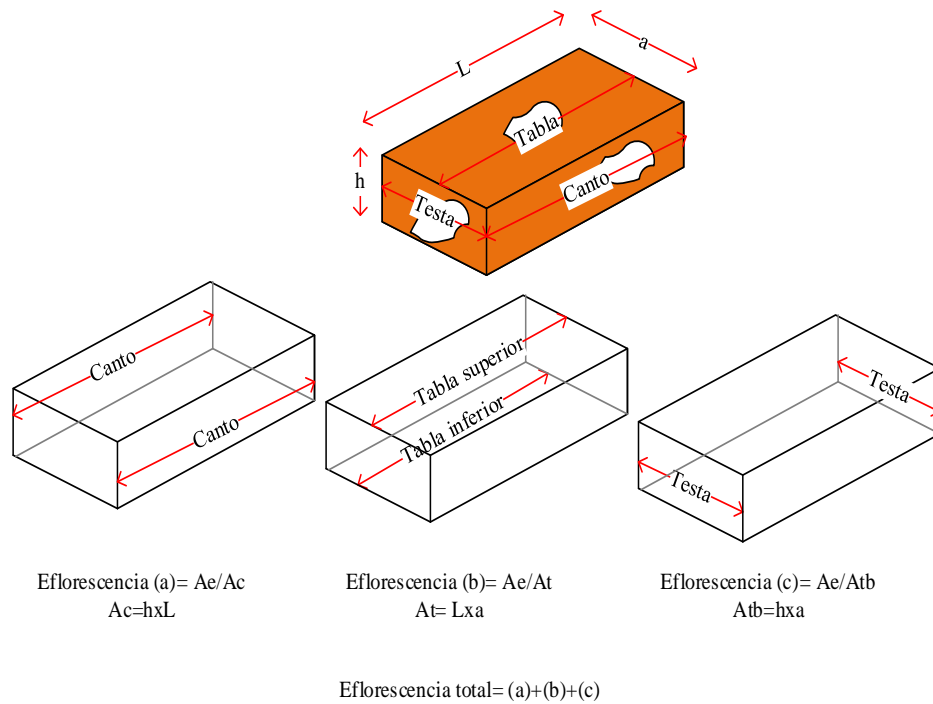


Figura 2. Guía para analizar la eflorescencia de los ladrillos

Diseño experimental

Para los ensayos de clasificación estructural se utilizó un diseño no probabilístico tomando como base la norma E.070 (MVCS, 2006) que, sugiere un número de cinco ladrillos por ensayo (Variación dimensional – alabeo, absorción y resistencia a la compresión) en cada ladrillera (L. Álvarez, L. Abanto, L. Olivera, L. Goicochea, L. Villanueva), siendo 75 ladrillos por unidad o parcela experimental.

Para los ensayos de eflorescencia a velo de secadero, de horno y de obra, se aplicó también un diseño no probabilístico, siendo el número necesario de ladrillos para ensayos en velo de secadero, velo de obra y velo obra a los 0, 7, 14 y 28 días de exposición en agua, 65 por cada ladrillera, dando un total de 325 ladrillos que, sumados a los ladrillos para ensayos de clasificación estructural se obtiene 400 ladrillos.

Análisis estadístico

Los datos se han analizado en el programa Minitab 2, con la finalidad de aceptar o rechazar la hipótesis de estudio, así mismo, se ha determinado el coeficiente de correlación de Spearman previa determinación de la normalidad de los datos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades fisicoquímicas del suelo utilizado en la fabricación de ladrillos

Los resultados del análisis de suelo que se usa en las cinco ladrilleras el centro poblado de Mayhuasi, Bambamarca se muestran en la Tabla 4. De acuerdo con, el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) el suelo de las canteras se clasifica como arena limosa, así mismo, de acuerdo la clasificación AASHTO se encuentra en los subgrupos: A-2-4 (Ladrillera Álvarez, Goicochea y

Villanueva) y A-4 (Ladrilleras Abanto y Olivares). El suelo de las cinco ladrilleras no es plástico, presenta humedad entre 5% a 20%, límite líquido de 14% a 18%; suelos finos (arcilla y limo) de 20% a 40%, áridos de 60% a 76%, y exento o con

poca grava (menor a 0.6%). Resultados similares fueron determinados por Fernández (2019) analizando la producción de ladrillos con suelo compuesto de 62% de arena y 38% de finos.

Tabla 4. Propiedades Físico Químicas del Suelo de las Ladrilleras de Mayhuasi, 2022.

Propiedades fisicoquímicas	1	2	3	4	5
	L- Álvarez	L- Abanto	L- Olivares	L- Goicochea	L- Villanueva
Humedad (%)	19.34	5.86	15.45	10.66	12.84
LL (%)	15.4	18.1	17.5	14.2	16.4
LP (%)	NP	NP	NP	NP	NP
IP (%)	NP	NP	NP	NP	NP
Grava (%)	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3
Arena (%)	74.5	59	61.4	75.9	75.9
Finos (%)	24.9	40.7	38.3	23.8	23.8
SUCS	SM	SM	SM	SM	SM
AASHTO	A-2-4 (0)	A-4 (1)	A-4 (1)	A-2-4 (0)	A-2-4 (0)
Sales solubles (%)	0.02	0.06	0.33	0.03	0.03
Cloruros Cl (%)	0.0102	0.0104	0.0102	0.0105	0.0106
Sulfatos SO ₄ -2 (%)	0.0052	0.0055	0.0056	0.0053	0.0055

Nota: NP no presenta.

El contenido de sales solubles del suelo de las ladrilleras de Mayhuasi es leve dado que es menor a 0.33% (Figura 3). Sin embargo, el suelo utilizado por las ladrilleras artesanales de Chiclayo tenía 0.023% de sales solubles y 0.1358% ppm de sulfatos (López y Molina, 2017), así

como, la materia prima utilizada por Al-Khazraji et al. (2022) para fabricar ladrillos, que presentaba minerales como carbonato de calcio, magnesio, ácidos y sales, compuestos que podrían reaccionar para originar eflorescencia.

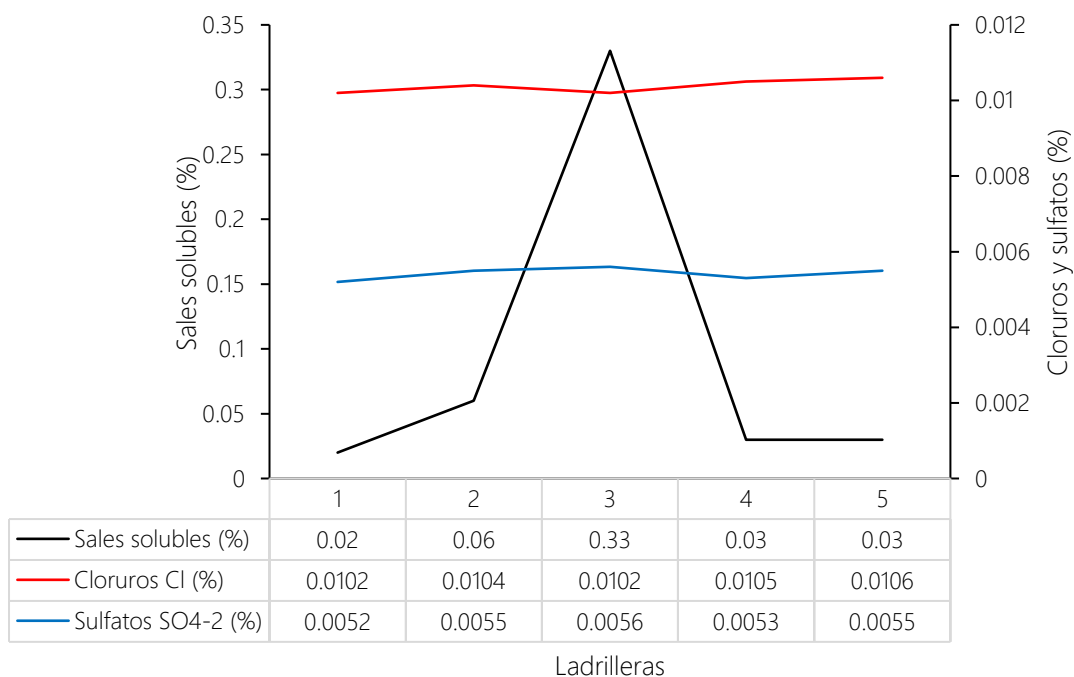


Figura 3. Nivel de sales solubles en el suelo de las ladrilleras de Mayhuasi, 2022.

El suelo de la ladrillera Olivares y Abanto presentan mayor nivel de sales solubles, lo cual coincide con el mayor contenido de finos en la composición del suelo (arcilla y limo). Al respecto, Yaseen et al. (2022) argumentan que, suelos con altos contenidos de arcillas y limos son los que presentan mayor contenido de sales solubles, debido a su composición mineralógica cristalina porque dan espacio para que se forme mayor contenido de compuestos químicos dentro de la masa del suelo.

Análisis de eflorescencia en los ladrillos del centro poblado de Mayhuasi

La eflorescencia fue determinada mediante la norma de la American Society for Testing and Materials ASTM C67 tal como recomienda Baptista et al. (2019) debido a que, otros métodos pueden generar resultados no precisos, no obstante, se evaluó hasta los 28 días, tomando como referencia el estudio de Rasool et al. (2023). En la Tabla 5 los ladrillos en velo de secadero no fueron sometidos a contacto con el agua, debido a la ausencia de cocción y a la posibilidad de convertirse en lodo al estar sumergidos en agua, por lo que, fueron analizados en ausencia de agua, determinando que, no presentan eflorescencia (NP)

Tabla 5. Eflorescencia del ladrillo de las ladrilleras de Mayhuasi a velo de secadero, 2022.

Velo de secadero	Ladrillera				
	L-Álvarez	Abanto	L-Olivares	L-Goicochea	L-Villanueva
N° de ladrillos	5	5	5	5	5
Eflorescencia	NP	NP	NP	NP	NP

Nota: La prueba de velo de secadero se ha realizado sin exposición al agua, verificando que, no presenta (NP) eflorescencia.

En la Tabla 6, se observa que la eflorescencia en los ladrillos en velo de horno sometidos a contacto con el agua a los 7, 14 y 28 días. Donde, según, Vilela (2022) cuando el porcentaje de manchas

blancas en la superficie de los ladrillos es menor a 5%, se puede considerar al ladrillo como no eflorescente, siendo así, los ladrillos de la ladrillera Álvarez son no eflorescentes.

Tabla 6. Eflorescencia promedio de los ladrillos de las huaironas de Mayhuasi a velo de horno, 2022.

Exposición al agua (días)	Eflorescencia en velo de horno				
	L-Álvarez	L-Abanto	L-Olivares	L-Goicochea	L-Villanueva
7	5.08	21.25	31.08	1.71	9.19
14	5.21	25.57	36.81	6.39	11.30
28	5.28	30.59	41.02	11.03	13.34

De este modo, los ladrillos de la ladrillera Villanueva alcanzaron 9.2% por lo que, se considera ligeramente eflorescente. Resultados similares de 8.5% fueron determinados por Dash et al. (2022) en ladrillos de arcilla; por el contrario, los ladrillos de las ladrilleras Abanto (21.2%) y Olivares (31.1%) presentaron 21.2% y 31.1% de su área con eflorescencia, respectivamente. En cambio, los ladrillos de las ladrilleras Goicochea y Álvarez a los 7 días de contacto con el agua se clasifican según Vilela (2022) como no eflorescentes, debido a que, el porcentaje de área en el que, se aprecia rasgos eflorescentes es menor a 5%. Además, se resalta que, los ladrillos de la ladrillera Álvarez son los únicos que, a los 28 días de exposición al agua, mantienen su clasificación de no eflorescente, tal como los ladrillos sin residuos de mármol estudiados por Rasool et al. (2023); sin embargo, Abo et al. (2018) recomiendan el uso de productos de protección en ladrillos con potencial eflorescente.

Ahora bien, en la Tabla 7 se observa que los ladrillos en velo de obra, que, , fueron

sometidos a contacto parcial lateral con el agua a los 7, 14 y 28 días, presentaron mayor amplitud de rasgos de eflorescencia, no obstante, en todos los casos fue menor a 5% el porcentaje del área afectada con manchas blancas en la pila; esto se debe a que, el área total de la pila es mayor al área de un solo ladrillo, puesto que, son tres ladrillos unidos con mortero, indicando que, la eflorescencia en velo de obra es menor en porcentaje de incidencia que, la eflorescencia en velo de horno.

Vilela (2022) menciona que, cuando el porcentaje de eflorescencia es menor a 5% y la mancha es de fina a gruesa, se considera que, las pilas están levemente eflorecidas siendo un problema estético, más no un problema estructural, por el contrario, se tiene que, tener cuidado con el aumento de la eflorescencia, ya que, a mayor tiempo de contacto con la humedad se agrava, y puede convertirse en un problema estructural, por tanto es esencial, que se identifique a las ladrilleras que fabriquen ladrillo con mayor potencial de eflorescencia.

Tabla 7. Eflorescencia promedio de los ladrillos de las huaironas de Mayhuasi a velo de obra, 2022.

Exposición al agua (días)	Eflorescencia en velo de obra				
	1	2	3	4	5
	L-Álvarez	L-Abanto	L-Olivares	L-Goicochea	L-Villanueva
7	0.28	0.63	0.95	0.33	0.53
14	0.94	1.62	1.72	1.09	1.51
28	1.83	2.15	2.25	1.98	2.10

Caracterización físico-mecánicas de los ladrillos del centro poblado Mayhuasi

Los ladrillos de las cinco (5) ladrilleras del centro poblado Mayhuasi cumplen con la variación dimensional, alabeo y absorción según la norma E.070 (MVCS, 2006) (Tabla 8). Resultados similares fueron reportados por Dash et al. (2022) y Pushpakumara et al. (2023) estudiando las características de ladrillos. No obstante, la ladrillera Abanto no cumple con la resistencia a compresión para ladrillo tipo I (50 kg cm^{-2}) debido a su valor de 40.43 kg cm^{-2} , por el cual solo se puede utilizar en muros no portantes; en cambio,

los otros ladrillos de las otras ladrilleras superan la resistencia a compresión mínima.

Los ladrillos de las ladrilleras Abanto y Olivares presentan rasgos de eflorescencia al contacto con el agua, por lo que, si son utilizadas requieren de impermeabilizantes para evitar su contacto con la humedad; los ladrillos de las ladrilleras Goicochea y Villanueva son ligeramente eflorescentes y los ladrillos de la ladrillera Álvarez no presentan eflorescencia, siendo la ladrillera que fabrica ladrillos de mejor calidad.

Tabla 8. Propiedades físico-mecánicas de los ladrillos de Mayhuasi, 2022.

Características físico-mecánicas	Ladrilleras					Norma E.070 (MVCS, 2006)
	L-Álvarez	L-Abanto	L-Olivares	L-Goicochea	L-Villanueva	
Variación dimensional (%)	0.066	0.048	0.042	0.046	0.058	2
Alabeo (mm)	2	1.8	3	3	2	4
Absorción (%)	15.10	14.84	12.04	14.36	16.60	22
Peso (kg)	3.64	3.23	3.85	3.62	3.49	
Resistencia a compresión (kg cm^{-2})	65.36	40.43	53.53	60.36	53.32	50
Eflorescencia (%)	5.28	30.59	41.02	11.03	13.34	
Eflorescencia	No presenta	Eflorescente	Eflorescente	Ligeramente eflorescente	Ligeramente eflorescente	No eflorescente

Correlación entre el contenido de sales, sulfatos y cloruros del suelo y la eflorescencia, absorción y resistencia de los ladrillos

El contenido de sulfatos y el nivel de sales solubles en el suelo se correlaciona de manera altamente significativa con la eflorescencia de los ladrillos en velo de horno debido a que, sus coeficientes Rho

de Spearman son mayores a 0.7; así mismo, existe relación media entre el nivel de sales del suelo con la resistencia a

compresión y absorción de los ladrillos, con coeficiente Rho de Spearman superior a 0.5. (Tabla 9)

Tabla 9. Correlación de Spearman entre los niveles de sales del suelo, y las características de los ladrillos de Mayhuasi.

Características de los ladrillos	Rho		
	Sales solubles (%)	Cloruros Cl (%)	Sulfatos SO4-2 (%)
Eflorescencia 7 días	0.708	-0.101	0.759
Eflorescencia 14 días	0.956	-0.352	0.956
Eflorescencia 28 días	0.896	-0.266	0.819
Absorción (%)	-0.597	0.507	-0.357
Resistencia a compresión (kg cm ⁻²)	-0.549	-0.318	-0.610

CONCLUSIONES

El suelo que se utiliza en la producción de ladrillos en Mayhuasi-Bambamarca se caracteriza por ser arena limosa de acuerdo con el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), con contenido de leve a moderado de sales solubles.

Los ladrillos fabricados por las ladrilleras de Mayhuasi cumplen con la variación dimensional, alabeo y absorción de la norma E.070 (MVCS, 2006), pero, el ladrillo de la ladrillera Abanto no supera la resistencia a compresión mínima de la clasificación tipo I.

Los ladrillos a velo de horno de las ladrilleras Goicochea y Villanueva son ligeramente eflorescentes. de las ladrilleras Abanto y Olivares son eflorescentes, y los ladrillos de la ladrillera Álvarez no son eflorescentes.

El contenido de sales solubles y sulfatos del suelo influyen en la presencia de la eflorescencia en los ladrillos de las ladrilleras de Mayhuasi.

REFERENCIAS

- Abo, M. S., H. K. Amash y M. T. Albdiry. (2018). *Improving the Properties of Clay Brick Using Polyvinyl Alcohol (PVA)*. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4), 568-571.
- Al-Khazraji, H., Zemam, S. K., Mohsin, R. D., Majeed, T. H., & Abbood, A. Z. H. (2022). Utilization of Limestone to Effect on Physical-Mechanical Properties of Fired Clay Brick. *Civil and Environmental Engineering*, 8(2), 750-759. DOI: 10.2478/cee-2022-0069
- Baptista, A., Aryane C., Guilherme P. y Fonseca F. (2019). A Proposed Test to Evaluate Efflorescence Potential of Ceramic Blocks. In: Aguilar R., Torrealva D., Moreira S., Pando M.A., Ramos L.F. (eds), *Structural Analysis of Historical Construction*, 18(1), 532-539. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99441-3_57
- Dash, S., Panda, L., Mohanty, I., & Gupta, P. (2022). Comparative feasibility analysis of fly ash bricks, clay bricks and fly ash incorporated clay bricks. *Magazine of Civil Engineering*, 115(7), 11502.

<https://cyberleninka.ru/article/n/comparative-feasibility-analysis-of-fly-ash-bricks-clay-bricks-and-fly-ash-incorporated-clay-bricks>

- Fernández León, Y. K. (2019). *Alteración de las propiedades físico-mecánicas de suelos por la actividad extractiva de arcilla utilizada para la fabricación de ladrillo artesanal en el centro poblado Santa Bárbara-Cajamarca*. [Tesis para optar el grado académico de Doctor en Ciencias, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/3484>
- Instituto Nacional de Calidad, INACAL. (2019a, 23 de octubre). *NTP 339.252. SUELOS. Guía normalizada para muestreo de suelos de la zona vadosa (zona no saturada por encima del nivel freático)*. 1ª Ed. INACAL.
- INACAL. (2019b, 24 de octubre). *NTP 339.127. SUELOS. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo*. 1ª Ed. INACAL.
- INACAL. (2019c, 24 de octubre). *NTP 339.128. SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico*. 1ª Ed. INACAL.
- INACAL. (2019d, 24 de octubre). *NTP 339.129. SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos*. 1ª Ed. INACAL.
- INACAL. (2015, 26 de noviembre). *NTP 339.152. SUELOS. Método de ensayos normalizado para la determinación del contenido de sales solubles en suelos y agua subterránea*. INACAL.
- INACAL. (2018, 03 de enero). *NTP 399.613. UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería*. 2ª Ed. INACAL.
- INACAL. (2016, 14 de enero). *NTP 331.017. UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Ladrillos de arcilla usados en albañilería. Requisitos*. INACAL.
- Instituto Nacional de Informática y estadística del Perú, INEI. (2018). *Perú: Características de las viviendas particulares y los hogares – Acceso a servicios básicos. Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas*. INEI.
- Lesovik, V. S., Zagorodnyuk, L. K., Babaev, Z. K., & Dzhumaniyazov, Z. B. (2020). Analysis of the Causes of Brickwork Efflorescence in the Aral Sea Region. *Glass and Ceramics*, 77(7), 277-279. <https://doi.org/10.1007/s10717-020-00287-4>
- López, Y. y Molina, M. A. (2017). Estudio experimental para determinar las características físicas, químicas y mecánicas de las unidades de albañilería hechas de arcilla en el departamento de Lambayeque. *Revista científica Ingeniería: Ciencia, tecnología e innovación*, 4 (1), 15-20. DOI: <https://doi.org/10.26495/icti.v4i1.532>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, MVCS. (2006). *Norma E.070 Albañilería. Reglamento Nacional de Edificaciones*. MVCS.
- Pushpakumara, B. H. J., Gunasekara, M. T., & Gannile, Y. M. T. D. (2023). Variation of Mechanical and Chemical Properties of Old and New Clay Bricks. *Journal of Construction Engineering and Management*, 149(4), 04023006. <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/JCEMD4.COENG-12950>
- Rasool, A. M., Hameed, A., Qureshi, M. U., Ibrahim, Y. E., Qazi, A. U., & Sumair, A. (2023). Experimental study on strength and endurance performance of burnt clay bricks incorporating marble waste. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 22(1), 240-255. <https://doi.org/10.1080/13467581.2021.2024203>

- Rincón, J. M., & Romero, M. (2000). Fundamentos y clasificación de las eflorescencias en ladrillos de construcción Basis and classification of efflorescences in construction bricks. *Materiales de construcción*, 50(260), 1-10. <http://materconstrucc.revistas.csic.es>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, Senamhi. (2023). *Pronóstico del tiempo para BAMBAMARCA (Cajamarca). Tiempo/ Pronóstico del Tiempo*. Senamhi. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-detalle&dp=06&localidad=0123>
- Siedel, H. (2018). Salt efflorescence as indicator for sources of damaging salts on historic buildings and monuments: a statistical approach. *Environ Earth Sci*, 9(1), 77-572. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7752-4>
- Vilela, M.J. (2022). *Evaluación de las características de las unidades de albañilería para viviendas en la localidad de Ignacio Escudero, Sullana, Piura – 2021*. [Tesis de grado para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Piura]. <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12676/3696/ICIV-VIL-RUI-2022.pdf?sequence=1>
- Vinichenko Varvara, V. A., Ryazanova, A. I., Gabitov Ye, A. U. y Salov, A. S. (2019). Efflorescence Processes in Exterior Wall Surface of Buildings. *Materials Science Forum*, 968(1), 15-20. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.968.115>
- Yaseen, Z. (2022). An Industrial Evaluation and Chemical and Physical Properties of the Clay from the Taq Taq Area in Northern Iraq for some Ceramic Applications. *Iraqi National Journal of Earth Science*, 22(2), 47-66. <https://www.iasj.net/iasj/download/9ad03628db56008d>

Recibido: 14-06-2023 Aceptado: 17-07-2023 Publicado:31-07-2023