

## Ensayos

# Alteración del peso mediante humedad-sequedad del travertino tipo Dorado Tepexi procedente de Ixcaquixtla, Puebla, México

Recibido: 03-05-2018 Aceptado: 29-10-2018 (Artículo Arbitrado)

### Resumen

El presente estudio tiene como propósito determinar el porcentaje de pérdida del peso en el travertino tipo Dorado Tepexi extraído del banco inferior de la cantera localizada en San Juan Ixcaquixtla, Puebla, México, mediante una prueba de humedad-sequedad. Para la prueba se utilizaron 12 probetas cúbicas. La prueba de humedad-sequedad consistió de secado de las probetas, enfriamiento a temperatura ambiente e inmersión en agua destilada; de esta manera, se realizaron 15 ciclos. El resultado obtenido en este estudio muestra que el travertino tipo Dorado Tepexi tiene un porcentaje de pérdida de peso del 0.05% con una desviación estándar del 0.01%. En este contexto, el travertino tipo Dorado Tepexi presenta una alteración muy baja en la pérdida de peso; sin embargo, es recomendable el uso de productos cuyas propiedades ayuden a repeler el agua generando superficies impermeables y libres de humedad para que mitigue las afectaciones a las cualidades estéticas.

### Abstract

The aim of this study is to determine the percentage of weight loss in the travertine type Dorado Tepexi extracted from the lower bench of the quarry located in San Juan Ixcaquixtla, Puebla, Mexico, by means of a humidity-dryness test. For the test, 12 cubic specimens were used. The humidity-dryness test consisted of drying the specimens, cooling to room temperature and immersion in distilled water. In total, 15 cycles were performed in this manner. The result obtained in this study shows that the travertine type Dorado Tepexi has a 0.05% weight loss with a standard deviation of 0.01%. In this context, the travertine type Dorado Tepexi shows very little change in terms of weight loss. However, it is recommended using products whose properties help to repel water, generating waterproof and moisture-free surfaces to mitigate the effects on aesthetic qualities.

### Résumé

Cette étude a pour but de déterminer le pourcentage de perte de poids sur le travertin de type Dorado Tepexi extrait du banc inférieur de la carrière localisée à San Juan Ixcaquixtla, Puebla, au Mexique, à l'aide d'un test d'humidité-sécheresse, test pour lequel on a utilisé 12 éprouvettes cubiques. Le test d'humidité-sécheresse a consisté au séchage et refroidissement à température ambiante et en immersion dans l'eau distillée. On a ainsi réalisé 15 cycles. Le résultat obtenu de cette étude montre que le travertin de type Dorado Tepexi a un pourcentage de perte de poids de 0.05% avec un écart standard de 0.01%. Dans ce contexte, le travertin de type Dorado Tepexi présente une modification très faible dans la perte de poids. Cependant, il est recommandé d'utiliser des produits dont les propriétés aident à repousser l'eau produisant des surfaces imperméables et exemptes d'humidité afin d'en atténuer les conséquences sur les qualités esthétiques.

Adolfo Manuel Morales Tassinari<sup>1</sup>  
Pedro Cruz Ortega<sup>2</sup>  
Raúl Fuentes García<sup>3</sup>

**Palabras clave:** Banco inferior, cantera, ensayo acelerado, estudio de alteración.  
**Keywords:** Accelerated test, alteration study, lower bench quarry.  
**Mots-clés:** Banc inférieur, carrière, essai accéléré, étude de modification.

<sup>1,2,3</sup> Tecnológico Nacional de México  
Instituto Tecnológico Superior de  
Tepexi de Rodríguez

Correspondencia:  
<sup>1</sup>tassinari.adolfo1973@gmail.com

## Introducción

Para Orozco, Branch y Jiménez (2014) una roca es una agrupación inorgánica de uno o varios minerales originados en forma natural por procesos geológicos endógenos o exógenos. De acuerdo con Jamshidi, Nikudel, Khomehchiyan, Zalooli y Yeganehfar (2017) las propiedades físicas, mecánicas, químicas y petrográficas de las rocas son trascendentales para seleccionar las aplicaciones al aire libre de estos materiales.

La *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 2016) menciona que el travertino es una roca de calcita parcialmente cristalina, porosa o celularmente estratificada de origen químico, formada por la precipitación de calcita en soluciones de agua caliente o tibia en el fondo de estanques poco profundos; además, Jamshidi et al. (2017) mencionan que los travertinos con diferentes colores, texturas y patrones son ampliamente utilizados como materiales para fines de construcción y decoración, especialmente para aplicaciones al aire libre como pisos, pavimentos y revestimientos de paredes.

En general, el travertino es una roca sedimentaria de origen parcialmente biogénico, formada por depósitos de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y que se utiliza con frecuencia como roca ornamental en construcción para exteriores e interiores. Cabe mencionar que, en la localidad de San Juan Ixcaquixtla, Ixcaquixtla, Puebla, México, existen canteras de travertino tipo Dorado Tepexi que es una roca de color dorado claro; en la Figura 1, se muestra una fotografía del travertino tipo Dorado Tepexi.

En una de estas canteras, se han realizado estudios de caracterización para conocer las propiedades del travertino tipo Dorado Tepexi; de esta forma, Morales, Flores y Hernández (2015) obtuvieron un coeficiente de absorción de 0.91% y una densidad de  $2624 \text{ kg/m}^3$ , mientras que, Morales, Cruz, Azcaray y Servín (2016a) obtuvieron una resistencia a la compresión de 66 MPa.

Además, se han realizado ensayos acelerados de durabilidad en los que mediante una prueba de cristalización de sales por cloruro de sodio (que replica condiciones ambientes salinas) Morales, Flores, Luna, Hernández y Servín (2016b) obtuvieron un por-



Figura 1. Travertino tipo Dorado Tepexi

centaje de pérdida de peso del 0.80%; mientras que, Morales, Velasco y Hernández (2016d) obtuvieron un porcentaje de aumento en la rugosidad del 85.40%. También, mediante una prueba de cristalización de sales por sulfato de sodio (que replica condiciones ambientes contaminadas) Morales, Guevara, Martínez, Servín y Hernández (2016c) obtuvieron un porcentaje de pérdida de peso del 4.71%; mientras que, Morales, Velasco, Cruz y Hernández (2017) obtuvieron un porcentaje de aumento en su rugosidad del 155.93%.

Otro ensayo acelerado de durabilidad es la prueba de humedad-sequedad que de acuerdo con Benavente, Bernabeu y Cañaveras (2004) tiene como objeto conocer el efecto de los procesos relacionados con la saturación de agua y el secado de los materiales pétreos, procurando simular la alternancia de los días secos y lluviosos; es decir, esta prueba simula un mecanismo de deterioro, que se trata de la expansión y contracción del material al ser expuesto a episodios de humedad y sequedad. El presente estudio presenta los resultados obtenidos del porcentaje de pérdida de peso del travertino tipo Dorado Tepexi del banco inferior de la cantera ubicada en la localidad de San Juan Ixcaquixtla, Ixcaquixtla, Puebla, México, mediante una prueba de humedad-sequedad.

## Desarrollo

La prueba de humedad-sequedad se realizó en el Laboratorio de Pruebas de Materiales del Centro de Competitividad y Tecnología para la Industria del Mármol perteneciente al Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez. Además, los equipos y materiales empleados para la prueba fueron un horno de secado marca MEMMERT modelo UP500, una pulidora marca MTI modelo UNIPOL 820, una báscula digital marca METLER TOLEDO modelo PB3002-S DeltaRange, un vernier digital marca CALIPER, un contenedor de plástico con capacidad de 16 L, lijas con tamaño de grano 200 y 400, agua destilada y 12 probetas cúbicas de travertino tipo Dorado Tepexi con dimensión de  $50 \pm 0.5 \text{ mm}$  en cada lado.

### Selección de las probetas

Las probetas se midieron en cada cara utilizando un vernier digital; por lo que, se seleccionaron 12 probe-

tas que tuvieran el color característico dorado claro y que su dimensión fuera de  $50\pm 0.5$  mm en cada lado. En la Figura 2, se muestra una fotografía de la medición en una cara de una probeta.

### Preparación de las probetas

Para eliminar las imperfecciones de las probetas debidas al proceso de corte, se utilizó una pulidora donde las probetas se lijaron con una lija número 200 y se pulieron con una lija número 400. En la Figura 3, se muestra una fotografía del pulido de una probeta.

Después, a las 12 probetas se les asignó un número para que se identificaran durante la prueba de humedad-sequedad; en la Figura 4, se muestra una fotografía de las probetas con el número de identificación.

### Secado inicial de las probetas

Para el secado inicial, se precalentó el horno de secado a una temperatura de  $60^{\circ}\text{C}$ ; después, se colocaron las 12 probetas dentro del horno de secado a una temperatura de  $60\pm 2^{\circ}\text{C}$  durante 48 horas. En la Figura 5, se muestra una fotografía del secado inicial.

Para garantizar que las 12 probetas estuvieran secas, se pesaron con una báscula digital hasta que las pro-

betas tuvieran peso constante, esto se obtuvo en las horas 46, 47 y 48; de esta manera, como en estas tres horas consecutivas el peso de las probetas fue el mismo, se consideró que las probetas habían obtenido el peso seco inicial. En la Figura 6, se muestra una fotografía del peso seco inicial de la probeta PA01.

En la Tabla 1, se muestran los pesos secos iniciales de las 12 probetas de travertino tipo Dorado Tepexi.

**Tabla 1.** Peso seco inicial de las probetas

| Número de probetas | Peso Seco Inicial Mo (g) |
|--------------------|--------------------------|
| PA01               | 322.50                   |
| PA02               | 358.59                   |
| PA03               | 346.63                   |
| PA04               | 360.20                   |
| PA05               | 356.11                   |
| PA06               | 350.88                   |
| PA07               | 349.32                   |
| PA08               | 345.24                   |
| PA09               | 359.63                   |
| PA10               | 331.50                   |
| PA11               | 355.30                   |
| PA12               | 358.67                   |
| Promedio           | 349.55                   |



**Figura 2.** Medición en una cara de una probeta



**Figura 3.** Pulido de una probeta



**Figura 4.** Probetas con número de identificación



**Figura 5.** Secado inicial de las probetas

### Saturación de las probetas

Las 12 probetas se saturaron con agua destilada a temperatura ambiente durante 48 horas; en la Figura 7, se muestra una fotografía de las probetas inmersas en agua destilada.

Para garantizar que las 12 probetas estuvieran saturadas, se pesaron con una báscula digital hasta que las probetas tuvieron peso constante, esto se obtuvo en las horas 46, 47 y 48; de esta forma, como en estas tres horas el peso de las probetas fue el mismo, se consideró que las probetas habían obtenido el peso saturado. En la Figura 8, se muestra una fotografía del peso saturado de la probeta PA01.

En la Tabla 2, se muestran los pesos saturados de las 12 probetas de travertino tipo Dorado Tepexi.

### Ciclos de prueba

Una vez obtenido el peso saturado de las 12 probetas, se inició el ciclo de la prueba de humedad-sequedad; para esto, las 12 probetas saturadas se secaron en un horno a una temperatura de  $60 \pm 2^\circ\text{C}$  durante 16 horas. Posteriormente, las probetas se sacaron del horno de secado y se pesaron con una báscula digital; además, se dejaron enfriar a temperatura ambiente por un periodo de 2 horas, con el fin de pre-

Tabla 2. Peso saturado de las probetas

| Número de probeta | Peso Saturado (g) |
|-------------------|-------------------|
| PA01              | 326.99            |
| PA02              | 361.31            |
| PA03              | 350.81            |
| PA04              | 363.14            |
| PA05              | 358.58            |
| PA06              | 355.00            |
| PA07              | 353.63            |
| PA08              | 348.94            |
| PA09              | 362.97            |
| PA10              | 336.32            |
| PA11              | 358.59            |
| PA12              | 361.94            |

venir que las probetas sufrieran un choque térmico superficial. Finalmente, las probetas se sumergieron en un contenedor con agua destilada a temperatura ambiente durante 6 horas. De esta forma se completó un ciclo de 24 horas.

Cabe mencionar que, la medición del peso de las probetas se realizó a temperatura ambiente; en la Figura 9, se muestran las fotografías del ciclo de la prueba de humedad-sequedad.

El ciclo de la prueba de humedad-sequedad que se muestra en la Figura 9, se realizó durante 15 días consecutivos; por lo tanto, de la Tabla 3 a la Tabla 5, se muestran los valores del peso seco en cada ciclo de prueba.



Figura 6. Peso seco inicial de la probeta PA01



Figura 7. Probetas inmersas en agua destilada



Figura 8. Peso saturado de la probeta PA01

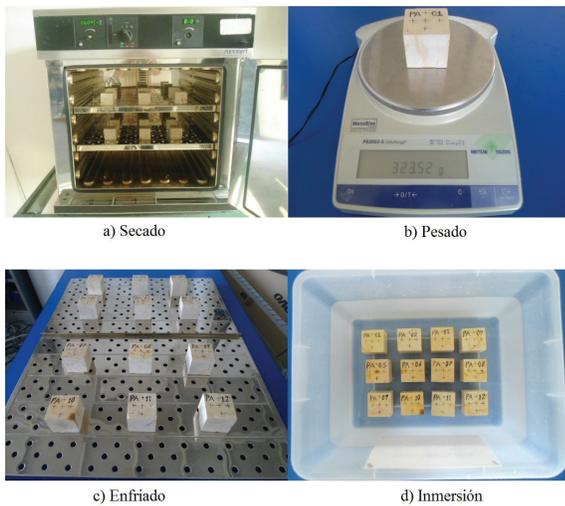


Figura 9. Ciclo de la prueba de humedad-sequedad

Tabla 3. Peso seco del ciclo 1 al ciclo 5

| Número de probeta | Número de Ciclos |        |        |        |        |
|-------------------|------------------|--------|--------|--------|--------|
|                   | 1                | 2      | 3      | 4      | 5      |
| PA01              | 323.52           | 323.13 | 323.07 | 323.00 | 322.98 |
| PA02              | 359.30           | 359.12 | 359.00 | 358.97 | 358.95 |
| PA03              | 347.75           | 347.43 | 347.29 | 347.21 | 347.21 |
| PA04              | 361.09           | 360.86 | 360.74 | 360.70 | 360.64 |
| PA05              | 356.90           | 356.72 | 356.64 | 356.59 | 356.54 |
| PA06              | 351.99           | 351.69 | 351.57 | 351.47 | 351.45 |
| PA07              | 350.55           | 350.20 | 350.11 | 350.02 | 350.02 |
| PA08              | 346.10           | 345.83 | 345.78 | 345.78 | 345.71 |
| PA09              | 360.30           | 360.04 | 360.00 | 359.89 | 359.89 |
| PA10              | 332.55           | 332.17 | 332.14 | 332.02 | 332.08 |
| PA11              | 356.12           | 355.84 | 355.76 | 355.55 | 355.55 |
| PA12              | 359.53           | 359.26 | 359.16 | 359.11 | 359.11 |
| Promedio          | 350.48           | 350.19 | 350.11 | 350.03 | 350.01 |

### Secado final de las probetas

Para el secado final, se precalentó el horno de secado a una temperatura de 60°C; después, se colocaron las 12 probetas dentro del horno de secado a una temperatura de 60±2 °C durante 48 horas. En la Figura 10, se muestra una fotografía del secado final.

Para garantizar que las 12 probetas estuvieran secas, se pesaron con una báscula digital hasta que las probetas tuvieran peso constante, esto se obtuvo en las horas 46, 47 y 48; de esta forma, como en estas tres horas el peso de las probetas fue el mismo, se consideró que las probetas habían obtenido el peso seco final. En la Figura 11, se muestra una fotografía del peso seco final de la probeta PA01.

Tabla 4. Peso seco del ciclo 6 al ciclo 10

| Número de probeta | Número de Ciclos |        |        |        |        |
|-------------------|------------------|--------|--------|--------|--------|
|                   | 6                | 7      | 8      | 9      | 10     |
| PA01              | 322.98           | 323.01 | 322.99 | 322.98 | 322.98 |
| PA02              | 358.94           | 358.93 | 358.93 | 358.91 | 358.91 |
| PA03              | 347.20           | 347.19 | 347.19 | 347.17 | 347.15 |
| PA04              | 360.63           | 360.62 | 360.62 | 360.62 | 360.62 |
| PA05              | 356.53           | 356.50 | 356.50 | 356.50 | 356.50 |
| PA06              | 351.44           | 351.43 | 351.42 | 351.42 | 351.37 |
| PA07              | 349.99           | 349.95 | 349.97 | 349.92 | 349.89 |
| PA08              | 345.70           | 345.70 | 345.70 | 345.70 | 345.67 |
| PA09              | 359.89           | 359.86 | 359.85 | 359.83 | 359.80 |
| PA10              | 332.08           | 332.04 | 332.03 | 332.08 | 332.03 |
| PA11              | 355.55           | 355.51 | 355.51 | 355.51 | 355.48 |
| PA12              | 359.10           | 359.08 | 359.08 | 359.08 | 359.07 |
| Promedio          | 350.00           | 349.98 | 349.98 | 349.98 | 349.96 |

Tabla 5. Peso seco del ciclo 11 al ciclo 15

| Número de probeta | Número de Ciclos |        |        |        |        |
|-------------------|------------------|--------|--------|--------|--------|
|                   | 11               | 12     | 13     | 14     | 15     |
| PA01              | 322.98           | 322.98 | 322.89 | 322.76 | 322.61 |
| PA02              | 358.90           | 358.90 | 358.84 | 358.76 | 322.67 |
| PA03              | 347.17           | 347.15 | 347.12 | 347.00 | 346.82 |
| PA04              | 360.60           | 360.60 | 360.53 | 360.42 | 360.33 |
| PA05              | 356.49           | 356.49 | 356.37 | 356.29 | 356.17 |
| PA06              | 351.37           | 351.29 | 351.19 | 351.08 | 350.88 |
| PA07              | 349.89           | 349.90 | 349.79 | 349.62 | 349.53 |
| PA08              | 345.67           | 345.61 | 345.50 | 345.42 | 345.32 |
| PA09              | 359.80           | 359.80 | 359.78 | 359.70 | 359.66 |
| PA10              | 331.97           | 331.88 | 331.79 | 331.67 | 331.59 |
| PA11              | 355.48           | 355.45 | 355.41 | 355.38 | 355.35 |
| PA12              | 359.07           | 358.98 | 358.86 | 358.80 | 358.72 |
| Promedio          | 349.95           | 349.92 | 349.84 | 349.74 | 349.64 |

En la Tabla 6, se muestran los pesos secos finales de las 12 probetas de travertino tipo Dorado Tepexi.

## Discusión

### Porcentaje de pérdida de peso

A partir del peso seco inicial ( $M_o$ ) y del peso seco final ( $M_F$ ) se obtiene el porcentaje de pérdida de peso ( $DWL$ ) de cada probeta individual mediante la ecuación (1).

$$DWL = \frac{M_o - M_F}{M_F} \times 100\% \quad (1)$$



Figura 10. Secado final de las probetas



Figura 11. Peso seco final de la probeta PA01

Tabla 6. Peso seco final de las probetas

| Número de probeta | Peso Seco Final $M_f$ (g) |
|-------------------|---------------------------|
| PA01              | 322.26                    |
| PA02              | 358.45                    |
| PA03              | 346.43                    |
| PA04              | 360.03                    |
| PA05              | 355.86                    |
| PA06              | 350.72                    |
| PA07              | 349.19                    |
| PA08              | 345.07                    |
| PA09              | 359.45                    |
| PA10              | 331.36                    |
| PA11              | 355.14                    |
| PA12              | 358.52                    |
| Promedio          | 349.38                    |

Tabla 7. Porcentaje de pérdida de peso

| Número de probeta   | Peso seco inicial $M_o$ (g) | Peso seco final $M_f$ (g) | Pérdida de peso DWL (%) |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|
| PA01                | 322.50                      | 322.36                    | 0.04                    |
| PA02                | 358.59                      | 358.45                    | 0.04                    |
| PA03                | 346.63                      | 346.43                    | 0.06                    |
| PA04                | 360.20                      | 360.03                    | 0.05                    |
| PA05                | 356.11                      | 355.86                    | 0.07                    |
| PA06                | 350.88                      | 350.72                    | 0.05                    |
| PA07                | 349.32                      | 349.19                    | 0.04                    |
| PA08                | 345.24                      | 345.07                    | 0.05                    |
| PA09                | 359.63                      | 359.45                    | 0.05                    |
| PA10                | 331.50                      | 331.36                    | 0.04                    |
| PA11                | 355.30                      | 355.14                    | 0.05                    |
| PA12                | 358.67                      | 358.52                    | 0.04                    |
| Promedio            |                             |                           | 0.05                    |
| Desviación Estándar |                             |                           | 0.01                    |

En la Tabla 7, se muestran los resultados del porcentaje de la pérdida de peso de travertino tipo Dorado Tepexi después de la prueba de humedad-sequedad.

En la Tabla 7, se muestra que el travertino tipo Dorado Tepexi estudiado tiene un porcentaje promedio de pérdida de peso del 0.05% con una desviación estándar del 0.01%. De acuerdo con el porcentaje de pérdida de peso, Benavente (2002) ha clasificado cuatro tipos de materiales de uso constructivo: Tipo I, con una pérdida menor del 1%; Tipo II, con una pérdida entre 1% y 5%; Tipo III, con una pérdida entre 5% y 10%; y Tipo IV, con una pérdida mayor del 10%. De acuerdo con esta clasificación, los materiales Tipo I y Tipo II son aceptables como rocas de construcción, mientras que los de Tipo IV no son recomendados.

En este sentido, el travertino tipo Dorado Tepexi estudiado se puede considerar de Tipo I, ya que tiene un porcentaje de pérdida de peso menor del 1%,

ya que no presenta tener gran alteración en la pérdida de peso; por lo tanto, es un material adecuado para uso constructivo en interiores y/o exteriores en lugares con alternancia de días secos y lluviosos. Sin embargo, esta pequeña pérdida de peso tiene ciertas implicaciones debido a que la disgregación granular (desprendimiento de granos individuales o agregados de éstos) provoca una pérdida importante en sus cualidades estéticas superficiales.

#### Comportamiento del porcentaje de pérdida de peso

A partir del peso seco del día anterior ( $M_n$ ) y del peso seco del día actual ( $M_{n+1}$ ) se obtiene el porcentaje de pérdida de peso (DWL) del día actual dado por la ecuación (2).

En la Tabla 8, se muestran los valores del porcentaje promedio de la pérdida de peso en cada ciclo de la prueba de humedad-sequedad.

$$DWL = \frac{M_n - M_{n+1}}{M_{n+1}} \times 100\% \quad (2)$$

Como se observa en la Tabla 8, en el primer ciclo el travertino tipo Dorado Tepexi tiene un aumento en su peso (0.26%) debido a la absorción de agua; sin embargo, a partir del segundo ciclo comienza a tener una disminución de peso. Además, se observa que del ciclo 4 al ciclo 12, el material se mantiene casi sin disminución de su peso (0.14% a 0.11%); sin embargo, a partir del ciclo 13 comienza el descenso final en la pérdida de peso hasta llegar al porcentaje de pérdida de peso final del 0.05%. En la Figura 12, se observa la gráfica del comportamiento del porcentaje de la pérdida de peso.

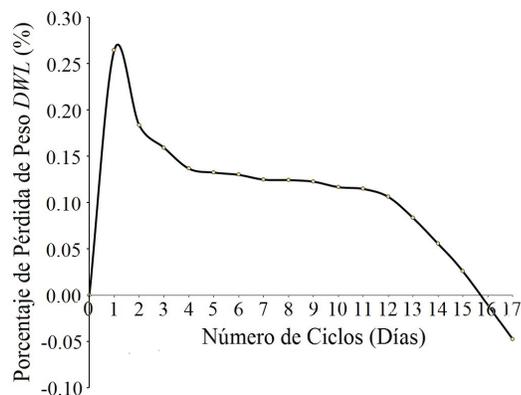
## Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos de la prueba de humedad-sequedad al travertino tipo Dorado Tepexi, se obtuvo un porcentaje promedio de la pérdida de peso del 0.05%; además, mediante la gráfica del comportamiento del porcentaje de la pérdida de peso se observa el decremento de los pesos de las probetas. De esta forma, el uso de este material, resulta adecuado como pisos y fachadas tanto para interiores como para exteriores en lugares con condiciones ambientales normales con alternancia de días secos y lluviosos.

Es importante mencionar que, el estado del travertino tipo Dorado Tepexi en los edificios es importante por su función estructural y por su percepción estética; por lo tanto, aunque existe un bajo porcentaje de pérdida de peso es recomendable el uso de algún tipo de hidrofugante para ayudar a repeler el agua logrando que la superficie sea impermeable y libre de humedad, permitiendo aumentar la vida útil y las cualidades estéticas del travertino tipo Dorado Tepexi.

**Tabla 8.** Porcentaje promedio de pérdida de peso por ciclo

| Ciclo de prueba (días) | Peso Promedio de las Probetas (g) | Porcentaje Promedio de Pérdida de Peso (%) |
|------------------------|-----------------------------------|--|
| 0 (Inicial)            | 349.55                            | 0.00                                       |
| 1                      | 350.48                            | 0.26                                       |
| 2                      | 350.19                            | 0.18                                       |
| 3                      | 350.11                            | 0.16                                       |
| 4                      | 350.03                            | 0.14                                       |
| 5                      | 350.01                            | 0.13                                       |
| 6                      | 350.00                            | 0.13                                       |
| 7                      | 349.98                            | 0.12                                       |
| 8                      | 349.98                            | 0.12                                       |
| 9                      | 349.98                            | 0.12                                       |
| 10                     | 349.98                            | 0.12                                       |
| 11                     | 349.95                            | 0.11                                       |
| 12                     | 349.92                            | 0.11                                       |
| 13                     | 349.84                            | 0.08                                       |
| 14                     | 349.74                            | 0.06                                       |
| 15                     | 349.64                            | 0.03                                       |
| 17 (Final)             | 349.38                            | -0.05                                      |



**Figura 12.** Gráfica del comportamiento del porcentaje de la pérdida de peso

## Bibliografía

- ASTM International. (2016). ASTM C119-16 Standard terminology relating to dimension stone. USA: ASTM International.
- Benavente García, D. (2002). Modelización y Estimación de la Durabilidad de Materiales Pétreos Porosos Frente a la Cristalización de Sales. (Tesis Doctoral). Universidad de Alicante. Facultad de Ciencias. Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Alicante, España.
- Benavente, D., Bernabeu, A. y Cañaveras, J. (2004). Estudio de Propiedades Físicas de las Rocas. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 12(1): 62-68.
- Jamshidi, A., Nikudel, M., Khamsehchiyan, M., Zaloli, A. y Yeganehfar, H. (2017). Estimating the Mechanical Properties of Travertine Building Stones Due to Salt Crystallization Using Multivariate Regression Analysis. Journal of Sciences, 28(3): 231-241.
- Morales, A., Flores, S. y Hernández, J. (2015). Determinación de las Propiedades de Absorción y Densidad de la Roca Caliza Travertino tipo Dorado Tepexi. Ingeniantes, 1(1): 08-14.
- Morales, A., Cruz, P., Azcaray, M. y Servín, A. (2016a). Determinación de la Resistencia a la Compresión de la Roca Caliza Travertino tipo Dorado Tepexi. Memoria del Congreso Internacional de investigación Academia Journals Celaya 2016, 8(5): 4076-4081.
- Morales, A., Flores, S., Luna, E., Hernández, J. y Servín, A. (2016b). Estudio Comparativo de la Alteración del Peso en la Roca Caliza Travertino tipo Dorado Tepexi Mediante Prueba de Cristalización de Sales por Cloruro de Sodio. Revista Electrónica en Ingeniería Mecánica ITQU@NTUM, 28: 1-17.
- Morales, A., Guevara, J., Martínez, C., Servín, A. y Hernández, J. (2016c). Estudio Comparativo de la Alteración del Peso en la Roca Caliza Travertino tipo Dorado Tepexi Mediante Prueba de Cristalización de Sales por Sulfato de Sodio. Revista Electrónica en Ingeniería Mecánica ITQU@NTUM, 29: 24-41.
- Morales, A., Velasco, M. y Hernández, J. (2016d). Estudio Comparativo de la Alteración de la Rugosidad en la Roca Caliza Travertino tipo Dorado Tepexi mediante una Prueba de Cristalización de Sales por Cloruro de Sodio. Ingeniantes, 1(2): 36-43.
- Morales, A., Velasco, M., Cruz, P. y Hernández, J. (2017). Comparación en la Rugosidad de la Roca Caliza Travertino tipo Dorado Tepexi Mediante Prueba de Cristalización de Sales por Sulfato de Sodio. Memorias del XVI Congreso Nacional de Ingeniería Electromecánica y de Sistemas (CNIES 2017): 1-9.
- Orozco, W., Branch, J. y Jiménez, J. (2014). Clasificación de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas en secciones delgadas a través programación estructurada. Boletín de Ciencias de la Tierra, (36). 5-9.