

# 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



## Colaboración

Adolfo Manuel Morales Tassinari, María Esperanza Velasco Ordóñez, Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez; Jorge Arturo Hernández Zárate, Instituto Tecnológico de Veracruz.

**RESUMEN:** La presente investigación tiene como propósito realizar un estudio comparativo para determinar el porcentaje de aumento en la rugosidad mediante una prueba de cristalización de sales utilizando concentraciones al 10%, 16% y 20% de cloruro de sodio en la roca caliza travertino tipo Dorado Tepexi extraída del banco inferior de la cantera localizada en la Municipio de San Juan Ixcaquixtla, Puebla, México, y que pertenece a la empresa Industrias del Travertino S.A. La prueba de cristalización de sales constó de secado a 60°C durante 16 horas, reposo a temperatura ambiente durante 2 horas e inmersión en disolución de cloruro de sodio durante 6 horas. Los resultados obtenidos en esta investigación muestran que el travertino tipo Dorado Tepexi extraído del banco inferior sometido a prueba de cristalización de sales con una concentración de cloruro de sodio al 16% provoca el mayor porcentaje de aumento en la rugosidad con un 85.40%. De esta forma, el travertino tipo Dorado Tepexi extraído del banco inferior presenta menor estética visual a mayor rugosidad.

**PALABRAS CLAVE:** Cloruro de sodio, cristalización de sales, roca caliza, rugosidad, travertino.

**ABSTRACT:** This research has the purpose to perform a comparative study to determine the percentage increase in the roughness by salt crystallization test using concentrations 10%, 16% and 20% sodium chloride in the limestone travertine type Dorado Tepexi extracted the lower bench of the quarry located in the Municipality of San Juan Ixcaquixtla, Puebla, México, and belongs to Industrias del Travertino S.A. The salt crystallization test consisted of drying at 60°C for 16 hours, standing at room temperature for 2 hours and immersion in solution of sodium chloride for 6 hours. The results obtained in this research show that the travertine type Dorado Tepexi extracted from the lower bench tested salt crystallization with a concentration of sodium chloride 16% causes the greatest percentage increase in roughness with 85.40%. Thus, travertine type Dorado Tepexi extracted of the lower bench has less visual aesthetics to greater roughness.

**KEYWORDS:** Sodium chloride, salt crystallization, limestone, roughness, travertine

## INTRODUCCIÓN

La forma en que una piedra evoluciona frente a los factores extrínsecos (agua, contaminación, cambios bruscos de temperatura, etc.) depende de sus características intrínsecas y de las condiciones ambientales en que se sitúa. De esta manera, resulta importante conocer la respuesta del material al medio externo para prever su evolución [1]. Las rocas suelen verse alteradas por la presencia de soluciones acuosas conteniendo sales solubles de distinta naturaleza, estas sales pueden ser inherentes a la propia composición de la roca, o externas a ella [2]. Una de las sales solubles es el Cloruro de Sodio (NaCl), también llamada Halita, que es una sal cuya mayor alteración se presenta en materiales expuestos a ambientes marinos y en zonas desérticas [3]. Estas alteraciones pueden manifestarse en su aspecto externo (color, estado de agregación...) o en su comportamiento (dureza, resistencia...) [4].

Para evaluar el comportamiento de una roca sometida a condiciones externas, se realizan ensayos de durabilidad, que son ensayos que tratan de reproducir de forma acelerada la alteración que sufriría un material colocado en obra y expuesto a condiciones ambientales extremas. Uno de estos ensayos de durabilidad es el ensayo de cristalización de sales, que consiste en la saturación de las muestras a ensayar en una disolución salina y posterior secado. Tras un periodo de enfriamiento se completa el ciclo con la nueva inmersión de las probetas en la disolución [5]. La concentración de la solución de cloruro de sodio es de 16 % y está subsaturada a 25°C [6]. La alteración sufrida por el material después del ensayo de cristalización de sales, implica tanto alteración estética como disminución de propiedades mecánicas [5]. Una de estas alteraciones está relacionada con la superficie de los materiales, la cual a su vez, está controlada por su rugosidad. La rugosidad se puede definir como la irregularidad que presenta una superficie a intervalos pequeños y que es la base sensorial para reconocer la diferencia entre algo liso o rugoso [7].

En el municipio de San Juan Ixcaquixtla, Puebla, México, existen canteras de roca caliza travertino tipo Dorado Tepexi, que es una roca de color dorado claro que se utiliza para piso en áreas de tránsito pesado, comercial o habitacional, en muros interiores o exteriores, cubiertas de baño, muebles de baño, etc [8]. En la figura 1, se muestra una fotografía del color característico de la roca caliza travertino tipo Dorado Tepexi:



Figura 1. Fotografía del travertino tipo Dorado Tepexi.

Una de las empresas dueñas de una cantera de travertino tipo Dorado Tepexi es la empresa Industrias del Travertino S.A., y que preocupada por la calidad y durabilidad de este material, en una investigación previa realizada en el banco inferior de su cantera de travertino tipo Dorado Tepexi, se determinó que el porcentaje de absorción promedio de agua es de 0.91% y una densidad promedio de 2624 kg/m<sup>3</sup> [9]. También, se determinó que su resistencia a la compresión mínima es de 66 MPa [8]. Las propiedades obtenidas cumplen con parámetros dados por la norma ASTM C1527-09 Standard Specification for Travertine Dimension Stone. Sin embargo, dado que la mayoría de

sus productos procesados con este material se venden en zonas costeras, la empresa necesita saber cómo se comporta este material ante ambiente salino.

La presente investigación tiene como finalidad determinar el porcentaje de aumento en la rugosidad mediante una prueba de cristalización de sales con cloruro de sodio en concentraciones al 10%, 16% y 20%, determinando si existe una diferencia entre las distintas concentraciones.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Las muestras de la roca caliza travertino tipo Dorado Tepexi que se utilizaron para la prueba de cristalización de sales se obtuvieron de la cantera ubicada en la ciudad de San Juan Ixcaquixtla, Puebla, México. En la figura 2, se muestra una fotografía de la cantera:



Figura 2. Fotografía de la cantera.

Esta cantera tiene 4 bancos de travertino tipo Dorado Tepexi; sin embargo, actualmente el banco inferior de esta cantera es del que se está extrayendo material para su procesamiento. En la figura 3, se muestra una fotografía del banco inferior:



Figura 3. Fotografía del banco inferior.

A partir de este banco inferior, se extrajeron rocas de muestra, las cuales, se trasladaron a la empresa Industrias del Travertino S.A., ubicada en la Ciudad de Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, para que fuesen procesadas en probetas para la fase experimental.

En la empresa, se cortaron las piedras en una máquina cortadora de puente para obtener lingotes de aproximadamente 50 mm de ancho, 50 mm de espesor y de largo libre. Posteriormente, estos lingotes fueron cortados en una máquina cuadradora para obtener las probetas con dimensiones aproximadas de 50X50X50 mm. finalmente, se seleccionaron 48 probetas que cumplieran con las dimensiones de 50X50X50mm con una tolerancia de  $\pm 0.5\text{mm}$ ; ya que de acuerdo con el diseño del experimento, se contemplaron 4 grupos de 12 probetas por grupo. En la figura 4, se muestran dos fotografías de las 48 probetas seleccionadas:



Figura 5. Fotografía del secado de las 48 probetas.



Figura 4. Fotografías de las 48 probetas seleccionadas.

Para garantizar que las 48 probetas estuviesen completamente secas, se pesaron en una báscula digital marca Mettler Toledo modelo PB3002-S DeltaRange® en las horas 46, 47 y 48, obteniéndose pesos constantes; de tal manera que, en la hora 48 se obtuvo el peso seco en cada probeta.

Posteriormente, se midió la rugosidad inicial de cada probeta con un rugosímetro marca Mitutoyo SJ 201 en cinco puntos diferentes de la cara principal; cabe aclarar que, el parámetro medido con el rugosímetro en esta investigación es el de Ra que es la media aritmética de los valores absolutos de las desviaciones desde la línea media del perfil. En la figura 6, se muestra una fotografía de la medición de la probeta PB08 en el punto 3:



Figura 6. Fotografía de la rugosidad inicial de probeta.

La prueba de cristalización de sales se realizó en el área de secado perteneciente al Centro de Competitividad de la Industria del Mármol que se encuentra en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez, en la Ciudad de Tepexi de Rodríguez, Puebla, México.

Para iniciar la prueba de cristalización de sales, las 48 probetas de travertino tipo Dorado Tepexi, se secaron en un horno de secado marca Memmert modelo UP 500 a una temperatura de  $60 \pm 2^\circ\text{C}$  durante 48 horas; en la figura 5, se muestra las 48 probetas dentro del horno de secado:

En la tabla 1 y en la tabla 2, se muestran los valores obtenidos de la rugosidad superficial inicial medidos en los cinco puntos de cada probeta:

Tabla 1. Rugosidad inicial de las probetas PA y PB.

Número de Probeta	Rugosidad Inicial $R_o$ ( $\mu\text{m}$ )					
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Prom
PA01	5.09	8.35	4.97	5.92	4.66	5.80
PA02	7.99	5.82	8.49	5.87	8.93	7.42
PA03	5.32	5.52	4.63	5.29	6.82	5.52
PA04	7.60	5.83	5.97	7.27	6.35	6.60
PA05	4.66	7.59	5.35	6.95	9.36	6.78
PA06	7.18	5.04	5.19	5.81	7.60	6.16
PA07	9.16	7.44	9.48	5.2	8.85	8.03
PA08	9.14	8.80	6.83	5.84	8.48	7.82
PA09	5.13	4.52	4.55	4.86	5.59	4.93
PA10	4.47	5.33	7.11	5.58	9.83	6.46
PA11	4.45	6.28	4.23	9.78	5.23	5.99
PA12	6.99	8.73	4.71	6.93	6.33	6.74
Promedio						6.52
PB01	8.81	6.07	5.51	6.32	7.32	6.81
PB02	4.98	7.85	6.49	5.62	4.67	5.92
PB03	7.11	6.92	8.47	6.82	6.08	7.08
PB04	6.93	7.88	4.52	7.44	8.84	7.12
PB05	7.40	5.60	4.45	6.60	6.20	6.05
PB06	6.84	7.60	4.33	5.56	8.95	6.66
PB07	7.48	6.03	5.23	6.69	4.55	6.00
PB08	5.02	7.00	5.21	8.08	6.37	6.34
PB09	8.33	7.72	8.06	7.02	7.83	7.79
PB10	5.81	8.75	6.82	7.69	6.35	7.08
PB11	8.38	8.78	5.96	5.62	5.4	6.83
PB12	5.14	8.70	4.94	5.09	5.35	5.84
Promedio						6.63

Tabla 2. Rugosidad inicial de las probetas PC y PD.

Número de Probeta	Rugosidad Inicial $R_o$ ( $\mu\text{m}$ )					
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Prom
PC01	3.87	5.25	3.82	3.55	10.61	5.42
PC02	4.91	6.84	3.46	4.59	4.23	4.81
PC03	4.70	3.52	8.40	5.94	8.36	6.18
PC04	8.46	8.37	6.81	3.90	3.77	6.26
PC05	2.57	7.88	8.16	6.39	7.09	6.42
PC06	7.43	5.42	5.97	10.17	5.76	6.95
PC07	11.81	5.80	13.09	12.09	11.01	10.76
PC08	10.28	5.25	5.21	13.85	8.72	8.66
PC09	2.84	4.86	7.91	3.49	2.35	4.29
PC10	6.53	8.82	10.35	7.98	7.46	8.23
PC11	6.61	5.33	5.62	7.04	2.60	5.44
PC12	10.28	6.05	3.71	6.35	5.65	6.41
Promedio						6.65
PD01	8.05	6.35	4.65	5.63	6.43	6.22
PD02	11.17	6.40	3.92	4.45	5.16	6.22
PD03	5.12	5.21	6.72	4.68	4.28	5.20
PD04	5.11	5.67	5.55	5.95	8.21	6.10
PD05	5.85	5.67	6.74	7.74	9.01	7.00
PD06	4.91	5.46	5.09	6.44	5.82	5.54
PD07	6.41	8.30	7.43	6.41	7.74	7.26
PD08	4.93	4.21	5.79	5.84	7.84	5.72
PD09	4.49	4.54	5.56	5.42	4.24	4.85
PD10	7.32	9.18	9.87	9.72	6.23	8.46
PD11	7.00	5.73	9.16	5.40	5.02	6.46
PD12	7.66	7.49	8.53	7.26	8.77	7.94
Promedio						6.42

Después de medir la rugosidad inicial, se prepararon tres soluciones salinas de cloruro de sodio con concentraciones al 10%, 16% y 20%; de esta forma, las probetas PB01 a PB12 se sumergieron en un contenedor con cloruro de sodio al 10%, las probetas PC01 a PC12 se sumergieron en un contenedor con cloruro

de sodio al 16%, las probetas PD01 a PD12 se sumergieron en un contenedor con cloruro de sodio al 20%, y las probetas del grupo de control PA01 a PA12 se sumergieron en agua destilada. En la Figura 7, se muestran las 48 probetas sumergidas en las soluciones salinas:



Figura 7. Fotografías de la inmersión de las 48 probetas.



Figura 8. Fotografías del lavado de las 48 probetas.

Después de lavar las 48 probetas, las probetas se secaron en un horno marca Memmert modelo UP 500 a una temperatura de  $60 \pm 2^\circ\text{C}$  hasta que las probetas tuvieran peso seco.

Posteriormente, se midió la rugosidad final de cada probeta con un rugosímetro marca Mitutoyo SJ 201 en cinco puntos de la cara principal de la probeta; cabe aclarar que, el parámetro medido con el rugosímetro en esta investigación es el de Ra que es la media aritmética de los valores absolutos de las desviaciones desde la línea media del perfil de medición. En la figura 9, se muestra una fotografía de la medición de la rugosidad final de la probeta PC01 en el punto 1:

Para garantizar que las 48 probetas estuviesen saturadas, se pesaron en una báscula digital marca Mettler Toledo modelo PB3002-S DeltaRange® en la hora 46, 47 y 48, obteniendo pesos constantes; de tal manera que, en la hora 48 se obtuvo el peso saturado en cada probeta.

El ciclo de la prueba de cristalización de sales por cloruro de sodio se inició secando las probetas saturadas en un horno de secado marca Memmert modelo UP 500 a una temperatura constante de  $60^\circ\text{C}$ , durante 16 horas. Después, las probetas se enfriaron a temperatura ambiente promedio de  $22^\circ\text{C}$  durante 2 horas. Finalmente, las probetas se sumergieron en los contenedores con las distintas soluciones durante 6 horas.

El ciclo de secado-enfriado-inmersión que duró 24 horas, se repitió durante 15 ciclos. Después, se procedió a quitar el exceso de sal lavando las probetas con agua destilada hasta que la sal fuese eliminada por completo. Para garantizar que las probetas no tuvieran sal, se midió la resistividad del agua destilada hasta que coincidiera con la resistividad inicial de  $0.2\text{M}\Omega$ . En la figura 8, se muestra una fotografía del lavado de las probetas:



Figura 9. Fotografía de la rugosidad final de probeta.

En la tabla 3 y en la tabla 4, se muestran los valores obtenidos de la rugosidad superficial final medidos en los cinco puntos de cada probeta:

Tabla 3. Rugosidad final de las probetas PA y PB.

Número de Probeta	Rugosidad Inicial $R_o$ ( $\mu\text{m}$ )					
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Prom
PA01	5.09	8.35	4.97	5.92	4.66	5.80
PA02	7.99	5.82	8.49	5.87	8.93	7.42
PA03	5.32	5.52	4.63	5.29	6.82	5.52
PA04	7.60	5.83	5.97	7.27	6.35	6.60
PA05	4.66	7.59	5.35	6.95	9.36	6.78
PA06	7.18	5.04	5.19	5.81	7.60	6.16
PA07	9.16	7.44	9.48	5.2	8.85	8.03
PA08	9.14	8.80	6.83	5.84	8.48	7.82
PA09	5.13	4.52	4.55	4.86	5.59	4.93
PA10	4.47	5.33	7.11	5.58	9.83	6.46
PA11	4.45	6.28	4.23	9.78	5.23	5.99
PA12	6.99	8.73	4.71	6.93	6.33	6.74
Promedio						6.52
PB01	8.81	6.07	5.51	6.32	7.32	6.81
PB02	4.98	7.85	6.49	5.62	4.67	5.92
PB03	7.11	6.92	8.47	6.82	6.08	7.08
PB04	6.93	7.88	4.52	7.44	8.84	7.12
PB05	7.40	5.60	4.45	6.60	6.20	6.05
PB06	6.84	7.60	4.33	5.56	8.95	6.66
PB07	7.48	6.03	5.23	6.69	4.55	6.00
PB08	5.02	7.00	5.21	8.08	6.37	6.34
PB09	8.33	7.72	8.06	7.02	7.83	7.79
PB10	5.81	8.75	6.82	7.69	6.35	7.08
PB11	8.38	8.78	5.96	5.62	5.4	6.83
PB12	5.14	8.70	4.94	5.09	5.35	5.84
Promedio						6.63

Tabla 4. Rugosidad final de las probetas PC y PD.

Número de Probeta	Rugosidad Inicial $R_o$ ( $\mu\text{m}$ )					
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Prom
PC01	3.87	5.25	3.82	3.55	10.61	5.42
PC02	4.91	6.84	3.46	4.59	4.23	4.81
PC03	4.70	3.52	8.40	5.94	8.36	6.18
PC04	8.46	8.37	6.81	3.90	3.77	6.26
PC05	2.57	7.88	8.16	6.39	7.09	6.42
PC06	7.43	5.42	5.97	10.17	5.76	6.95
PC07	11.81	5.80	13.09	12.09	11.01	10.76
PC08	10.28	5.25	5.21	13.85	8.72	8.66
PC09	2.84	4.86	7.91	3.49	2.35	4.29
PC10	6.53	8.82	10.35	7.98	7.46	8.23
PC11	6.61	5.33	5.62	7.04	2.60	5.44
PC12	10.28	6.05	3.71	6.35	5.65	6.41
Promedio						6.65
PD01	8.05	6.35	4.65	5.63	6.43	6.22
PD02	11.17	6.40	3.92	4.45	5.16	6.22
PD03	5.12	5.21	6.72	4.68	4.28	5.20
PD04	5.11	5.67	5.55	5.95	8.21	6.10
PD05	5.85	5.67	6.74	7.74	9.01	7.00
PD06	4.91	5.46	5.09	6.44	5.82	5.54
PD07	6.41	8.30	7.43	6.41	7.74	7.26
PD08	4.93	4.21	5.79	5.84	7.84	5.72
PD09	4.49	4.54	5.56	5.42	4.24	4.85
PD10	7.32	9.18	9.87	9.72	6.23	8.46
PD11	7.00	5.73	9.16	5.40	5.02	6.46
PD12	7.66	7.49	8.53	7.26	8.77	7.94
Promedio						6.42

**RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

A partir de los datos obtenidos de la rugosidad promedio inicial ( $R_o$ ) de las probetas dados en la tabla 1 y la tabla 2, y de los datos obtenidos de la rugosidad promedio final ( $R_f$ ) de las probetas dados en la Tabla 3 y la Tabla 4, se obtiene el porcentaje de aumento en la rugosidad ( $AR$ ) de cada probeta individual mediante la Ec. (1):

$$AR = \frac{R_f - R_o}{R_o} \times 100\% \quad \text{Ec. (1)}$$

En la tabla 5 y en la tabla 6, se muestra el concentrado de los resultados del porcentaje de aumento de la rugosidad de cada probeta después de la prueba de cristalización de sales obtenidos a partir de la Ec. (1):

Tabla 5. Porcentaje de aumento de la rugosidad de las probetas PA y PB.

Número de Probeta	Rugosidad Promedio Inicial $R_o$ ( $\mu\text{m}$ )	Rugosidad Promedio Final $R_F$ ( $\mu\text{m}$ )	Porcentaje de Aumento de la Rugosidad $AR$ (%)
PA01	5.80	6.38	10.04
PA02	7.42	7.71	3.88
PA03	5.52	5.91	7.14
PA04	6.60	6.83	3.36
PA05	6.78	6.89	1.65
PA06	6.16	6.50	5.39
PA07	8.03	8.24	2.62
PA08	7.82	8.27	5.76
PA09	4.93	5.26	6.65
PA10	6.46	7.24	12.07
PA11	5.99	6.43	7.31
PA12	6.74	7.42	10.12
Promedio	<b>6.52</b>	<b>6.92</b>	<b>6.33</b>
PB01	6.81	8.61	26.54
PB02	5.92	8.31	40.26
PB03	7.08	7.80	10.23
PB04	7.12	9.11	27.94
PB05	6.05	8.53	41.06
PB06	6.66	7.91	18.87
PB07	6.00	7.48	24.68
PB08	6.34	8.94	41.10
PB09	7.79	8.64	10.83
PB10	7.08	8.05	13.64
PB11	6.83	8.41	23.11
PB12	5.84	6.78	16.05
Promedio	<b>6.63</b>	<b>8.21</b>	<b>24.52</b>

A partir de los resultados obtenidos de la Tabla 5 y de la Tabla 6, se muestra que para la solución con concentración del 10% existe un aumento en la rugosidad del 24.52%, para la solución con concentración del 16% existe un aumento en la rugosidad del 85.40%, y para la solución con concentración del 20% existe un aumento en la rugosidad del 57.76%.

Para comparar los resultados obtenidos del porcentaje de aumento de la rugosidad en las distintas concentraciones de cloruro de sodio, se debe realizar un análisis de varianza de un factor para determinar si existe una diferencia significativa en el porcentaje de las concentraciones de cloruro de sodio, para realizar este análisis, se deben concentrar todos porcentajes. En la tabla 7, se concentran los resultados del porcentaje de aumento de la rugosidad en cada solución salina, obtenidos de la tabla 5 y de la tabla 6:

Tabla 6. Porcentaje de aumento de la rugosidad de las probetas PC y PD.

Número de Probeta	Rugosidad Promedio Inicial $R_o$ ( $\mu\text{m}$ )	Rugosidad Promedio Final $R_F$ ( $\mu\text{m}$ )	Porcentaje de Aumento de la Rugosidad $AR$ (%)
PC01	5.42	11.27	107.93
PC02	4.81	9.15	90.47
PC03	6.18	10.63	71.83
PC04	6.26	14.37	129.51
PC05	6.42	12.26	90.96
PC06	6.95	11.19	61.01
PC07	10.76	14.89	38.36
PC08	8.66	10.97	26.60
PC09	4.29	11.10	158.65
PC10	8.23	9.66	17.36
PC11	5.44	12.35	126.95
PC12	6.41	13.15	105.21
Promedio	<b>6.65</b>	<b>11.75</b>	<b>85.40</b>
PD01	6.22	11.20	80.04
PD02	6.22	9.24	48.59
PD03	5.20	10.62	104.11
PD04	6.10	9.04	48.31
PD05	7.00	10.03	43.19
PD06	5.54	7.54	36.08
PD07	7.26	12.83	76.80
PD08	5.72	11.71	104.72
PD09	4.85	8.93	84.08
PD10	8.46	9.77	15.48
PD11	6.46	8.73	35.17
PD12	7.94	8.97	12.99
Promedio	<b>6.42</b>	<b>9.89</b>	<b>57.46</b>

A partir de los valores del porcentaje de aumento en la rugosidad en cada una de las concentraciones dados en la tabla 7, en la figura 10 se muestra la gráfica comparativa del porcentaje de aumento en la rugosidad en cada concentración:

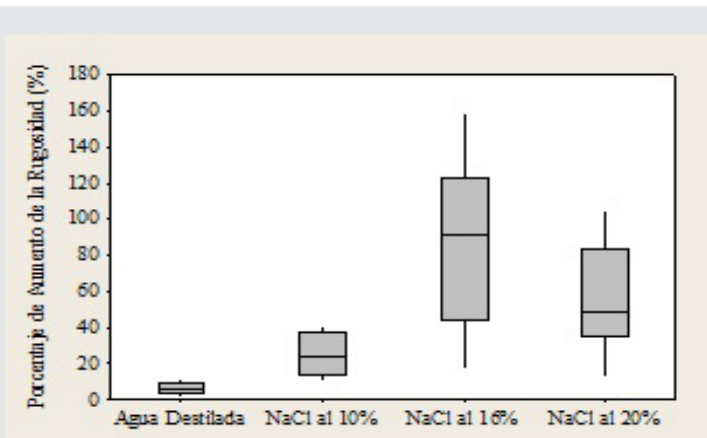


Figura 10. Gráfica comparativa del porcentaje de aumento de la rugosidad.

Tabla 7. Concentrado del porcentaje de aumento de la rugosidad de las probetas.

Número de Probeta	Porcentaje de Aumento de la Rugosidad AR (%)			
	Agua Destilada Probetas PA	Cloruro de Sodio al 10% Probetas PB	Cloruro de Sodio al 16% Probetas PC	Cloruro de Sodio al 20% Probetas PD
01	10.04	26.54	107.93	80.04
02	3.88	40.26	90.47	48.59
03	7.14	10.23	71.83	104.11
04	3.36	27.94	129.51	48.31
05	1.65	41.06	90.96	43.19
06	5.39	18.87	61.01	36.08
07	2.62	24.68	38.36	76.80
08	5.76	41.10	26.60	104.72
09	6.65	10.83	158.65	84.08
10	12.07	13.64	17.36	15.48
11	7.31	23.11	126.95	35.17
12	10.12	16.05	105.21	12.99
Promedio	<b>6.33</b>	<b>24.52</b>	<b>85.40</b>	<b>57.46</b>

Con los datos de la Tabla 7, se realizó un análisis de varianza de un factor; los resultados obtenidos de dicho análisis se muestran en la tabla 8:

Tabla 8. Resultdo del análisis de varianza de un factor.

Origen de las variac.	Suma de cuad.	Grad de lib.	Prom. de los cuad.	F	Prob.	F crítico
Entre grupos	44308	3	14769	19.30	3.9 E-08	2.82
Dentro de los grupos	33678	44	765	-	-	-
Total	77986	47	-	-	-	-

A partir de los resultados del análisis de varianza obtenidos en la tabla 8, se muestra que como  $F=19.30$  es mayor que  $F \text{ crítico}=2.82$ , se dice que con una significancia del 5%, sí existe una diferencia significativa en las concentraciones de cloruro de sodio. Por lo tanto, el mayor porcentaje de aumento de la rugosidad se obtuvo con una concentración de cloruro de sodio al 16%. De esta forma, las conclusiones de la presente investigación son:

- La mayor alteración en la rugosidad de la roca caliza travertino tipo Dorado Tepexi extraída del banco inferior utilizando una solución de cloruro de sodio se obtiene con una concentración del 16%.

- El porcentaje de aumento de la rugosidad de la roca caliza travertino tipo Dorado Tepexi extraída del banco inferior es del 85.40%.

- El porcentaje de aumento en la rugosidad obtenido es demasiado alto, por lo que se recomienda el uso de antidegradantes superficiales para mitigar la alteración sufrida.

REFERENCIAS

[1] Iñigo, A.; Vicente, M. Y Rives, V. (2000). Reproducción en Cámara Climática de las Formas de Alteración Más Frecuentes Detectadas en Materiales Graníticos, en *Clima de Tendencia Continental. Materiales de Construcción*, 50(257), 57-60.

[2] Eibert, R; Montoto, M. Y Ordaz, J. (1991). La Piedra como Material de Construcción: Durabilidad, Deterioro y Conservación. *Materiales de Construcción*, 41(221), 61-73.

[3] Grossi, C. Y Eibert, M. (1994). Las Sales Solubles en el Deterioro de Rocas Monumentales. *Revisión Bibliográfica. Materiales de Construcción*, 44(235), 15-30.

[4] Alonso, F.; Eibert, R.; Ordaz, J. Y Vázquez, P. (2006). Análisis del Deterioro en los Materiales Pétreos de Edificación. *RECOPAR*, 3, 23-32. ISSN: 1886-2497

[5] Benavente, D.; Bernabéu, A. Y Cañaveras, J. (2004). Estudio de Propiedades Físicas de las Rocas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 12(1), 62-68. ISSN: 1132-9157.

[6] Benavente García, David. Tesis Doctoral: Modelización y estimación de la durabilidad de materiales pétreos porosos frente a la cristalización de sales. *Universidad de Alicante, Facultad de Ciencias, Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Alicante, España. Julio, 2002.*

[7] Fort, R.; Álvarez, M.; Vázquez, C. Y Gómez, L. (2013). Análisis de la microrugosidad mediante técnicas portátiles: aplicaciones y casos de estudio en patrimonio. *Las Ciencias y el Arte IV. Ciencias Experimentales y Conservación del Patrimonio*. 198-216.

[8] Azcaray Rivera, Marcos Manuel. Tesis de licenciatura: Determinación de la Resistencia a la Compresión del Travertino tipo Dorado Tepexi en la Zona 1 y Zona 2 de la Cantera de Industrias del Travertino. *Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez, Ingeniería Mecánica. Tepexi de Rodríguez, Puebla, México. Diciembre, 2015.*

[9] 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), 8-14. ISSN: 2395-9452. 2015.