

¹ Instituto de Investigaciones en Físicoquímica de Córdoba (INFIQC-CONICET), Dpto. de Físicoquímica, Fac. De Ciencias Químicas, UNC, Córdoba, Argentina

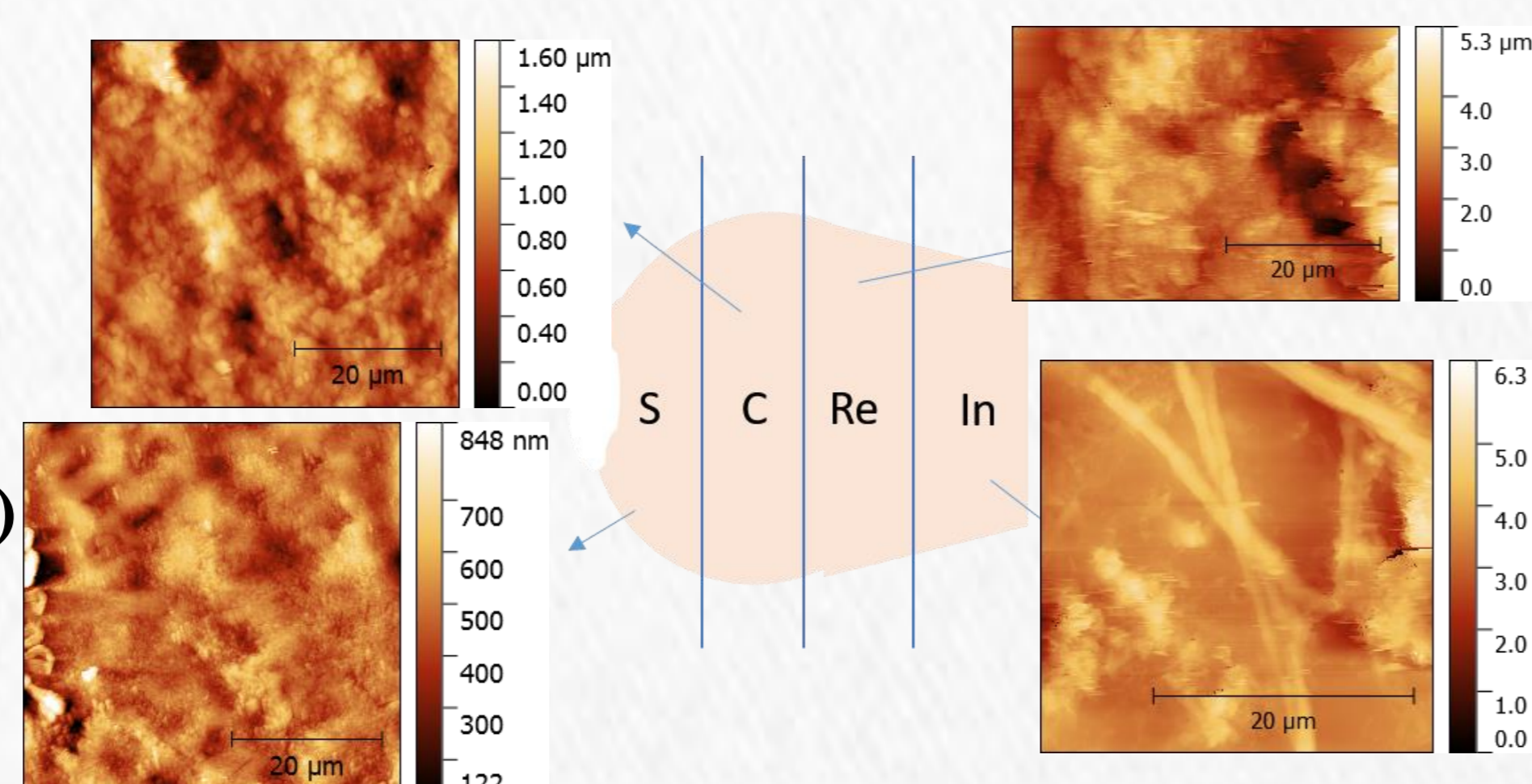
Email: edfarias@unc.edu.ar / vsueldooccello@unc.edu.ar / verobrunetti@unc.edu.ar

El objetivo de este trabajo es la caracterización de piezas dentales restauradas por remineralización o bien, infiltración con resina fluida modificada para analizar en forma comparativa los cambios morfológicos y de rugosidad respecto al diente natural o con caries artificiales. Combinando la respuesta de la superficie bajo diferentes modos de operación del AFM: contacto, contacto intermitente y espectroscopia de fuerza, es posible obtener información relacionada a la morfología (haciendo uso de descriptores estadísticos) conjuntamente con las propiedades mecánicas y de adhesión, permitiendo el estudio comparativo de los distintos tratamientos

Parte Experimental

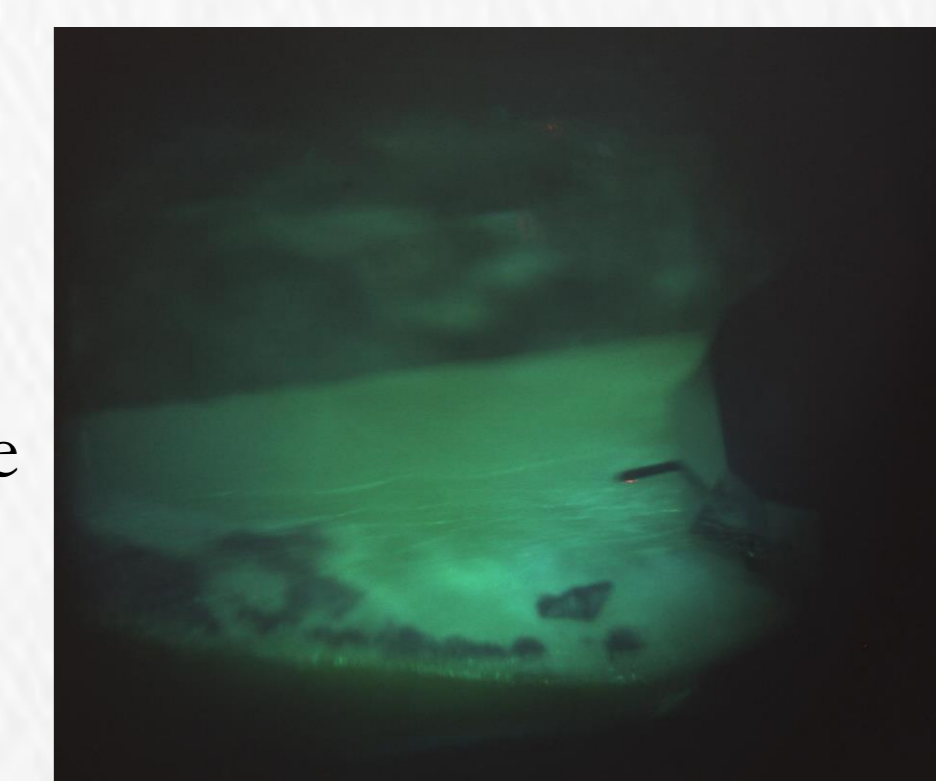
Piezas dentales:

- Diente sano (DS)
- Diente con carie (DC)
- Diente con tratamiento de remineralización con sales de plata (DRe)
- Diente con tratamiento de Infiltración con resina fluida modificada con NPs antibacteriales (DIn)



Microscopios de Fuerza Atómica

- CoreAFM Nanosurf (Piezo 100x100x10 μm) Modo Tapping/Contacto
- Agilent 5500 AFM/STM (10x10x2 μm) Modo Contacto y Espectroscopia de Fuerza
- Puntas BudgetSensors TAP-190Al
- Frecuencia de resonancia de 190 KHz - Fuerza nominal 48 N/m



Resultados

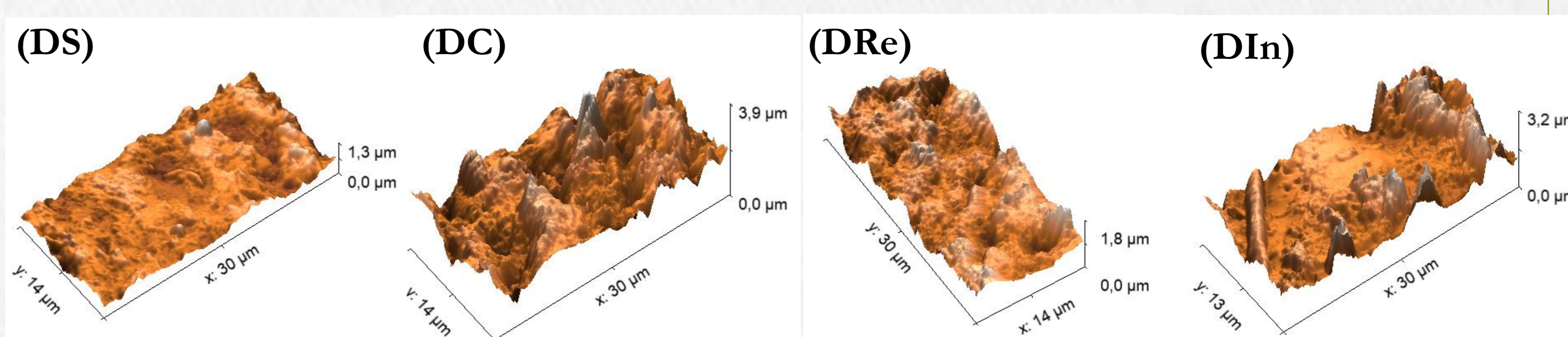
Morfología – Análisis de imágenes topográficas

Imágenes topográficas 3D de la superficie dental sana (DS), con carie artificial (DC), con tratamiento de remineralización (DRe) y con tratamiento de infiltración con resina (DIn).

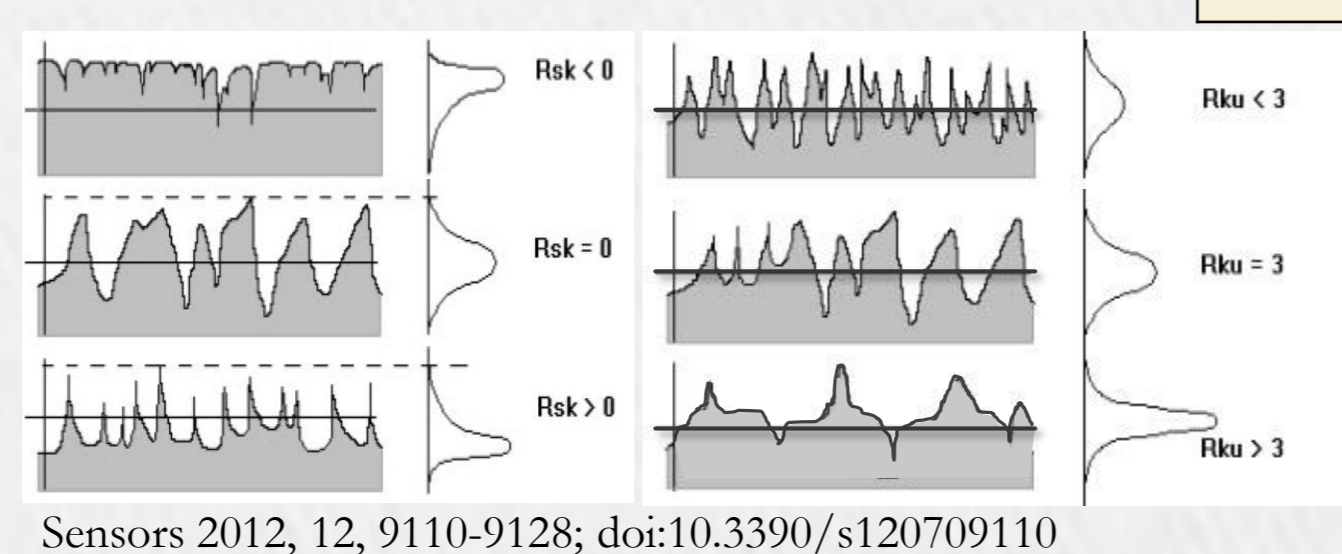
Dentro de la metrología de superficies se miden los desvíos en relación a la línea de referencia media (\bar{a}). La rugosidad media aritmética (R_a), la rugosidad cuadrática media (RMS), parámetro más adecuado para describir la superficie en presencia de picos elevados y/o valles profundos, la distancia del punto más alto a la línea media (R_p), la distancia del punto más profundo a la media (R_v), la asimetría (R_{sk}) y la curtosis (R_{ku}) se presentan para cada superficie.

En este caso los parámetros de rugosidad describen mejor los cambios morfológicos, observándose un aumento en la rugosidad para la superficie con carie, que no se recupera completamente luego de los tratamientos.

La superficie con carie se muestra simétrica (R_{sk} cercano a cero) mientras que el diente sano y el infiltrado presentan R_{sk} positivo, indicando la presencia de colinas (siendo mayor en el último caso). La superficie remineralizada presenta R_{sk} negativo revelando la presencia de valles profundos. Los datos de curtosis (R_{ku}) no muestran variaciones considerables para las diferentes muestras



	(DS)	(DC)	(DRe)	(DIn)
\bar{a}	0.55 μm	1.80 μm	0.93 μm	1.56 μm
R_a	0.12 μm	0.36 μm	0.18 μm	0.31 μm
RMS	0.15 μm	0.46 μm	0.23 μm	0.39 μm
R_p	0.77 μm	2.06 μm	0.86 μm	1.64 μm
R_v	0.56 μm	1.80 μm	0.93 μm	1.56 μm
R_{sk}	0.22	0.03	-0.12	0.60
R_{ku}	0.48	0.86	0.23	0.58

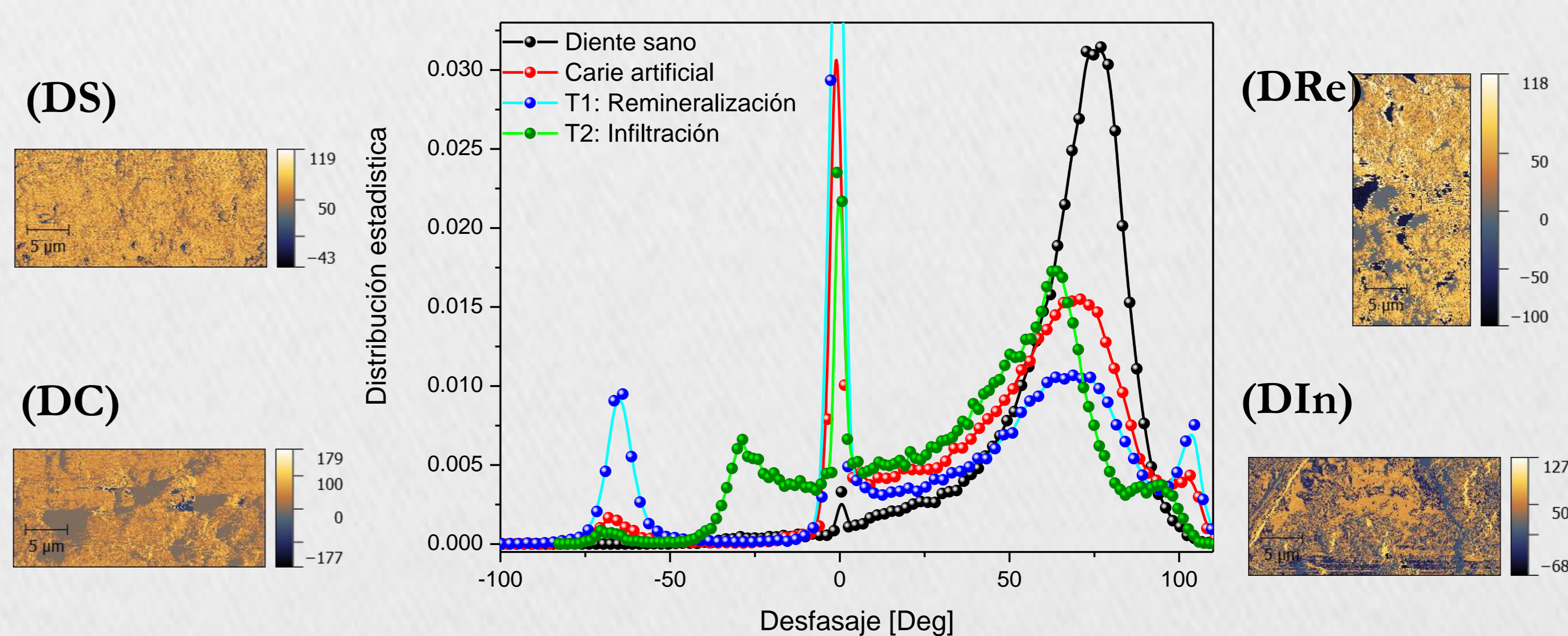


Imágenes de Fase (14μm x 30μm) de: superficie dental sana (DS), con carie artificial (DC), con tratamiento de remineralización (DRe) y con tratamiento de infiltración con resina (DIn) junto con los histogramas de distribución correspondientes.

La imagen de fase obtenida con la misma punta sobre diferentes muestras permite estimar características viscoelásticas y comparar a su vez variaciones entre las mismas.

El diente sano presenta una respuesta uniforme mientras que el diente con carie muestra regiones con diferentes propiedades mecánicas. El tratamiento de remineralización acentúa las diferencias encontradas en el diente con carie mientras que luego de la infiltración la superficie se observa heterogénea en sus características viscoelásticas aunque se diferencia de la superficie con carie artificial

Características viscoelásticas (Estudio de las imágenes de Fase)



Adhesión – (Espectroscopia de Fuerza y Modo contacto)

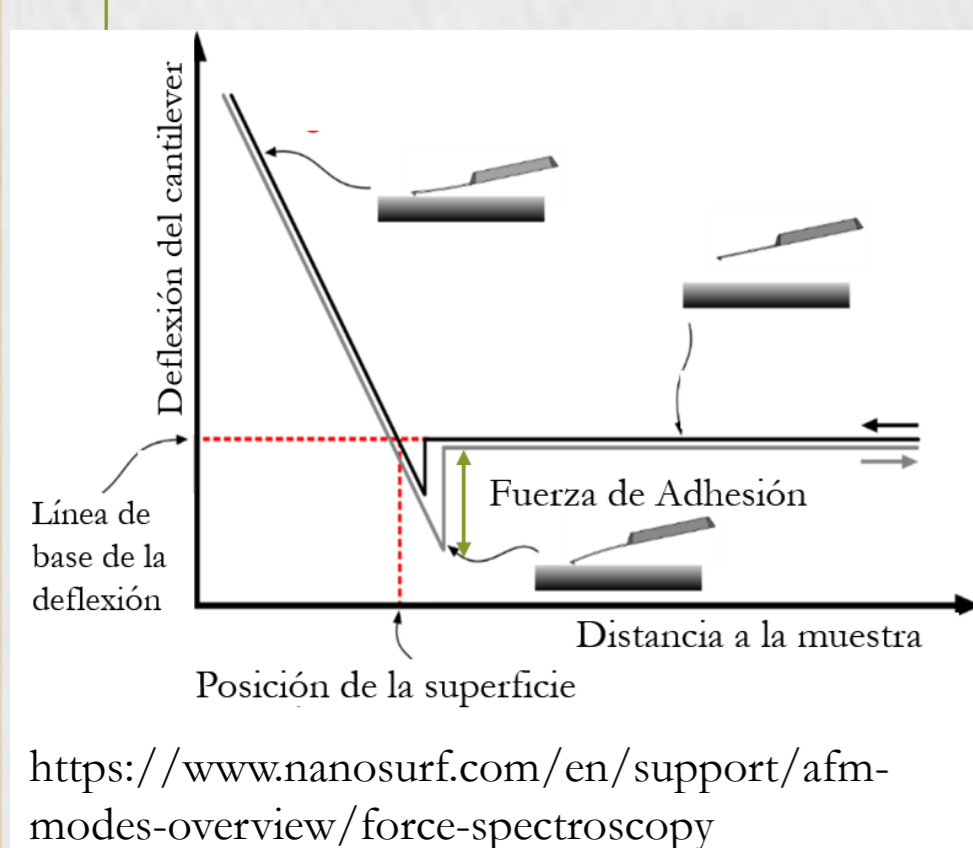
Fuerzas de adhesión entre la punta y la muestra:

$$F_{adh} = K \cdot x$$

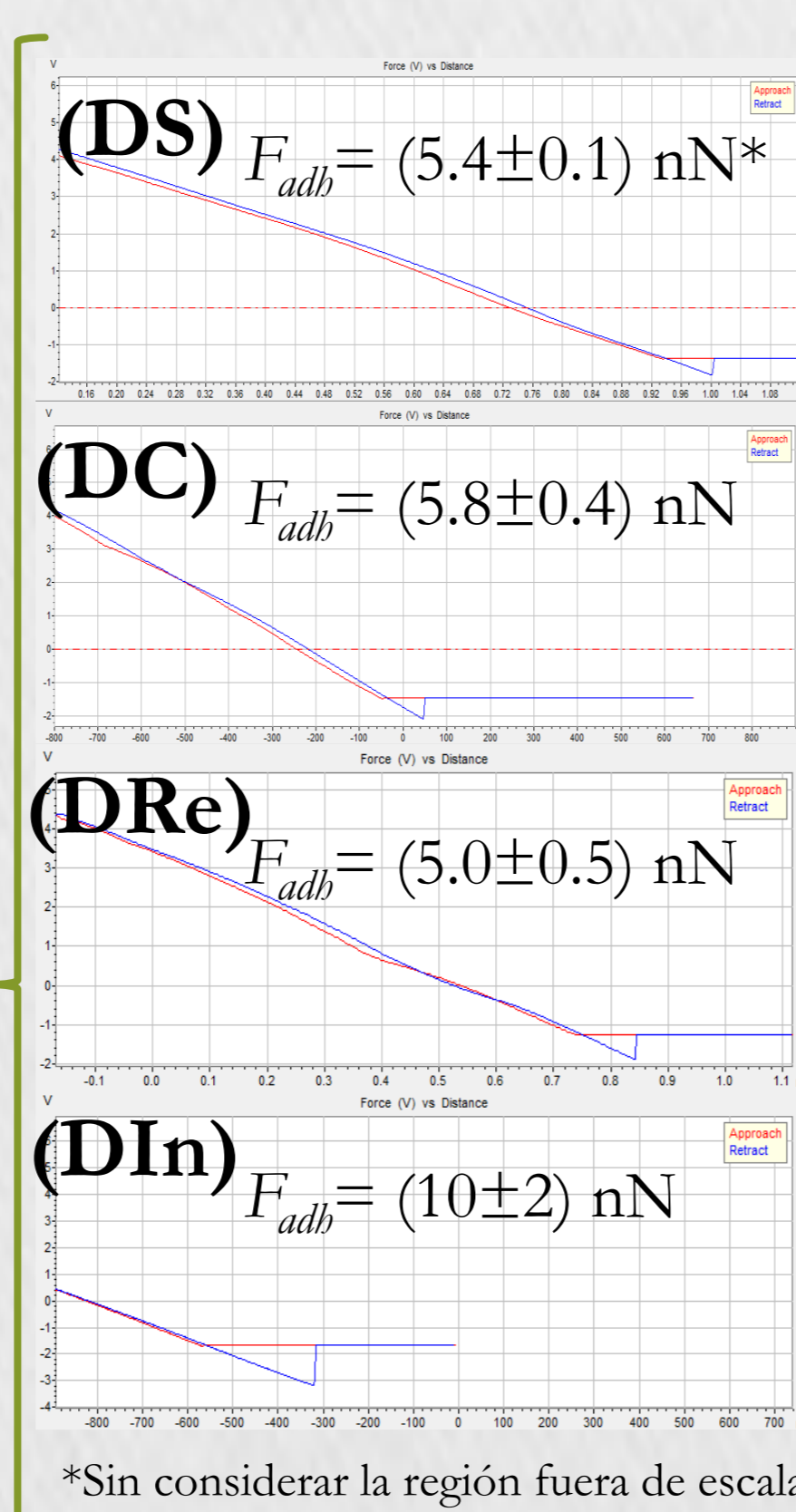
$$K = 0.2 \text{ nN/nm}$$

$$x = d(\text{div}) \times \frac{1V}{\text{div}} \times \text{Sens. de deflexión}$$

$$\text{Sens. de deflexión} = 15 \text{ nm/V}$$

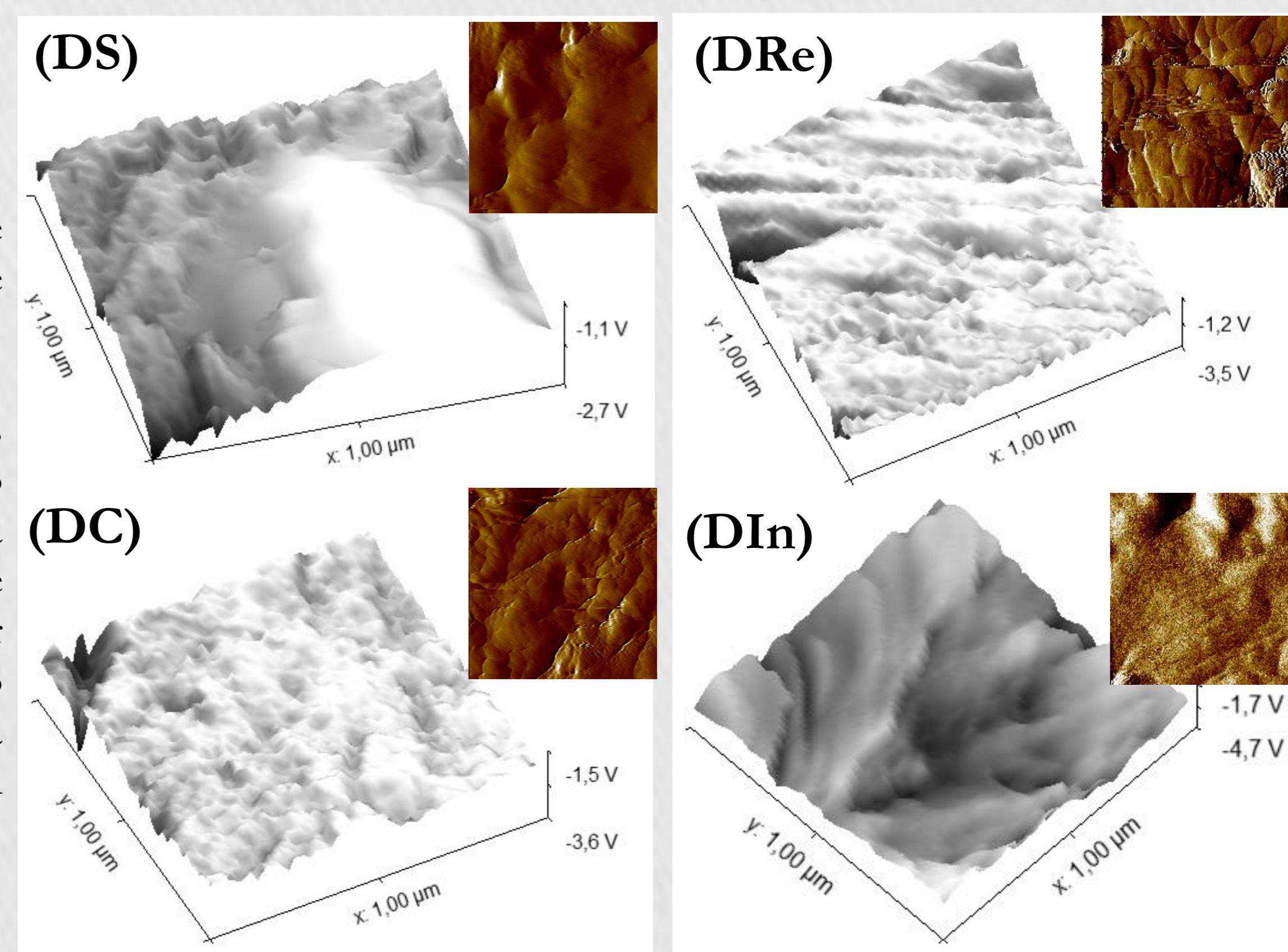


Valores promedios obtenidos luego del ajuste de curvas de fuerza tomadas a cada muestra



Mapeos de Fuerza (1μm x 1μm) junto con la correspondiente imagen de deflexión para S, C, Re e In.

Se observan inhomogeneidades en el mapeo de fuerzas que no reflejan del todo la topografía (Estimable según la imagen de deflexión que presenta mayor contraste en los bordes), estando probablemente relacionada a variaciones locales en la adhesión de la muestra.



Conclusiones

La aplicación de la técnica AFM en sus diferentes modos permite correlacionar variaciones en las propiedades de piezas restauradas por remineralización e infiltración con resina fluida modificada. Ambos tratamientos restauradores conducen a superficies de mayor rugosidad; observándose una mejor recuperación de las propiedades viscoelásticas esperadas para un diente sano luego de la infiltración, así mismo, para el mismo tratamiento se observaron a escalas menores grandes variaciones en la fuerza de interacción punta-muestra en el mapeo de fuerzas, acompañado a su vez con un incremento en la fuerza de adhesión respecto al diente sano.

Agradecemos la colaboración del Mg. M. Sainz Aja y el Prof. Dr. G. Molina, de la Catedra de Materiales Dentales y Biomateriales de la Fac. de Odontología, UNC