

## ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL DE DISOLUCIONES DE AGUA DESTILADA CON DIFERENTES COMPUESTOS EN TIEMPOS DE PANDEMIA

### STUDY OF THE VARIATION OF SURFACE TENSION OF DIFFERENT COMPOUNDS DISSOLVED IN DISTILLED WATER DURING THE COVID PANDEMIC

WILLY DANIEL AYALA CABRERA[1]<sup>†</sup>, EDDY CRISTIAN ZABALA ARIAS[2]<sup>‡</sup>, & NATALIA ESTEFANIA FAREL HERVAS[3]<sup>\*</sup>

Carrera de Física, Universidad Mayor de San Andrés  
Campus Universitario, c. 27 Cota-Cota, Casilla de Correos 8635  
La Paz - Bolivia  
<https://doi.org/10.53287/npqk4918je36n>

#### RESUMEN

Se desarrolla un estudio de la variación de la tensión superficial del agua destilada provocada por alcohol, sal y saponina en diferentes concentraciones y mezclas. Como consecuencia de las dificultades causadas por la pandemia se elaboró el estudio de manera que sea viable realizarlo en casa; se utiliza el método de Du Nouy a partir de una balanza y un dinamómetro como sistemas de medición. Los dos sistemas de medición fueron construidos con materiales recolectados en el hogar y comprados en librerías o ferreterías. Se observó que, en el caso del alcohol y de la saponina, la tensión superficial disminuye y que en el caso de la sal y de la mezcla de saponina y sal, primero disminuye y luego aumenta. Con el sistema del dinamómetro se observa un error de 11.3 % y se consiguió más precisión con el sistema de la balanza con un error de 1.2%.

*Descriptor:* Tensión superficial y fenómenos relacionados — polímeros y soluciones poliméricas — experimentos y aparatos de demostración.

Código(s) PACS: 68.03.Cd, 47.57.Ng, 01.50.My

#### ABSTRACT

A study of the variations in the surface tension of distilled water caused by alcohol, salt and saponin in different concentrations and mixtures is carried out. As a consequence of the difficulties arising from the pandemic, the study was elaborated in such a way as to make it feasible to realise at home. The Du Nouy method was applied, using a balance and a dynamometer as measuring systems, which were assembled with materials collected at home and purchased in book or hardware stores. It was observed that in the case of alcohol and saponin the surface tension decreases and that in the case of salt and a mixture of saponin and salt, it first decreases and then increases. Precise measurements of the systems were obtained with percentage errors of 11.3 % and 1.2 % for the dynamometer and the balance, respectively.

*Subject headings:* Surface tension and related phenomena — polymers and polymer solutions — demonstration experiments and apparatus.

#### 1. INTRODUCCIÓN.

En los líquidos, la tensión superficial es un fenómeno que se puede visualizar como si en la superficie (entre el líquido y el aire) se encontrase una membrana imaginaria muy fina, causando una fuerza opuesta al movimiento en objetos que la atraviesan. Para poder percibir el fenómeno es necesario pasar un objeto muy lentamente o que el objeto

tenga poca masa. Por ejemplo, la tensión superficial causa que el insecto “Zapatero” pueda desplazarse en la superficie del agua según Diaz (2008).

La tensión superficial es una consecuencia del desequilibrio de las fuerzas intermoleculares en la superficie de los líquidos. La fuerza de cohesión entre las moléculas en la superficie se encuentra en desequilibrio en dirección hacia el interior del líquido, puesto que, las moléculas de aire producen una fuerza casi imperceptible con relación a las del agua, por tanto, el líquido manifestará una oposición al desequilibrio tratando de reducir su superficie, esta oposición está dada como la fuerza de cohesión por unidad de longitud y este valor se llama tensión superficial.

[1]<https://orcid.org/0000-0002-5848-9166>

[2]<https://orcid.org/0000-0002-9070-6554>

[3]<https://orcid.org/0000-0003-1559-9901>

<sup>†</sup>Email: wayalac@fcpn.edu.bo

<sup>‡</sup>Email: ezabalaa@fcpn.edu.bo

<sup>\*</sup>Email: nfarelh@fcpn.edu.bo

Una de las pioneras en el estudio de la tensión superficial más reconocidas es Agnes Luise Wilhermine Pockels (1862-1935). Una científica que, según cuenta el químico industrial López (2015), tuvo dificultades para ser tomada en cuenta y que publicaran su investigación. Fue gracias a una carta de Lord John William Strutt, tercer barón Rayleigh, que la investigación de Pockels recibiera la aceptación de la revista *Nature*, para su posterior publicación en 1891 bajo el título “Surface Tension”. Pockels dedicó la mayor parte de su vida a ser ama de casa por lo que realizó sus sistemas de medición con materiales que se encuentran en el hogar, desarrollando así “La Cubeta de Pockels” para medir la tensión superficial de algunas sustancias como aceites, jabones y detergentes.

En el artículo “La vida científica en plena pandemia por coronavirus” de Martínez-Campos (2020) se menciona que los centros de investigación alrededor del mundo estuvieron cerrados o limitados por un tiempo considerable retrasando su labor. Por esta razón, se toma como motivación el esfuerzo y diligencia manifestado en el trabajo mencionado de Agnes Pockels y partiendo de las propuestas presentadas en una práctica de laboratorio, asignadas en clases virtuales; se desarrollan en este artículo dos sistemas de medición para calcular la tensión superficial, contruidos esencialmente de materiales que se encuentran en el hogar.

El método de du Nouy fue diseñado por Pierre Lecomte du Nouy. Para utilizar este método se construirán dos sistemas de medición con una rosca de cuaderno, una polea y un vaso de plástico; estos se unirán y, con el método mencionado, serán las herramientas utilizadas para calcular la tensión superficial. Para verificar los datos obtenidos, se calculará inicialmente la tensión superficial del agua para comparar con el valor de referencia de  $0.074 \text{ N/m}$  a  $14^\circ \text{ C}$  de Pablo (2012).

El objetivo es comprender como varía el comportamiento de la tensión superficial del agua a medida que se vayan aumentando diferentes compuestos, también estudiar los puntos en los que se observan cambios drásticos y que toman un valor constante en un litro. Los compuestos serán alcohol etílico, una mezcla de agua y sal (simulando así agua de mar) y una mezcla de agua y saponina (glucósido proveniente de la quinua que tiene propiedades muy parecidas a las de un jabón). Estos compuestos serán los mencionados tensoactivos.

Se explicará la teoría detrás de la tensión superficial, los valores esperados del agua añadiendo diferentes compuestos tensoactivos y el método por el cual se calculará la tensión superficial a través de dos sistemas de medición basados en un dinamómetro y una balanza.

Adicionalmente se describirá la construcción de los dos sistemas de medición, su calibración y la perspectiva en la enseñanza de la física. Se indicará cómo se realizó el experimento y sus resultados, para analizar las gráficas obtenidas, los valores constantes calculados, y finalmente discutir las

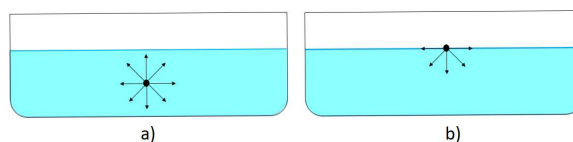


FIG. 1.— a) Equilibrio de fuerzas intermoleculares en todas las direcciones en un punto dentro de un líquido. b) Fuerzas intermoleculares en un punto en la superficie que no se encuentran en equilibrio.

recomendaciones necesarias y las motivaciones futuras.

## 2. TEORÍA Y RESULTADOS ESPERADOS

En la parte central de un recipiente de vidrio lleno de cualquier líquido, existe un equilibrio entre las fuerzas en todas las direcciones. Es decir, que para cada fuerza hay otra que es paralela y de sentido contrario que se cancelan por tener las mismas magnitudes, Fig. 1 a). El problema se presenta cuando el punto de estudio está justo en la superficie entre el líquido y el aire, Fig. 1 b)

Las fuerzas intermoleculares no se encuentran en equilibrio debido a que las moléculas del aire no provocan fuerzas de cohesión considerables, en consecuencia, se presenta la tensión superficial como una tendencia del líquido a reducir su superficie para buscar el equilibrio. Por esta razón los objetos que pasan de un medio a otro sienten una oposición a su movimiento en un intento del líquido a no aumentar el área de su superficie por la deformación que causa el objeto. La tensión superficial se cuantifica como la fuerza necesaria para romper las fuerzas de cohesión del líquido y dar lugar al aumento de área.

Con la información disponible de las propiedades de los tensoactivos que se utilizarán, se plantean los siguientes comportamientos esperados:

- El alcohol tiene fuerzas de cohesión más débiles que las del agua por lo que, al añadir gradualmente esta sustancia, las fuerzas de cohesión netas disminuirán. Este efecto causara una reducción en el valor de la tensión superficial hasta llegar a un valor constante dada la saturación de la mezcla.
- Si al agua se le aumenta progresivamente una concentración de agua y sal debería presentar un ascenso gradual de su tensión superficial (Zhang & Carloni 2012).
- Se espera que la tensión superficial del agua cuando interactúe con la saponina provoque un comportamiento de descenso de la tensión superficial debido a sus características parecidas al de una sustancia jabonosa (Böttger et al. 2012). La saponina tiene una cierta dificultad para mezclarse con el agua, por ese motivo, se realizará una concentración de agua y saponina por separado para un correcto estudio.
- La sal altera el tiempo de vida media de la espuma que se forma por la interacción entre el agua y la saponina, reduciéndolo (do Canto

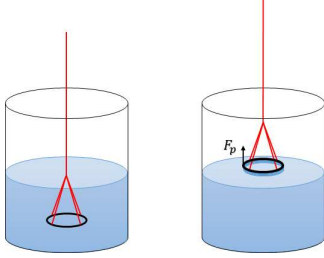


FIG. 2.— Método de Du Nouy con un anillo de metal para calcular la tensión superficial.

et al. 2010). Se espera que al principio la tensión superficial disminuya por la saponina y después de un cierto tiempo la disminución se detenga.

### 3. METODOLOGÍA.

#### 3.1. Cálculo de la tensión superficial con el método de Du Nouy.

El método de Du Nouy consiste en medir la fuerza que siente un aro de metal al salir de un líquido, Fig. 2, y así calcular el valor de la tensión superficial con la ecuación:

$$\sigma_s = \frac{F_d - F_p}{2l}. \quad (1)$$

donde  $F_d$  es la magnitud de la fuerza que siente el aro al salir del agua,  $F_p$  es la magnitud del peso del aro,  $l$  es el perímetro del aro y  $\sigma_s$  es el valor de la tensión superficial. Para que la ecuación 1 no dependa del perímetro, si no del diámetro del se utilizará la siguiente ecuación:

$$l = \pi d. \quad (2)$$

donde no se tomará en cuenta el grosor del aro.

Se reemplaza la ecuación 2 en la ecuación 1 y se obtiene:

$$\sigma_s = \frac{\Delta F}{2\pi d}. \quad (3)$$

donde,  $d$  es el diámetro del aro.

#### 3.2. Sistema de medición con un dinamómetro

Para calcular la tensión superficial con el primer sistema de medición se iniciará con el cálculo de la constante de elasticidad  $k$  de un resorte por medio de la ley de Hooke tomando en cuenta solo un eje de movimiento.

$$F_R = kx. \quad (4)$$

donde  $F_R$  es la magnitud de la fuerza que deforma el resorte,  $k$  la constante elástica y  $x$  es la variación que experimenta su longitud. De donde se despeja de la ecuación 4 la constante elástica  $k$ .

$$k = \frac{F_R}{x}. \quad (5)$$

La fuerza que deformará al resorte es la del peso de un vaso de plástico con agua, Fig. 3. Por tanto, la ecuación 6 se convierte en:

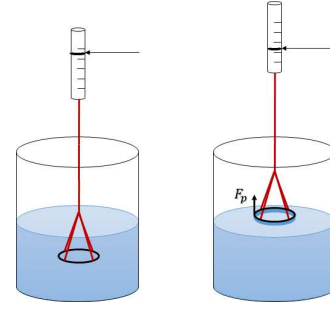


FIG. 3.— Método de Du Nouy con el dinamómetro

$$k = \frac{mg}{x}. \quad (6)$$

donde  $m$  es la masa del vaso con agua,  $g$  la aceleración de la gravedad en La Paz es de  $9.775 \text{ m/s}^2$  según Ticona-Bustillos & Ramírez-Ávila (2010).

Una vez hallada la constante  $k$ , de la ecuación 4 se despeja  $x$ :

$$x = \frac{F_R}{k}. \quad (7)$$

donde  $x$  es la distancia entre los puntos de referencia para calibrar el dinamómetro la cual se hallará variando la fuerza deformadora y encontrar valores de distancia equivalentes a la fuerza de deformación.

Para este sistema de medición se usará la siguiente variante de la ecuación 3 para hallar la tensión superficial.

$$\sigma_s = \frac{F_d - F_p}{2\pi d}. \quad (8)$$

donde  $F_d$  es la medición del dinamómetro al momento que sale el aro del agua y  $F_p$  es el peso del aro, Fig. 4.

#### 3.3. Sistema de medición con una balanza.

Para construir un sistema de medición basado en una balanza se necesitará de la masa del agua que calcularemos dada la siguiente relación:

$$m = \rho V. \quad (9)$$

donde  $m$  es la masa,  $V$  el volumen y  $\rho$  es la densidad del agua cuyo valor es  $1 \text{ g/ml}$ . De manera que se obtengan valores de masa y simular una balanza.

Para el segundo sistema de medición se usará la siguiente variante de la ecuación 3:

$$\sigma_s = \frac{\Delta mg}{2\pi d}. \quad (10)$$

donde  $\Delta m$  es el cambio de masa en el vaso para que el aro salga del líquido, Fig. 4 y  $g$  es la aceleración de gravedad de La Paz.

## 4. DESCRIPCIÓN EXPERIMENTAL

Para construir los dos sistemas de medición se necesita de una varilla de metal de 40 cm, una hoja blanca, una rosca de plástico de cuaderno tamaño

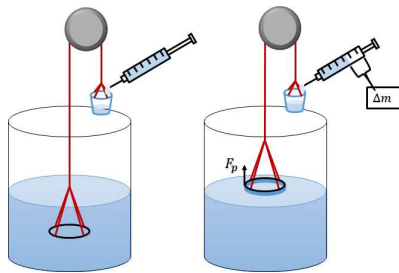


FIG. 4.— Método de Du Nouy con una balanza

carta (resorte), alambre de hierro galvanizado, silicona, cinta adhesiva, alicata, tijeras, estilete, hilo, vasos de plásticos de 2 gramos, una regla de 30 cm ( $\pm 0.1$  cm), un vernier ( $\pm 0.01$  cm), dos jeringas (0.1 ml), una polea, y un soporte.

Para la construcción del aro se corta de 70 cm de alambre de hierro y, con ayuda de un objeto circular y un alicata, se moldea el alambre cortado hasta conseguir la forma aproximada de un aro. Ahora, se realizan cuatro agujeros en los vasos de plástico, se ata un hilo en cada agujero y se unen mediante un nudo haciendo coincidir el mismo con el eje central del vaso.

#### 4.1. Construcción del dinamómetro

Se pega con silicona dos hojas blancas alrededor de una varilla metálica y se coloca la rosca de cuaderno cortada en 15 cm (de tal forma que el resorte abrace a la varilla sin tocarla) sujetándola con cinta adhesiva de uno de sus extremos que pasará a ser el extremo superior. Luego, se sujeta la varilla (por el lado correspondiente al extremo superior del resorte) a una altura que permita que el dinamómetro quede suspendido en el aire y con un lápiz se marca en el papel una línea en el extremo inferior del resorte para tener el punto cero de referencia.

Se ata, con un hilo, el nudo del vaso al extremo inferior del resorte. Se procede a variar la masa del vaso añadiendo agua por medio de la jeringa, tomando en cuenta la ecuación 9. Primero se añade una masa de 3 g, para que en conjunto con la masa del vaso tengamos una masa inicial de 5 g y luego se aumenta 5 g progresivamente. En cada aumento de masa se coloca una marca con lápiz sobre el papel a la altura del extremo inferior del resorte y al finalizar se mide con una regla la distancia entre el punto inicial y cada una de las marcas. Se repite el proceso 5 veces y con los datos obtenidos se calcula la constante  $k$  por medio de la ecuación 6.

Para tener los puntos de referencia se reemplaza la constante de  $k$  en la ecuación 7 y se procede a calcular valores de  $x$  variando  $F_r$  desde 0.01 N a 3 N subiendo progresivamente 0.01 N, obteniendo la relación entre cuanto distancia de deformación provoca una fuerza de 0.01 N. Con el valor de  $x$  se hicieron nuevas marcas borrando las anteriores logrando una precisión del dinamómetro de  $\pm 0.01$  N, Fig. 5 a).

Para terminar, se intercambia el vaso de plástico por el aro, de manera que la deformación del resorte nos indique el peso del aro en el aire.

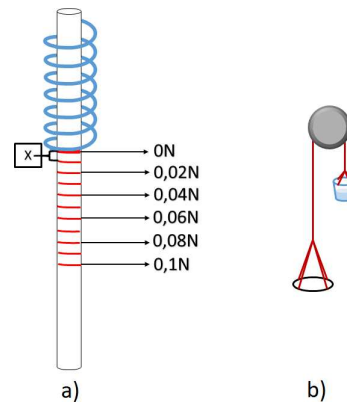


FIG. 5.— a) Calibración del dinamómetro casero. b) Representación de la balanza con un vaso de plástico.

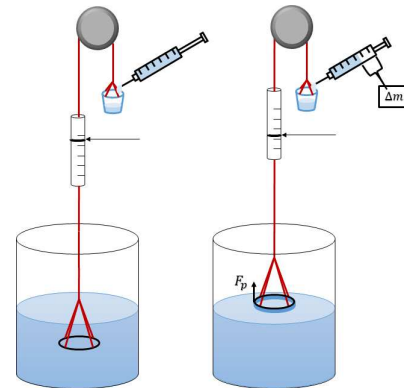


FIG. 6.— Calibración y recomendaciones de la unión de los sistemas

#### 4.2. Construcción de la balanza

Para hacer el sistema se utilizó un vaso de plástico, una jeringa y una polea. Se ata un hilo largo de masa despreciable al vaso y se lo hace pasar por la polea para sujetar el otro extremo al aro, finalmente sujetamos la polea al soporte mediante una nuez, Fig. 5 b).

Con la jeringa se agrega la cantidad de agua necesaria al vaso para que el sistema esté en equilibrio con el aro y queden suspendidos en el aire.

Luego se sumerge el aro en un recipiente con agua. Se aumenta lentamente una cantidad determinada de volumen de agua con la jeringa al vaso de plástico hasta que el aro suba y se separe de la superficie del agua. Con el valor del volumen se calcula la masa a partir de la ecuación 9 logrando una precisión de la balanza de  $\pm 0.1$  g.

#### 4.3. Unión de ambos sistemas.

Para unir ambos sistemas de medición se corta una parte del hilo que sostiene el aro del sistema de la balanza, se ata el hilo restante del aro al extremo inferior del resorte del dinamómetro y el hilo que conecta a la polea se ata al extremo superior de la varilla. Para balancear este nuevo sistema se añadirá más agua al vaso de plástico, Fig. 6. Este sistema permite tener dos mediciones simultáneamente.

TABLA 1  
DESCRIPCIÓN DE LAS MEZCLAS DE LOS TENSOACTIVOS  
REALIZADAS

Mezcla	Descripción
Mezcla 1	200 ml de agua destilada y 7 g de sal (cloruro de sodio)
Mezcla 2	200 ml de agua destilada y 4 g de saponina

#### 4.4. Calibración y recomendaciones del sistema acoplado

Para empezar la calibración del primer sistema de medición se calculó la constante  $k$  obteniendo un valor de  $(3.13 \pm 0.02)$  N/m, seguidamente se calculó la distancia  $x$ , encontrando que cada 0.032 cm equivalen a 0.01 N.

Para la calibración de la unión de los dos sistemas se mide el volumen de agua que agregamos en el vaso, que permite el equilibrio entre los dos lados de la polea obteniendo un valor de 51.0 ml.

Se recomienda que cada 10 datos realizados se cambie el agua del vaso. Esto se debe a que las mediciones son muy sensibles, por tanto, una gota de agua que salga del vaso o la jeringa fuera del sistema causa serias variaciones en las mediciones.

La tensión superficial tiene dependencia con la temperatura, las condiciones del medio y las propiedades de cada líquido (Servín 2019). Así que, en la toma de datos se trabajó manteniendo el agua a una temperatura constante de 14 °C comprobando con un termómetro, condiciones del medio iguales en cada prueba y agua destilada.

#### 4.5. Obtención de datos.

Se mide el diámetro del aro con la regla y se obtiene  $0.1070 \pm 0.0002$  m y el peso con el dinamómetro y se obtiene  $0.07 \pm 0.01$  N. Para confirmar este último valor, se mide la masa del aro en la balanza dando 7 g, por tanto, el peso del aro es de aproximadamente 0.07 N.

Se coloca 1 litro de agua destilada en un recipiente de vidrio pyrex. Luego, el aro se sumerge en el agua y se lo suelta hasta que el sistema quede totalmente inmóvil.

Debido a la dificultad de colocar directamente los compuestos para al agua se diluyen con una batidora los tensoactivos como se describe en la Tabla 1 y lograr concentraciones homogéneas y variaciones consistentes de la tensión superficial.

Se añade lentamente agua (mililitro en mililitro) al vaso hasta que el aro salga del recipiente. En ese instante, se toman los datos que dieron el dinamómetro ( $F_d$ ) y la jeringa ( $\Delta m$ ) que se utilizó para colocar el agua. Se repite este proceso 5 veces, obteniendo 5 datos por cada sistema.

Ahora se aumentan los compuestos. Primero se aumenta 5 ml de alcohol en el recipiente y se hace la medición de  $F_d$  y ( $\Delta m$ ), se repite la operación aumentado 5 ml y así sucesivamente hasta añadir un total de 100 ml, midiendo de la misma forma para cada uno. Este proceso se repite 5 veces, logrando 25 datos por cada sistema para cada aumento progresivo de alcohol.

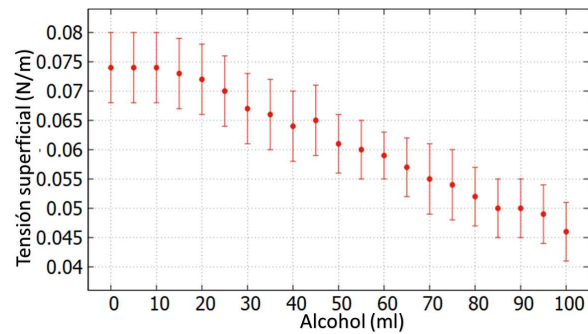


FIG. 7.— Variación la tensión superficial (N/m) a medida que se aumenta alcohol (dinamómetro).

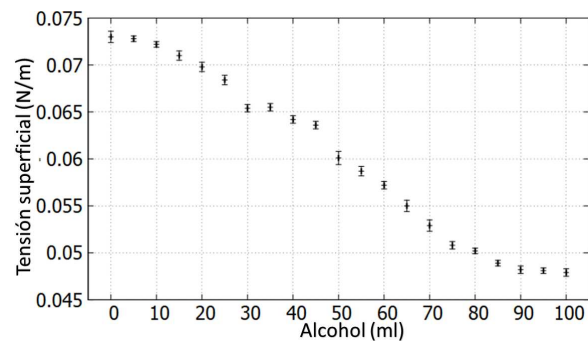


FIG. 8.— Variación de la tensión superficial (N/m) a medida que se aumenta alcohol (Balanza).

Se lava el recipiente de vidrio y se coloca 1 litro de agua destilada. Después, se repite el mismo proceso de medición, solo que ahora aumentado la Mezcla 1 de 10 ml en 10 ml hasta llegar a los 200 ml.

Se le aumenta progresivamente 5 ml de la Mezcla 2 al mismo recipiente con agua y la Mezcla 1, hasta llegar a un total de 80 ml. Se repite el mismo proceso de mediciones.

Se lava el recipiente de vidrio y se coloca 1 litro de agua destilada. Finalmente, se repite el mismo proceso de mediciones aumentando progresivamente 5 ml de un segundo preparado de Mezcla 2 hasta un total de 80 ml.

## 5. RESULTADOS.

Se calculó la tensión superficial a partir de los datos obtenidos del sistema ( $F_d$  y  $\Delta m$ ), el diámetro del aro (0.1070 m), el peso del aro (0.07 N) y las ecuaciones 8 y 10.

El primer conjunto de datos corresponde a la tensión superficial del agua y se utilizó para comparar los dos sistemas mostrando la cercanía con el valor de referencia, encontrando como valores  $(0.074 \pm 0.006)$  N/m para el dinamómetro y  $(0.0730 \pm 0.0006)$  N/m para la balanza.

El segundo conjunto de datos corresponde al aumento gradual del alcohol. Se puede ver en la figura 7 la tensión superficial calculada a partir del dinamómetro y en la figura 8 la tensión superficial calculada a partir de la balanza, en ambas figuras se observa que la tensión superficial disminuye.

Se encontró que la tensión superficial del agua toma un valor constante cuando se añade entre 90



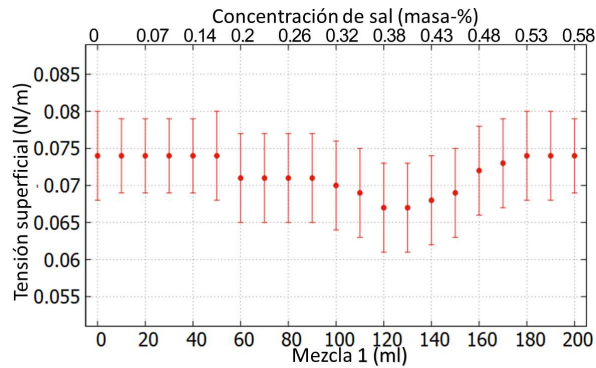


FIG. 9.— Variación de la tensión superficial (N/m) a medida que se aumenta la Mezcla 1 (dinamómetro).

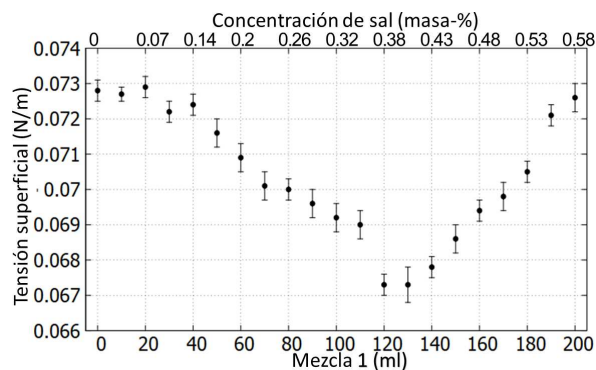


FIG. 10.— Variación de la tensión superficial (N/m) a medida que se aumenta la Mezcla 1 (Balanza).

a 95 ml de alcohol, adquiriendo un valor de  $0.046 \pm 0.005$  N/m según el dinamómetro y  $0.0479 \pm 0.0004$  N/m según la balanza.

El tercer conjunto de datos corresponde al aumento gradual de la Mezcla 1 en el agua. Se puede ver en la Fig. 9 la tensión superficial calculada a partir del dinamómetro y en la Fig. 10, a partir de la balanza, en ambas figuras se observa que la tensión superficial disminuye y luego aumenta hasta un valor similar al inicial.

Se encontró en la Fig. 9 que la tensión superficial del agua cuando se añaden entre 120 y 130 ml, llega a un valor mínimo de  $0.067 \pm 0.006$  N/m, y luego asciende hasta un valor constante de  $0.074 \pm 0.005$  N/m a los 190 ml.

En la Fig. 10 se observa que la tensión superficial del agua, cuando se añaden entre 120 y 130 ml, llega a un valor mínimo de  $0.0673 \pm 0.0003$  N/m, y luego asciende hasta un valor constante de  $0.0721 \pm 0.0003$  N/m a los 190 ml.

El cuarto conjunto de datos corresponde al aumento gradual de la Mezcla 2 al agua con la Mezcla 1, Fig. 11 y 12), en ambas figuras se observa que la tensión superficial disminuye y luego aumenta.

En la Fig. 11 la tensión superficial del agua, cuando se añaden entre 30 y 35 ml, llega a un valor mínimo de  $0.059 \pm 0.004$  N/m, y luego asciende hasta un valor constante de  $0.065 \pm 0.006$  N/m entre los 50 y 55 ml.

Y en la Fig. 14 que la tensión superficial del agua, cuando se añaden entre 30 y 35 ml, llega a un valor

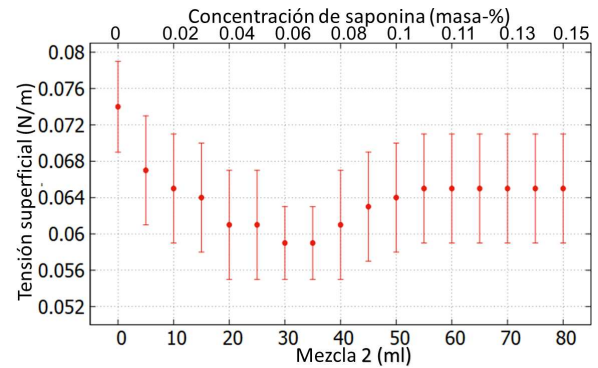


FIG. 11.— Variación de la tensión superficial (N/m) a medida que se aumenta la Mezcla 1 al agua con la Mezcla 2. (dinamómetro).

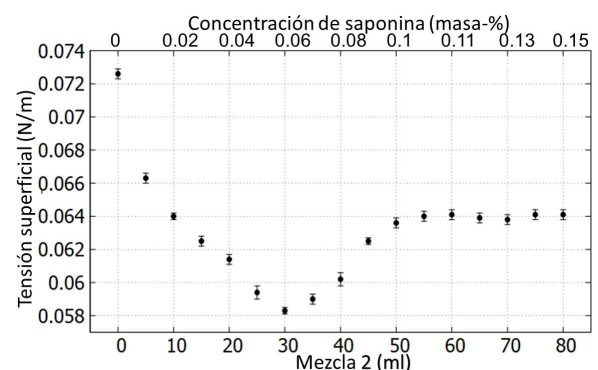


FIG. 12.— Variación de la tensión superficial (N/m) a medida que se aumenta la Mezcla 1 al agua con la Mezcla 2 (Balanza).

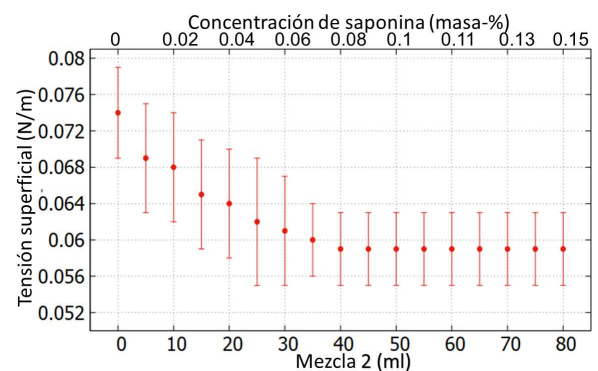


FIG. 13.— Variación de la tensión superficial (N/m) a medida que se aumenta la Mezcla 2 al agua. (dinamómetro).

mínimo de  $0.0590 \pm 0.0003$  N/m, y luego asciende hasta un valor constante de  $0.0640 \pm 0.0003$  N/m entre los 50 y 55 ml.

El quinto conjunto de datos corresponde al aumento gradual de la mezcla de agua con saponina, Fig. 13 y 14), en ambas figuras se observa que la tensión superficial disminuye.

En las Fig. 15 y 16 se tiene que la tensión superficial que la tensión superficial del agua toma un valor constante cuando se añade entre 40 a 45 ml de la Mezcla 2, adquiriendo un valor de  $0.059 \pm 0.004$  N/m según el dinamómetro y  $0.0584 \pm 0.0003$  N/m según la balanza.

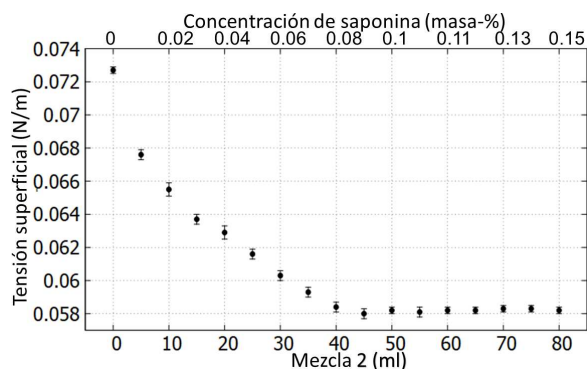


FIG. 14.— Variación de la tensión superficial (N/m) a medida que se aumenta la Mezcla 2 al agua. (Balanza).

## 6. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Los sistemas de medición construidos mayormente a base de materiales disponibles en casa o en librerías y ferreterías dio lugar a un estudio de la tensión superficial, que muestra un comportamiento claro y preciso.

El error más grande de las mediciones para el dinamómetro de  $\pm 0.007$  N/m y para la balanza de  $\pm 0.0007$  N/m, reflejando que, a pesar de las dificultades de realizar el estudio, el mismo dio resultados dentro de los errores aceptables a sus limitaciones con porcentajes de 11.3 % y 1.2 %, respectivamente.

Con la motivación de lograr el estudio de la tensión superficial impartida por Pockels, inicialmente se comprobó la eficacia del sistema midiendo la tensión superficial del agua, encontrando una discrepancia no significativa con respecto al valor de referencia. En las siguientes instancias se logró un estudio óptimo de la variación de la tensión superficial a causa de los compuestos observando el siguiente comportamiento:

-El alcohol disminuye el valor de la tensión superficial del agua hasta un valor constante.

-La sal causó que la tensión superficial del agua disminuyera y luego aumentara hasta un valor aproximado al inicial que se mantiene constante.

-La saponina con sal causó que la tensión superficial del agua disminuyera y luego aumentará hasta un valor menor al inicial que se mantiene constante.

-La saponina causó que la tensión superficial del agua disminuyera hasta tomar un valor constante.

Todos los comportamientos muestran una región de estabilización de la tensión superficial aproximándose a valores constantes, esto puede deberse a que el agua llega a un punto de saturación de los compuestos. Posteriormente se puede hacer una investigación más extensa con un mayor volumen de agua y aumentando los compuestos proporcionalmente, de esa forma, comparar con los resultados encontrados en este artículo y analizar si hay alguna dependencia del volumen, también tener una región más grande de estudio de los cambios de la tensión superficial antes que el agua se sature.

La literatura especializada nos dice que la sal provoca un aumento en la tensión superficial, comportamiento que no logramos visualizar en este estudio, sin embargo, la caída de tensión superficial podría ser a causa de una perturbación externa, como la temperatura, razón por la cual la tensión volvió a su valor original una vez que la perturbación cesó o tal vez inicio el aumento esperado de tensión superficial bajo estas nuevas condiciones.

En las Fig. 11 y 12 se observa que la tensión superficial debido a la saponina y a la sal tiene una magnitud de bajada muy parecida a la de las Fig. 13 y 14, correspondientes solo a la saponina, pero entre los 30 a 35 ml empieza a subir, donde, muestra una probable relación en la magnitud de subida con las Fig. 9 y 10, correspondientes solo a la sal; de manera que, inicialmente la saponina provoca la caída, pero después de que un cierto tiempo la sal provoca que la espuma de la saponina se reduzca, comportamiento que se pudo visualizar al realizar el experimento, provocando que la tensión superficial aumente. Efectos del flujo del agua también pueden estar involucrados.

Continuando con las recomendaciones y propuestas para experiencias futuras, se considera que los efectos del movimiento del agua son causantes de variaciones importantes, por lo que se propone reemplazar el recipiente rectangular por uno que tenga una simetría circular y así minimizar los efectos de borde.

Debido a que cualquier cambio brusco en el sistema causa errores en las mediciones, se recomienda tener cuidado con grietas o impurezas en el material de trabajo. También se recomienda que para una buena manipulación del sistema se debe verter el agua de forma lenta, si es posible de gota en gota, ya que su fuerza de caída puede llegar a variar las mediciones en la toma de datos.

Finalmente, los resultados del estudio cumplieron las expectativas con respecto al desarrollo de sistemas de medición que sean replicables o mejorables por estudiantes de física o de ramas afines y así reforzar su experiencia en la parte experimental en tiempos de pandemia, mostrando que con diligencia es posible realizar experimentos de esta magnitud. Además, se anima al lector a probar el mismo experimento con diferentes compuestos, consiguiendo una experiencia más extensa en el ámbito de la tensión superficial.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos a Flavio Ghezzi por su apoyo, enseñanza, paciencia en el trayecto de la realización de este artículo y por motivar a los futuros experimentadores, también agradecer a Santiago Herrera Sotomayor por proveer la saponina y el agua destilada, y a Kelly Mora y Cesar Cornejo por los consejos en la edición del artículo.

### Conflicto de intereses

Los autores declaran que no hay conflicto de intereses con respecto a la publicación de éste documento.

## REFERENCIAS

- Böttger S., Hofmann K., & Melzig M. F. 2012, *Bioorganic Medicinal Chemistry* **20**, 2822.
- de Pablo E. J. 2012, *Proyecto Fin de Carrera: Determinación Experimental de Tensión Superficial del Agua en Cámara Micro-Regional* (Universidad Carlos III de Madrid Escuela Politécnica Superior).
- Díaz J. C. 2008, *Simposio de Metrología* **1**, 6.
- do Canto G. S., Treter J., Yang S., Borré G. L. & Ortega M. P. 2010, *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences* **46**, 237.
- López C. T. 2015, <https://mujeresconciencia.com/2015/02/16/agnes-pockels-la-quimica-fisica-del-agua-de-fregar/>.
- Martínez-Campos M. 2020, <https://ellipse.prbb.org/es/la-vida-cientifica-en-plena-pandemia-por-coronavirus/>.
- Servín V. A. 2019, *Tesis de Grado para obtener el Grado de Maestro en Ciencia y Tecnología en Metrología* (Posgrado Interinstitucional en Ciencia y Tecnología).
- Ticona-Bustillos A. R. & Ramírez-Ávila G. M. 2010, *Revista Boliviana de Física* **17**, 3.
- Zhang C. & Carloni P. 2012, *Journal of Physics: Condensed Matter* **24**, 1.