

Samuel Ruiz Bobadilla

Desarrollo de una plataforma experimental para el estudio de la dinámica de formación de gotas de saliva y su impacto en enfermedades infecciosas

Trabajo de Fin de Grado

Dirigido por el Dr. Salvatore Cito

Dirigido por el Dr. Jordi Pallarès

Grado en Ingeniería Biomédica



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Tarragona

2022

ÍNDICE

1. Introducción

- 1.1. Objetivo principal
- 1.2. Planificación del trabajo
- 1.3. Por qué es importante este tema

2. Marco Teórico

- 2.1. Tensión superficial
 - 2.1.1. Técnicas de medida que se usan
- 2.2. Reología
 - 2.2.1. Técnica cono-plato
 - 2.2.2. Técnica plato-plato
 - 2.2.3. Técnica copa-cilindro
 - 2.2.4. Reómetro capilar
- 2.3. Viscosidad
 - 2.3.1. Tipos de viscosidad
 - 2.3.2. Tipos de viscosímetros

3. Metodología y materiales

- 3.1. Procedimiento y montaje experimental
 - 3.1.1. Montaje del espacio de trabajo
- 3.2. Materiales y equipos utilizados
 - 3.2.1. Mucina
 - 3.2.2. Cámara
 - 3.2.3. Nebulizador
 - 3.2.4. Láser
 - 3.2.5. Reómetro
 - 3.2.6. Tensiómetro de fuerza
 - 3.2.7. Matlab
- 3.3. Problemas encontrados durante el proceso

4. Hipótesis

5. Resultados y discusiones

- 5.1. Resultados de las pruebas con agua y elecciones de los parámetros de la cámara
- 5.2. Resultados de las pruebas con aroma
- 5.3. Resultados de las pruebas agua y surfactante
- 5.4. Resultados de las pruebas con agua y jabón
- 5.5. Resultados de las pruebas con agua y glicerina
- 5.6. Resultados de las pruebas con agua y goma xantana
- 5.7. Resultados de las pruebas con la saliva artificial

6. Conclusiones

7. Referencias

Abstract:

Debido a la actual pandemia en la que nos encontramos, la formación y expansión de las gotas y filamentos de saliva está trayendo graves consecuencias, ya que es la principal vía de contagio del virus SARS-CoV-2. En este trabajo, se desarrolla una plataforma experimental para averiguar como la tensión superficial y la reología de la saliva con diferentes concentraciones de mucina, afectan a la formación y al tamaño de las gotas.

Para validar la plataforma experimental, además de trabajar con saliva artificial, se han ido haciendo diferentes experimentos con otros compuestos tales como agua con surfactante o agua con goma xantana, para tratar de entender cómo las propiedades de los diferentes fluidos pueden afectar a su pulverización y dispersión.

Los resultados obtenidos acerca del tamaño de formación de gotas y filamentos han sido analizarlos para poder relacionarlos con la variación de la reología y la tensión superficial y poder obtener las conclusiones.

1. Introducción

1.1. Objetivo principal

El objetivo de este trabajo es desarrollar una plataforma experimental para determinar cómo las propiedades interraciales y la reología cómo afecta al tamaño de formación de aerosoles y gotas de saliva.

La saliva, es un fluido compuesto por proteínas, enzimas, productos nitrogenados, sustancias de bajo peso molecular, y en torno a un 99.5% de agua. Las proteínas salivales, incluyen la mucina, que es el compuesto en el que nos vamos a centrar.

Las gotas de saliva [1] se expulsan de forma inconsciente por la boca al hablar, toser, estornudar o respirar. Estas gotas pueden transportar diversos agentes patógenos como virus y bacterias, por lo que tan solo una gota puede iniciar y transmitir una infección.

Los aerosoles y gotas que generamos al hablar, toser o estornudar tienen tamaños que van desde unos pocos milímetros hasta micras [2], y dependiendo de su este, pueden sedimentarse en el suelo, lo que se denominan gotas, o pueden permanecer suspendidos en el aire durante horas, que se denominan aerosoles.

1.2. Planificación del trabajo

Este proyecto va a ser estructurado en dos partes. La primera consiste en estudiar la reología y la tensión superficial de la saliva artificial dependiendo de su concentración en mucina.

En la segunda parte, el objetivo es estudiar el tamaño de formación de las gotas de saliva artificial dependiendo de su concentración en mucina. Para ello, se ha utilizado un nebulizador que se encargará de expulsar la saliva artificial. Esta saliva, será iluminada con un haz de láser para posteriormente, captar con una cámara la formación de las gotas.

A continuación, mediante un código de Matlab, se tratará de calcular los diferentes tamaños de las gotas de las diferentes muestras de saliva dependiendo de la concentración de mucina.

1.3. Por qué es importante este tema

Las enfermedades transmitidas por el aire son causadas por microbios patógenos lo suficientemente pequeños como para ser expulsados de una persona infectada a través de la tos, los estornudos, la risa y el contacto personal cercano o la aerosolización del microbio. Los microbios descargados permanecen suspendidos en el aire sobre partículas de polvo, gotas respiratorias y de agua.

La COVID-19 es una de las tantas enfermedades infecciosas transmitidas por el aire con una rápida y silenciosa diseminación. La formación de aerosoles y gotas de saliva al hablar, toser y estornudar son el principal mecanismo de transmisión aérea [2]. Por lo tanto, hay que prestar mucha atención a la forma en la que se crean y se expanden los aerosoles y las gotas de saliva, para poder contener y combatir la transmisión del virus.

Con motivo de la pandemia de COVID-19 han surgido numerosos estudios experimentales sobre la vía de transmisión aérea mediante aerosoles. Estos son potencialmente peligrosos ya que, al mantenerse en materiales y superficies de contacto, pueden ser un vehículo de transmisión para la enfermedad.

La vía de transmisión aérea se ha postulado como una de las vías de transmisión más importante, ya que ha sido el motivo de la presentación de varios brotes [3].

2. Marco teórico.

2.1 Tensión superficial

La tensión superficial de un fluido es la tensión mecánica de cohesión de las partículas en su superficie exterior. Corresponde microscópicamente a la densidad superficial de energía de enlace en la interfaz entre dos fluidos inmiscibles. Esta tensión, es una propiedad de la superficie de los fluidos que le permiten soportar fuerzas externas. Un ejemplo para entenderlo sería cuando vemos un insecto que se mantiene sobre la superficie del agua, por ejemplo.

A nivel microscópico, las moléculas que están en la superficie de un líquido poseen una cantidad superior de energía en comparación con las que están en el interior. Cada una de estas moléculas, está rodeada por vecinas próximas que ejercen sobre ella fuerzas intermoleculares por cohesión.

Las fuerzas moleculares de las moléculas se ejercen en todos los sentidos y direcciones, por lo que la resultante es nula. Sin embargo, las moléculas del líquido en la superficie se encuentran rodeadas por arriba por otro tipo de moléculas. Cuando en el exterior existe un gas, como el aire, por ejemplo, la interacción entre ellas y las del líquido es despreciable, y existe una fuerza neta dirigida hacia el interior del líquido que se opone a que las moléculas superficiales del líquido escapen de su superficie. Esta fuerza lleva asociado un trabajo, que es el necesario para arrancar una molécula superficial, y, por tanto, una energía.

2.1.1 Técnicas de medida que se usan

Principalmente son dos las técnicas utilizadas, pese a que existen más [4]. Son las siguientes:

- **Método de la placa (Whihelmy):** Consiste en una placa de forma rectangular, suspendida verticalmente a una balanza de precisión. La parte inferior de la placa se coloca en contacto con la superficie del líquido a medir. A continuación, se ejerce una fuerza vertical sobre la placa para levantarla. La placa se va levantando poco a poco, y de cada lado se forma una interfase curva. La placa se va levantando hasta que se produzca el arranque. En la *Fig 1*, se puede apreciar el proceso.

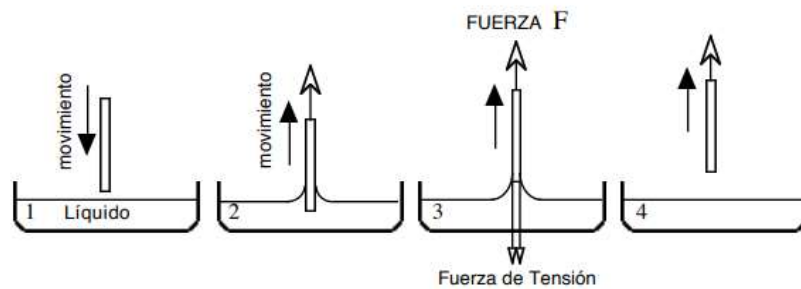


Fig 1, funcionamiento de la placa [4]

Normalmente, la placa es de platino ligeramente rugoso, para conseguir que el ángulo de contacto sea lo más pequeño posible.

Este aparato es muy versátil para medir tensiones superficiales de soluciones acuosas y permite obtener una reproducibilidad del orden de 2%.

- **Método del anillo (Nouy):** en este método se usa un anillo tórico suspendido horizontalmente de forma paralela a la superficie. Véase la Fig 2 para observar el anillo utilizado.

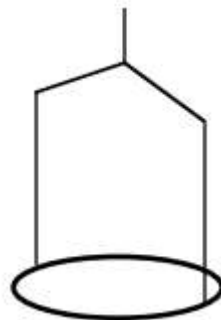


Fig 2, forma del anillo [4]

Para medir la tensión superficial, se procede como en el caso del método anterior. Primero se moja completamente el anillo y luego se levanta hasta el arranque [5]. En la Fig 3 se muestra el proceso.

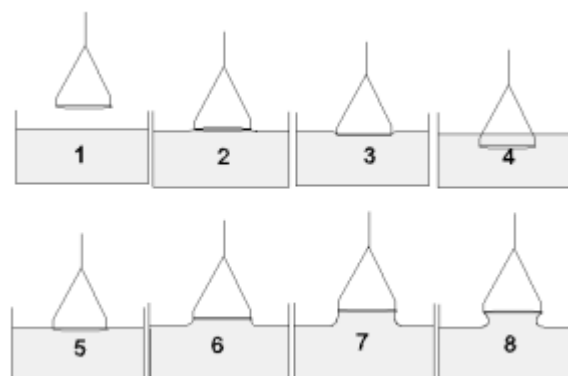


Fig 3, etapas de la determinación de la tensión superficial [5]

Sin embargo, en este caso, la situación es diferente, ya que la aplicación de la fuerza de tensión, varía a medida que se va sacando el anillo del líquido. También difiere en que una parte del líquido se queda colgando del anillo, produciendo así un efecto hidrostático. Véase la imagen 7 de la Fig x.

2.2 Reología

La reología [6] es una disciplina científica que se dedica al estudio de la deformación y flujo de la materia sometidas a fuerzas tangenciales o de cizalla y axiales. Por lo general, estas fuerzas se miden utilizando un reómetro.

Su objetivo está restringido a la observación del comportamiento de materiales sometidos a deformaciones muy sencillas, desarrollando posteriormente un modelo matemático para obtener las propiedades reológicas del material.

La clasificación de fluidos (Fig. 4) está dada por las diferentes características reológicas que pueden ser descritas a través del uso de un viscosímetro.

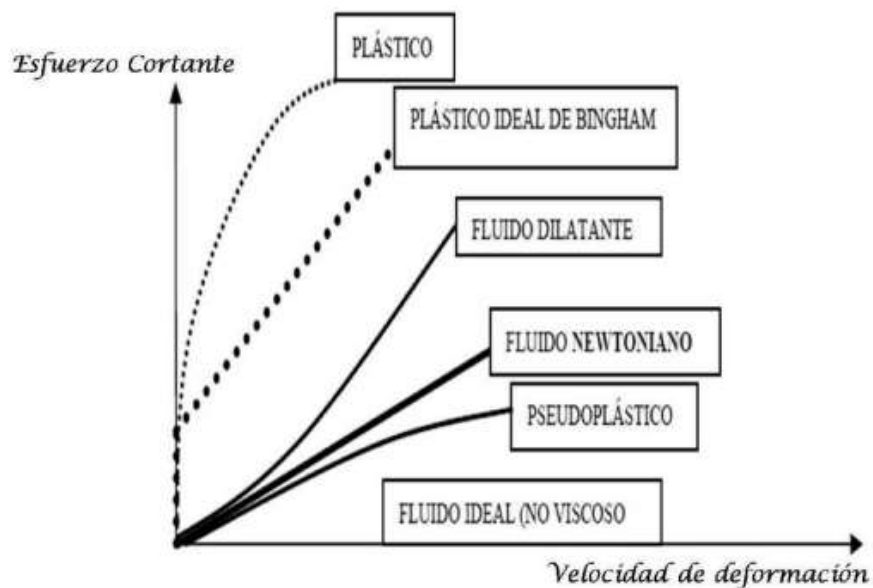


Fig 4, clasificación de fluidos [7]

Casi todos los reómetros se basan en la creación de capas de fluido bien controladas y relacionan con precisión el esfuerzo cortante aplicado con la velocidad de corte resultante. Hay diferentes tipos de reómetros, los cuales usan técnicas diferentes. A continuación, veremos cuales son las técnicas más utilizadas [8].

2.2.1 Técnica cono-plato

El líquido se cizalla entre un cono giratorio superior y una placa fija inferior (Flujo de Couette). La combinación de placa y cono corta uniformemente el líquido, obteniendo capas de fluido completamente horizontales (Fig 5)

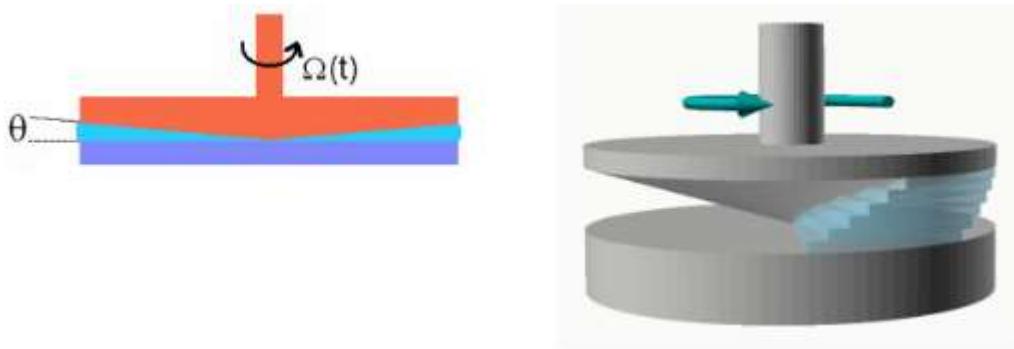


Fig 5, técnica cono-plato [8]

Una de las principales ventajas de este método es que se requiere un volumen de líquido de muestra muy pequeño, y mide a una tasa de corte muy bien definida y constante a lo largo del radio del cono.

Como desventaja, nos encontramos que no es un método óptimo cuando se miden líquidos o muestras que contienen partículas. Además, la evaporación puede tener un gran efecto.

2.2.2 Técnica plato-plato

El líquido se cizalla entre una placa giratoria superior y una placa fija inferior. El líquido se cizalla entre las dos placas de manera controlada, pero no uniformemente como si ocurría en la técnica cono-plato (Fig 6)

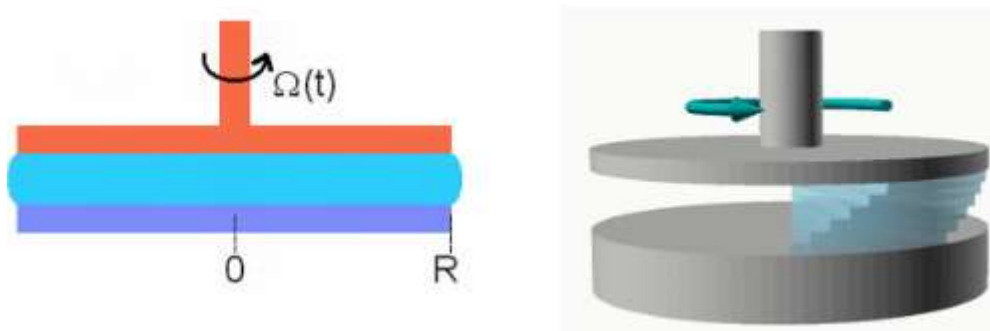


Fig 6, técnica plato-plato [8]

Un punto a favor de esta geometría en comparación con la de placa-cono es que puede medir muestras que contienen partículas.

Como contra, tenemos que el software del instrumento normalmente compensa los efectos variables de la medición de la velocidad de corte. Al igual que en la técnica anterior, la evaporación también puede tener un gran impacto.

2.2.3 Técnica copa-cilindro

En esta técnica, el líquido se cizalla entre el cilindro giratorio central y la copa fija. En este caso, las capas de fluido se convierten en cilindros concéntricos de modo que el esfuerzo cortante actúa sobre una gran superficie, en comparación con la geometría placa-cono por ejemplo (Fig 7).

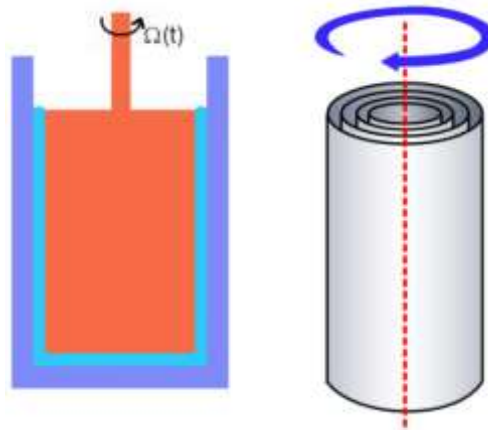


Fig 7, técnica copa-cilindro [8]

La gran ventaja de este método en comparación con los otros dos comentados anteriormente, es que esta técnica es más sensible cuando se mide en líquidos delgados. Además, el efecto de la evaporación es menor.

Como desventaja principal, encontramos que, para realizar una medición, necesitamos un gran volumen de la muestra.

2.2.4 Reómetro capilar

En este caso, se bombea la muestra a través de un tubo estrecho o capilar. La caída de presión sobre el capilar se mide a medida que se va bombeando la muestra. Debido a que el flujo capilar es suave y tranquilo (flujo laminar), las capas fluidas de los cilindros se deslizan a lo largo de su eje común. (Fig 8)

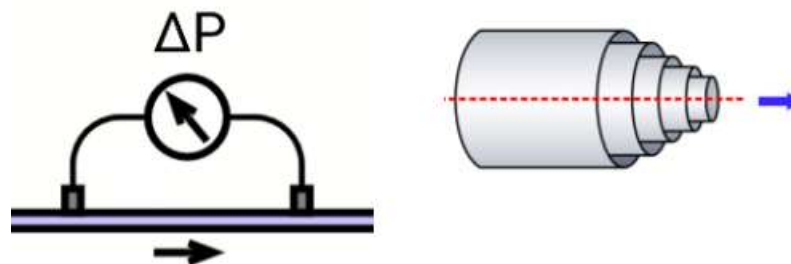


Fig 8, reómetro capilar [8]

La principal ventaja es que el flujo puede permitir un fácil y rápido intercambio de muestras. Además, como el sistema es cerrado, la evaporación no afecta.

La gran deformación de la muestra es la principal desventaja. Esto hace que se impida medir algunas características reológicas complejas.

2.3 Viscosidad

La viscosidad es una propiedad de los fluidos equivalente a la resistencia que ejercen ciertas sustancias para fluir y para sufrir deformaciones graduales como respuesta a tensiones cortantes o de tracción [9].

Todos los fluidos (excepto los que veremos a continuación) poseen viscosidad debido a las colisiones entre sus partículas, que se mueven a diferentes velocidades. Así, cuando el fluido es obligado a moverse, dichas partículas generan resistencia de fricción, retardando o incluso llegando a impedir el desplazamiento.

Solo hay un tipo de fluidos que no tienen viscosidad, y son los fluidos ideales o superfluidos [10], en los que la fricción es nula, es decir, que pueden fluir interminablemente ante la menor fuerza aplicada sin ofrecer resistencia. Un ejemplo de este tipo de fluidos sería el helio a muy bajas temperaturas.

Los fluidos newtonianos [10], en cambio, son aquellos que tienen una viscosidad constante, es decir, que no varía sin importar la fuerza que se le aplique al fluido. El agua y el aceite se comportan como fluidos newtonianos.

El ultimo tipo de fluidos son los no newtonianos, que se comportan como un tipo intermedio entre fluido y sólido, dependiendo de sus condiciones de temperatura y tensión cortante. Su viscosidad dependerá de las fuerzas que se ejerzan sobre él o de los cambios de temperatura a los que se sometan.

2.3.1 Tipos de viscosidad

Principalmente nos encontramos con la viscosidad dinámica y cinemática, aunque también se les pueden sumar la extensional y la aparente [9]. A continuación, veremos una breve explicación de ellas.

- Viscosidad dinámica: se entiende como la relación entre la velocidad de movimiento de las partículas y el esfuerzo cortante. Se mide en Pascales-segundo ($\text{Pa}\cdot\text{s}$). Este tipo de viscosidad es dependiente de la temperatura para los líquidos: a mayor temperatura, menor viscosidad.
- Viscosidad cinemática: en un fluido a temperatura constante, la viscosidad cinemática se calcula dividiendo la viscosidad dinámica entre la densidad del fluido. El resultado se expresa en metros cuadrados sobre segundo (m^2/s).

- Viscosidad extensional: viscosidad que presenta un fluido convencional frente a las fuerzas de tracción. Representa la relación entre esfuerzo y velocidad de deformación.
- Viscosidad aparente: es el resultado de la división del esfuerzo constante entre la velocidad de deformación del fluido.

2.3.2 Tipos de viscosímetros

Hoy en día, existe un gran número de métodos para conocer la viscosidad de un material [11]. La elección del método para determinar la viscosidad de un material depende de la precisión que se requiere. Vamos a ver brevemente cuales son los métodos más comunes:

- Viscosímetro capilar: es el tipo más empleado y el más antiguo. En este tipo de viscosímetros, un fluido es obligado a pasar a través de un tubo, observándose una distribución de velocidades en el tubo de tipo parabólico, de forma que la parte del fluido que está en contacto con las paredes del capilar tiene una velocidad nula, y la parte que se encuentra en el centro del tubo tiene una velocidad máxima (*Fig 9*).



Fig 9, viscosímetro capilar [11]

Las copas de inmersión son otro modelo de viscosímetros capilares. Ofrecen una medición rápida y aproximada y este método, es mayormente utilizado para evaluar la viscosidad de líquidos parecidos a la pintura. Se trata de una copa de acero inoxidable con un pequeño orificio perforado en la base. Son aparatos sencillos y no suelen ser muy precisos. (*Fig 10*).



Fig 10, copa de inmersión

Dentro de este tipo también nos encontramos con el viscosímetro capilar de vidrio, que es muy utilizado para medir viscosidades de fluidos

newtonianos o los viscosímetros de pistón o de extrusión, utilizados principalmente para medir la viscosidad de materiales muy viscosos.

- Viscosímetros de cuerpo móvil: en este tipo de viscosímetros, la movilidad de una esfera, burbuja o disco en el fluido da la medida de la viscosidad del fluido. Los más conocidos son los de caída de esferas, los cuales relacionan la viscosidad del fluido con la velocidad de caída.
- Viscosímetro de rotacional: permite determinar la viscosidad de líquidos no newtonianos a partir de la viscosidad de los esfuerzos aplicados. Para ello se utilizan diferentes métodos. El más común es el método Brookfield, cuya precisión depende de la velocidad del viscosímetro y del grado de viscosidad de las muestras. Los viscosímetros de rotación Brookfield funcionan aplicando fuerza a un disco o cono para que rote a una velocidad establecida.

Dentro de este tipo de viscosímetro, encontramos los de cilindros concéntricos, que constan de un cilindro exterior hueco y otro interior macizo. El movimiento de uno de ellos genera una cizalla en el líquido que este situado en el espacio anular (*Fig 11*).

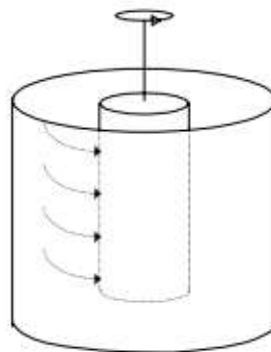


Fig 11, viscosímetro de cilindros concéntricos [11]

Los viscosímetros de placas paralelas son otro ejemplo de rotacionales. En este caso, el fluido se encuentra entre dos placas paralelas, la superior gira y la inferior permanece inmóvil (*Fig 12*).

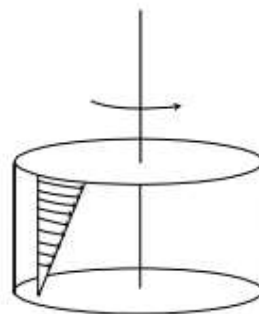


Fig 12, viscosímetro de placas paralelas [11]

Desarrollo de una plataforma experimental para el estudio de la dinámica de formación de gotas de saliva y su impacto en enfermedades infecciosas

El último modelo de viscosímetro rotacional es el de cono-placa. Su funcionamiento se basa en la cizalla presente en un líquido situado en el espacio comprendido entre un cono y una placa (*Fig 13*).

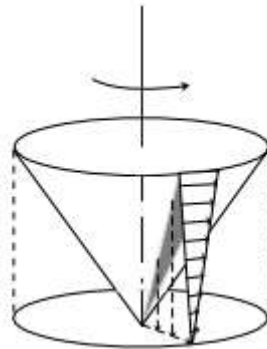


Fig 13, viscosímetro de placa-cono [11]

3. Metodología y materiales

Para este experimento, vamos a realizar una simulación de cómo se expulsa la saliva al hablar, estornudar o toser por la boca. Para ello vamos a necesitar un nebulizador, que será el encargado de generar la dispersión de saliva, un láser para poder iluminar las microgotas expulsadas por el nebulizador, y una cámara para poder obtener las imágenes de las gotas y filamentos de saliva.

Por otra parte, necesitaremos los equipos correspondientes para poder medir las propiedades de la saliva, tales como la viscosidad o la tensión superficial.

Previamente a trabajar con la saliva artificial, deberemos estudiar el comportamiento del agua con diferentes tensiones superficiales y con diferentes viscosidades. Para conseguir esto, deberemos realizar muestras que contengan mezclas de agua con surfactantes (afectarán a la tensión superficial), con glicerina (subirá la viscosidad) y con goma xantana, que afectará a ambos parámetros modificando el comportamiento reológico de Newtoniano a Non-Newtoniano.

3.1 Procedimiento y montaje experimental

3.1.1 Montaje del espacio de trabajo

El espacio de trabajo consistirá en una mesa sobre la que colocaremos el nebulizador en línea con el haz de luz expulsado por el láser. Enfrente del nebulizador colocaremos la cámara sobre un trípode para poder elegir la altura deseada, y tras el nebulizador, una pantalla de terciopelo negro para tener un correcto fondo de imagen y poder observar con claridad la formación de las gotas de saliva. En la Fig 14 se puede observar cómo quedaría el espacio de trabajo para la toma de imágenes y en la Fig 15 podemos ver el espacio de trabajo durante una captura en tiempo real de la imagen.

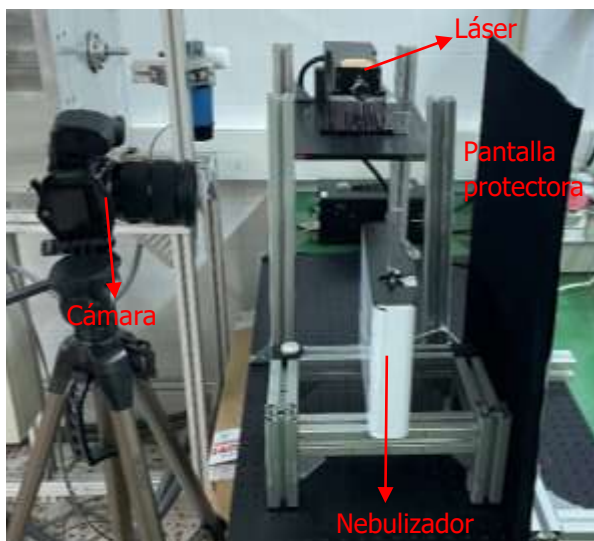


Fig 14 – Espacio de trabajo

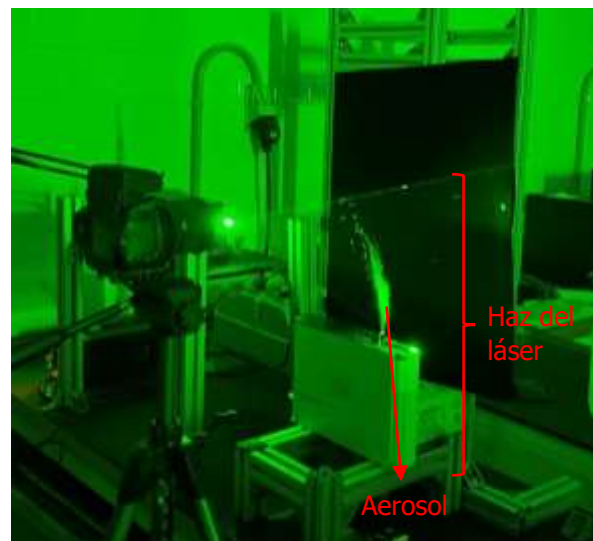


Fig 15 – Espacio de trabajo durante la tomad de imágenes

3.2 Materiales y equipos utilizados

A continuación, vamos a ver cuáles han sido los equipos y materiales utilizados tanto para la obtención de las imágenes de la formación de gotas y filamentos de saliva como para el análisis de sus propiedades.

3.2.1 Mucina

La mucina es una familia de proteínas de alto peso molecular y altamente glicosiladas producidas por las células de los tejidos epiteliales. La mucina forma parte de la saliva, aunque en muy pequeña cantidad, ya que constituye menos del 20% de la proteína total en la saliva [mucina].

En nuestro caso, vamos a trabajar con una mucina obtenida de glándulas submaxilares bovinas [12] [13].

3.2.2 Cámara

La cámara utilizada para este experimento ha sido la Nikon D850 (Fig 16).



Fig 16 – Cámara

Para poder trabajar correctamente con la cámara, ha habido que llevar a cabo un proceso para poder elegir los parámetros correctos:

- Velocidad de obturación: también conocido como tiempo de exposición, es el tiempo que el obturador de la cámara está abierto, y por tanto, captura y expone la luz [14]. La velocidad de obturación se mide en segundos y fracciones de segundo. Una velocidad de obturación rápida es cuando el obturador de la cámara está abierto por un tiempo muy corto. Las velocidades altas de obturación se utilizan para congelar el movimiento. En cambio, una velocidad lenta tiene lugar cuando el obturador está abierto durante más tiempo. (Fig 17).

Desarrollo de una plataforma experimental para el estudio de la dinámica de formación de gotas de saliva y su impacto en enfermedades infecciosas



Fig 17 – Velocidad de obturación [15]

- Apertura del diafragma: es la abertura de la lente de la cámara, y está relacionada con la cantidad de luz que pasa a través del objetivo hacia el sensor de la cámara [15]. Una apertura abierta permite capturar más luz y está relacionada con números F de aperturas bajos. Una apertura de diafragma cerrada no permite el paso de mucha luz y se relaciona con números altos (Fig 18).



Fig 18 – Apertura del diafragma [16]

- ISO: es la herramienta encargada de aumentar la luz capturada por el sensor de la cámara (Fig 19), obteniendo una imagen final más expuesta [16].

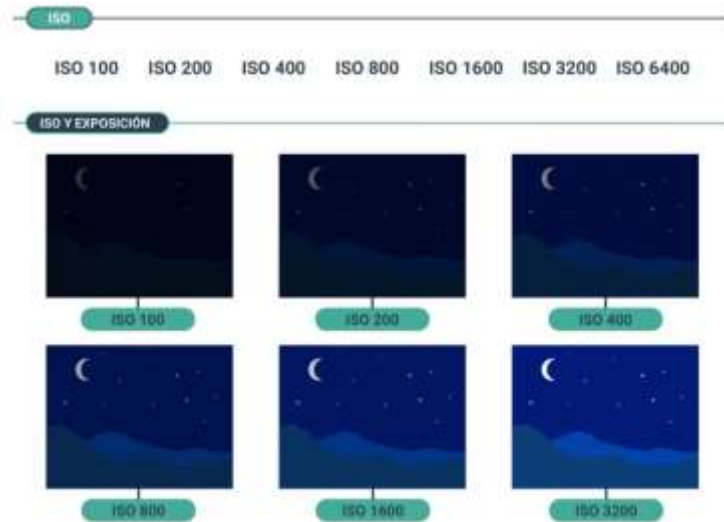


Fig 19 – ISO [17]

Las fotos no son tomadas directamente con el propio botón de la cámara, sino que esta se conecta por wifi a una aplicación móvil, y es con éste con el que se disparan las fotos. Esto se hace para evitar mover la cámara durante la toma de imágenes y evitar así que la imagen se distorsione levemente.

3.2.3 Nebulizador

El nebulizador utilizado para este experimento ha sido el *AromaNebulizer 2.0 Bluetooth* (Fig 20), un sistema de pulverización que es capaz de emitir partículas de tamaños incluso inferiores a 1 micra, por medio de un compresor de aire [17]. El diámetro de la boca del nebulizador es de 4 milímetros aproximadamente.



Fig 20 – Nebulizador

Desarrollo de una plataforma experimental para el estudio de la dinámica de formación de gotas de saliva y su impacto en enfermedades infecciosas

3.2.4 Láser

El láser utilizado ha sido el *CNI Model with PSU-W-LED* (Fig 21)



Fig 21 – Láser

Este láser emite un haz de luz verde de hasta 10W de potencia, por lo que, al ser tan potente, es necesario utilizar unas gafas de protección ocular para evitar el contacto directo de la luz del láser con los ojos (Fig 22).



Fig 22 – Gafas de protección para los ojos

Para iluminar correctamente las muestras, la forma elegida ha sido la de plano vertical, formando una especie de abanico (Fig 23) de 1 milímetro de grosor aproximadamente.



Fig 23 – Haz del láser

3.2.5 Reómetro

El reómetro utilizado en este experimento ha sido el *Discovery HR20* (Fig 24).



Fig 24 – Reómetro

Como hemos visto anteriormente, existen diferentes técnicas para medir la reología de los fluidos, pero la elegida para este experimento ha sido la técnica cono-placa.

Después de cada medición, es necesario limpiar por completo tanto la superficie de la placa donde se coloca el fluido, como el cono. Para limpiarlo correctamente, es suficiente con pasarle con cuidado un papel y asegurarnos que no quedan restos ni del fluido ni del propio papel.

Los datos obtenidos por el reómetro son automáticamente mostrados en el ordenador en forma de gráfico y en forma de tabla.

3.2.6 Tensiómetro de fuerza

El tensiómetro elegido para medir la tensión superficial en este experimento ha sido el *Sigma 702* (Fig 25) de la marca *Biolin Scientific* [18].



Fig 25 – Tensiómetro de fuerza [19]

Como hemos visto anteriormente, hay varios métodos utilizados para medir la tensión superficial. El elegido para este experimento ha sido el método de la placa Whihelmy.

Previamente a realizar cada una de las mediciones, es necesario llevar un riguroso protocolo de limpieza tanto de la placa que se sumerge en el fluido como del recipiente donde se encuentra. Para limpiar cada uno de los componentes, hay que pasarlo por etanol y seguido por agua destilada. Este proceso se realizará durante 3 veces. Una vez limpios y desinfectados, el recipiente es secado con papel y la placa se pasa por la llama de un mechero Bunsen.

3.2.7 Matlab

Matlab ha sido la plataforma de programación utilizada para crear el algoritmo que procese las imágenes y calcule el tamaño de las gotas formadas por los diversos fluidos.

El código consta de varias partes, y a continuación vamos a explicarlas brevemente.

El primer paso es leer la imagen, binarizarla y guardar la parte deseada en una matriz. Guardamos solo una parte porque eliminamos la zona inferior de cada imagen, ya que es la parte en la que sale el chorro del fluido y no nos interesa, ya que queremos centrarnos en la parte donde se forman las gotas.

La Fig 26 sería la imagen que lee Matlab, y la Fig 27 sería la parte deseada de la imagen una vez ya binarizada.

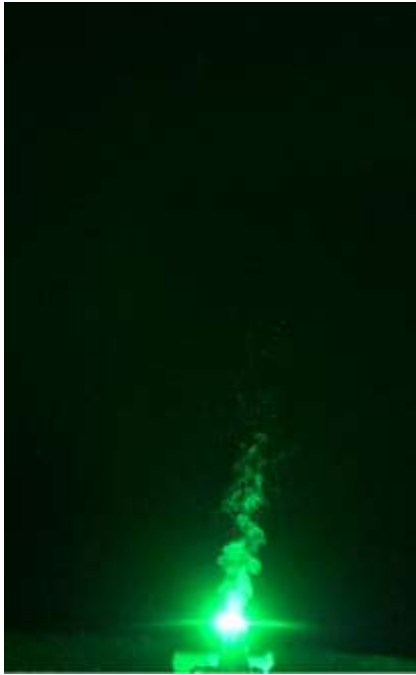


Fig 26 – Imagen que entra a Matlab

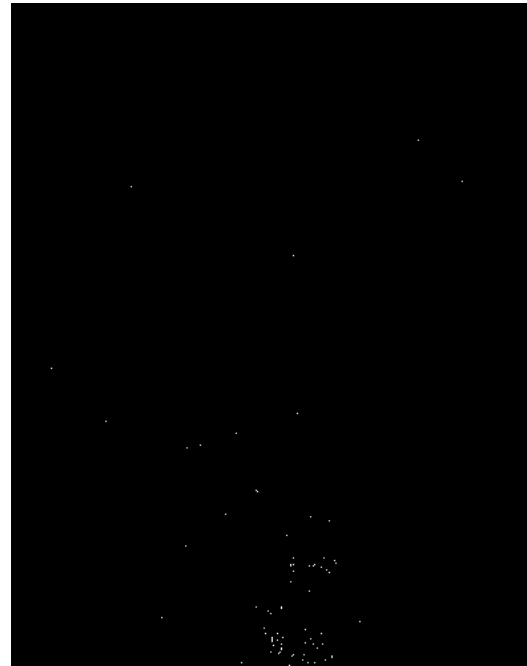


Fig 27 – Imagen binarizada y recortada

La siguiente parte consiste en elegir el número de divisiones de grupos de partículas según su tamaño que queremos. A lo largo de todo el proyecto, el número de columnas ha sido 10. Una vez elegimos el número de columnas por teclado, el siguiente proceso es imprimir la imagen con la división de las partículas según su tamaño medio (Fig 28).

Desarrollo de una plataforma experimental para el estudio de la dinámica de formación de gotas de saliva y su impacto en enfermedades infecciosas

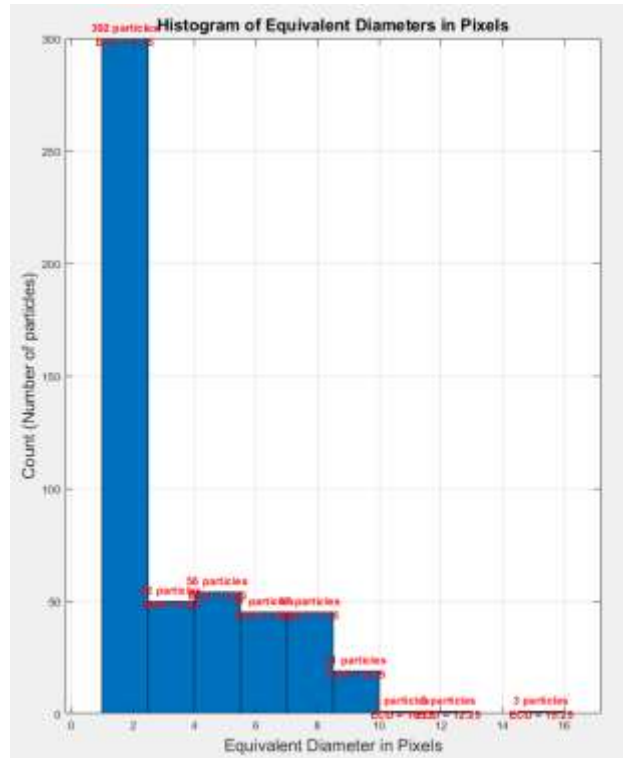


Fig 28 – Numero de partículas según su tamaño

De todas las columnas que se muestran en el histograma de la Fig 28, nosotros nos vamos a fijar en la primera, que son las partículas más pequeñas y son las que estamos buscando.

El resultado del tamaño de las partículas viene dado en píxeles, por lo que es necesario realizar una conversión a micras. Para ello, se toma una foto de una regla y mediante el comando de Matlab de *imtool* calculamos la equivalencia (Fig 29).

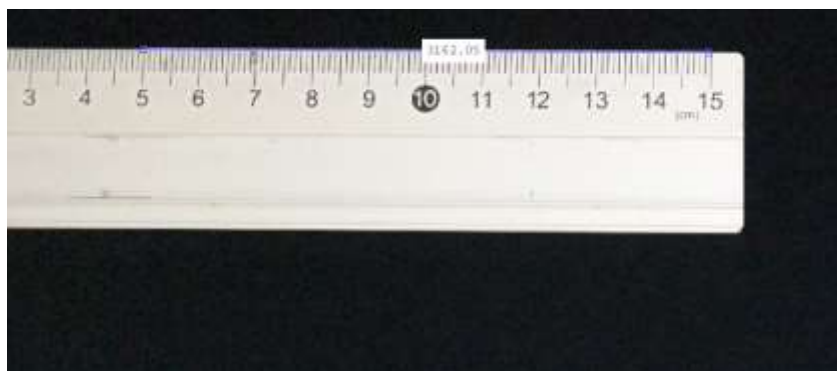


Fig 29 – Equivalencia de cm en pixeles

Una vez ya sabemos a cuántos píxeles equivalen 10cm en este caso, mediante una regla de 3 obtenemos la equivalencia de un píxel en micras (Fig 30)

Desarrollo de una plataforma experimental para el estudio de la dinámica de formación de gotas de saliva y su impacto en enfermedades infecciosas

```
pixeles = 3162.05;  
cm = 10;  
m = cm/100;  
Pixel_a_Micras = (m/pixeles)*1000000;  
Pixel_a_Micras =  
    31.625
```

Fig 30 – Equivalencia de 1 pixel en micras

3.3 Problemas encontrados durante el proceso

Para el desarrollo de la plataforma experimental hemos encontrado varios desafíos tecnológicos que han sido solventado oportunamente.

El primer problema ha sido el procesamiento de las imágenes. La pluma del chorro del nebulizador afectaba gravemente a los resultados del tamaño de las gotas, por lo que esta pluma tuvo que ser eliminada mediante un recorte de las fotos.

Otro problema surgió al probar a captar imágenes con el aroma y las mezclas de agua y glicerina, y es que las gotas generadas eran tan pequeñas que no éramos capaces de captarlas en cámara.

4. Hipótesis

La hipótesis de este experimento es generar una plataforma para la simulación de la formación de gotas de saliva al estornudar, hablar o toser.

Deberemos identificar el tamaño de las gotas de las diferentes muestras de saliva artificial, cada una de las cuales tendrá una concentración diferente de mucina.

En función del tamaño de la gota, observaremos que las grandes tendrán un comportamiento balístico, es decir, realizarán una parábola al salir de la boca. En cambio, habrá gotas de menor tamaño que se quedarán suspendidas en el aire, lo que se conoce como aerosoles (Fig 31).

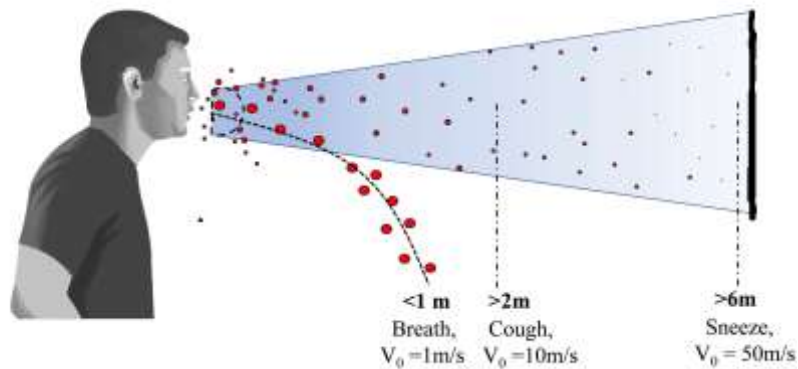


Fig 31 – Aerosoles [19]

Estos comportamientos y formación de las gotas vendrán determinados por diferentes propiedades de la saliva que deberemos estudiar, como son la reología y la tensión superficial.

5. Resultados y discusiones

5.1. Resultados de las pruebas con agua y elecciones de los parámetros de la cámara

El primer paso de esta investigación fue realizar las pruebas con agua. Esta fase fue la más costosa y una de las más importantes ya que sirvió como puesta a punto de todo el espacio de trabajo, pero, sobre todo, fue clave para elegir cuáles eran los parámetros ideales de la cámara para ser capaz de captar la formación de gotas y filamentos.

Hemos de saber, que la tensión superficial del agua es de 72 mN/m y la viscosidad es de 0.8937 mPa*s a temperatura ambiente.

Para determinar los parámetros ideales de la cámara, el proceso consistió en realizar fotos con todos los parámetros disponibles y a continuación, analizar las imágenes obtenidas.

Primeramente, nos dimos cuenta de que la velocidad de obturación de la cámara no debía ser muy pequeña, pero tampoco excesivamente grande, ya que la calidad de la imagen no era muy adecuada. De todas las velocidades de obturación disponibles, las mejores fueron 1/1600, 1/2500 y 1/3200.

En cuanto a la apertura de la cámara, el valor debe de ser bastante bajo, ya que, con un valor medio o alto, las gotas eran captadas con cierto movimiento. Por tanto, con un valor de apertura mayor a 2, las imágenes no eran aceptables.

A continuación, vamos a ir viendo ejemplos de imágenes tomadas con diferentes valores de apertura y velocidades de obturación y explicaremos cuales son aptas para analizar o cuales debo descartar.

La Fig 31 está tomada con una velocidad de obturación de 1/1600 y una apertura de foco de 4.5. Como podemos observar, con estos parámetros no somos capaces de capturar las gotas totalmente paradas, por lo que esta foto no nos serviría para analizar y esta combinación de parámetros son descartados. En la Fig 32, seguimos con la misma velocidad de obturación, pero aumentamos hasta 11 la apertura. Como podemos observar, la calidad de imagen ha ido empeorando, por lo que para una velocidad de obturación de 1/6000 y una apertura mayor de 4.5 no se pueden obtener imágenes útiles. La última opción que nos queda para esta velocidad de obturación es reducir la apertura del foco. La Fig 33 está tomada con una apertura de 1.6. Como se puede apreciar, la calidad de la imagen ha aumentado con respecto a las de las anteriores imágenes, pero todavía no somos capaces de captar las gotas totalmente estáticas, por lo que esta velocidad de obturación fue descartada.

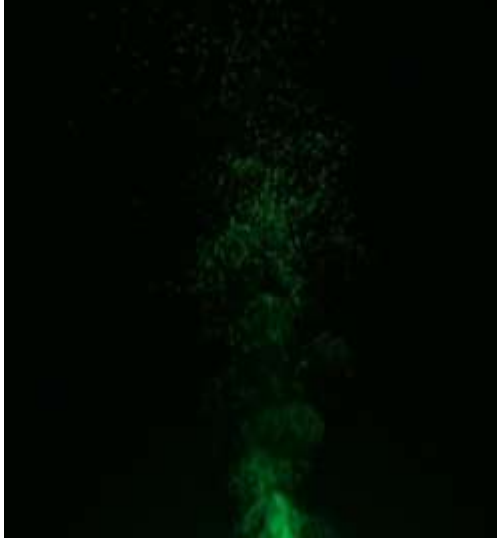


Fig 31 – V.Obturacion 1/1600, Apertura 4.5 e ISO 10000

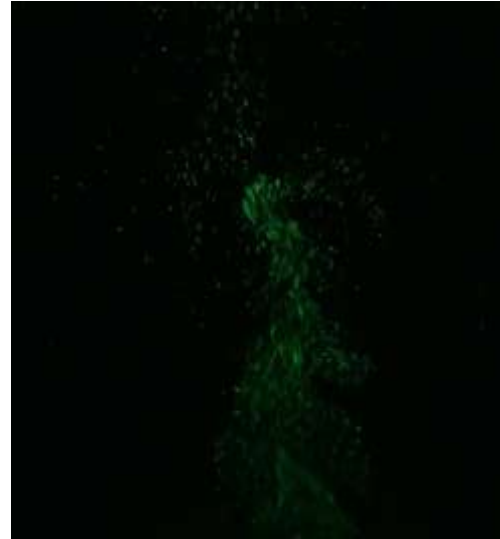


Fig 32 – V.Obturacion 1/1600, Apertura 11 e ISO 10000

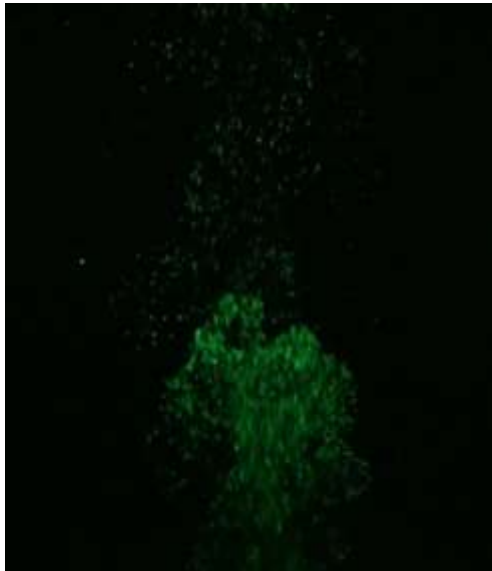


Fig 33 – V.Obturacion 1/1600, Apertura 1.6 e ISO 10000

La siguiente velocidad de obturación probada fue 1/2500. Al igual que como se ha comentado antes, se realizaron fotos con la misma velocidad de obturación fija, pero variando la apertura del foco, desde el más pequeño hasta el más grande. La Fig 34 es una imagen obtenida con una apertura de 1.6 que es el segundo valor más pequeño, en cambio, en la Fig 35, el valor de apertura es de 14, que es de los más grandes posibles.



Fig 34 – V.Obturación 1/2500 y Apertura 1.6

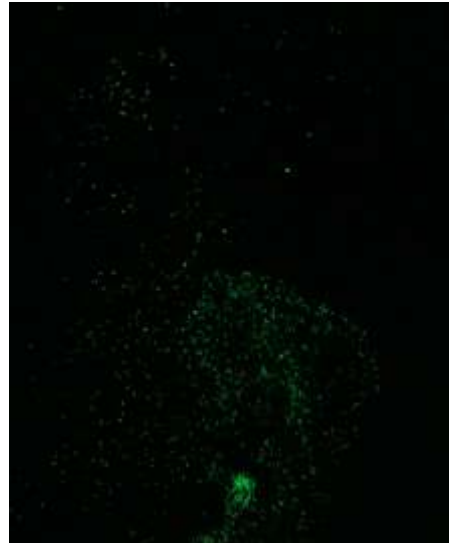


Fig 35 – V.Obturación 1/2500 y Apertura 14

Como podemos observar en la Fig 34, con estos parámetros de la cámara ya somos capaces de captar las gotas en estático, en cambio, en la Fig 35 todavía se aprecia un pequeño movimiento, provocando que no se puedan apreciar las gotas totalmente redondas.

Una vez tenemos la velocidad de obturación definida (1/2500) y la apertura (1.6), el siguiente paso es determinar el valor ideal de ISO. Todas las imágenes tomadas anteriormente habían sido con un valor de ISO de 10000, pero ahora, probaremos todos los valores disponibles para elegir el más adecuado.

Para elegir cual es el mejor valor de ISO, lo que haré será analizar todas las imágenes en Matlab y ver cuáles son los resultados obtenidos. En la Tabla 1 podemos ver los resultados. Como hemos visto en la explicación del código de Matlab, lo que nos interesa son las partículas de tamaño más pequeño en proporción con las partículas totales.

	ISO 10000	ISO 12800	ISO 16000	ISO 20000	ISO 25600
Partículas pequeñas	84	103	124	365	302
Partículas totales	875	408	713	858	516
Proporción	9.6 %	25.24%	17.39%	42.54%	58.52%

Tabla 1 – Resultados de los diferentes valores de ISO

Como podemos observar, con el valor más alto de la ISO es con el que obtenemos los mejores resultados. Para corroborar estos resultados, se han analizado 5 imágenes con cada uno de los parámetros, obteniendo resultados similares.

Por tanto, tras todas las pruebas realizadas con el agua, llegamos a la conclusión que los parámetros de la cámara con los que vamos a trabajar son:

- Velocidad de obturación: 1/2500
- Apertura del diafragma: 1.6
- ISO: 25600

Una vez ya están definidos los parámetros y el espacio de trabajo ya es el correcto, podemos continuar realizando pruebas con otros compuestos diferentes.

5.2. Resultados de las pruebas con aroma

Una vez los parámetros de la cámara ya estaban establecidos y ya sabía cómo funcionaba todo el montaje gracias a las pruebas con el agua, el siguiente paso fue realizar pruebas con el aroma preparado específicamente para el nebulizador utilizado en este experimento.

El primer paso fue medir la tensión superficial del aroma, obteniendo un valor de 27.16 mN/m, un valor bastante reducido en comparación a los 72 mN/m del agua.

A continuación, se realizó una medida para obtener la viscosidad del aroma. En la Fig 36 podemos ver cuáles fueron los resultados obtenidos.

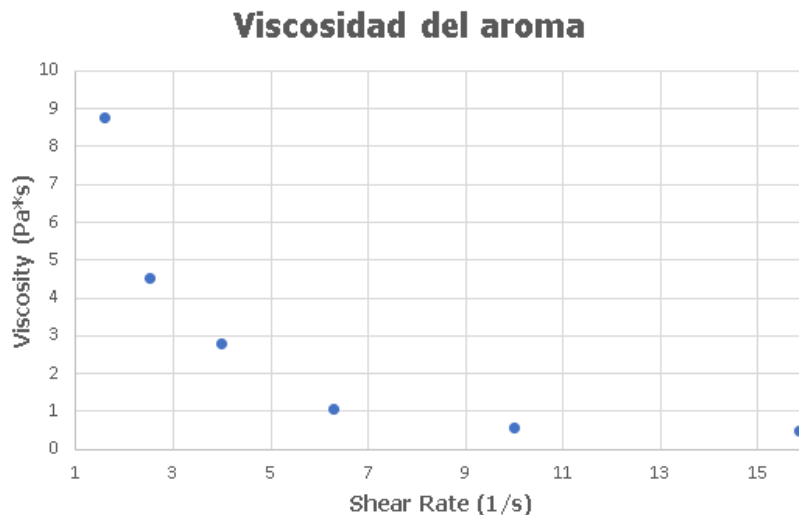


Fig 36 – Viscosidad del aroma

Una vez conocida la tensión superficial y la viscosidad del aroma, ya podía pulverizar para visualizar la formación de gotas. Como podemos ver en la Fig 37, con este tipo de fluidos sufrimos un problema de resolución, y es que el nebulizador está preparado para expulsar gotas de aroma del tamaño de una micra, pero nosotros no estamos capacitados ni para captarlas en la cámara y para ser capaces de determinar su tamaño exacto mediante el algoritmo de Matlab (Fig 38).

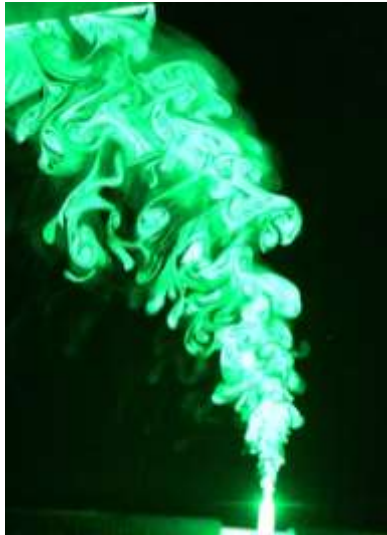


Fig 37 – Formación de gotas con aroma



Fig 38 – Análisis de las gotas de aroma con Matlab

5.3. Resultados de las pruebas con agua y surfactante

El siguiente paso es comprobar el efecto que realiza un surfactante sobre el agua. Un surfactante es un compuesto con una capacidad para reducir la tensión superficial del agua, haciendo que las moléculas sean más resbaladizas y, por tanto, que sea menos probable que se adhieran entre sí.

Para observar su comportamiento, se realizó una serie de muestras con diferentes concentraciones de Surfactante. La primera prueba consistió en 4 muestras, empezando por agua destilada pura a la que iba añadiendo poco a poco más cantidad de surfactante. En la Tabla 2 podemos observar cuales fueron las concentraciones de las primeras muestras.

	Cantidad de agua (g)	Cantidad de surfactante (g)	Tensión superficial (mN/m)	Porcentaje de surfactante
Muestra 1	94.973	0	72	0
Muestra 2	94.973	0.02	29.27	0.0210
Muestra 3	94.973	0.046	29.22	0.0484
Muestra 4	94.973	0.066	28.78	0.0694

Tabla 2 – Primeras muestras

En la Fig 39 podemos observar la evolución de la tensión superficial de las diferentes muestras. Como podemos observar, a la mínima que añadimos una pequeña cantidad de surfactante al agua, la tensión superficial cae rápidamente hasta por debajo de 30, cuando el agua pura tiene una tensión superficial de 72 mN/m.

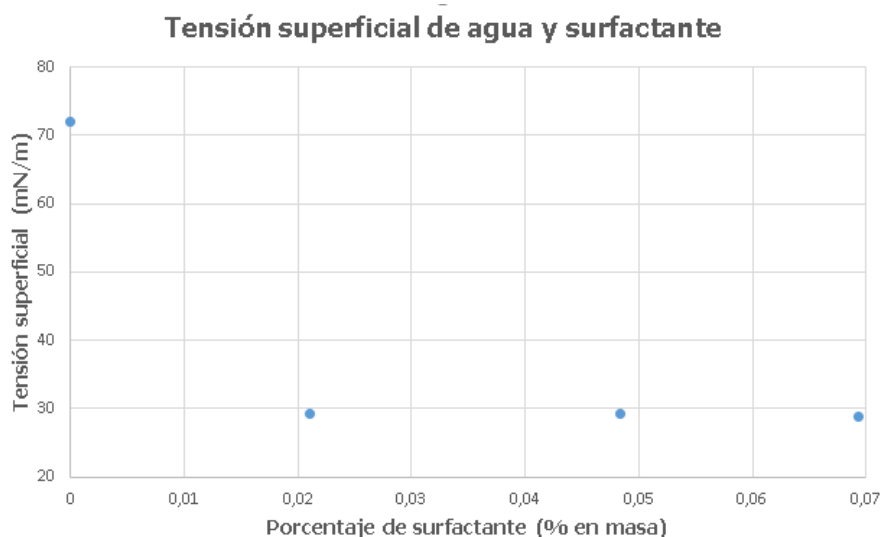


Fig 39 – Evolución de la tensión superficial de las primeras

Como hemos podido ver en la gráfica anterior, la tensión superficial cae bruscamente con una pequeña cantidad de surfactante añadido. Nuestro objetivo era conseguir observar como la tensión superficial caía más lentamente, por lo que necesitábamos obtener más muestras con un porcentaje de surfactante inferior al 0.02%. por tanto, la siguiente tanda de muestras constó de 8 muestras diferentes, comenzando desde agua pura y al igual que en el experimento anterior, añadiendo surfactante más lentamente. En la Tabla 3 podemos observar cuáles eran las concentraciones de las muestras.

	Cantidad de agua (g)	Cantidad de surfactante (g)	Tensión superficial (mN/m)	Porcentaje de surfactante
Muestra 1	100,0	0,000	72,00	0
Muestra 2	300,0	0,020	29,60	0,0066
Muestra 3	260,0	0,020	29,40	0,0076
Muestra 4	235,6	0,020	29,03	0,0084
Muestra 5	238,2	0,045	28,89	0,0188
Muestra 6	239,1	0,078	28,5	0,0326
Muestra 7	237,4	0,116	28,48	0,0488
Muestra 8	237,2	0,151	27,81	0,0636

Tabla 3 – Segundas muestras de agua y surfactante

Al igual que en las pruebas realizadas con las primeras muestras, la tensión superficial cae bruscamente nuevamente por debajo de 30 mN/m, por lo que seguimos siendo incapaces de lograr valores de tensión superficial entre 30 mN/m y 70 mN/m. En la Fig 40 vemos la nueva evolución de la tensión superficial de las nuevas muestras.

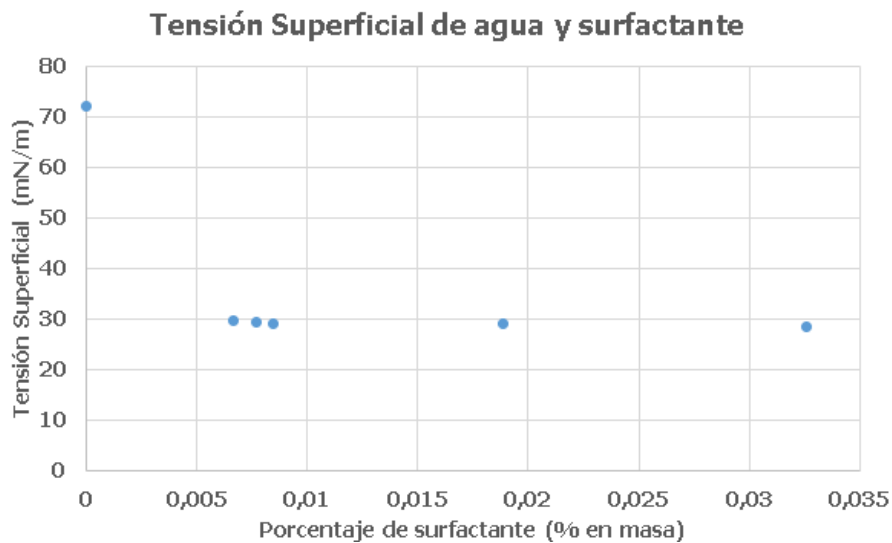


Fig 40 – Evolución de la tensión superficial de las segundas

Además de no conseguir los valores deseados para las muestras, había otro problema con el surfactante, y es que no se disolvía por completo, incluso dejando las muestras centrifugando durante 1 hora y dejándolas reposar un día entero, el surfactante seguía sin disolverse completamente, por lo que este compuesto, no nos fue nada útil y tuvimos que probar con otro surfactante más suave.

5.4. Resultados de las pruebas con agua y jabón

Vistos los problemas que teníamos con el surfactante, el siguiente paso fue realizar el experimento con muestras de agua y jabón. 4 muestras fueron preparadas, comenzando con pura agua destilada y aumentando poco a poco la concentración de jabón. En la Tabla 4 se pueden observar las muestras a analizar.

	Cantidad de agua (g)	Cantidad de jabón (g)	Tensión superficial (mN/m)	Porcentaje de jabón
Muestra 1	100,000	0	72,410	0,000
Muestra 2	406,380	0,016	45,240	0,004
Muestra 3	558,450	0,035	37,250	0,006
Muestra 4	400,000	0,035	32,940	0,009

Tabla 4 – Muestras de agua y jabón

Como se puede observar, ahora sí que conseguimos valores de tensión superficial superiores a 30 mN/m, cosa que con el surfactante había sido imposible. En la Fig 41 se puede observar la evolución de la tensión superficial de las muestras.

Evolución de la tensión superficial de agua con jabón

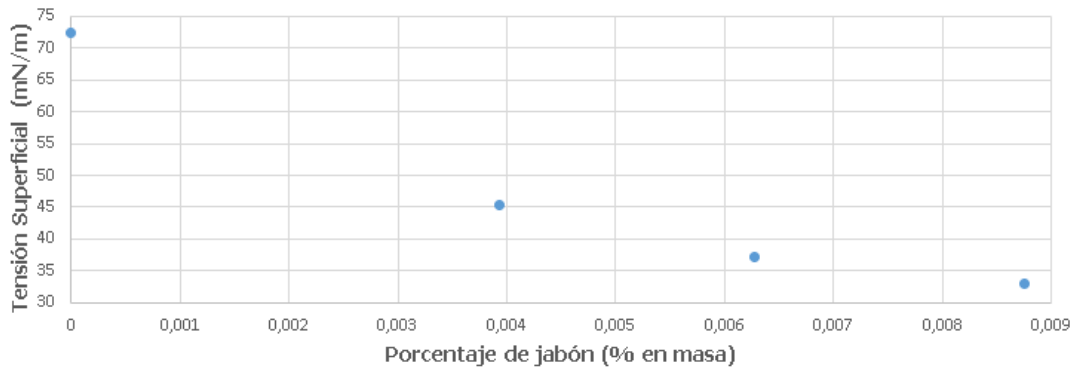


Fig 41 – Evolución de la tensión superficial de las muestras

Una vez ya teníamos las muestras preparadas, el siguiente paso era pulverizarlas para observar su comportamiento. La muestra 2 fue la elegida para pulverizar y contrastar los resultados con agua pura. En la Fig 42 podemos observar un ejemplo de la muestra 2 pulverizada.



Fig 42 – Gotas de la Muestra 2

A simple vista puede aparentar que no hay cambios respecto a una imagen de gotas de agua, pero el tamaño de las gotas disminuyó ligeramente.

Para analizar y comparar los tamaños de gotas, se realizaron 5 fotos de la Muestra 1 que era agua destilada pura con una tensión superficial de 72,41 mN/m y otras 5 fotos de la Muestra 2, que contenía agua con jabón con una tensión superficial de 45,24 mN/m. Las fotos fueron tomadas con una potencia del láser de 6W. Todas las fotos fueron analizadas con el algoritmo de Matlab, obteniendo que el tamaño medio de las gotas de la muestra 1 era de 65.42 micras, mientras que el de la Muestra 2 era de 49.98 micras.

Para confirmar que esta evolución del tamaño de las gotas no había sido casualidad, se realizó una nueva muestra con una tensión superficial de 29,39

mN/m, y realizando el proceso comentado anteriormente, se obtuvo que el tamaño medio de las gotas de la nueva muestra era de 46 micras. En la Fig 43 se puede observar la evolución del tamaño de las gotas de las diferentes concentraciones de jabón.

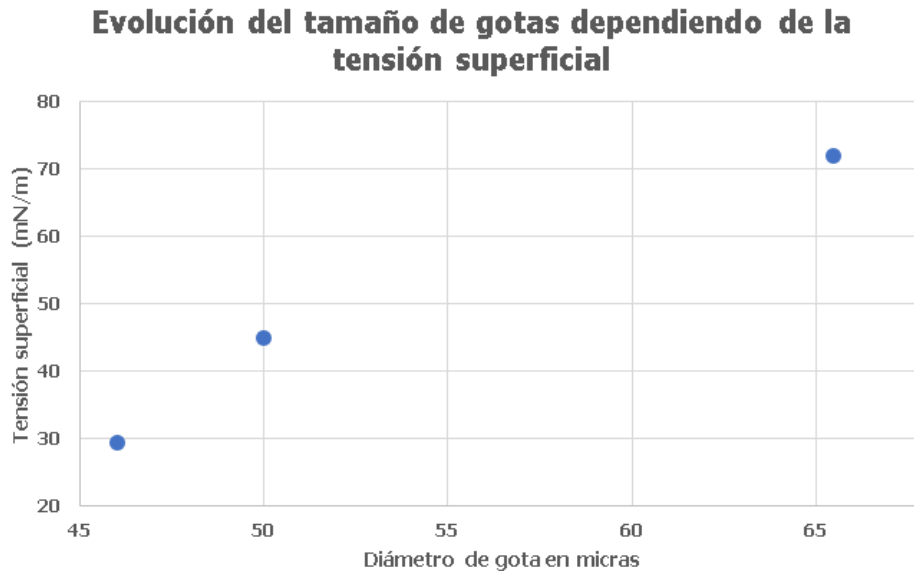


Fig 43 – Evolución del tamaño de las gotas

5.5. Resultados de las pruebas con agua y glicerina

Las siguientes pruebas fueron realizadas con muestras de agua y glicerina. La glicerina es un líquido viscoso que se obtiene por hidrólisis de grasas y aceites mixtos que encontramos en alimentos, productos farmacéuticos y cosméticos [20].

Para esta fase, elegimos 4 muestras de agua con glicerina, comenzando con una concentración al 10% de glicerina, aumentándolo hasta el 68% (Tabla 5).

	Peso agua (g)	Peso glicerina (g)	Concentración glicerina (%)	Viscosidad teórica (Pa*s)
Muestra 1	300	34,335	10,180	$1,115 \cdot 10^{-3}$
Muestra 2	300	151,200	33,510	$2,420 \cdot 10^{-3}$
Muestra 3	150	207,900	58,080	$7,873 \cdot 10^{-3}$
Muestra 4	115	252,000	68,660	$16,280 \cdot 10^{-3}$

Tabla 5 – Muestras de agua y glicerina

Una vez las muestras ya estaban preparadas, el siguiente paso es pulverizarlas. Ya con las primeras fotos obtenidas de la pulverización de la Muestra 1 (Fig 44), nos damos cuenta de que el comportamiento de estas mezclas es muy similar al del aroma, y nuevamente, tenemos el mismo problema de resolución. Las gotas formadas son tan pequeñas, que no somos capaces ni de captarlas en cámara ni de analizar su tamaño.

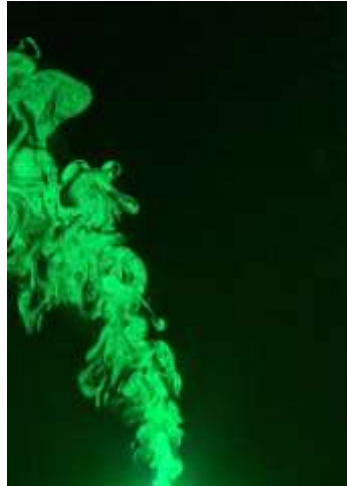


Fig 44 – Pulverización de la Muestra 1

Viendo estos resultados obtenidos, las mezclas de agua y glicerina son descartadas como pruebas para el experimento final, ya que no somos capaces de obtener resultados útiles.

5.6. Resultados de las pruebas con agua y goma xantana

Las últimas pruebas previas para trabajar con la mucina son mezclas formadas por agua y goma xantana. La goma xantana es un espesante procedente de la fermentación del almidón de maíz.

Para las primeras pruebas con goma xantana, las muestras preparadas fueron 3 con unas concentraciones de goma del 0.0125%, 0.025% y 0.05%. La preparación de las muestras es un proceso sencillo pero costoso en cuanto a tiempo se refiere. Primero, hay que mezclar las cantidades correspondientes de las diferentes muestras, taparlas con papel film para evitar la evaporación y dejarlas en una centrífuga (Fig 45) con imanes durante al menos 1 hora para que se disuelva bien la goma xantana y se mezcle con el agua.



Fig 45 – Centrífuga magnética

Pasada la hora en la centrífuga, retiramos las muestras y las dejamos reposar durante un día, para que se eliminen las burbujas formadas durante el proceso de centrifugación.

Una vez las muestras ya han reposado, pasamos a medir sus propiedades comenzando con la tensión superficial. Como se puede observar en la Fig 46, la tensión superficial va disminuyendo a medida que aumentamos la concentración de goma xantana.

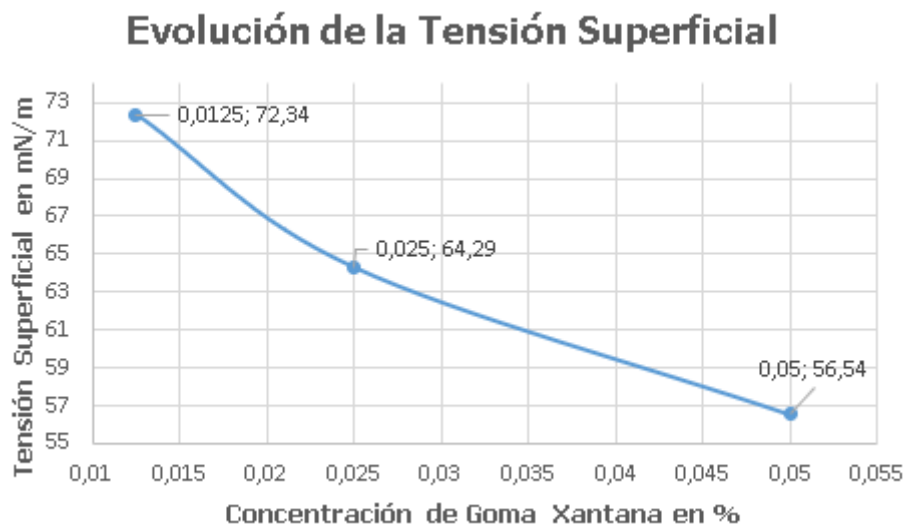


Fig 46 – Evolución de la Tensión Superficial

El siguiente paso es medir la viscosidad de las 3 muestras. En la Fig 47, Fig 48 y Fig 49 podemos observar cuales han sido los resultados de la viscosidad de las tres muestras.

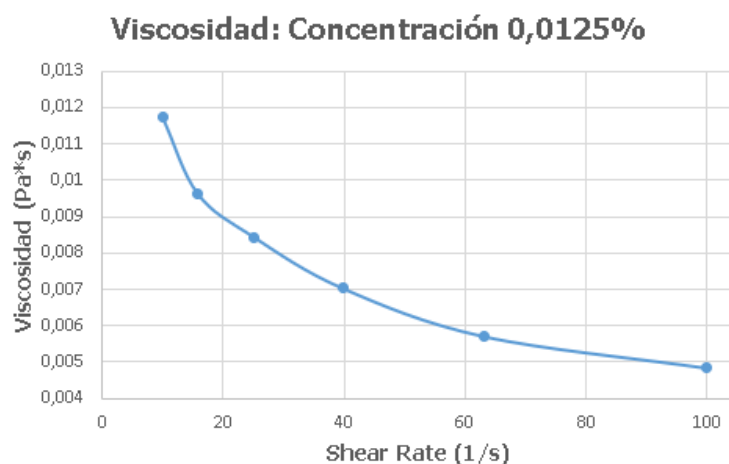


Fig 47 – Viscosidad de la muestra con Concentración de Goma Xantana al 0.0125%

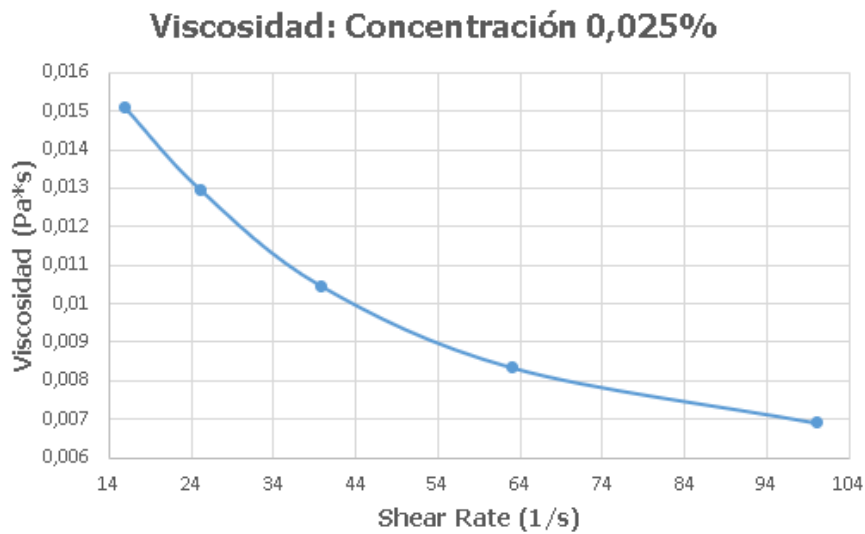


Fig 48 – Viscosidad de la muestra con Concentración de Goma Xantana al 0.025%

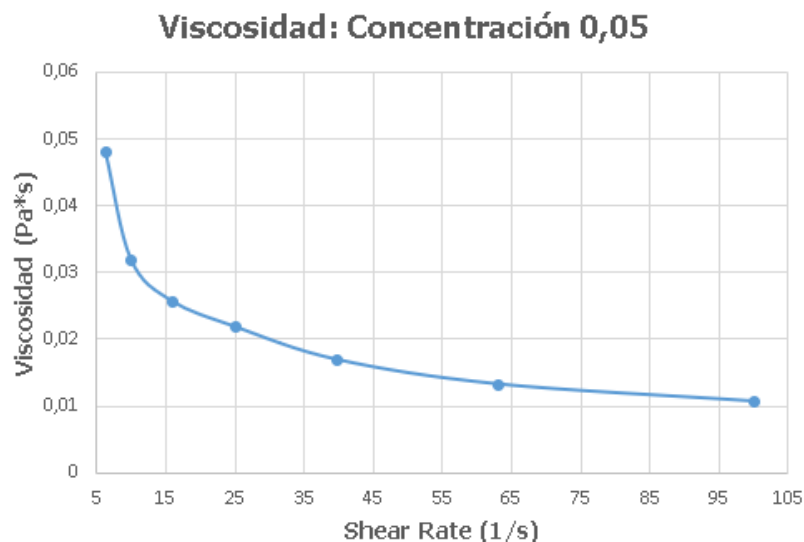


Fig 49 – Viscosidad de la muestra con Concentración de Goma Xantana al 0.05%

Como podemos observar en las tres imágenes anteriores, las mezclas de agua con goma xantana tienen un comportamiento *Shear Thinning*. Esto significa que a medida que aumentamos el *Shear Rate* (es la velocidad a la que se aplica una deformación de cizallamiento progresiva al material) la viscosidad va disminuyendo.

También podemos comprobar como a medida que aumentamos la concentración de goma xantana, la viscosidad también aumenta.

En cuanto al tamaño de las gotas que se forman al pulverizar las muestras, apenas se pueden apreciar cambios entre las 3 concentraciones diferentes. Los tamaños se mantienen entre 39 y 43 micras.

5.7. Resultados de las pruebas con saliva artificial

Una vez ya hemos realizado todas las pruebas con los diferentes fluidos nombrados anteriormente y ya nos hemos familiarizado con todos los equipos necesarios, podemos pasar a trabajar con la mucina.

Como hemos visto en el apartado de los materiales vamos a trabajar con una mucina obtenida de glándulas submaxilares bovinas.

Para los datos de la viscosidad de las diferentes muestras de saliva artificial, vamos a tomar como referencia el trabajo de *Rodríguez-Hakim et al* [21]. En dicho trabajo, se estudia la viscosidad de 8 muestras de saliva, comenzando con una concentración de mucina en masa del 0.5% y aumentando hasta 3.85%. En la Fig 50 podemos ver cuáles son los resultados de la viscosidad en función del Shear Rate.

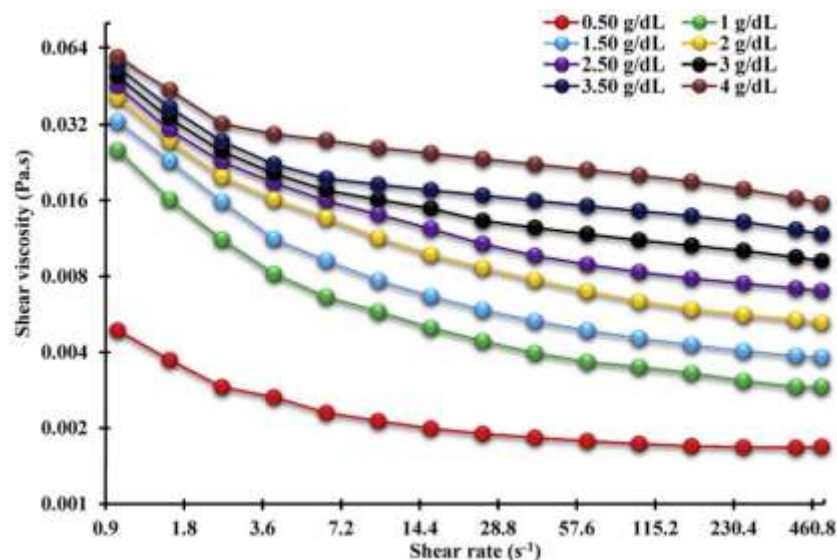


Fig 50 – Viscosidad de las muestras del trabajo de Rodríguez-Hakim et al [21]

Nosotros somos incapaces de replicar todas estas muestras porque únicamente disponemos de 0.5g en total de mucina, por lo que vamos a empezar preparando una muestra de concentración de mucina en masa del 0.5% a la que llamaremos Muestra 1, que es la más pequeña que encontramos en el trabajo de *Rodríguez-Hakim et al* [21]. Como los datos de la viscosidad ya los tenemos, nos vamos a encargar de pulverizar la muestra para poder estudiar el tamaño de las gotas que se forman.

Como podemos observar en la Fig 51, la nube que se forma al pulverizar la Muestra 1, es demasiado grande. Aunque mediante Matlab somos capaces de determinar aproximadamente el tamaño de las gotas, necesitamos preparar muestras que tengan una nube más reducida en la que se observen más claramente las gotas, por lo que, en las siguientes muestras, la concentración de mucina será reducida.



Fig 51 – Pulverización de la Muestra 1

Al analizar 10 imágenes de la Muestra 1 con Matlab, obtenemos que el tamaño medio de las gotas más pequeñas es de 53.17 micras, y que se forman una cantidad media de 414 gotas de dicho tamaño.

Una vez obtenidos los resultados de la Muestra 1, como he mencionado anteriormente, vamos a realizar 2 nuevas muestras (Fig 52), pero con una cantidad inferior de mucina. Las muestras serán:

- Muestra 2: Concentración de mucina del 0.17%
- Muestra 3: Concentración de mucina del 0.1%



Fig 52 – Muestras 2 y 3

Como podemos ver en la Fig 52, la cantidad de saliva preparada es extremadamente pequeña, de unos 12ml, por lo que debemos ser muy precisos a la hora de trabajar con ellas. Una vez las muestras ya están preparadas, podemos pulverizarlas y estudiar las imágenes.

En cuanto a la Muestra 2, obtenemos que el tamaño medio de las gotas es de 39 micras con una media de 950 partículas formadas, mientras que para la

Muestra 3, obtenemos un tamaño medio de gota de 34 micras con 410 partículas de media por imagen.

A medida que vamos disminuyendo la cantidad de mucina, el tamaño de las gotas va disminuyendo también, pareciéndose al tamaño de las gotas de agua (que con estos parámetros de Matlab rondan las 30 micras). Pero la diferencia entre las muestras de saliva y las de agua, es el número de gotas que se forman, ya que es sumamente mayor en las muestras de saliva que en las de agua, que se forman una media de 100 gotas.

Para llegar a estos resultados, hemos tenido que ir jugando con el código de Matlab, ya que ha sido necesario recortar la parte inferior de la imagen donde aparece la pluma, y hemos necesitado jugar también con el parámetro de binarización, que indica la cantidad de puntos que queremos analizar. A continuación, en las Fig 53 y Fig 54, podemos observar la diferencia entre el análisis de las muestras 2 y 3.



Fig 53 – Análisis de una imagen de la Muestra 2



Fig 54 – Análisis de una imagen de la Muestra 3

Una vez ya sabemos los tamaños de formación de las gotas de las diferentes muestras, podemos estudiar su viscosidad y su tensión superficial.

Para analizar la viscosidad, al igual que con los otros materiales vamos a usar la técnica de cono-plato. En la Fig 55 podemos ver cuáles han sido los resultados obtenidos para ambas muestras.

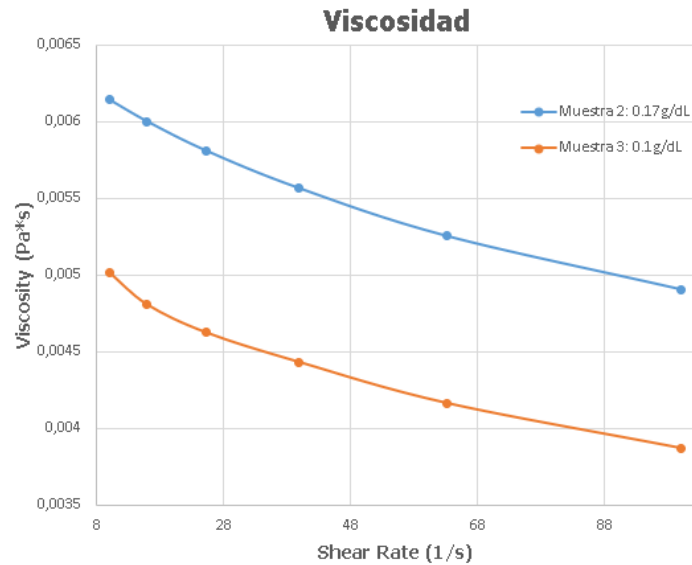


Fig 55 – Viscosidad de las muestras de mucina

Podemos observar cómo al igual que en el trabajo de *Rodríguez-Hakim et al* [21] la viscosidad tiene tendencia a disminuir a medida que disminuye la concentración de mucina. Igual que ocurría con las muestras de goma xantana, la mucina tiene un comportamiento *Shear Thinning*, lo que significa que a medida que aumentamos el *Shear Rate*, la viscosidad va disminuyendo.

En la Fig 56 podemos observar nuestros resultados junto con los obtenidos del trabajo de *Rodríguez-Hakim et al* [21]. Como se puede observar, nuestros resultados (representados con un triángulo) son un poco más elevados en cuanto al valor de viscosidad. Esto puede venir dado por la técnica que se usa, por la maquinaria utilizada o simplemente por algún leve error en la medición de las cantidades. Pero esto no significa nada, ya que lo que nos importa es ver como sigue la misma tendencia de ser menor la viscosidad a medida que se reduce la cantidad de mucina.

Desarrollo de una plataforma experimental para el estudio de la dinámica de formación de gotas de saliva y su impacto en enfermedades infecciosas

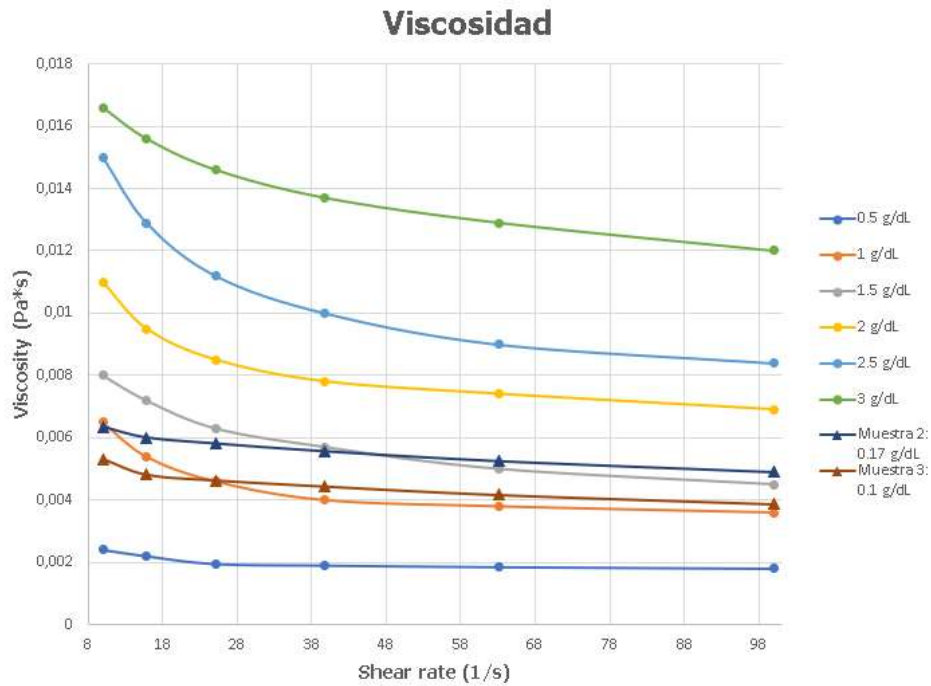


Fig 56 – Viscosidad de nuestras muestras y las del trabajo de Rodríguez-Hakim et al [21]

En cuanto a la tensión superficial, hemos obtenido que la Muestra 2 tiene 61.2 mN/m y la Muestra 3 tiene 62.5 mN/m, por lo que apenas varía. Estos datos han sido obtenidos mediante la técnica de la placa Whihelmy.

6. Conclusiones

Tras los experimentos realizados durante este trabajo y el análisis de los datos que hemos obtenido de dicho trabajo, podemos extraer una serie de conclusiones que pueden ser interesantes de cara al tema de la pandemia en la que nos encontramos.

La primera conclusión que podemos sacar es que la viscosidad va disminuyendo progresivamente a medida que reducimos la cantidad de la mucina de nuestra concentración, es decir, cuanta menos mucina, menos viscosidad encontramos.

También se ha demostrado la relación que hay de la viscosidad con los tamaños de las gotas de saliva. Y es que cuanta menos concentración de mucina tenemos, menos viscosidad encontramos y más pequeñas son las gotas que se forman. Esto es bastante interesante de cara al tema de contagio de enfermedades por vías aéreas, ya que como hemos visto anteriormente, las gotas más pequeñas son las más peligrosas ya que se mantienen dispersas en el aire. Por tanto, una persona con una concentración baja de mucina en su saliva tendrá más facilidad para transmitir una enfermedad que una persona con gran cantidad de mucina en su saliva.

Por último, en cuanto a la evolución de la tensión superficial en las diferentes muestras, no se han apreciado grandes cambios, aunque tampoco hemos podido realizar muchas pruebas debido a la cantidad de mucina que tenemos.

En resumen, según vamos disminuyendo la concentración de mucina presente en nuestra saliva artificial, se va reduciendo su viscosidad y también se va reduciendo el tamaño de formación de las gotas, lo que facilita la propagación de enfermedades a través del aire.

7. Referencias

- [1] Gotas microscópicas expulsadas al hablar, toser y/o estornudar [Internet]. Wikipedia.org. Wikimedia Foundation, Inc.; 2020.
- [2] Jorge Matos-Alviso, L., Reyes-Gómez, U., de Jesús Coria-Lorenzo, J., Caballero-Noguéz, B., del Carmen Espinosa-Sotero, M., Pérez-Pacheco, O., Lizeth Reyes-Hernández, K., Samuel Aguilar-Figueroa, E., Candelas-Delgado, E., & Matías Soria-Saavedra, F. (n.d.). *LOS AEROSOLLES HUMANOS*. www.eipediatria.com.
- [3] Vargas Marcos, F., Ruiz de Adana, M., Marín Rodríguez, I., & Moreno Grau, S. (n.d.). *Autores*.
- [4] Salager, J. L., & Anton, R. (n.d.). *CUADERNO FIRP S205-B CUADERNO FIRP S205-B UNIVERSIDAD DE LOS ANDES FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA Lab. Formulación, Interfases, Reología y Procesos Mérida-Venezuela (2005) METODOS de MEDICION de la TENSION SUPERFICIAL o INTERFACIAL en español*.
- [5] Carrera, M. C., Romero, A. I., Villegas, M., Parentis, M. L., & Gonzo, E. E. (n.d.). *VII CAIQ 2013 y 2das JASP OBTENCIÓN DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL MEDIANTE EL MÉTODO DE DU NOUY Y EL MÉTODO DE LA GOTA PENDIENTE*.
- [6] Reología [Internet]. Available from: https://iesmat.com/catalogos/WC_REOLOGIA/reologia/.
- [7] Regalado, Alejandro & Ramos, Octavio. (2009). Comportamiento reológico de un fluido. *Ciencia y Mar*. XII. 35-42.
- [8] Okkels F. Different Types of Rheometers [Internet]. Fluidan. 2021. Available from: <https://fluidan.com/different-types-of-rheometers/>.
- [9] Viscosidad: Concepto, Tipos y Ejemplos [Internet]. Concepto.de. 2018. Available from: <https://concepto.de/viscosidad/>.
- [10] Fluidos: tipos, propiedades, características y ejemplos [Internet]. Características. [cited 2022 Apr 26]. Available from: <https://www.caracteristicas.co/fluidos/#:~:text=Superfluidos>.
- [11] (S/f). Rua.ua.es. Recuperado el 6 de mayo de 2022, de <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/3626/1/tema5RUA.pdf>
- [12] Sigma-M3895. (1907). [online] Available at: <https://www.sigmaaldrich.com/ES/es/sds/sigma/m3895>.

- [13] Product Specification. (n.d.). [online] Available at: https://www.sigmaaldrich.com/specification-sheets/328/074/M3895-BULK____SIGMA____.pdf.
- [14] Capture the Atlas. (2022). *¿Qué es la velocidad de obturación en fotografía?* [online] Available at: <https://capturetheatlas.com/es/que-es-la-velocidad-de-obturacion-en-fotografia/>.
- [15] Capture the Atlas. (2020). *Qué es la APERTURA de diafragma en fotografía y cuál usar.* [online] Available at: <https://capturetheatlas.com/es/que-es-la-apertura-de-diafragma-en-fotografia/>.
- [16] Capture the Atlas. (2020). *¿Qué es el ISO en fotografía y cómo elegir el valor correcto?* [online] Available at: <https://capturetheatlas.com/es/que-es-el-iso-en-fotografia/>.
- [17] Difusores de Aroma [Internet]. The Aroma Trace. Available from: <https://thearomatrace.com/difusores-de-aroma/>.
- [18] www.biolinscientific.com. (n.d.). *Sigma 702 | Attension | Force Tensiometers.* [online] Available at: <https://www.biolinscientific.com/attension/force-tensiometers/sigma-702> [Accessed 26 Apr. 2022].
- [19] Katre P, Banerjee S, Balusamy S, Sahu KC. Fluid dynamics of respiratory droplets in the context of COVID-19: Airborne and surfaceborne transmissions. *Physics of Fluids*. 2021 Aug;33(8):081302.
- [20] Consejos de Farmacia Online Atida. (n.d.). *Qué es la Glicerina y Para qué sirve?* [online] Available at: <https://www.atida.com/es-es/blog/diccionario-farmacia/que-es-la-glicerina-para-que-sirve/>.
- [21] Rodríguez-Hakim, M., Rüz, L., & Vermant, J. (2022). Variations in human saliva viscoelasticity affect aerosolization propensity. *Soft Matter*, 13