

**César Suárez Malanda**

**Mejora de las agujas sólidas, usadas en la técnica de  
fisioterapia invasiva electrólisis percutánea intratisular**

**Trabajo de Fin de Grado  
dirigido por el Dr. Manel Santafé**

**Grado en Ingeniería Biomédica**



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

**Tarragona**

**2022**



# Índice

1. Introducción.....	1
2. Objetivos .....	3
3. Material y métodos .....	3
3.1 Material .....	3
3.1.1 Vaselina .....	3
3.1.2 Aceite de girasol .....	3
3.1.3 Polvo de alabastro .....	4
3.1.4 Ringer.....	4
3.1.5 Generador de corriente galvánicas.....	4
3.1.6 Lupa digital .....	4
3.1.7 Microscopio electrónico de barrido.....	5
3.1.8 Ecógrafo .....	5
3.2 Métodos .....	5
3.2.1 Revestimientos puros .....	5
3.2.2 Revestimientos con polvo de alabastro .....	5
3.2.3 Obtención de imágenes.....	6
4. Resultados e interpretación .....	7
4.1 Vaselina .....	7
4.1.1 Imágenes.....	7
4.1.2 Ecografía.....	8
4.2 Vaselina con alabastro de grosor grueso (Serie 1) .....	10
4.2.1 Imágenes.....	10
4.2.2 Ecografía.....	10
4.2.3 Penetración .....	11
4.3 Vaselina con alabastro de grosor fino (Serie 2) .....	11
4.3.1 Imágenes.....	11
4.3.2 Ecografía.....	12
4.3.3 Penetración .....	12
4.4 Aceite de girasol.....	12
4.4.1 Imágenes.....	12
4.4.2 Ecografía.....	12
4.5 Aceite de girasol con alabastro .....	13
4.5.1 Imágenes.....	13
4.5.2 Ecografía.....	13

4.6	Vaselina líquida .....	14
4.6.1	Imágenes.....	14
4.6.2	Ecografía.....	14
4.7	Vaselina líquida con alabastro.....	14
4.7.1	Imágenes.....	14
4.7.2	Ecografía.....	15
5.	Conclusiones. ....	15
6.	Conflictos de intereses .....	16
7.	Agradecimientos .....	16
8.	Glosario .....	17
9	Referencias .....	18

---

## 1. Introducción

Este TFG trata sobre el empleo de agujas en fisioterapia. La primera aguja desechable fue fabricada en el año 1978. Anteriormente eran utilizadas agujas huecas reutilizables por los acupuntores del Reino Unido, pero el Ministerio de Salud de este país recomendó que las agujas fueran desechables, tras un brote de Hepatitis B [1].

En la actualidad, el uso de las agujas desechables se ha extendido alrededor del mundo, y son utilizadas en una técnica de fisioterapia invasiva llamada "punción seca", que consiste en introducir una aguja en el cuerpo, con la intención de alcanzar los puntos gatillo y destruirlos, aliviando así los síntomas [1]. Estos puntos son los responsables de causar los síntomas dolorosos, incluso en zonas alejadas del propio punto [2]. Recibe el nombre de punción seca porque las agujas no inyectan ninguna sustancia [1]. Después de su aplicación, hay una importante reducción del dolor [2].

Otro uso clínico de estas agujas es la electrólisis percutánea. Esta técnica de fisioterapia invasiva también consiste en la introducción de la aguja en el cuerpo, pero usándola como un cátodo para aplicar corriente galvánica para causar una reacción electroquímica en la zona de aplicación. La corriente galvánica es un flujo continuo de electrones desde el polo negativo al polo positivo. En el caso de la electrólisis percutánea, el cátodo (polo negativo) es la aguja aplicada en el punto gatillo. Esto causa dos efectos básicos: electrofísico y electroquímico [3]. El efecto electroquímico consiste en la naturaleza del cátodo como un electrodo activo reaccionando con el agua y electrolitos, que actúa como una solución de cloruro de sodio (NaCl) cuando una corriente eléctrica pasa a través de la misma. En el cátodo ocurre la liberación del hidróxido de sodio ( $2 \text{ NaOH}$ ), activando inmediatamente la respuesta inflamatoria para reparar el tejido alterado y causando licuefacción con liberación de hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) [3]:  $2 \text{ Na} + 2 \text{ H}_2\text{O} = 2 \text{ NaOH} + \text{H}_2$ . El efecto electrofísico causa la migración de moléculas cargadas positivamente a uno de los polos. Debido a este flujo, se activan mecanismos analgésicos y respuestas vasculares [3]. Es decir, primero, la electrólisis percutánea intratisular (EPI) remueve el tejido enfermo e inútil, dejando la zona lista para la segunda fase, donde aparecen los factores de crecimiento para regenerar el tejido. Gracias a eso, la nueva cicatriz es más similar al tejido saludable [4].

Un ejemplo del uso clínico de esta técnica fue el caso del tenista Rafa Nadal. Este tenista sufría de tendinopatía rotuliana, un tipo de afección que generalmente implica un punto de inflexión en las carreras de muchos deportistas profesionales. Sin embargo, Rafa Nadal regresó al juego con un gran nivel, gracias a una terapia que implica un tratamiento con EPI junto con la aplicación de factores de crecimiento [4].

Otro ejemplo clínico referido, más anónimo, es el de un varón de 42 años de edad, jugador ocasional de pádel, el cual fue derivado por su traumatólogo a la MV Clinic de Madrid con un cuadro de dolor de codo, de 12 meses de evolución, resultado de una epicondilitis que resistía todos los tratamientos, como última opción antes de realizar un tratamiento quirúrgico [5]. Este paciente había intentado previamente fisioterapia convencional, tratamientos farmacológicos y dos infiltraciones con corticoides [5]. La EPI fue aplicada semanalmente, en asociación con un programa de ejercicios excéntricos y estiramientos. Tras cuatro sesiones de EPI ecoguiadas, el paciente fue dado de alta con una gran mejora clínica. Esta técnica permite tratar de forma específica el área afectada de un tendón. Un hecho importante que apoya a la EPI como causante directa de la mejora, es que este mismo paciente

había pasado previamente por un tratamiento de ejercicios excéntricos y estiramientos, sin progreso alguno, siendo la EPI la principal diferencia entre ambas intervenciones[5].

La EPI es una técnica muy segura, cuyo efecto secundario más común es el dolor postelectrolítico debido a la inserción de la aguja o la aplicación de la corriente galvánica. Sin embargo, los síntomas desaparecen por sí mismos tras 12-36 horas. El hecho de que esta terapia se recomiende hacerla eco guiada la hace mucho más segura[6]. Habitualmente esta terapia se realiza con asistencia ecográfica, con el fin alcanzar el tejido diana de manera selectiva. Únicamente se pretende transmitir la corriente al tejido diana (por ejemplo, punto gatillo), no a otras zonas del cuerpo. Así que se necesita saber exactamente cómo se mueve nuestra aguja en todo momento, y confirmar que se actúa sobre el lugar adecuado.

La ecografía es también muy importante en términos de seguridad. Después de todo, lo que estamos introduciendo en el cuerpo es una aguja, así que, si el terapeuta no es lo bastante cuidadoso, podría perforar una zona crítica. Por ejemplo, es peligroso realizar esta técnica sobre la zona pulmonar sin un técnico de ultrasonidos, porque la aguja podría perforar la pleura que recubre el pulmón, ocasionando un neumotórax[7]. Existen también otras zonas del cuerpo donde no debería aplicarse este tratamiento, como cerca de los grandes vasos, del corazón o los nervios periféricos, de modo que, con el fin de no alcanzarlos por accidente, es esencial el uso de la ecografía[7].

Actualmente existen tres familias de agujas para su uso en fisioterapia invasiva. La primera son agujas de punción seca o de acupuntura. Están hechas de acero de clase 1, tipo 2, el llamado acero quirúrgico, un material muy resistente a la punción. Esta aleación es rica en cromo (12-20%), molibdeno (3%) y, en ocasiones, níquel (8-12%). Este es el material más resistente a la penetración[1]. Una caja cuesta 6,95 € con 100 unidades. Estas agujas penetran fácilmente en los tejidos, conducen bien la electricidad y se detectan muy bien con la ecografía. Sin embargo al no tener ningún recubrimiento la electricidad estimula todos los tejidos que atraviesa. Es decir, no conducen la electricidad de forma específica.

Una variante de estas agujas son otras de punción seca pero muy lubricadas. Son exactamente como las anteriores, pero con una triple capa de aceite que la ayuda a penetrar mejor. Su precio también es parecido. Si embargo, no transmiten bien la electricidad y no se visualizan muy bien en la ecografía, quizá debido a su triple capa de aceite. Por tanto, son completamente inútiles para la EPI.

El segundo tipo de aguja en la EPI está revestida de silicona en toda su superficie salvo la punta. También están hechas de acero quirúrgico y focalizan muy bien la corriente. Su mango optimizado y perfectamente centrado, asegura un agarre ergonómicamente confortable. Este está hecho de polipropileno, un plástico extremadamente ligero que no irrita la piel y es compatible con el medio ambiente. Una caja de agujas de 0,25 x 30 cuesta 11,39 €, con 200 unidades. Los precios varían según el tamaño. Sin embargo, penetran dolorosamente y con gran dificultad en el paciente. Además, no se ven muy bien en la ecografía.

El tercer tipo de aguja es la concéntrica de registro electromiográfico. Son agujas desnudas, sin siliconar ni lubricar, por tanto, se ven muy bien con el ecógrafo. Consiste en una aguja dentro de otra, separadas por una fina capa aislante. La corriente eléctrica solo se transmite en la punta, siendo muy específica. Estas agujas cuestan cada una sobre los 100 euros. Este precio las hace inviables para su uso en fisioterapia dado que se suelen usar 3-4 agujas por paciente.

Por estos motivos, es imperativo diseñar una aguja que, siendo económicamente competitiva, penetre fácilmente en los tejidos, sin añadir dolor al hecho de insertar una aguja, de fácil seguimiento ecográfico y que conduzca la electricidad únicamente en su punta.

## 2. Objetivos

El objetivo principal de este estudio es diseñar una aguja económica, que penetre fácilmente en los tejidos, de fácil seguimiento ecográfico y que conduzca la electricidad únicamente en su punta mediante la aplicación de un revestimiento. Dicho revestimiento debe ser aislante, para focalizar bien las corrientes en la punta y no excitar los demás tejidos contiguos a la aguja, y biocompatible, para no causar daños internos al paciente. Como este revestimiento no recubrirá la punta de la aguja, esta aparecerá en la ecografía, y podrá efectuarse un seguimiento efectivo.

## 3. Material y métodos

### 3.1 Material

#### 3.1.1 Vaselina

Se pretende que obtener un revestimiento ayude a la aguja en la penetración, así que se usó un lubricante, que protegerá al cuerpo durante el proceso. Un conocido lubricante es la vaselina. Su principal compuesto es la parafina, un aceite que se deriva del petróleo. También puede originarse de los esquistos bituminosos o del carbón. La parafina es un grupo de hidrocarburos alcanos, con fórmula general  $C_n H_{2n+2}$ . La molécula simple viene del gas metano ( $CH_4$ ). Los miembros pesados de la serie, como el octano ( $C_8 H_{18}$ ), se presentan como líquidos. Las formas sólidas llamadas cera de parafina provienen de las moléculas pesadas  $C_{20}$  a  $C_{40}$  [8].

Para obtener la parafina se hace una destilación a temperatura elevada, para obtener aceites pesados, a los que se somete a un enfriamiento de  $0^\circ C$ , cristalizando la parafina. Se separa mediante centrifugación o filtración. Finalmente se somete a recristalizaciones, lavados ácidos y alcalinos y a decoloración para purificarse [8].

La cera macrocristalina de parafina es insoluble en agua y un muy buen aislante eléctrico, proporcionando una resistividad eléctrica de entre  $10^{13}$  y  $10^{17}$  ohm/metro. Esta resistividad supera a la mayoría de otros materiales, excepto algunos plásticos. Suele ser usada como aislante en conductores eléctricos. Así que es un buen candidato para revestimiento[8]

En el caso de la parafina líquida es una mezcla de alcanos más pesados[8].La vaselina también contiene cera microcristalina, del desengrase obtenido por refinar petróleo crudo[8]. En este estudio se probó con la vaselina en sus dos formas: sólida y líquida.

100 ml de vaselina hidratante costaron 2€ y 100 ml de vaselina líquida costaron 4,09 €. Estos precios pueden estar sujetos a modificaciones en función del local de compra, marca o situación económica actual.

#### 3.1.2 Aceite de girasol

Además de estos dos revestimientos y, con la intención de ampliar el abanico de posibilidades a materiales orgánicos, se optó por un tercer recubrimiento: el aceite de girasol. El aceite no conduce la electricidad, y una capa de aceite puede ayudar a la penetración de la

aguja. Muchos aceites vegetales se utilizan para hacer jabones y otros productos destinados a la piel.

Este aceite se obtiene mediante las semillas del girasol *Helianthus Annus*. Estas semillas son trituradas, ya que el aceite propiamente dicho se encuentra en el interior de las células que conforman la semilla, por lo que se deben romper sus paredes celulares para obtenerlo. Para separarlo de los otros elementos celulares se emplean disolventes autorizados, siendo el agua el más prominente[9].

El siguiente paso es refinarlo, eliminando los fosfolípidos y los metales. Después se neutralizan los ácidos grasos libres y se eliminan. También se decolora mediante tierras naturales o activadas y, de ser necesario, se desodoriza. Con este proceso se desea reducir su grado de acidez. Este aceite de girasol refinado, que se encuentra en los supermercados, es el que ha sido empleado en este estudio[9]

1l de aceite de girasol costó 2,50 €. Este precio podría variar en función del distribuidor, marca o situación económica actual.

### **3.1.3 Polvo de alabastro**

Con el fin de aumentar la ecodensidad de los revestimientos sin modificar su aislamiento los tres se mezclaron con polvo de alabastro.

### **3.1.4 Ringer**

Es un sustituto del suero sanguíneo que se inyecta en la vena como reemplazante en casos de deshidratación y desbalance electrolítico, causado por pérdida de iones. Este suero está formado por una solución incolora[10] de: NaCl 137 mM, KCl 5 mM, NaHCO<sub>3</sub> 12 mM, Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 1 mM, CaCl<sub>2</sub> 2 mM, MgSO<sub>4</sub> 1 mM.

### **3.1.5 Generador de corriente galvánicas**

El generador de corriente continua usado en este estudio es un equipo de electroestimulación (Physio Invasiva 2.0.), empleado en tratamientos de fisioterapia mediante la aplicación de corrientes galvánicas, PES, TENS y microcorrientes. Su diseño cumple con la Directiva Europea 93/42/CEE [7].

Las corrientes se aplican mediante un portaagujas, con un par de agujas aplicadas en los puntos adecuados, según el tratamiento. El terapeuta puede dosificar la corriente de salida, con un máximo de 15 mA que no se puede sobrepasar, y el tiempo de aplicación (minutos o segundos)[7].

### **3.1.6 Lupa digital**

En este estudio se ha utilizado la lupa digital Leica DMS 1000 del Servicio de Recursos Científicos y Técnicos de la URV. El sistema de microscopía binocular digital garantiza aumentos de hasta 300x. Viene con una cámara de microscopía HDMI incorporada que permite tomar imágenes en directo de hasta 30 fps y una resolución de 5 megapíxeles. Esta cámara permite revisar las muestras en un monitor, en lugar de mediante oculares dando la opción de tomar fotos más fácilmente[11]

### **3.1.7 Microscopio electrónico de barrido**

En este estudio se ha utilizado el Microscopio electrónico de barrido (FEI QUANTA 600) del Servicio de Recursos Científicos y Técnicos de la URV. Los microscopios electrónicos de barrido (SEM) utilizan un haz de electrones, y no de luz, para formar una imagen. Estos electrones se aceleran en un campo eléctrico, para aprovechar su comportamiento ondulatorio, y salen del cañón para ser enfocados sobre la muestra por las lentes condensadora y objetiva, con la intención de que el haz sea lo más pequeño posible y otorgue mayor resolución[12]. Su resolución es de 3 nm y presenta una gran profundidad de campo[13].

### **3.1.8 Ecógrafo**

En este estudio se ha utilizado el ecógrafo LOGIQ S7 XD clear 2.0, de la marca General Electrics. Este dispositivo utiliza ultrasonidos para adquirir imágenes. La clave de su funcionamiento reside en el efecto piezoeléctrico, propiedad presente en los cristales piezoeléctricos que, tras ser sometidos a una corriente eléctrica, vibran produciendo una onda de sonido que es proyectada en el interior del cuerpo. Estas ondas sónicas rebotan en las regiones más densas del cuerpo, regresando y siendo recibidas por sensores, hechos también con cristales piezoeléctricos, donde se produce el efecto piezoeléctrico inverso que transforma esta nueva señal acústica en una señal eléctrica[14]. Un mismo cristal piezoeléctrico no puede actuar como emisor y receptor al mismo tiempo. La señal obtenida se transmite al ordenador, donde es procesada y usada para recrear la imagen del interior del paciente[14].

## **3.2 Métodos**

### **3.2.1 Revestimientos puros**

Se sumergieron en los diferentes vehículos la mitad de las agujas. La intención de este procedimiento es estudiar la posible degradación de los vehículos por acción de la corriente galvánica. Se revistieron únicamente la mitad de las agujas para después comparar las dos mitades, y estudiar sus posibles diferencias.

Se procedió de la siguiente manera: después de limpiar la aguja con alcohol etílico al 97% se procedió a aplicar el revestimiento por inmersión. Posteriormente esta aguja se usó como cátodo, recreando la electrólisis con el dispositivo Physio Invasiva 2.0. Se colocó la aguja problema como cátodo y una aguja sin tratar en el ánodo, después se introdujeron en 2 viales que se comunicaron por un puente de vidrio lleno de agar conductor (ver Figura 1).

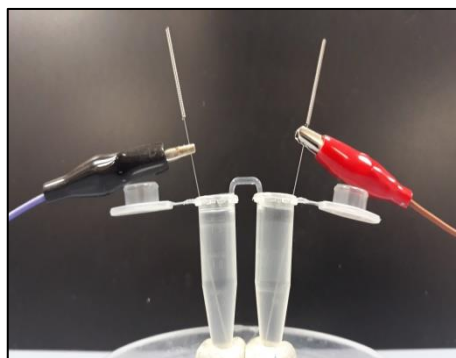
Los parámetros usados fueron 3 mA, durante 3 segundos, un total de 3 veces. Este método, cuando se aplica dentro del paciente, no produce ningún desgaste de la aguja[15].

Se trataron 10 agujas para cada uno de los materiales: vaselina líquida, vaselina sólida y aceite de girasol.

### **3.2.2 Revestimientos con polvo de alabastro**

El método usado en esta parte fue mezclar cada uno de los vehículos con el polvo de alabastro. Tras hacer la mezcla, se aplicó en la aguja previamente limpiada con alcohol etílico. Se realizaron 5 agujas por cada mezcla.

La concentración de la mezcla se hizo a partes iguales de vehículo y polvo de alabastro. Dado que la densidad del alabastro es superior a la de los vehículos, se obtuvo una buena mezcla de vaselina líquida y polvo de alabastro para impregnar satisfactoriamente las agujas. Lo mismo sucedió con el aceite de girasol.



**Figura 1. Aplicación de electrólisis a las agujas.** Las agujas que actúan como ánodo y cátodo se sumergieron en viales Eppendorf® llenos de Solución Ringer. La aguja del cátodo es la aguja problema. Los 2 viales están comunicados por un puente de vidrio lleno de agar conductor. En todos los casos se han aplicado corrientes galvánicas de 3mA durante 3 segundos repetido 3 veces (3:3:3).

Por el contrario, la vaselina sólida fue muy difícil de manejar. Tras recubrir una serie inicial de 10 agujas, el revestimiento resultante era demasiado grueso, de modo que se decidió realizar una segunda serie de agujas mejorando el recubrimiento. Para esta nueva serie fue necesario licuarla, al baño maría. Además, para que las agujas estuvieran calientes para mantener la parafina líquida se usó una fuente de calor seco (soldador de estaño 30W 230V, Cetronic). Con este método solo se pudieron obtener tres agujas siguiendo este método. La mezcla se corrompió precozmente dado que se cristalizó impidiendo su mezcla con el alabastro. Asumiendo que este procedimiento sería poco eficaz a escala industrial se procedió a optimizarlo mediante una plancha térmica que mantuvo la vaselina licuada evitando que se enfrié y, por tanto, cristalice. Los resultados de ambas series serán analizados por separado en la sección correspondiente.

### 3.2.3 Obtención de imágenes

**Lupa digital** (Leica DMS 1000). Se obtuvieron imágenes a bajo aumento (0,72x) de las agujas al completo, y a mayor aumento (4,5x), para su posterior reconstrucción.

**Microscopía electrónica de barrido.** Se trabajó a 230x aumentos, un voltaje de 10 kV y a una presión de 0,68 Torr. El grosor del recubrimiento de la serie 1 de vaselina con alabastro fue excesivo para los aumentos que se usaban por lo que se trabajó a 138x para conseguir una imagen completa de su grosor.

**Ecografía.** Finalmente, para confirmar que las agujas resbalan adecuadamente y su visualización ecográfica, se insertaron en pechugas de pollo. La pechuga de pollo es un buen modelo que emula perfectamente tejidos humanos y no precisa violentar animales de laboratorio. Esta técnica fue realizada por un ecografista experto de la clínica BrumaClinic, en Tarragona.

La obtención de las imágenes ecográficas de las agujas insertadas se realizó con un corte longitudinal, en el eje longitudinal, a 45°. Se hizo de este modo con el objetivo de obtener una visión completa de la aguja con la ecografía. Los parámetros del ecógrafo utilizados fueron una frecuencia de 12 Hz de barrido y a una profundidad de 4 cm. De cada aguja ensayada se realizaron 2 fotografías (una durante y otra después de la inserción de la aguja para conformar que no queden restos de alabastro) y un video registrando todo el proceso de inserción (ver ejemplos en la Figura 2).



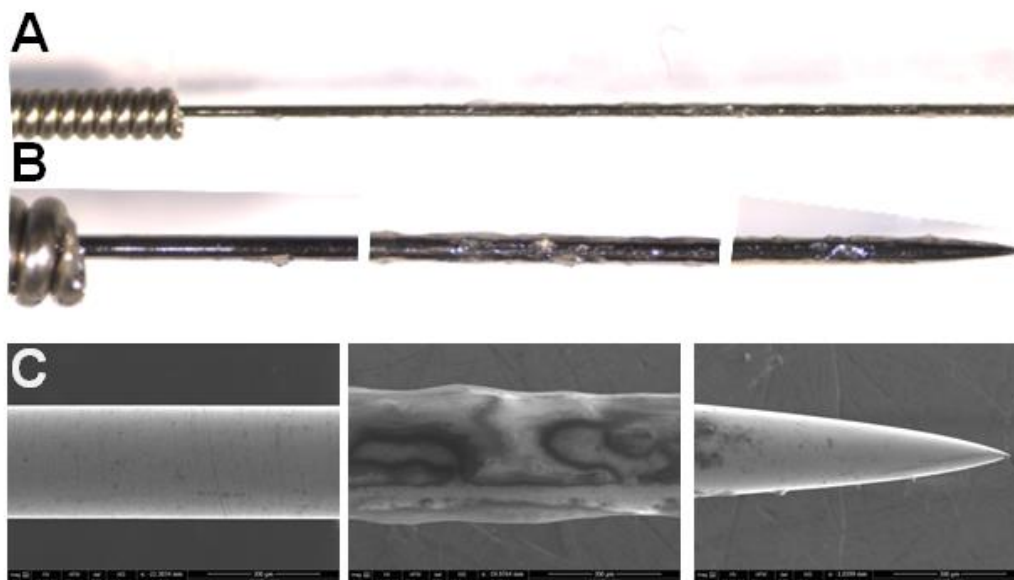
**Figura 2. Inserción de la aguja bajo control ecográfico.** En la imagen se puede ver que se realizó la inserción de las agujas en la misma dirección longitudinal en que se aplicó el sensor ecográfico. También se puede observar que el ángulo de inserción fue de 45°. Se hizo de este modo con el objetivo de obtener una visión completa de la aguja con la ecografía. Todas las pruebas se realizaron con un modelo de pechugas de pollo.

## 4. Resultados e interpretación

### 4.1 Vaselina

#### 4.1.1 Imágenes

El revestimiento de vaselina pura recubrió de forma casi uniforme la región de la aguja donde fue aplicado (figura 3.A, 3.B central y 3.C central). Las imágenes del microscopio electrónico muestran, a gran aumento, que la zona cubierta es claramente uniforme. Además, como se puede apreciar, la punta no fue recubierta por vaselina quedando claramente descubierta. (Figura 3.B. y 3.C derecha). Aunque la aguja penetrará bien en el paciente, estas regiones descubiertas transmitirán electricidad durante la aplicación, reduciendo la focalización de las corrientes galvánicas. Con este revestimiento puro, la aguja penetrará bien, pero la corriente no se focalizará adecuadamente.



**Figura 3. Ejemplo de aguja recubierta con vaselina. A**, imagen obtenida con lupa a 0,72 aumentos. **B**, Imágenes obtenidas con lupa a 4,5 aumentos. **C**, Imágenes obtenidas con microscopio electrónico de barrido a 230 aumentos. En B y C las tres imágenes corresponden a: Base, cerca del mango (imagen de la izquierda), imagen de la parte central de la aguja e imagen de la punta de la aguja (derecha).

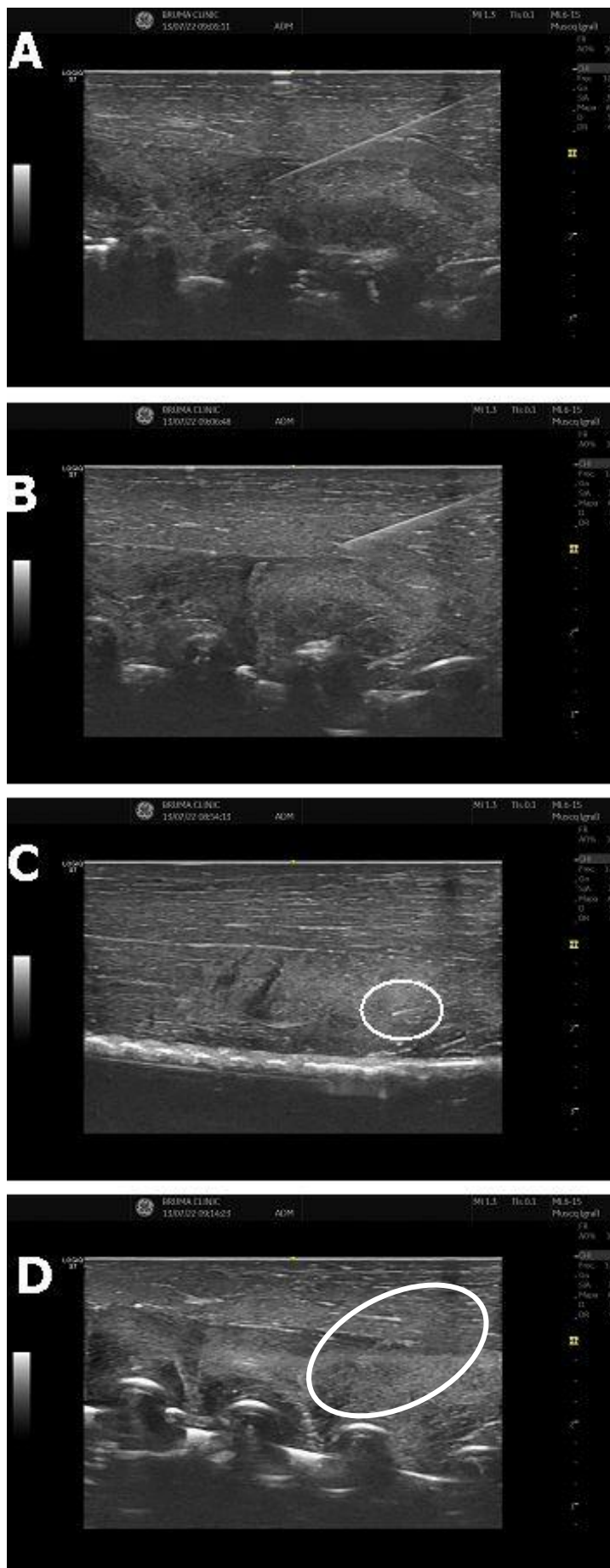
#### 4.1.2 Ecografía

En todas las imágenes de la ecografía puede verse la totalidad de la aguja (Figura 4.B). Esto significa que los ultrasonidos están rebotando en la superficie de la aguja y puede realizarse un seguimiento de toda la aguja (ver Tabla 1). Dado que la vaselina no es ecodensa se entiende que realmente hay zonas por cubrir o por capas lo suficientemente finas como para ser ecoicas.

Tabla 1. Visualización de las agujas insertadas en pechugas de pollo con la ecografía.

IMAGEN ECO	COBERTURA						
	Aceite	Parafina	Vaselina L	Aceite+ Alabastro	Parafina+ Alabastro Serie 1	Parafina+ Alabastro Serie 2	Vaselina L+ Alabastro
<b>Solo Punta</b>	50%	-	80%	25%	100%	100%	40%
<b>Toda la aguja</b>	50%	100%	20%	75%	-	-	40%
<b>No se ve nada</b>	-	-	-	-	-	-	20%

IMAGEN ECO: parte de la aguja que se visualiza con ecografía. Vaselina L: vaselina líquida. Serie 1: Primera serie de agujas con vaselina, que resultaron ser muy gruesas. Serie 2: Serie hecha con vaselina más licuada, de menor grosor. Los porcentajes son respecto a la totalidad de las agujas evaluadas con cada una de las coberturas.

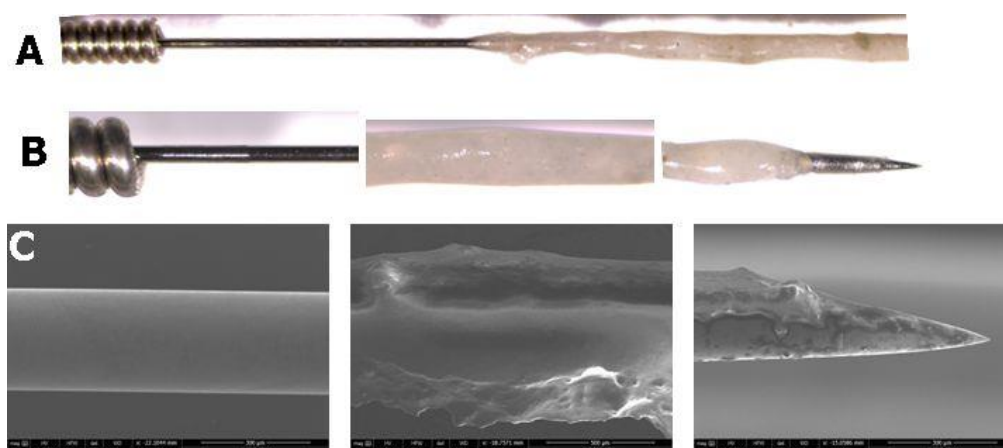


(página anterior) **Figura 4. Ejemplos de imágenes ecográficas.** Se han insertado cada una de las agujas estudiadas en pechuga de pollo. **A**, registro ecográfico de una aguja control no recubierta por nada. **B**, Típica imagen de aguja recubierta por vehículo, por ejemplo, parafina. La aguja se identifica algo borrosa por el vehículo, pero claramente identificable. **C**, en este ejemplo solo se ve la punta de la aguja (círculo blanco). Es el objetivo de este estudio. **D**, Típica imagen de aguja recubierta por vehículo (elipse blanca), por ejemplo, aceite con alabastro. Se puede llegar a ver la aguja, aunque con dificultad.

## 4.2 Vaselina con alabastro de grosor grueso (Serie 1)

### 4.2.1 Imágenes

El primer tipo de revestimiento de vaselina y alabastro realizado presenta una cobertura uniforme en toda la superficie donde se aplicó. Aunque es claramente visible mediante la lupa (Figura 5. A y B), el microscopio electrónico nos confirma que se ha formado una capa gruesa y uniforme (Figura 5.C). Es importante destacar que la punta quedó descubierta. Debido a este revestimiento, solo la punta transmitirá la corriente, como se pretendía. Este revestimiento permite focalizar las corrientes. Debido a su grosor, se decidió repetir esta prueba, licuando mejor la vaselina.



**Figura 5. Ejemplo de aguja recubierta con vaselina y alabastro. Serie 1.** **A**, imagen obtenida con lupa a 0,72 aumentos. **B**, Imágenes obtenidas con lupa a 4,5 aumentos. **C**, Imágenes izquierda y derecha obtenidas con microscopio electrónico de barrido a 230 aumentos. Imagen central obtenida a 138 aumentos. En B y C las tres imágenes corresponden a: Base, cerca del mango (imagen de la izquierda), imagen de la parte central de la aguja e imagen de la punta de la aguja (derecha).

### 4.2.2 Ecografía

Todas las ecografías muestran únicamente la punta de la aguja (Figura 4.C; ver Tabla 1). Esto se debe a que la mezcla con el alabastro es muy ecodensa y no devuelve los ultrasonidos. Este revestimiento permite que la aguja sea eco guiada.

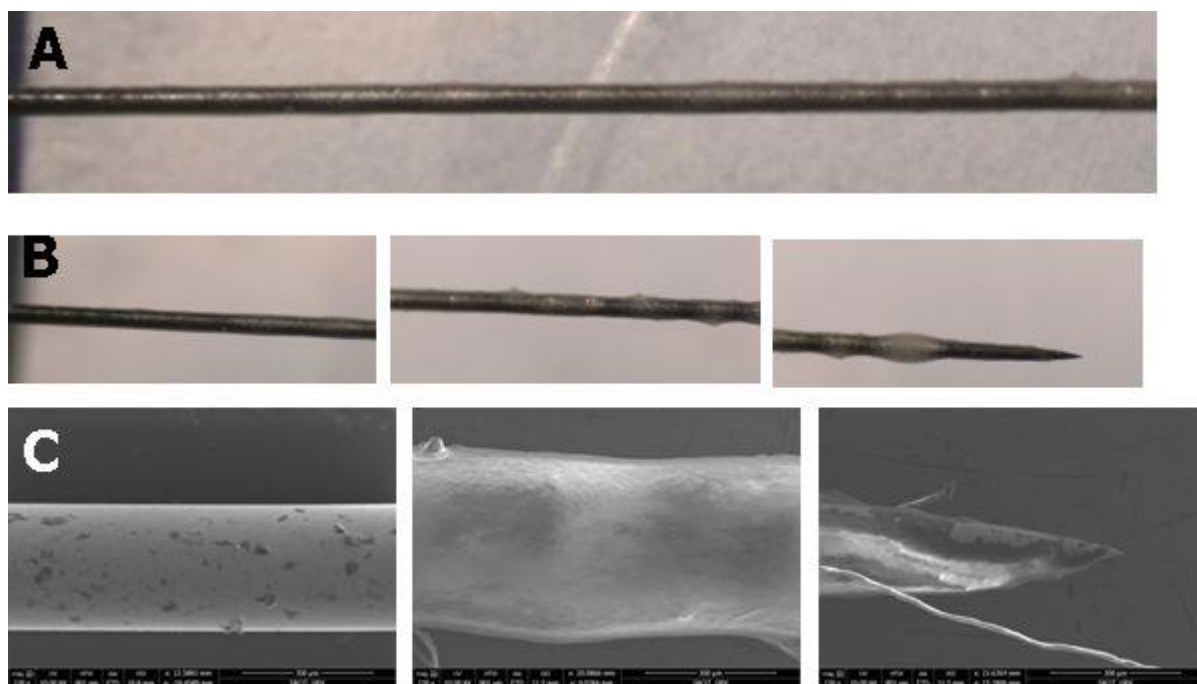
### 4.2.3 Penetración

El revestimiento de vaselina con alabastro no es capaz de permanecer adherido a la aguja durante la punción, quedándose fuera de la pechuga durante el proceso. Si bien cumple con las expectativas de ser aislante minimiza la posibilidad que sea aislante de las corrientes. Además, si se precisa de más de una inserción no se podría aprovechar la misma aguja. Este problema quizá podría solventarse gracias a un recubrimiento adicional mediante polímeros, que recubra la superficie y ayude a su penetración. Este problema debe solventarse para tener un revestimiento funcional.

## 4.3 Vaselina con alabastro de grosor fino (Serie 2)

### 4.3.1 Imágenes

El segundo revestimiento de vaselina y alabastro también está recubierto uniformemente. No solo se aprecia en las imágenes tomadas por lupa (Figura 6.A y 6.B), sino que nos lo confirma el microscopio electrónico (Figura 6.C). La superficie recubierta quedará completamente aislada y no transmitirá la corriente. Debido a que la vaselina pudo ser licuada mejor que en el experimento anterior, su grosor se ha reducido. Este revestimiento será un buen focalizador de corriente.



**Figura 6. Ejemplo de aguja recubierta con vaselina y alabastro. Serie 2.** **A**, imagen obtenida con lupa a 0,72 aumentos. **B**, Imágenes obtenidas con lupa a 4,5 aumentos. **C**, Imágenes obtenidas con microscopio electrónico de barrido a 230 aumentos. En B y C las tres imágenes corresponden a: Base, cerca del mango (imagen de la izquierda), imagen de la parte central de la aguja e imagen de la punta de la aguja (derecha)

### 4.3.2 Ecografía

El segundo revestimiento de vaselina y alabastro nos ofrece ecografías en las que se ve la punta de la aguja (Figura 4.C; ver Tabla 1). El revestimiento sigue siendo ecodenso, evitando que los ultrasonidos proporcionen una imagen de la zona recubierta. Debido a que la punta está sin recubrir, se puede ver claramente. Este revestimiento permite que la aguja sea ecoguiada.

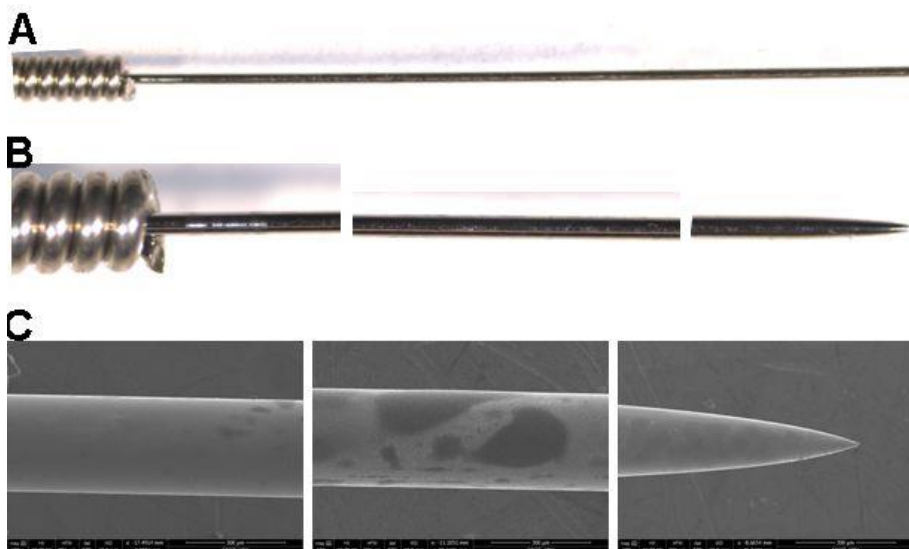
### 4.3.3 Penetración

El segundo revestimiento de vaselina y alabastro comparte el problema de la falta de adhesión a la superficie de la aguja, inutilizando el revestimiento. Vuelve a plantearse el uso de polímeros para solventar esta dificultad. Es necesario hacerlo para que el revestimiento sea funcional.

## 4.4 Aceite de girasol

### 4.4.1 Imágenes

El revestimiento de aceite de girasol no recubre de forma uniforme la superficie de la aguja. Se pueden apreciar pequeñas zonas negras aisladas donde el aceite ha permanecido en la superficie (Figura 7.C central) mientras que el resto de la superficie permanece gris, igual que las zonas en las que no se ha aplicado el aceite (Figura 7.C izquierda y derecha). Estas zonas descubiertas transmitirán la electricidad, evitando la focalización. Este revestimiento no focalizará la corriente.



**Figura 7. Ejemplo de aguja recubierta con aceite de girasol. A,** imagen obtenida con lupa a 0,72 aumentos. **B,** Imágenes obtenidas con lupa a 4,5 aumentos. **C,** Imágenes obtenidas con microscopio electrónico de barrido a 230 aumentos. En B y C las tres imágenes corresponden a: Base, cerca del mango (imagen de la izquierda), imagen de la parte central de la aguja e imagen de la punta de la aguja (derecha).

### 4.4.2 Ecografía

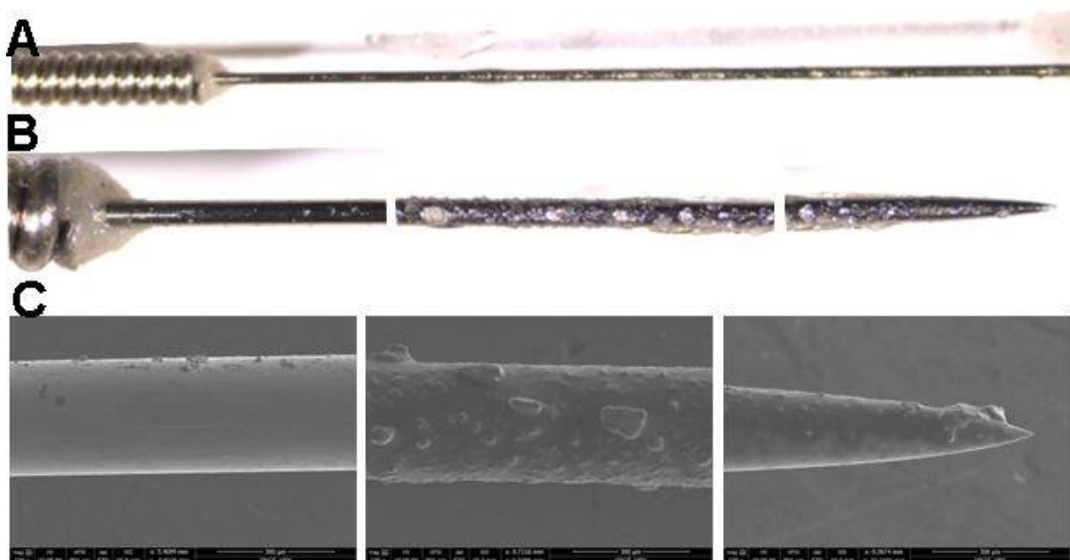
La mitad de las imágenes ecográficas de este revestimiento mostrarán sólo la punta, mientras que la otra mitad mostrará la aguja completa (Ver Tabla 1). Los ultrasonidos rebotan en el aceite, pero no siempre está lo bastante extendido como para que abarque toda la

superficie de aplicación. No se tiene constancia de ningún otro experimento similar. Es posible obtener agujas ecoguiadas utilizando este recubrimiento.

## 4.5 Aceite de girasol con alabastro

### 4.5.1 Imágenes

El revestimiento de aceite de girasol cubre de forma uniforme la superficie de la aguja como puede verse claramente en las imágenes obtenidas mediante lupa y microscopio electrónico (Figura 8). La superficie del revestimiento presenta unas protuberancias (Figura 8.C centro) que podrían causar dolor durante la introducción. Nótese también que en este caso la punta también está recubierta (Figura 8.C derecha), de modo que no transmitirá corriente en absoluto. Este revestimiento focalizará bien las corrientes siempre que no se tape la punta y podrá penetrar sin dolor una vez se lijén las protuberancias de la superficie.



**Figura 8. Ejemplo de aguja recubierta con aceite de girasol. A,** imagen obtenida con lupa a 0,72 aumentos. **B,** Imágenes obtenidas con lupa a 4,5 aumentos. **C,** Imágenes obtenidas con microscopio electrónico de barrido a 230 aumentos. En B y C las tres imágenes corresponden a: Base, cerca del mango (imagen de la izquierda), imagen de la parte central de la aguja e imagen de la punta de la aguja (derecha).

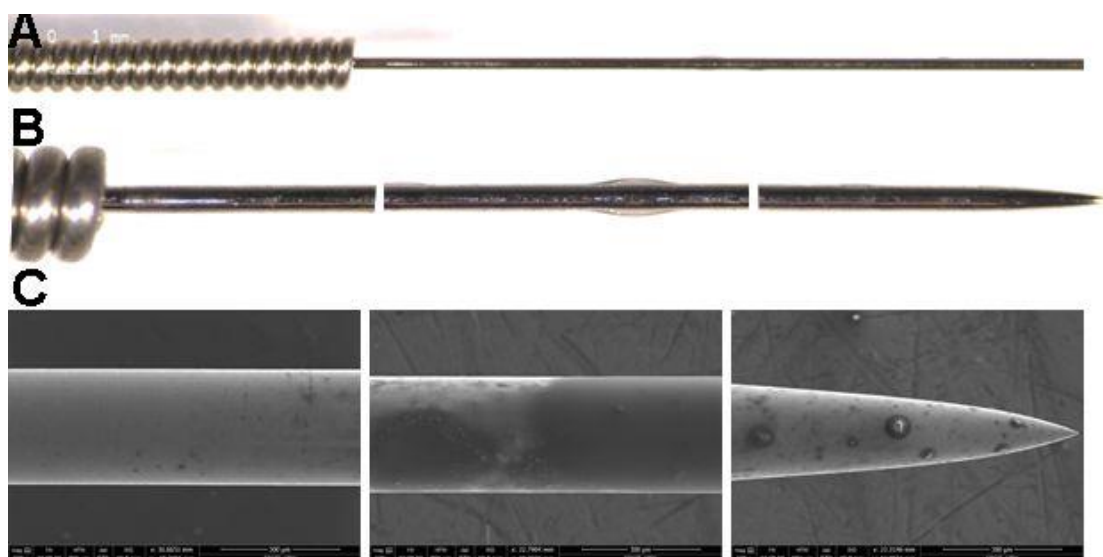
### 4.5.2 Ecografía

La tabla 1 muestra que un 25% de las agujas muestran solo su punta en la ecografía (ver un ejemplo en la Figura 4.C), mientras que en el resto aparece la aguja entera (se muestra un ejemplo en la Figura 4.B). La mezcla no parece ser lo bastante ecodensa como para evitar los ultrasonidos, lo cual es curioso porque la versión pura de este revestimiento mostró más resultados en los que solo se veía la punta. Además, como se ha dicho antes, en este caso algunas puntas también están cubiertas. Este revestimiento permite que la aguja sea ecoguiada sin ningún problema, estos resultados sugieren que hay poca influencia del alabastro en la ecografía, más allá de sus propiedades amalgamantes.

## 4.6 Vaselina líquida

### 4.6.1 Imágenes

El revestimiento de vaselina líquida no recubre uniformemente la superficie de la aguja. Puede apreciarse que las zonas negras recubiertas dejan zonas grises descubiertas (Figura 9.C centro) del mismo modo que en las regiones donde no se aplica (Figura 9.C izquierda y derecha). Al no estar homogéneamente cubierta, transmitirá corriente en estas regiones descubiertas. Este revestimiento no tiene capacidad para focalizar adecuadamente las corrientes.



**Figura 9. Ejemplo de aguja recubierta con vaselina líquida. A,** imagen obtenida con lupa a 0,72 aumentos. **B,** Imágenes obtenidas con lupa a 4,5 aumentos. **C,** Imágenes obtenidas con microscopio electrónico de barrido a 230 aumentos. En B y C las tres imágenes corresponden a: Base, cerca del mango (imagen de la izquierda), imagen de la parte central de la aguja e imagen de la punta de la aguja (derecha).

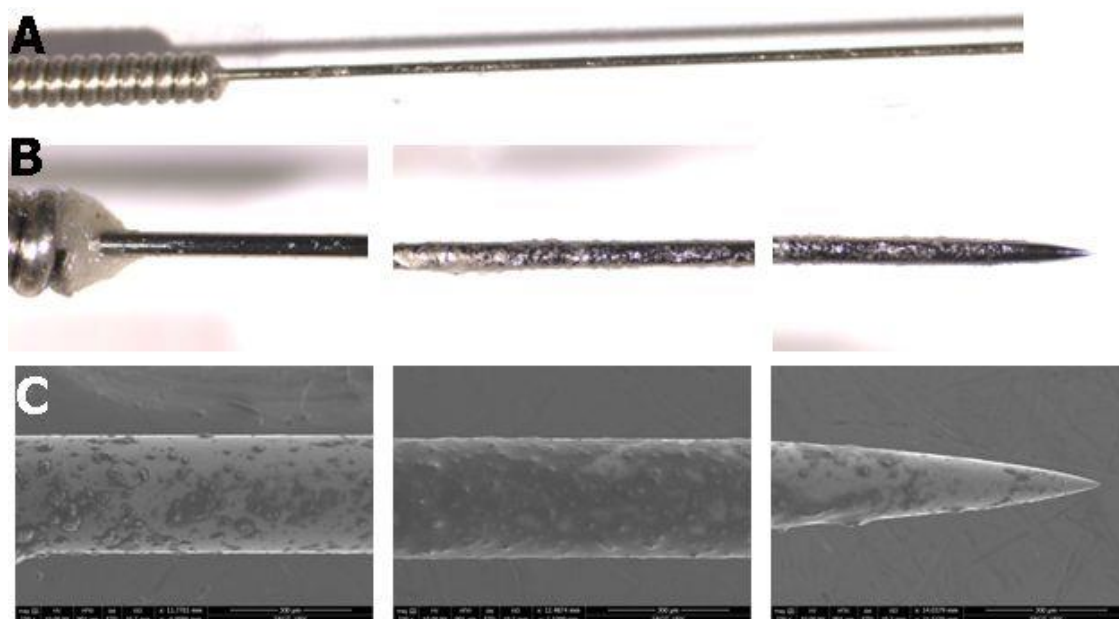
### 4.6.2 Ecografía

Como se puede ver en la Tabla 1 en la mayoría de las ecografías de este revestimiento puede verse la punta de la aguja (Figura 4.C), aunque en algunas se ve la aguja entera (Figura 4.B). La vaselina líquida no devuelve los ultrasonidos y no devuelve imagen, pero como la punta está descubierta, es visible. Este revestimiento permite a la aguja ser ecoguiada.

## 4.7 Vaselina líquida con alabastro

### 4.7.1 Imágenes

El revestimiento de vaselina líquida presenta una superficie homogénea, como puede verse en las imágenes obtenidas mediante lupa digital y microscopio electrónico (Figuras 10.B y 10.C), lo que garantiza que no se transmitirá la corriente. La superficie del revestimiento también cubre en este caso la punta (Figura 10.C derecha), por lo que no se transmitirá nada de electricidad, y presenta una superficie rugosa (Figura 10.C centro) que podría causar dolor al paciente durante la penetración. Este revestimiento aislará toda la aguja evitando que conduzca electricidad, pero si se deja libre la punta, focalizará adecuadamente. Una vez lijadas las rugosidades, penetrará sin dolor.



**Figura 10. Ejemplo de aguja recubierta con vaselina líquida y alabastro. A,** imagen obtenida con lupa a 0,72 aumentos. **B,** Imágenes obtenidas con lupa a 4,5 aumentos. **C,** Imágenes obtenidas con microscopio electrónico de barrido a 230 aumentos. En B y C las tres imágenes corresponden a: Base, cerca del mango (imagen de la izquierda), imagen de la parte central de la aguja y imagen de la punta de la aguja (derecha).

#### 4.7.2 Ecografía

Como se puede ver en la Tabla 1, un 20 % de las agujas no se muestran en la ecografía (Figura 4.D), mientras que, en el resto de las muestras, la mitad solo muestra la punta (Figura 4.C) y la otra mitad muestra toda la aguja (Figura 4.B). En el caso de las agujas que no muestran nada, deben de ser aquellas en las que accidentalmente se recubrieron las puntas, evitando su visualización con el ecógrafo. Este dato, junto con las otras muestras de recubrimiento en las que solo aparece la punta unidas a los datos de la vaselina normal, reafirman la idea de que durante la preparación de las agujas restantes se ha cometido algún accidente permitiendo que los ultrasonidos atraviesen el revestimiento. Estas agujas pueden ser dirigidas mediante la ecografía sin ningún problema, siempre que no se cubran las puntas.

## 5. Conclusiones.

Los revestimientos puros fallan al no poder garantizar la focalización de las corrientes. No obstante, este objetivo es alcanzado satisfactoriamente por los revestimientos con alabastro, gracias a las propiedades amalgamantes de este último. Además, se muestran bastante bien en la ecografía. Una vez solventados los problemas relativos a la penetración, siendo los más sencillos los de la vaselina líquida y el aceite de girasol, se presentan revestimientos plenamente funcionales. A falta de solucionar los problemas de adherencia de la vaselina sólida, el revestimiento de vaselina líquida con alabastro se perfila como la mejor opción, garantizando focalización, precisión ecográfica y buena penetración. Le seguiría el aceite de girasol. No obstante, de probarse factible la solución de los polímeros para la vaselina sólida, esta se convertiría en la mejor opción.

Aunque el estudio no pretendía usar los revestimientos puros como tales, únicamente como vehículo del alabastro se han obtenido resultados relevantes:

1. No recubren la aguja de forma homogénea.
2. El revestimiento de vaselina sólida es el que mejor recubre las agujas.
3. No permiten focalizar las corrientes.
4. Permiten su identificación ecográfica.

Se esperaba de la mezcla de los revestimientos con alabastro una mayor ecodensidad que permitiera una buena visualización de las agujas sin que condujera las corrientes galvánicas, sin embargo, el alabastro ha sido un buen amalgamante de los revestimientos grasos:

1. Las agujas quedan recubiertas de forma uniforme.
2. Algunas de las puntas fueron accidentalmente cubiertas.
3. Focalizan bien las corrientes.
4. El alabastro por sí mismo no parece evitar que los ultrasonidos lleguen a la aguja.
5. Las agujas se suelen ver en ecografía, salvo excepciones.
6. Las agujas de vaselina líquida con la punta recubierta son las que no se ven en la ecografía.
7. La vaselina líquida y el aceite de girasol presentan superficies aparentemente agresivas a la penetración.
8. Las protuberancias de las superficies pueden resolverse mediante una lija.
9. Ambas series de vaselina sólida no se adhieren adecuadamente a las agujas durante la penetración.
10. Ambas series de vaselina sólida presentan el mismo resultado en la ecografía.
11. Un recubrimiento adicional mediante polímeros podría ayudar a la vaselina a permanecer en la aguja.

El conjunto de resultados de este estudio permite alcanzar el objetivo de abaratar el coste de la electrólisis percutánea intratisular (EPI), reduciendo el coste por paciente del orden de magnitud de centenas de euros al orden de magnitud de décimas de euros.

## **6. Conflictos de intereses**

Los participantes de este estudio declaran que no tienen ningún conflicto de interés relativo al mismo.

## **7. Agradecimientos**

Agradecer a la empresa PrimFisio por proporcionarnos el generador Physio Invasiva 2.0 utilizado en el estudio. Agradecer igualmente a Pedro Flores por realizar la ecografía y ayudarnos a finalizar el experimento en su Clínica BrumaClinic de Tarragona. Agradecer a Merce Moncusi del Servicio de Recursos Científicos y Técnicos de la URV su soporte técnico en la adquisición de imágenes de SEM.

## 8. Glosario

- *Ablación*: En el campo de la medicina, extracción o destrucción de una parte del cuerpo o tejido o de su función. La ablación se puede realizar mediante cirugía, hormonas, medicamentos, radiofrecuencia, calor u otros métodos.
- *Acupuntura*: Es una práctica que implica estimular partes específicas del cuerpo, generalmente, mediante la inserción de agujas muy finas. Esto crea un cambio en las funciones físicas del cuerpo.
- *Ánodo*: Electrodo en el que se produce una reacción de oxidación, es decir, de pérdida de electrones.
- *Baño maría*: Método que permite calentar una sustancia, líquida o sólida, introduciéndola en un recipiente conductor térmico, el cual se introduce a su vez en agua hirviendo.
- *Cátodo*: Electrodo en el que se produce una reacción de reducción, es decir, de ganancia de electrones.
- *Corriente galvánica*: Flujo sostenido de electrones desde el polo negativo al positivo, sin cambio de polaridad y con la intensidad requerida.
- *Corticoides*: Es un tipo de hormonas que producen nuestras glándulas adrenales, siendo el más importante el cortisol. Estas sustancias son esenciales para la vida y regulan funciones cardiovasculares, metabólicas, inmunológicas, y homeostáticas. Los glucocorticoides tienen, además, potentes propiedades antiinflamatorias e inmunosupresoras, especialmente cuando se utilizan a dosis farmacológicas. Es por este motivo que se han utilizado ampliamente para tratar diferentes enfermedades inflamatorias, entre ellas las que afectan la piel. Los corticoides se pueden utilizar por vía sistémica (pastillas o inyecciones) o por vía tópica en forma de cremas, como es el caso de los procesos cutáneos.
- *Efecto piezoeléctrico*: Capacidad de algunos materiales que modifican su forma cuando se les aplica un campo eléctrico, siempre dentro de unos márgenes de tolerancia donde el cristal no sufra. Al aplicar esa energía eléctrica al material, este va a expandirse y encogerse apelando a su capacidad elástica, generando a su vez una onda ultrasónica y al revés, cuando los ecos de retorno llegan al transductor estimulan al material piezoeléctrico del mismo modo y eso generará una corriente eléctrica, esto se conoce como efecto piezoeléctrico inverso.
- *Electrólisis percutánea*: Técnica de fisioterapia invasiva que consiste en la aplicación eco guiada de una corriente galvánica a través de una aguja de punción que produce en el tejido blando musculoesquelético un efecto analgésico y un proceso inflamatorio local que permite la fagocitosis y la reparación del tejido afectado. Es imprescindible por seguridad y efectividad que esta técnica se aplique con ecógrafo.
- *Epicondilitis*: La epicondilitis es un dolor en el codo causado por un daño en los tendones de los músculos del antebrazo que se adhieren al epicóndilo. Esta condición aparece como resultado de gestos dañinos del brazo y la mano, repetidos e intensivos. Es parte de los trastornos musculoesqueléticos de la extremidad superior. El dolor de la epicondilitis puede tener diferentes orígenes: micro desgarros de tendones, pequeñas lesiones en su inserción en el hueso, etc. Ocurre después de una tensión significativa y/o repetida del brazo.
- *Esquistos bituminosos*: Roca metamórfica de estructura laminar, que resulta de la transformación de la arcilla sometida a grandes presiones.

- *Factores de crecimiento*: Sustancia producida por el cuerpo que regula la división y la supervivencia celulares. Algunos factores de crecimiento se producen también en el laboratorio y se usan en la terapia biológica.
- *Fisioterapia*: Método curativo de algunas enfermedades y lesiones físicas que se fundamenta en la aplicación de agentes físicos naturales o artificiales como la luz, el calor, el frío, el ejercicio físico, las radiaciones luminosas, los rayos X, etc.
- *Infiltración*: Una *infiltración* no es más que la inyección de una sustancia, normalmente analgésica, en el interior de un tejido o articulación. Se utiliza para mitigar o eliminar el dolor en distintas zonas del aparato musculoesquelético, es una técnica poco invasiva y con un mínimo, aunque no inexistente, riesgo de infección.
- *Licuefacción tisular*: Es una condición en la que se produce la muerte celular o tisular por una infección bacteriana o fúngica, o de una isquemia, lo que produce la destrucción celular por la acción de las enzimas de los agentes infectantes, así como las propias de los leucocitos. La acción destructiva que actúa sobre las células produce la transformación de su forma sólida en una masa líquida viscosa.
- *Neumotórax*: Un neumotórax es un colapso pulmonar, que se produce cuando el aire se filtra dentro del espacio que se encuentra entre los pulmones y la pared torácica.
- *Trabajo excéntrico*: También conocidos como "*fase negativa*" son aquellos tipos de ejercicio en los que se estira el músculo, pero se mantiene la contracción muscular. Son ideales para mantener en el tiempo, facilitar la regeneración de tejidos, prevenir lesiones e incluso mejorar el rendimiento deportivo.
- *Profundidad de campo*: Se refiere a la cantidad de escena que aparece enfocada en la fotografía.
- *Punción seca*: Es una técnica invasiva utilizada en fisioterapia para eliminar puntos dolorosos musculares (o puntos gatillo), que se pueden generar debido a sobrecargas, movimientos bruscos, etc. Se llama punción seca porque no introducimos ningún anestésico ni sustancia.
- *Puntos gatillo miofasciales*: Puntos dolorosos en el cuerpo localizados en el músculo. Generalmente, el punto gatillo se asocia a una zona hipersensible a la palpación en forma de bandas duras (hipersensibles) localizadas en los tejidos musculares o a sus intersecciones tendinosas.
- *Resolución*: La resolución de una imagen es el número de píxeles por pulgada que contiene (1 pulgada = 2,54 centímetros). Ésta se expresa en PPP (puntos por pulgada) Cuantos más píxeles (o puntos) haya por pulgada más información contendrá la imagen (más precisa), por ejemplo, una resolución de 300 dpi significa que la imagen contiene 300 píxeles de ancho y 300 píxeles de alto, por tanto, se compone de 90.000 píxeles (300x300 ppp).
- *Ultrasonidos*: Vibración mecánica de frecuencia superior a la de las que puede percibir el oído.

## 9 Referencias

- [1] M. Bosque, L. Rhys, E. Poveda, and R. Guerra, "Alteración de las puntas de las agujas por la técnica de punción seca," vol. 1, no. 1, 2016, pp. 26–34.
- [2] J. D. Cerdeño Arconada, "Revisión: técnica de punción seca y puntos gatillos miofasciales," *Artículos de fisioterapia*, 2010.[Online].Available: <https://www.efisioterapia.net/articulos/revision-tecnica-puncion-seca-y-puntos-gatillos-miofasciales>.
- [3] J. M. Sánchez Ibáñez *et al.*, "Mecanismos moleculares de la electrólisis percutánea

- intratisular," 2013, pp. 187–201, [Online]. Available: [www.epimedical.es](http://www.epimedical.es).
- [4] A. Rios, "El secreto de Rafa Nadal," *Perarnau Mag.*, 2013, [Online]. Available: <https://www.martiperarnau.com/el-secreto-de-rafa-nadal/>.
- [5] J. M. S. I. Francisco Minaya Muñoz<sup>1</sup>, Fermín Valera Garrido<sup>1</sup>, "Uso de la Electrólisis Percutánea Intratisular (EPI®) en la Epicondilalgia Crónica: Caso clínico," *Fisioter calid vida*, vol. 14, no. 1, 2011, pp. 13–16.
- [6] G. F. Gómez-Chiguano *et al.*, "Effectiveness of Ultrasound-Guided Percutaneous Electrolysis for Musculoskeletal Pain: A Systematic Review and Meta-Analysis," *Pain Med.*, vol. 22, no. 5, 2021, pp. 1055–1071, doi: 10.1093/pm/pnaa342.
- [7] easytech, "*Physio INVASIVA 2.0 Manual de usuario*." Borgo San Lorenzo:easytech, pp.1-66, 2021.
- [8] Quimica.es,"Parafina." [Online]. Available: <https://www.quimica.es/enciclopedia/Parafina.html>.
- [9] Aceitedegirasol.es, "Elaboración del Aceite de Girasol." [Online]. Available: <http://www.aceitedegirasol.es/elaboracion-aceite-de-girasol.html>.
- [10] Agencia española del medicamento, "Prospecto\_Apiroserum Solución Ringer solución para perfusión," Barcelona, 2016.
- [11] Leica Microsystems, "Sistema de microscopio digital Leica DMS300," [Online]. Available: <https://www.leica-microsystems.com/es/productos/microscopios-digitales/detalles/leica-dms300/>, 2022.
- [12] "QUE ES Y COMO FUNCIONA EL MICROSCOPIO ELECTRONICO DE BARRIDO." [Online]. Available: <https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/que-es-y-como-funciona-el-microscopio-electronico-de-barrido>.
- [13] URV, "Microscopía electrónica de rastreo ambiental (ESEM)," [Online]. Available: <https://www.urv.cat/es/investigacion/apoyo/recursos-cientificos-tecnicos/serveis/esem/>.
- [14] E. Freire C, "Fundamento biofísico de la exploración ecográfica," *Sitio Argentino Prod. Anim.*, 2004, pp. 1–6.
- [15] R. Margalef, M. Bosque, F. Minaya-Muñoz, F. Valera-Garrido, and M. M. Santafe, "Safety analysis of percutaneous needle electrolysis: a study of needle composition, morphology, and electrical resistance," *Acupunct. Med.*, vol. 39, no. 5, 2021, pp. 471–477, doi: 10.1177/0964528420988007.