

doi: 10.63360/ipmm.v1.e14

Estudio preclínico y experimental de laboratorio

Optimización de agujas para la electrólisis percutánea en fisioterapia invasiva: estudio *ex vivo*

Cesar Suárez Malanda¹  0009-0002-7915-2543

Manel M Santafé¹   0000-0002-5462-5108

¹Unidad de Histología y Neurobiología. Departamento de Ciencias Médicas Básicas, Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud. Universidad Rovira i Virgili, Reus, España.

RESUMEN

Introducción: La electrólisis percutánea (EP) es una técnica de fisioterapia invasiva que aplica una corriente galvánica a través de una aguja sólida para tratar trastornos musculoesqueléticos. La eficacia de la técnica depende de las propiedades de la aguja utilizada, incluyendo su conductividad, biocompatibilidad y resistencia mecánica. Este estudio explora las mejoras en el diseño de las agujas para mejorar los resultados terapéuticos.

Materiales y métodos: La investigación se centra en la evaluación de diferentes materiales y recubrimientos de agujas para optimizar la conductividad eléctrica y minimizar el daño tisular. El análisis experimental incluye pruebas de propiedades mecánicas, resistencia a la corrosión y rendimiento eléctrico. Los resultados de este estudio también pueden aplicarse a la seguridad y comodidad del paciente.

Resultados: Los hallazgos indican que las modificaciones en el material de las agujas, como el uso de acero inoxidable con recubrimientos especializados, mejoran significativamente la eficiencia eléctrica y reducen la oxidación no deseada. Los diseños mejorados dan como resultado una menor resistencia, lo que mejora la precisión de la aplicación de la corriente eléctrica. Además, las mejoras en la flexibilidad y el filo de las agujas pueden contribuir a reducir las molestias del paciente.

Conclusiones: El estudio confirma que mejorar el material y el recubrimiento de las agujas sólidas utilizadas en la EP puede mejorar la eficacia de la técnica. Concretamente, las agujas de acero inoxidable con recubrimientos especializados aumentan la conductividad eléctrica, reducen la oxidación y mejoran la durabilidad. Estas modificaciones permiten una aplicación más precisa de la corriente, minimizando el daño tisular y reduciendo potencialmente las molestias del paciente. Los estudios futuros deberían centrarse en la validación clínica y en una mayor optimización para maximizar la seguridad y los beneficios terapéuticos.

Palabras clave: Electrólisis percutánea; Agujas sólidas; Fisioterapia invasiva; Electroterapia; Optimización de agujas; Corriente galvánica; Tratamiento musculoesquelético.

1. Introducción

La primera aguja desechable se fabricó en 1978. Anteriormente, los acupuntores del Reino Unido utilizaban agujas huecas reutilizables, pero el Ministerio de Salud del país recomendó que las agujas fueran desechables tras un brote de hepatitis B⁽¹⁾.

En la actualidad, el uso de agujas desechables se ha extendido por todo el mundo y se utilizan en una técnica de fisioterapia invasiva denominada «punción seca». Esta técnica consiste en insertar una aguja en el cuerpo para tratar los puntos gatillo (TrP), aliviando así los síntomas⁽¹⁾. Estos puntos son los responsables de causar síntomas dolorosos, incluso en zonas alejadas del TrP real⁽²⁾. El término «punción seca» se refiere al hecho de que no se inyecta ninguna sustancia a través de la aguja⁽¹⁾. Tras su aplicación, se produce una reducción significativa del dolor⁽²⁾.

Otro uso clínico de estas agujas es la electrólisis percutánea (EP). Esta técnica de fisioterapia invasiva también consiste en insertar la aguja en el cuerpo, pero en este caso se utiliza como cátodo para aplicar corriente galvánica, lo que provoca una reacción electroquímica en el lugar de aplicación. La corriente galvánica es un flujo continuo de electrones desde el polo negativo al positivo. En la electrólisis percutánea con aguja, el cátodo (polo negativo) es la aguja aplicada al tejido objetivo. Esto produce dos efectos principales: electrofísico y electroquímico⁽³⁾. El efecto electroquímico se produce porque el cátodo actúa como un electrodo activo, reaccionando con el agua y los electrolitos, que se comportan como una solución de cloruro de sodio (NaCl) cuando pasa una corriente eléctrica a través de ellos. En el cátodo, se libera hidróxido de sodio (2 NaOH), lo que activa inmediatamente la respuesta inflamatoria para reparar el tejido alterado y provoca la licuefacción con la liberación de hidrógeno (H₂)⁽³⁾: $2 \text{ Na} + 2 \text{ H}_2\text{O} = 2 \text{ NaOH} + \text{H}_2$.

El efecto electrofísico provoca la migración de moléculas con carga positiva hacia el polo negativo. Debido a este movimiento, se activan mecanismos analgésicos y respuestas vasculares⁽³⁾. En otras palabras, la EP induce primero la respuesta inflamatoria, que elimina el tejido enfermo y no funcional y prepara la zona para la segunda fase, en la que los factores de crecimiento promueven la regeneración del tejido. Como resultado, la nueva cicatriz es más similar al tejido sano⁽⁴⁾. El uso más extendido de la EP con fines regenerativos es para las tendinopatías. Sin embargo, se utiliza habitualmente para reducir el dolor miofascial^(1,2).

Un ejemplo notable de la aplicación clínica de esta técnica fue el caso del tenista Rafa Nadal. Sufrió de tendinopatía rotuliana, una afección que a menudo marca un punto de inflexión en la carrera de muchos atletas profesionales. Sin embargo, Rafa Nadal volvió a jugar a un alto nivel gracias a una terapia que incluía el tratamiento con EP junto con la aplicación de factores de crecimiento⁽⁴⁾.

Otro caso descrito, aunque más anónimo, es el de un varón de 42 años, jugador ocasional de pádel, que fue derivado por su traumatólogo al centro MV Clinic de Madrid debido a un dolor en el codo que persistía desde hacía 12 meses. Este dolor era consecuencia de una epicondilitis que había resistido todos los tratamientos y se consideraba un último recurso antes de optar por la intervención quirúrgica⁽⁵⁾. El paciente había probado previamente fisioterapia convencional, tratamientos farmacológicos y dos inyecciones de corticosteroides⁽⁵⁾. Se le aplicó EP semanalmente, en combinación con un programa de ejercicios excéntricos y estiramientos. Tras cuatro sesiones de EP guiadas por ecografía, el paciente fue dado de alta con una mejora

clínica significativa. Esta técnica permite el tratamiento específico de la zona del tendón afectada. Un hecho importante que respalda la EP como causa directa de la mejoría es que el paciente se había sometido previamente a un programa de ejercicios excéntricos y estiramientos sin ningún progreso, siendo la EP la principal diferencia entre las dos intervenciones⁽⁵⁾.

La electrolisis 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 corriente galvánica. Sin embargo, los síntomas suelen desaparecer por sí solos en un plazo de 12 a 36 horas. El hecho de que se recomiende realizar esta terapia con guía ecográfica la hace mucho más segura⁽⁶⁾. Esta terapia se suele realizar con ayuda de ecografía para seleccionar de forma selectiva el tejido deseado.

El ecógrafo también es crucial por razones de seguridad. Después de todo, el procedimiento implica insertar una aguja en el cuerpo, por lo que si el terapeuta no tiene suficiente cuidado, podría perforar una zona crítica. Por ejemplo, realizar esta técnica en la zona pulmonar sin un ecógrafo es peligroso porque la aguja podría perforar la pleura que recubre el pulmón, provocando un neumotórax⁽⁷⁾. También hay otras zonas del cuerpo en las que no se debe aplicar este tratamiento, como cerca de los grandes vasos sanguíneos, el corazón o los nervios periféricos. Para evitar alcanzar accidentalmente estas estructuras, es esencial el uso de la ecografía⁽⁷⁾.

Actualmente, existen tres tipos principales de agujas utilizadas en fisioterapia invasiva. El primer tipo consiste en agujas secas o agujas de acupuntura. Están fabricadas en acero quirúrgico, un material muy resistente a la penetración. Esta aleación es rica en cromo (12-20 %), molibdeno (3 %) y, en ocasiones, níquel (8-12 %)⁽¹⁾. Una caja de 100 unidades cuesta 6,95 €. Estas agujas penetran fácilmente en los tejidos, conducen bien la electricidad y son muy visibles en la ecografía. Sin embargo, al no estar recubiertas, la electricidad estimula todos los tejidos por los que pasan, lo que significa que no conducen la electricidad de forma específica. La aguja ideal para el uso de corrientes galvánicas es aquella que solo conduce la electricidad en la punta, es claramente visible en la ecografía, penetra fácilmente y además es barata. Una variante de estas agujas son las agujas de punción seca altamente lubricadas. Son exactamente iguales a las anteriores, pero con una triple capa de aceite que facilita la penetración. Su precio también es similar. Sin embargo, no conducen bien la electricidad y no son fácilmente visibles bajo el ecógrafo, posiblemente debido a la capa de aceite. Por lo tanto, son completamente inútiles para la EP.

El segundo tipo de aguja utilizada en la EP está recubierta de silicona en toda su superficie, excepto en la punta. También están fabricadas en acero quirúrgico y concentran la corriente de forma eficaz. Su mango optimizado y perfectamente centrado garantiza un agarre ergonómico y cómodo. El mango está fabricado en polipropileno, un plástico extremadamente ligero que no irrita la piel y es respetuoso con el medio ambiente. Una caja de 200 agujas (0,25 x 30 mm) cuesta 11,39 €, y los precios varían en función del tamaño. Sin embargo, penetran en la piel del paciente de forma dolorosa y con gran dificultad. Además, no son muy visibles en la ecografía.

El tercer tipo de aguja es la aguja concéntrica para registro electromiográfico. Se trata de agujas sin recubrimiento ni lubricación, lo que las hace muy visibles en la ecografía, pero, al no estar lubricadas, también son más dolorosas de insertar. Consisten en una aguja dentro de otra, separadas por una fina capa aislante. La corriente eléctrica se transmite solo en la punta, lo que la hace muy específica. Cada una de estas agujas cuesta aproximadamente 10 €. La inserción de

estas agujas es muy dolorosa y su precio las hace inviables para su uso en fisioterapia, ya que normalmente se utilizan entre 3 y 4 agujas por paciente.

Por estas razones, es imperativo diseñar una aguja que sea económicamente competitiva y capaz de penetrar fácilmente en los tejidos sin añadir dolor adicional durante la inserción. Debe ser fácil de seguir bajo el ecógrafo y conducir la electricidad solo en la punta. Entonces, el objetivo de este estudio es obtener un recubrimiento visible mediante ecografía que facilite la penetración de la aguja y permita la transmisión de corriente galvánica focalizada. Para ello, se evaluaron diversos componentes del recubrimiento.

2. Materiales y métodos

2.1. Materiales de recubrimiento

Vaselina: Un lubricante muy conocido es la vaselina, cuyo componente principal es la parafina, un aceite derivado del petróleo. También puede proceder del esquisto bituminoso o del carbón. La parafina es un grupo de hidrocarburos alcánicos con la fórmula general $C_n H_{2n+2}$. La molécula más simple proviene del gas metano (CH_4). Los miembros más pesados de la serie, como el octano ($C_8 H_{18}$), existen en forma líquida. Las formas sólidas, conocidas como cera de parafina, provienen de moléculas más pesadas que van desde C_{20} a C_{40} ⁽⁸⁾.

Para obtener parafina, se realiza una destilación a alta temperatura para extraer los aceites pesados, que luego se enfrían a $0^\circ C$, lo que provoca la cristalización de la parafina. Se separa mediante centrifugación o filtración. Finalmente, se somete a recristalización, lavado ácido y alcalino y decoloración para purificarla⁽⁸⁾.

La cera de parafina macrocristalina es insoluble en agua y un excelente aislante eléctrico, ya que proporciona una resistividad eléctrica entre 10^{13} y 10^{17} ohmios/metro. Esta resistividad supera a la de la mayoría de los demás materiales, excepto algunos plásticos. Se utiliza comúnmente como aislante en conductores eléctricos, lo que la convierte en una fuerte candidata para el recubrimiento de agujas⁽⁸⁾.

La parafina líquida, por otro lado, es una mezcla de alcanos más pesados⁽⁸⁾. La vaselina también contiene cera microcristalina, obtenida del proceso de desengrasado durante el refinado del petróleo crudo⁽⁸⁾. En este estudio, se probó la vaselina tanto en su forma sólida como líquida. El precio de 100 ml de vaselina hidratante era de 2 €, mientras que 100 ml de vaselina líquida costaban 4,09 €. Estos precios pueden variar en función de la tienda, la marca o la situación económica actual.

Aceite de girasol: Además de estos dos recubrimientos (vaselina sólida y líquida) y con la intención de ampliar la gama de posibilidades a materiales orgánicos, se eligió 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 fabricar jabones y otros productos relacionados con la piel.

Este aceite se obtiene de las semillas del girasol *Helianthus Annuus*. Estas semillas se trituran, ya que el aceite se encuentra dentro de las células que componen la semilla, lo que significa

que hay que romper sus paredes celulares para extraerlo. Para separarlo de otros elementos celulares, se utilizan disolventes autorizados, siendo el agua el más destacado⁽⁹⁾.

El siguiente paso es el refinado, que elimina los fosfolípidos y los metales. A continuación, se neutralizan y eliminan los ácidos grasos libres. El aceite también se decolora utilizando arcillas naturales o activadas y, si es necesario, se desodoriza. Este proceso tiene como objetivo reducir su nivel de acidez. El aceite de girasol refinado que se encuentra en los supermercados es el utilizado en este estudio⁽⁹⁾.

1 litro de aceite de girasol cuesta 2,50 €. Este precio puede variar en función del distribuidor, la marca o la situación económica actual.

Polvo de alabastro: Para aumentar la densidad ecológica de los recubrimientos sin modificar su aislamiento, los tres se mezclaron con polvo de alabastro. El alabastro es un compuesto biológicamente neutro de cristales de calcio ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). El calcio cristalino es visible gráficamente y es aislante eléctrico. El polvo de alabastro es miscible con otras sustancias y, por lo tanto, se puede moldear fácilmente en forma de agujas.

2.2. Procedimiento para recubrir las agujas

Material de recubrimiento único: la mitad de las agujas se sumergieron en los diferentes medios. El objetivo de este procedimiento era estudiar la posible degradación debido a la acción de la corriente galvánica. Solo se recubrió la mitad distal (cerca de la punta) de cada aguja y, a continuación, se compararon las dos mitades (recubierta y sin recubrir) para analizar las posibles diferencias.

El procedimiento fue el siguiente: después de limpiar la aguja con alcohol etílico al 97 %, se aplicó el recubrimiento por inmersión. Posteriormente, esta aguja se utilizó como cátodo, recreando la electrólisis con el dispositivo Physio Invasiva 2.0. La aguja de prueba se colocó como cátodo, mientras que una aguja sin recubrimiento se colocó como ánodo. A continuación, ambas se introdujeron en dos viales conectados por un puente de vidrio lleno de agar conductor (Figura 1).

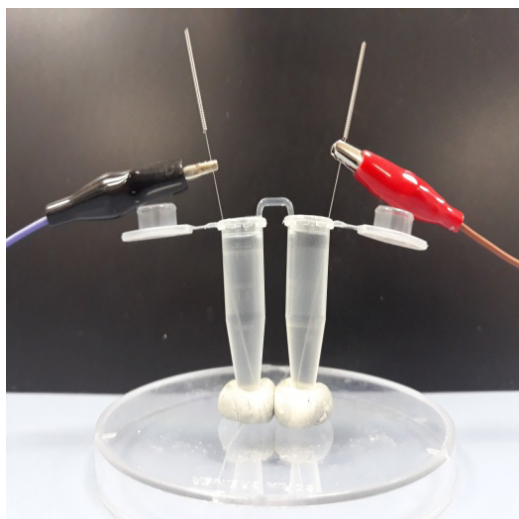


Figura 1. Aplicación de electrólisis a las agujas. Las agujas que actuaban como ánodo (negro) y cátodo (rojo) se sumergieron en viales Eppendorf® llenos de solución de Ringer⁽¹⁰⁾, NaCl 137 mM, KCl 5 mM, NaHCO_3 12 mM, Na_2HPO_4 1 mM, CaCl_2 2 mM, MgSO_4 1 mM). La aguja catódica es la aguja de prueba. Los dos viales están conectados por un puente de vidrio lleno de agar conductor. En todos los casos, se aplicaron corrientes galvánicas de 3 mA durante 3 segundos, repetidas 3 veces (3:3:3).

Los parámetros utilizados fueron 3 mA durante 3 segundos, repetidos un total de 3 veces. Este método, cuando se aplica en un paciente, no causa ningún desgaste en la aguja^(15,16).

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

Material de recubrimiento combinado con polvo de alabastro: El método utilizado en esta parte consistió en mezclar cada sustancia base (vaselina, aceite de girasol) con polvo de alabastro. Tras preparar la mezcla, se aplicó a la aguja previamente limpiada con alcohol etílico. Se prepararon un total de 5 agujas para cada mezcla.

La concentración de la mezcla fue al 50 %, en partes iguales de sustancia base y polvo de alabastro. Dado que el alabastro tiene una densidad mayor que las bases utilizadas, se obtuvo una mezcla bien homogeneizada con vaselina líquida y polvo de alabastro, lo que permitió una adecuada impregnación de la aguja. Lo mismo ocurrió con el aceite de girasol.

En cambio, la vaselina sólida resultó muy difícil de manejar. Tras recubrir una primera serie de 10 agujas, el recubrimiento era demasiado espeso, por lo que se preparó una segunda serie para mejorar el acabado. Para esta nueva serie fue necesario licuar la vaselina usando un baño maría. Además, para mantener las agujas calientes y evitar que la parafina se solidificara, se utilizó una fuente de calor seco (soldador Cetronic de 30W 230V). Con este método solo se lograron recubrir tres agujas, ya que la mezcla se deterioró rápidamente al cristalizar, impidiendo su correcta mezcla con el alabastro.

Dado que este procedimiento no resultaba eficiente para una posible aplicación a escala industrial, se optimizó mediante el uso de una placa térmica que mantenía la vaselina en estado líquido, evitando así su enfriamiento y cristalización.

2.3. Generador de Corriente Galvánica

El generador de corriente continua utilizado en este estudio es un dispositivo de electroestimulación (Physio Invasiva 2.0), empleado en tratamientos de fisioterapia mediante la aplicación de corrientes galvánicas, estimulación nerviosa eléctrica transcutánea (TENS) y microcorrientes. Su diseño cumple con la Directiva Europea 93/42/CEE⁽⁷⁾.

La corriente se aplica mediante un portaelectrodos con un par de agujas colocadas en los puntos adecuados según el tratamiento. El terapeuta puede ajustar la intensidad de salida, con un máximo de 15 mA (valor que no puede superarse), así como el tiempo de aplicación (en minutos o segundos)⁽⁷⁾.

2.4. Lupa Digital

Para obtener una visión general del grado de recubrimiento sobre las agujas, se utilizó la lupa digital Leica DMS 1000 del Servicio de Recursos Científico-Técnicos de la Universidad Rovira i Virgili. Este sistema de microscopía binocular digital permite aumentos de hasta 300x. Cuenta con una cámara de microscopía HDMI integrada que permite visualizar imágenes en tiempo real a hasta 30 fotogramas por segundo, con una resolución de 5 megapíxeles. Esta cámara facilita la revisión de las muestras directamente en un monitor, en lugar de utilizar oculares, lo que simplifica la captura de fotografías⁽¹¹⁾.

2.5. Microscopio Electrónico de Barrido (SEM)

Para realizar una evaluación más precisa del grado de recubrimiento de las agujas, se utilizó el Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) FEI QUANTA 600, perteneciente al Servicio de Recursos Científico-Técnicos de la Universidad Rovira i Virgili (URV). Los microscopios SEM utilizan un haz de electrones en lugar de luz para formar una imagen. Estos electrones son acelerados mediante un campo eléctrico para aprovechar su comportamiento ondulatorio, y salen del cañón para ser enfocados sobre la muestra mediante lentes condensadoras y objetivas, con el objetivo de mantener el haz lo más pequeño posible y así obtener una mayor resolución⁽¹²⁾. Este equipo tiene una resolución de 3 nm y una gran profundidad de campo⁽¹³⁾.

2.6. Ecógrafo

Para verificar el grado de efectividad ecogénica del recubrimiento de las agujas, se utilizó el ecógrafo LOGIQ S7 XD Clear 2.0 de General Electric. Este dispositivo emplea ondas ecográficas para obtener imágenes. Su funcionamiento se basa en el efecto piezoeléctrico, una propiedad de los cristales piezoeléctricos que, al ser sometidos a una corriente eléctrica, vibran y generan una onda sonora que se proyecta hacia el interior del cuerpo. Estas ondas sonoras rebotan al encontrar regiones más densas del cuerpo y regresan para ser captadas por sensores también formados por cristales piezoeléctricos, donde el efecto piezoeléctrico inverso transforma esta señal acústica en una señal eléctrica⁽¹⁴⁾. Cabe destacar que un único cristal piezoeléctrico no puede actuar simultáneamente como emisor y receptor. La señal obtenida se transmite a un ordenador, donde se procesa para generar una imagen del interior del cuerpo del paciente⁽¹⁴⁾.

2.7. Adquisición de imágenes

Se utilizaron tres métodos diferentes para la obtención de imágenes:

Lupa Digital (Leica DMS 1000). Se obtuvieron imágenes de baja magnificación (0,72x) que abarcaban la aguja completa, así como imágenes de mayor aumento (4,5x) destinadas a posteriores reconstrucciones.

Microscopía Electrónica de Barrido (SEM). Las imágenes se capturaron con una magnificación de 230x, un voltaje de 10 kV y una presión de 0,68 Torr. El grosor del recubrimiento en la primera serie de agujas con vaselina y alabastro resultó excesivo para los aumentos utilizados inicialmente, por lo que se ajustó la magnificación a 138x para poder capturar todo el espesor⁽¹⁶⁾.

Ecografía. Finalmente, para confirmar la correcta inserción de las agujas y su visibilidad mediante ecografía, se insertaron en pechugas de pollo. Este tejido se considera un excelente modelo que simula de forma precisa el tejido humano, sin necesidad de utilizar animales de laboratorio. La técnica fue realizada por un ecografista experto de BrumaClinic (Tarragona). La imagen ecográfica de las agujas insertadas se obtuvo mediante un barrido longitudinal, alineado con el eje de la aguja, con un ángulo de 45°. Este método fue seleccionado para permitir una visualización completa de la aguja en la imagen ecográfica. Los parámetros del ecógrafo utilizados fueron una frecuencia de barrido de 12 Hz y una profundidad de 4 cm.

Para cada aguja analizada, se tomaron dos fotografías: una durante la inserción y otra posterior, con el fin de confirmar la ausencia de restos de alabastro. Además, se grabó un vídeo documentando todo el proceso de inserción (algunos han sido incluidos como datos complementarios).

3. Resultados e interpretación

3.1. Vaselina

Microfotografías. El recubrimiento con vaselina pura cubrió casi uniformemente la zona aplicada de la aguja (Figura 2.A, 2.B centro y 2.C centro). Las imágenes obtenidas con microscopía electrónica de barrido a gran aumento muestran que la zona recubierta es claramente uniforme. Además, como puede observarse, la punta de la aguja no fue recubierta con vaselina, permaneciendo completamente expuesta (Figura 2.B derecha y 2.C derecha). Aunque la aguja penetrará bien en el paciente, tanto la punta como estas zonas no recubiertas transmitirán electricidad durante la aplicación, lo que reducirá la focalización de las corrientes galvánicas.

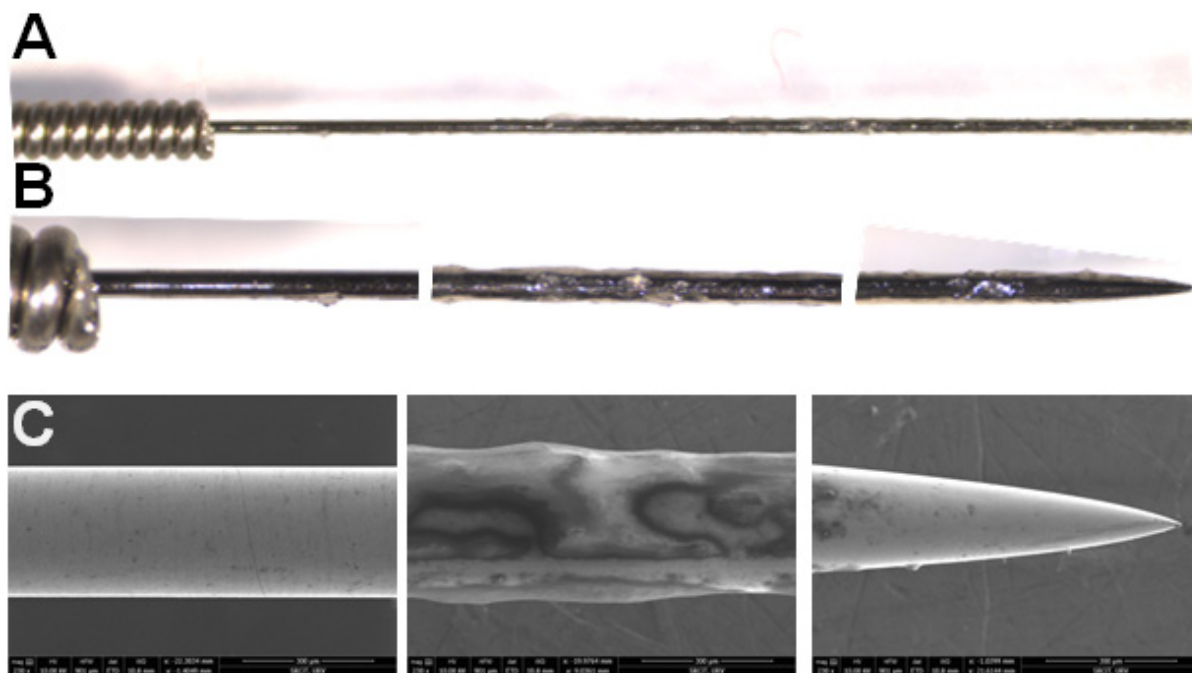


Figura 2. Ejemplo de aguja recubierta con vaselina. A: Imagen obtenida con lupa digital a 0.72x de aumento. B: Imágenes obtenidas con lupa a 4.5x. C: Imágenes obtenidas con microscopio electrónico de barrido a 230x. En B y C, las tres imágenes corresponden a: la base cerca del mango (imagen izquierda); la parte central de la aguja (imagen central); y la punta de la aguja (imagen derecha).

Imagen Ecográfica. En todas las imágenes ecográficas se puede visualizar la aguja completa (Figura 3.B). Esto indica que las ondas ecográficas se reflejan en la superficie de la aguja, permitiendo un seguimiento completo de la misma (ver Tabla 1). Dado que la vaselina no es eco-densa, se entiende que existen áreas no recubiertas o capas lo suficientemente delgadas como para ser ecogénicas. (Vaselina con Alabastro espeso – Serie 1).

Inserción: Con este recubrimiento puro, la aguja penetrará eficazmente, pero la corriente no se concentrará adecuadamente.

Tabla 1. Visualización ecográfica de agujas insertadas en pechugas de pollo.

Imagen ecográfica	Vaselina Líquida	Parafina + Alabastro Serie 1	Parafina + Alabastro Series 2	Aceite	Aceite + Alabastro	Parafina	Vaselina Líquida + Alabastro
Solo la punta	80%	100%	100%	50%	25%	-	40%
Aguja completa	20%	-	-	50%	75%	100%	40%
No Visible	-	-	-	-	-	-	20%

Imagen Ecográfica: Parte de la aguja visible mediante ecografía. Serie 1: Primera serie de agujas recubiertas con vaselina, con un espesor excesivo. Serie 2: Serie realizada con vaselina más líquida y fina. Los porcentajes son relativos al total de agujas evaluadas con cada recubrimiento.

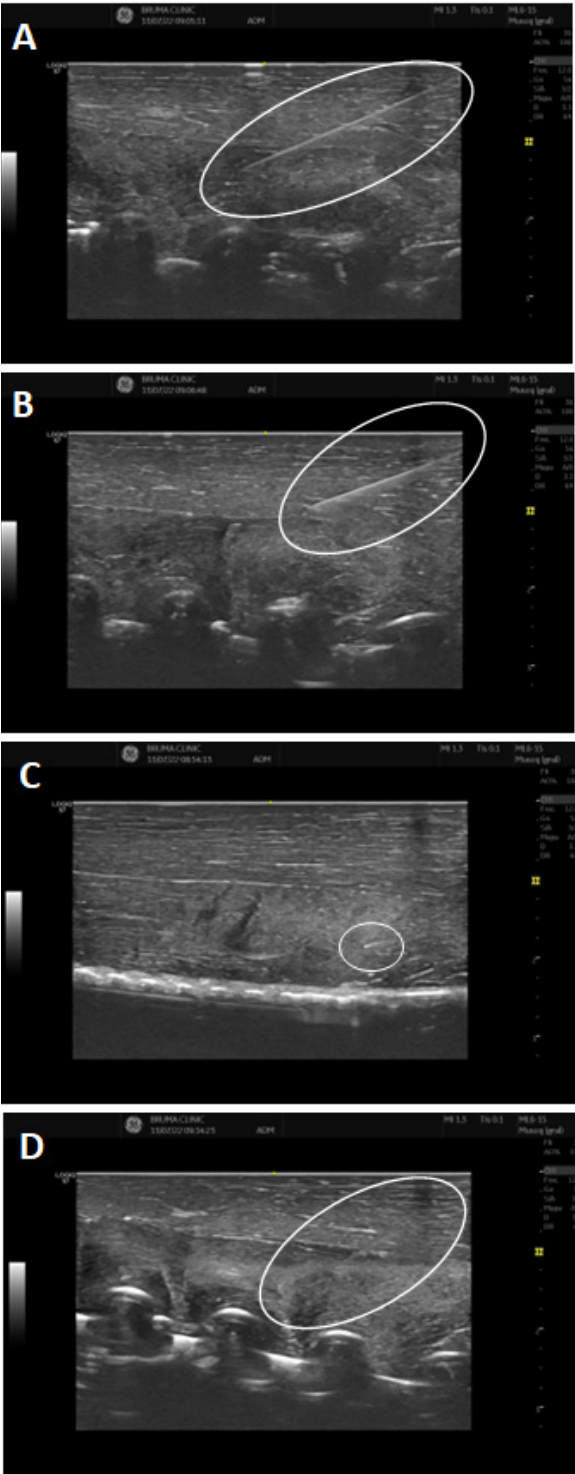


Figura 3. Ejemplos de imágenes ecográficas. Cada una de las agujas estudiadas ha sido insertada en pechuga de pollo. A. Registro ecográfico de una aguja control sin ningún recubrimiento. C. En este ejemplo, solo se visualiza la punta de la aguja (círculo blanco). D. Imagen típica de una aguja recubierta con un excipiente (elipse blanca), por ejemplo, aceite con alabastro. La aguja puede observarse, aunque con dificultad.

3.2 Recubrimiento grueso de vaselina y alabastro (Serie 1)

Microfotografías: El primer tipo de recubrimiento con vaselina y alabastro muestra una cobertura uniforme en toda la superficie aplicada. Aunque es claramente visible con aumento (Figura 4.A y B), el microscopio electrónico confirma que se ha formado una capa gruesa y uniforme (Figura 4.C). Es importante destacar que la punta permanece sin recubrir. Gracias a este recubrimiento, solo la punta transmitirá la corriente, tal como se pretende. Este recubrimiento permite focalizar las corrientes. Debido a su espesor, se decidió repetir el test licuando aún más la vaselina.

Imagen Ecográfica: En todas las ecografías solo se visualiza la punta de la aguja (Figura 4.C; Tabla 1). Esto se debe a que la mezcla con alabastro es muy ecodensa y no permite el paso del ecógrafo. Este recubrimiento permite guiar la aguja ecográficamente visualizando únicamente la punta.

Inserción: El recubrimiento de vaselina con alabastro no consigue adherirse a la aguja durante la punción, quedando en el exterior de la pechuga durante el proceso. Aunque cumple con la función de ser aislante, minimiza la posibilidad de aislamiento frente a las corrientes. Además, si se requiere más de una inserción, la misma aguja no puede reutilizarse. Este problema podría solucionarse con un recubrimiento adicional de polímero, que recubra la superficie y facilite la penetración. Es necesario resolver este inconveniente para lograr un recubrimiento funcional.

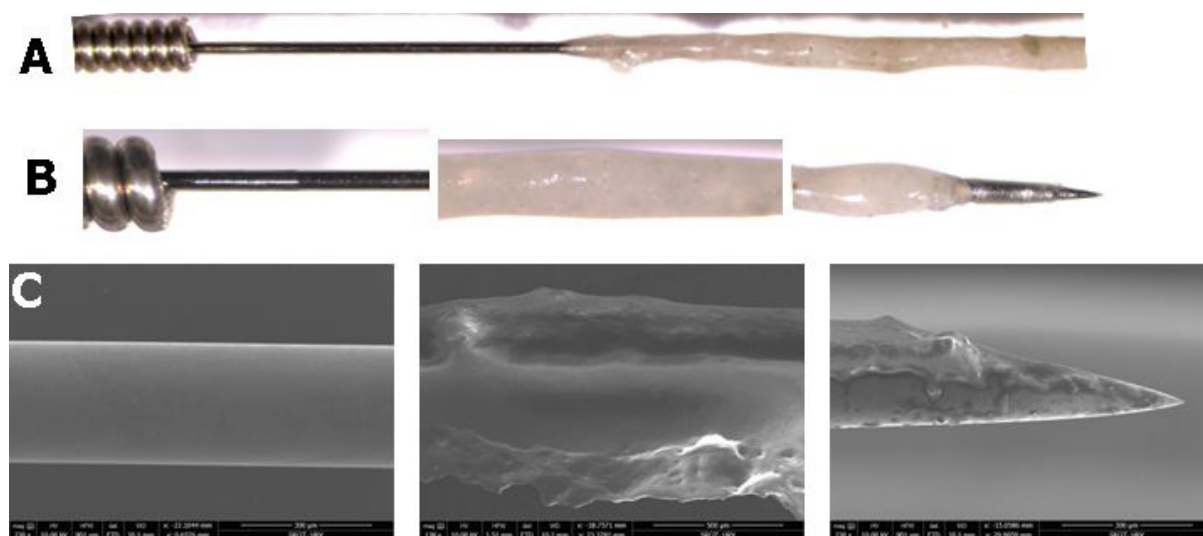


Figura 4. Ejemplo de aguja recubierta con vaselina y alabastro. Serie 1. A. Imagen obtenida con lupa a un aumento de 0,72x. B. Imágenes obtenidas con lupa a un aumento de 4,5x. C. Imágenes izquierda y derecha obtenidas con microscopio electrónico de barrido a un aumento de 230x. Imagen central obtenida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

3.3. Vaselina con Alabastro de Espesor Fino (Serie 2)

Microfotografías: El segundo recubrimiento de vaselina con alabastro también se aplica de forma uniforme. Esto no solo es evidente en las imágenes obtenidas con lupa (Figura 5.A y 5.B), sino que también se confirma mediante el microscopio electrónico (Figura 5.C). La superficie recubierta estará completamente aislada y no conducirá corriente. Como en este experimento la vaselina pudo licuarse de forma más eficaz que en el anterior, su grosor se ha reducido. Este recubrimiento actuará como un buen focalizador de corriente.

Imagen ecográfica: El segundo recubrimiento de vaselina con alabastro proporciona imágenes ecográficas en las que se visualiza la punta de la aguja (Figura 3.C; Tabla 1). El recubrimiento sigue siendo ecodenso, lo que impide que el ecógrafo proporcione una imagen clara de la zona recubierta. Sin embargo, como la punta no está recubierta, se visualiza claramente. Este recubrimiento permite guiar la aguja ecográficamente.

Inserción: El segundo recubrimiento de vaselina con alabastro presenta nuevamente el problema de escasa adhesión a la superficie de la aguja, lo que lo hace ineficaz. Se vuelve a plantear el uso de polímeros como posible solución a esta dificultad. Es necesario resolver este problema para lograr un recubrimiento funcional.

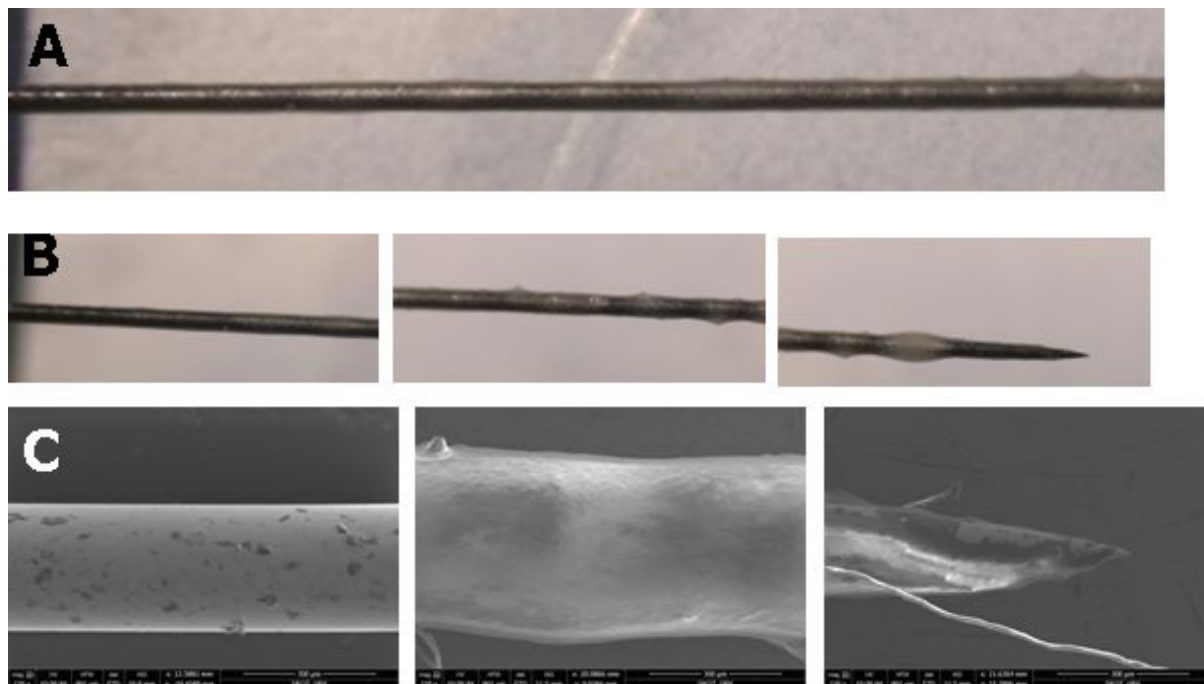


Figura 5. Ejemplo de una aguja recubierta de vaselina y alabastro. Serie 2. A. Imagen obtenida con una lupa a un aumento de 0,72x. B. Imágenes obtenidas con una lupa a un aumento de 4,5x. C. Imágenes obtenidas con un microscopio electrónico de barrido a un aumento de 230x. En B y C, las tres imágenes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

3.4. Aceite de Girasol

Microfotografías: El recubrimiento con aceite de girasol no cubre de forma uniforme la superficie de la aguja. Se pueden observar pequeñas zonas negras aisladas donde el aceite ha permanecido sobre la superficie (Figura 6.C, centro), mientras que el resto de la superficie aparece gris, similar a las zonas donde no se ha aplicado aceite (Figura 6.C, izquierda y derecha). Estas áreas descubiertas conducirán la electricidad, impidiendo la focalización de la corriente. Este recubrimiento no permite focalizar la corriente.

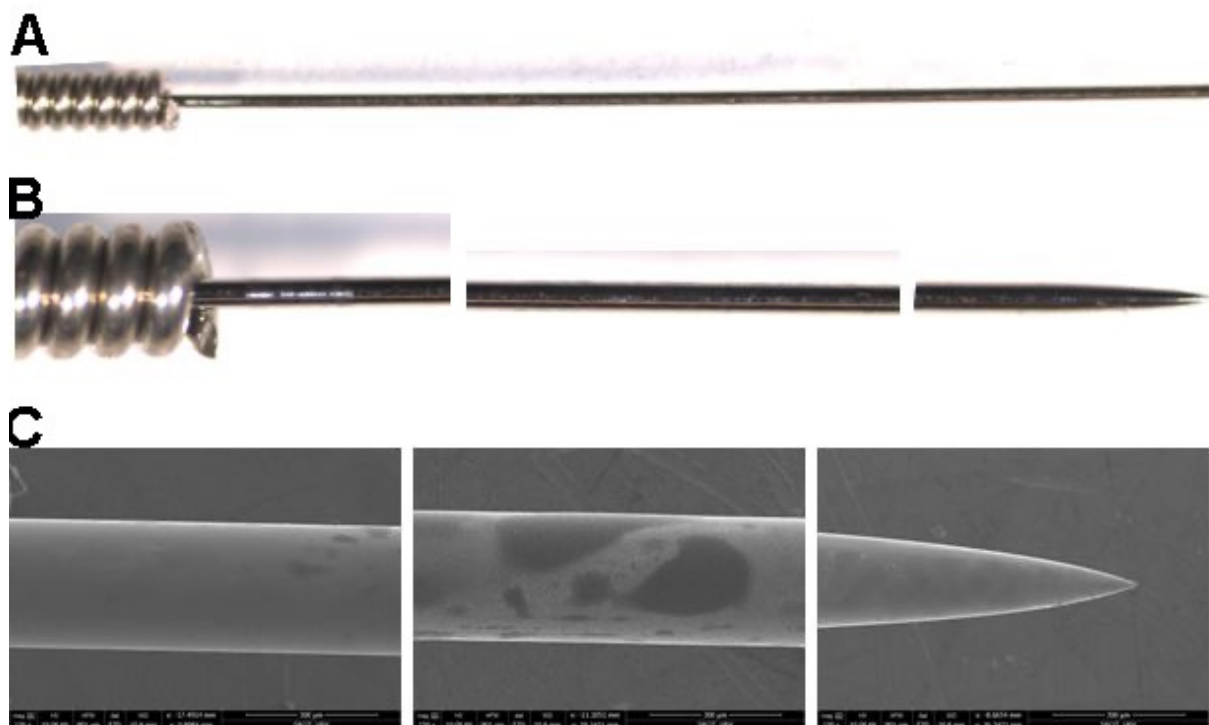


Figura 6. Ejemplo de una aguja recubierta con aceite de girasol. A: Imagen obtenida con una lupa a un aumento de 0,72x. B: Imágenes obtenidas con una lupa a un aumento de 4,5x. C: Imágenes obtenidas con un microscopio electrónico de barrido a un aumento de 230x. En B y C, las tres imágenes corresponden a: la base cerca del mango (imagen izquierda), la parte central de la aguja (imagen central), y la punta de la aguja (imagen derecha).

Imagen ecográfica: La mitad de las imágenes ecográficas de este recubrimiento muestran solo la punta, mientras que la otra mitad muestra la aguja completa (Tabla 1). Las ondas del ecógrafo se reflejan en el aceite, pero no siempre se extiende lo suficiente como para cubrir toda la superficie de aplicación. Hasta ahora, no se han documentado experimentos similares. Es posible obtener una guía ecográfica de las agujas utilizando este recubrimiento.

Inserción: Con este recubrimiento puro, la aguja penetrará eficazmente; sin embargo, la corriente no se concentrará adecuadamente en la punta.

3.5. Aceite de Girasol con Alabastro

Microfotografías: El recubrimiento de aceite de girasol con alabastro cubre uniformemente la superficie de la aguja, como se observa claramente en las imágenes obtenidas con lupa y microscopio electrónico (Figura 7). La superficie del recubrimiento presenta ciertas protuberancias (Figura 7.C, centro) que podrían generar molestias durante la inserción. Cabe destacar que, en este caso, la punta también está recubierta (Figura 7.C, derecha), lo que implica que no conducirá corriente en absoluto.

Imagen ecográfica: La Tabla 1 muestra que el 25 % de las agujas muestran únicamente su punta en la ecografía (ver ejemplo en la Figura 3.C), mientras que el resto permite visualizar toda la aguja (ver ejemplo en la Figura 3.B). La mezcla no parece ser lo suficientemente eco-densa como para bloquear las ondas ecográficas, lo cual resulta curioso, ya que la versión pura de este recubrimiento mostró más casos donde solo la punta era visible. Además, como se ha mencionado antes, en este caso algunas puntas también están recubiertas. Este recubrimiento

permite guiar la aguja mediante ecografía sin mayores inconvenientes. Estos resultados sugieren que el alabastro tiene poca influencia en la imagen ecográfica más allá de sus propiedades amalgamantes.

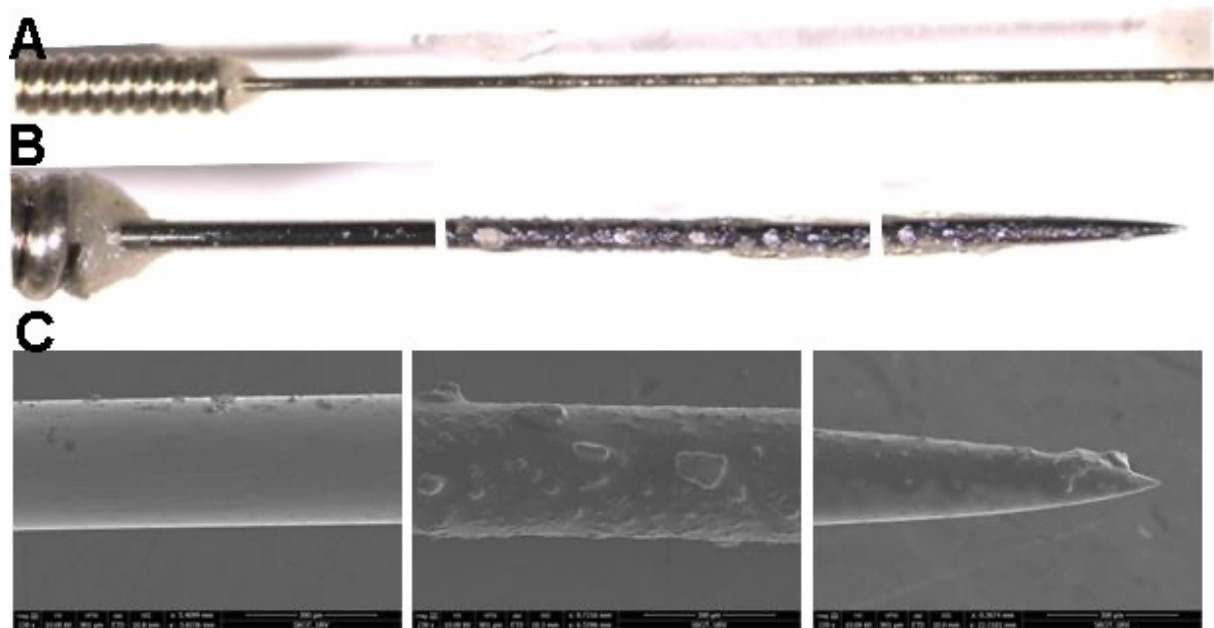


Figura 7. Ejemplo de una aguja recubierta con aceite de girasol y alabastro. A: Imagen obtenida con lupa. B: Imágenes obtenidas con lupa a mayor aumento. C: Imágenes obtenidas con microscopio electrónico de barrido. Las tres imágenes corresponden a: base cercana al mango (izquierda), parte central de la aguja (centro) y punta recubierta (derecha).

Inserción: Este recubrimiento puede enfocar eficazmente las corrientes siempre que la punta no esté obstruida y se puedan eliminar las protuberancias superficiales mediante lijado, facilitando así una inserción indolora.

3.6. Vaselina líquida

Microfotografías. El recubrimiento con vaselina líquida no cubre uniformemente la superficie de la aguja. Se observa que las zonas recubiertas (negras) dejan áreas grises sin cubrir (Figura 8.C centro), al igual que las zonas donde no se ha aplicado (Figura 8.C izquierda y derecha). Al no estar recubierta de forma uniforme, la corriente eléctrica se transmitirá por estas zonas expuestas. Este recubrimiento no permite enfocar adecuadamente las corrientes.

Imagen ecográfica. Como se muestra en la Tabla 1, en la mayoría de las ecografías con este recubrimiento se observa la punta de la aguja (Figura 3.C), aunque en algunos casos se visualiza la aguja completa (Figura 3.B). La vaselina líquida no refleja el ultrasonido ni transmite imágenes; sin embargo, al estar la punta descubierta, esta es claramente visible. Este recubrimiento permite guiar la aguja mediante ecografía.

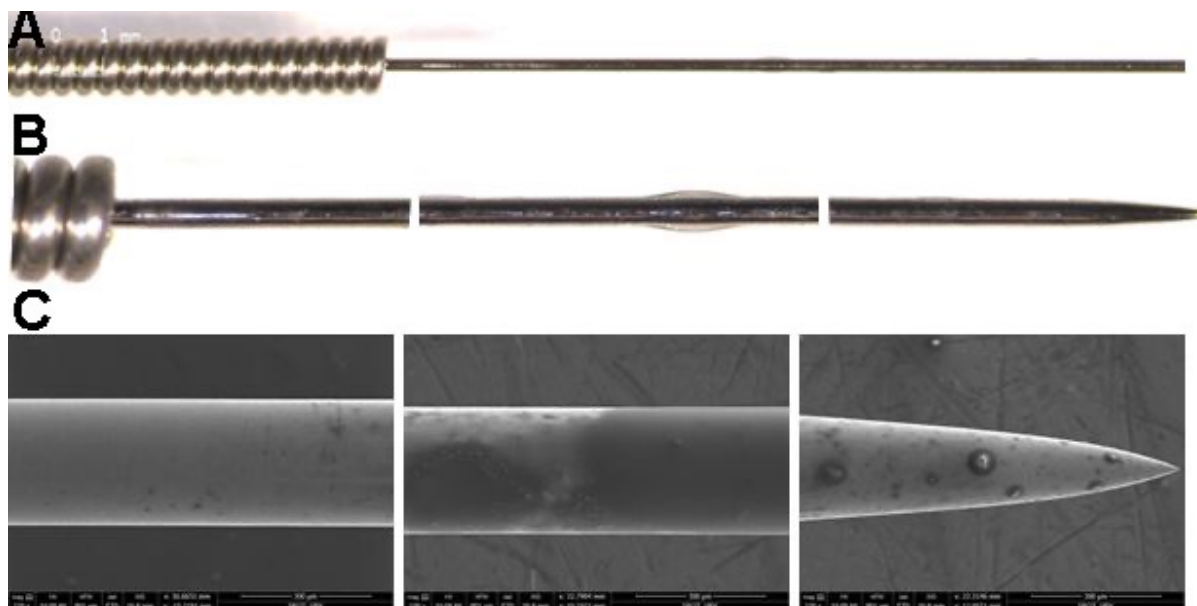


Figura 8. Ejemplo de una aguja recubierta con vaselina líquida. A: Imagen obtenida con una lupa a 0,72x de aumento. B: Imágenes obtenidas con una lupa a 4,5x de aumento. C: Imágenes obtenidas con un microscopio electrónico de barrido a 230x de aumento. En B y C, las tres imágenes corresponden a: la base, cerca del mango (imagen izquierda); imagen de la parte central de la aguja; e imagen de la punta de la aguja (derecha).

Inserción: This pure coating allows an effective penetration. However, it won't focus the currents properly at the top of the needle.

3.7. Vaselina líquida con alabastro

Microfotografías. El recubrimiento de vaselina líquida presenta una superficie lisa, como puede observarse en las imágenes obtenidas con lupa digital y microscopio electrónico (Figuras 9.B y 9.C), lo que garantiza que no se transmita corriente. En este caso, el recubrimiento también cubre la punta (Figura 9.C derecha), por lo que no se transmite electricidad, y presenta una superficie rugosa (Figura 9.C centro) que podría causar dolor al paciente durante la punción. Este recubrimiento aísla completamente la aguja, impidiendo la conducción eléctrica, pero si la punta se deja libre, permitirá una buena focalización de la corriente.

Imagen ecográfica. Como puede observarse en la Tabla 1, el 20 % de las agujas no son visibles en la ecografía (Figura 3.D), mientras que en el resto de las muestras, la mitad muestran solo la punta (Figura 3.C) y la otra mitad muestran la aguja completa (Figura 3.B). En el caso de las agujas que no muestran ninguna imagen, se trata probablemente de aquellas cuyas puntas fueron recubiertas accidentalmente, impidiendo su visualización ecográfica. Este hallazgo, junto con otras muestras recubiertas en las que solo se ve la punta, y los datos de la vaselina normal, refuerzan la idea de que se produjo un error durante la preparación de las agujas restantes, permitiendo que la onda de ecógrafo penetrara el recubrimiento. Estas agujas pueden ser guiadas por ecografía sin ningún problema, siempre que las puntas no estén cubiertas.

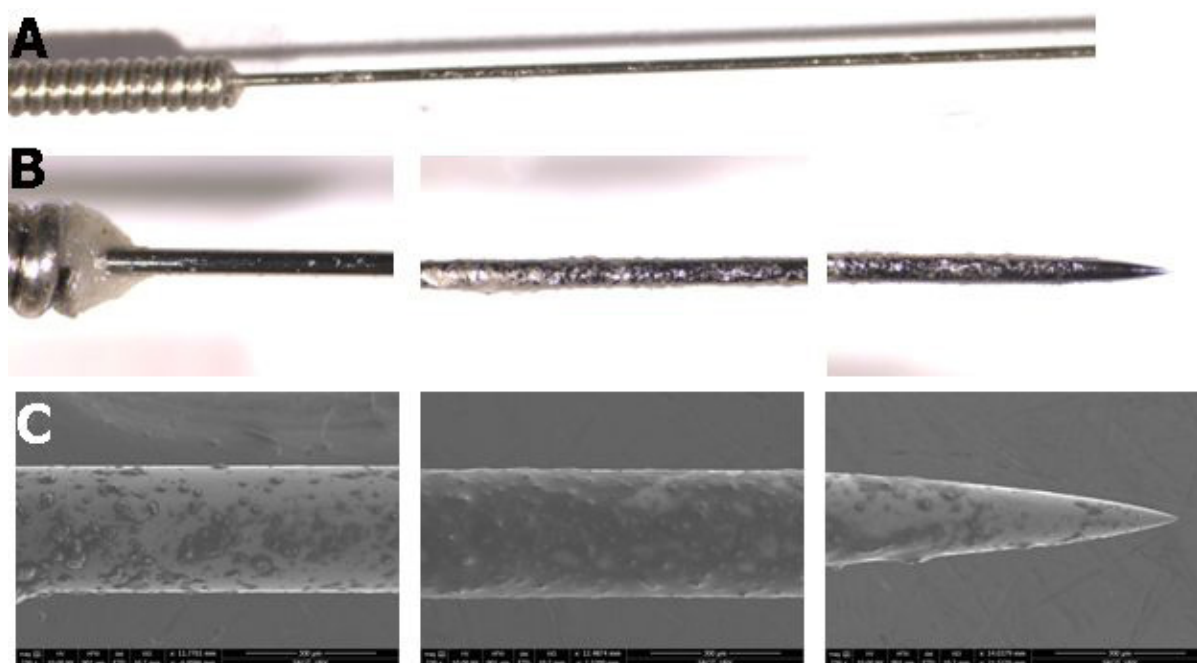


Figura 9. Ejemplo de una aguja recubierta con vaselina y alabastro. A. Imagen obtenida con lupa a un aumento de 0.72x. B. Imágenes obtenidas con lupa a un aumento de 4.5x. C. Imágenes obtenidas con un microscopio electrónico de barrido (SEM) a un aumento de 230x. En B y C, las tres imágenes corresponden a: la base, cerca del mango (imagen izquierda); imagen de la parte central de la aguja (centro); e imagen de la punta de la aguja (derecha).

Inserción. El recubrimiento presenta una superficie rugosa que podría causar dolor al paciente durante la punción. Una vez lijada dicha rugosidad, la aguja podrá penetrar sin causar molestias.

4. Conclusiones

Los recubrimientos puros fallan en su objetivo, ya que no garantizan el enfoque adecuado de la corriente galvánica. Sin embargo, este objetivo sí se consigue con los recubrimientos a base de alabastro, gracias a sus propiedades amalgamantes. Además, la vaselina sólida con alabastro se comporta adecuadamente en imagen ecográfica, permitiendo guiar la aguja hacia el tejido diana durante la inserción. No obstante, para que sea completamente funcional, sería necesario resolver los problemas de adherencia de la vaselina sólida con alabastro. Si finalmente se confirma la viabilidad de una solución polimérica para la vaselina sólida, se obtendría un recubrimiento adecuado.

Aunque el estudio no tenía como objetivo principal el uso de recubrimientos puros, sino únicamente como medio para incorporar el alabastro, se obtuvieron resultados relevantes: No recubren la aguja de forma homogénea; La vaselina sólida es la que mejor recubre las agujas; No permiten el enfoque de la corriente; Sí permiten la identificación ecográfica.

Se esperaba que la mezcla con alabastro ofreciera una mayor ecogenicidad, permitiendo una buena visualización de las agujas sin conducir corriente galvánica. Sin embargo, el alabastro ha demostrado ser un excelente amalgamador de los recubrimientos grasos: Las agujas se recubren de forma uniforme; Permiten un buen enfoque de la Corriente; El alabastro no parece impedir que el ecógrafo alcance la aguja; Las agujas suelen ser visibles mediante ecografía; La

vaselina líquida y el aceite de girasol generan superficies que dificultan la inserción; Ambas series con vaselina sólida no se adhieren adecuadamente a la aguja durante la inserción; Ambas series con vaselina sólida muestran el mismo comportamiento en ecografía; Un recubrimiento polimérico adicional podría mejorar la adherencia de la vaselina a la aguja.

Los resultados combinados de este estudio abren el camino hacia una aguja óptima para la aplicación de EP, asegurando una buena inserción, adecuado seguimiento ecográfico y un enfoque eficiente de la corriente, todo ello a un precio competitivo.

Referencias

1. Bosque M, Rhys L, Poveda E, Guerra R, Santafé MM. Alteración de las puntas de las agujas por la técnica de punción seca. *Rev Fisioter Invasiva*. 2016, 1(1): 26–34. <https://www.elsevier.es/en-revista-journal-invasive-techniques-in-physical-212-pdf-X2386458316614031>
2. Steen JP, Jaiswal KS, Kumbhare D. Myofascial Pain Syndrome: An Update on Clinical Characteristics, Etiopathogenesis, Diagnosis, and Treatment. *Muscle Nerve*. 2025 May;71(5):889-910. doi: 10.1002/mus.28377.
3. Abat F, Gelber PE, Polidori F, Monllau JC, Sanchez-Ibañez JM. Clinical results after ultrasound-guided intratissue percutaneous electrolysis (EPI®) and eccentric exercise in the treatment of patellar tendinopathy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2015 Apr;23(4):1046-52. doi: 10.1007/s00167-014-2855-2.
4. Rios A. "El secreto de Rafa Nadal," *Perarnau Mag.*, 2013. Available: <https://www.martiperarnau.com/el-secreto-de-rafa-nadal/>
5. Minaya Muñoz F, Valera Garrido F, Sanchez-Ibañez JM. Uso de la Electrólisis Percutánea Intratisular (EPI®) en la Epicondiligia Crónica: Caso clínico. *Fisioter calid vida*, 211, 14(1): 13–16. ISSN 1575-4847
6. Gómez-Chiguano GF, Navarro-Santana MJ, Cleland JA, Arias-Buría JL, Fernández-de-Las-Peñas C, Ortega-Santiago R, Plaza-Manzano G. Effectiveness of Ultrasound-Guided Percutaneous Electrolysis for Musculoskeletal Pain: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Pain Med*. 2021;22(5):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..Available: <https://www.quimica.es/enciclopedia/Parafina.html>.
9. Aceitedegirasol.es. Elaboración del Aceite de Girasol. Available: <http://www.aceitedegirasol.es/elaboracion-aceite-de-girasol.html>.
10. Agencia española del medicamento. respecto_Apiroserum Solución Ringer solución para perfusión. Barcelona, 2016.
11. Leica Microsystems. Sistema de microscopio digital Leica DMS300. 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. 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). Available: <https://www.urv.cat/es/investigacion/apoyo/recursos-cientificos-tecnicos/serveis/esem/>.

14. Freire CE. Fundamento biofísico de la exploración ecográfica. Sitio Argentino Prod. Anim., 2004, pp. 1–6.
15. Margalef R, Bosque M, Minaya-Muñoz F, Valera-Garrido F, Santafe MM. Safety analysis of percutaneous needle electrolysis: a study of needle composition, morphology, and electrical resistance. *Acupunct Med.* 2021;39(5):471–477. doi: [10.1177/0964528420988007](https://doi.org/10.1177/0964528420988007)
16. Valera Garrido F, Minaya Muñoz F. Fisioterapia Invasiva. 1ª ed. Barcelona: Elsevier; 2013. Capítulo 9: Mecanismos moleculares de la electrolisis percutánea intratisular; 187–203

Información editorial

✉ Correspondencia

manuel.santafe@urv.cat

Fechas

Recibido: 16.04.2025

Aceptado: 19.09.2025

Publicado: 14.10.2025

Actualizado: 13.10.2026. Se añade la declaración sobre la gestión editorial en Conflicto de intereses. Sin otros cambios.

Contribuciones de autoría

Conceptualización, CSM y MMS; metodología CSM y MMS; análisis, CSM y MMS; investigación, CSM y MMS; redacción–borrador, CSM y MMS; revisión y edición, CSM y MMS. Todos los autores han leído y aprueban la versión publicada del manuscrito.

Financiación

Esta investigación no recibió financiación externa.

Agradecimientos

Queremos agradecer a PrimPhysio por proporcionarnos el generador Physio Invasiva 2.0 utilizado en el estudio. También agradecemos a Pedro Flores por la realización de las ecografías y su colaboración en la finalización del experimento en su clínica BrumaClinic en Tarragona. Finalmente, agradecemos a Merce Moncusí del Servicio de Recursos Científico-Técnicos de la URV por su apoyo técnico en la adquisición de las imágenes de microscopía electrónica de barrido (SEM).

Declaración de Disponibilidad de Datos

Los datos presentados en este estudio están disponibles a través del autor de correspondencia previa solicitud.

Conflicto de intereses

Manel M Santafé es Editor Asociado de IPMM. Este manuscrito fue gestionado por otro editor y no participó en la revisión por pares ni en la decisión editorial. El otro autor declara no tener conflictos de intereses.

Cita sugerida

Suárez Malanda C, Santafé MM. Optimización de agujas para la electrólisis percutánea en fisioterapia invasiva: estudio ex vivo. *Invasive Physiother Musculoskelet Med.* 2025;1:e14. doi: [10.63360/ipmm.v1.e14](https://doi.org/10.63360/ipmm.v1.e14)

Descargo de responsabilidad/Nota del Editor

Las declaraciones, opiniones y datos contenidos en todas las publicaciones son únicamente del o los autores individuales y contribuyentes, y no de IPMM y/o del o los editores. IPMM y/o el o los editores rechazan toda responsabilidad por cualquier daño a personas o propiedades que resulte de ideas, métodos, instrucciones o productos mencionados en el contenido.

Copyright

© 2025 Las/os Autoras/es.

Publicado bajo licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA)

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>).