



Universidad Nacional
de **Río Negro**

LICENCIATURA EN KINESIOLOGÍA Y FISIATRÍA

TRABAJO FINAL DE GRADO

**“Aplicación de sonoforesis con Cannabinoides en lesiones del manguito
rotador”**

Reporte de un caso

Autor: Geronimo Gabriel Diaz

Directora: Lic. Natalia Silvina Meier

Viedma - Río Negro, Argentina.

2025

AGRADECIMIENTOS.

En un principio le agradezco a mis padres Laura y Fernando, quienes me apoyaron desde un inicio, quienes siempre estuvieron pendientes de mis sentimientos y mis avances y festejaron cada pequeño triunfo. Luego agradecerle a mi novia Johana, quien estuvo siempre a la par mía estudiando mate tras mate, apunte tras apunte, codo a codo para llevar adelante todo este proceso.

Y como no mencionar a mis amigos, que me ayudaron en cada tropiezo, que me orientaron cuando estaba sin guía, que estuvieron conmigo en cada acierto y desacierto.

También quiero agradecer a Victoria por cederme una parte de su espacio y su tiempo para poder llevar a cabo mi trabajo final explicandome todo el proceso de rehabilitación, respondiendo cada pregunta y cuestionamiento que me surgía. También quiero agradecerle a “Tita” por estar dispuesta a colaborar en el trabajo desde el inicio, apostando por una alternativa terapéutica de la cual existía registro.

Finalmente tengo una mención especial para mi directora de tesis Natalia Meier por adentrarse conmigo en un tema fuera de su zona de confort y guiarme en todo el proceso y a Daniel Barrios quien me ayudó en el proceso de creación de la crema de cannabinoides, quien además me aportó su experiencia farmacéutica y su experiencia empírica en lo que respecta al uso de cannabis, en la creación y formulación de esta crema.

ABREVIATURAS

CBD: Cannabidiol.

CBs: Cannabinoides.

Da: Dalton, unidad de masa atómica.

ERA: Effective Radiating Area o también conocida como Área de Radiación Efectiva por su traducción al español.

TFG: Trabajo final de grado.

THC: Delta-9-tetrahidrocannabinol.

SAT: Scapular Assistance Test o Prueba de Asistencia Escapular en español.

SEC: Sistema endocannabinoide.

US: Ultrasonido.

INTRODUCCIÓN.....	6
TEMA.....	7
JUSTIFICACIÓN.....	7
OBJETIVOS.....	8
Objetivo general:.....	8
Objetivos específicos:.....	8
CONSIDERACIONES ÉTICAS Y LEGALES.....	9
MARCO TEÓRICO.....	11
Artrocinemática de la articulación glenohumeral.....	12
Estabilidad de escápula.....	12
Mecanismo de lesión en manguito rotador.....	13
Tendinopatías.....	13
Composición y estructura del tendón.....	14
Propiedades mecánicas del tendón.....	15
Carga efectiva.....	16
¿Qué es el sistema endocannabinoide?.....	16
Farmacocinética.....	18
Características de los cannabinoides.....	19
Efecto séquito o entourage.....	20
Principios del ultrasonido terapéutico.....	20
Sonoforesis.....	21
Mecanismo de acción de sonoforesis.....	22
Elección de vehículo farmacéutico o excipiente.....	22
Características óptimas para que una molécula atraviese la piel.....	24
Vías de absorción transdérmica.....	24
Aspectos que influyen en la absorción.....	25
Frecuencia del ultrasonido en sonoforesis.....	26
Modalidad de ultrasonido en sonoforesis.....	27
METODOLOGÍA.....	28
Criterios de inclusión.....	28
Criterios de eliminación.....	28
Criterios de salida.....	28
Población.....	29
Modalidad de la investigación.....	29
Investigación asociada a variables.....	29
Variables dependientes.....	29
Derivado de material vegetal.....	30
Posología (dosis).....	36
Homogeneización del gel con cannabinoides.....	36
Descripción del procedimiento de recolección de datos.....	38
Intervenciones.....	38

Forma de aplicación.....	38
Cantidad de crema a aplicar.....	39
Momento de aplicación.....	39
Tiempo de aplicación y dosis.....	39
Duración del tratamiento.....	41
Descripción del caso y evaluación clínica.....	41
Trabajo en cada sesión.....	44
Primera sesión:.....	44
Segunda sesión:.....	45
Tercera sesión:.....	45
Cuarta sesión:.....	45
Quinta sesión:.....	46
Sexta sesión:.....	46
Séptima sesión:.....	46
Octava sesión:.....	47
Novena sesión:.....	47
Décima sesión:.....	47
Onceava sesión.....	48
Doceava sesión.....	48
Decimotercera sesión.....	49
Decimocuarta sesión.....	49
Decimoquinta sesión.....	49
Decimosexta sesión.....	50
Decimoséptima sesión.....	50
RESULTADOS.....	51
Análisis de resultados del test Constant-Murley.....	51
Efectos secundarios.....	52
DISCUSIÓN.....	54
CONCLUSIÓN.....	55
LIMITACIONES.....	56
BIBLIOGRAFÍA.....	57

INTRODUCCIÓN

Actualmente, los diversos usos y aplicaciones terapéuticas de los derivados de la planta *Cannabis sativa* continúan en investigación. Si bien existe evidencia que respalda el uso de cannabinoides (CBs) en el tratamiento del dolor crónico, aún se evalúa su eficacia en el manejo del dolor subagudo. A pesar de la disponibilidad de presentaciones tópicas, como ungüentos y parches con CBs, la evidencia científica que sustenta su uso es limitada.

En este contexto, la presente propuesta terapéutica busca explorar la aplicación localizada de CBs en lesiones del manguito rotador, empleando el ultrasonido (US), de esta forma, se potencia el paso de moléculas a través de la epidermis, lo que permite generar efectos locales sin provocar efectos sistémicos en el paciente. Esta técnica representa una herramienta complementaria dentro del abordaje kinesiológico y fisioterapéutico.

TEMA

Por medio del presente trabajo se busca documentar, cómo al aplicar US con la finalidad de obtener sonoforesis y CBs, se puede ofrecer una alternativa innovadora para el tratamiento del dolor y la recuperación de la funcionalidad, en patologías del sistema musculoesquelético como son las lesiones del manguito rotador. El trabajo se centrará en analizar los efectos de esta intervención en la reducción del dolor, la posible mejora de la calidad de vida del paciente, así como documentar los posibles efectos secundarios, proporcionando una perspectiva fitoterapéutica en el ámbito de la fisioterapia.

JUSTIFICACIÓN

Este trabajo final de grado (TFG) intenta potenciar una herramienta de la fisioterapia, como es el empleo del US, pero en combinación a CBs para una mejor respuesta al tratamiento del dolor en lesiones del manguito rotador. Cabe destacar que es una alternativa no invasiva, que evita las inyecciones y prescinde de la utilización de técnicas provocativas del dolor. Al mismo tiempo, desaparece la posibilidad de infección, siempre y cuando se respeten las contraindicaciones, para obtener un resultado sin ningún efecto secundario negativo. (Camacho Reyes, 2020, p.28)

En la actualidad no existe evidencia concreta de la utilización de sonoforesis y CBs, con lo cual por medio de este TFG, se busca establecer un precedente para quienes deseen utilizar esta alternativa para futuros estudios del tema.

OBJETIVOS

Objetivo general:

- Evaluar la eficacia de la sonoforesis con CBs en lesión del manguito rotador.

Objetivos específicos:

- Indagar sobre el funcionamiento del sistema endocannabinoide (SEC) en relación con la percepción del dolor.
- Evaluar los resultados del tratamiento del dolor con CBs por sonoforesis.
- Registrar posibles efectos secundarios o reacciones adversas de la aplicación de CBs por sonoforesis.
- Determinar la mejora en las actividades de la vida diaria, rango articular activo y fuerza en el paciente tratado con CBs por sonoforesis.

CONSIDERACIONES ÉTICAS Y LEGALES

Este trabajo sigue las normas de la Ley 27.350 de “Uso medicinal de Planta de Cannabis y sus derivados”, la cual establece un marco regulatorio para la investigación médica y científica para uso medicinal, terapéutico y/o paliativo del dolor, mediante el uso de derivados de la planta de cannabis. A continuación se resaltan los párrafos más relevantes de esta ley que se vinculan con este trabajo para poder continuar dentro del marco legal.

f) Investigar los fines terapéuticos y científicos de la planta de cannabis y sus derivados en la terapéutica humana;

h) Establecer la eficacia para cada indicación terapéutica, que permita el uso adecuado y la universalización del acceso al tratamiento;

j) Propiciar la participación e incorporación voluntaria de los pacientes que presenten las patologías que la autoridad de aplicación determine y/o el profesional médico de hospital público indique, y de sus familiares, quienes podrán aportar su experiencia, conocimiento empírico, vivencias y métodos utilizados para su autocuidado. (Congreso de la República Argentina, 2017).

En el contexto normativo que enmarca la práctica de la kinesiología en la provincia de Río Negro, es importante destacar la ley N° 5.215 que regula el ejercicio profesional de las actividades de la kineisología y fisiatría en la provincia. Es relevante a este TFG mencionar un inciso del Artículo 11° el cual establece como incumbencia del kinesiólogo “La prescripción de fármacos específicos para la fisiokinesioterapia de uso local en la zona a tratar.” (Legislatura de la Provincia de Río Negro, 2017, p.6) Por lo tanto, la aplicación de fármacos durante la fisioterapia, se enmarca dentro de las prácticas autorizadas de la kinesiología en esta jurisdicción, sin infringir ninguna normativa vigente.

Cumpliendo normativas legales mediante un consentimiento informado, se le explica al paciente, que, al aplicarse derivados de extractos de Cannabis Sativa, es posible que existan CBs exógenos detectables en un análisis de sangre. Además también se le explicará como se llevará a cabo el tratamiento convencional, de esta forma garantizando el derecho a decidir libremente sobre los procedimiento que se le aplicarán.

También se mantendrá la confidencialidad de la identidad del paciente, la misma quedará reservada ya que pueden existir datos sensibles, garantizando de este modo, su seguridad y privacidad. Así mismo se garantiza el principio ético fundamental de no violar los derechos del participante.

MARCO TEÓRICO

Anatomía y biomecánica del manguito rotador.

El hombro es una de las articulaciones más complejas y móviles del cuerpo humano, permitiendo una amplia variedad de movimientos gracias a la acción coordinada de múltiples músculos y estructuras articulares. El componente muscular más importante del hombro es el manguito rotador, compuesto por cuatro músculos: supraespinoso, infraespinoso, redondo menor y subescapular. Cada uno de estos músculos tiene un rol crucial en la estabilización y el movimiento de la articulación glenohumeral, facilitando la movilidad y funcionalidad del hombro en las actividades.

- **Supraespinoso:**

Se origina en la escápula, en sus dos tercios mediales. En su trayecto ocupa la fosa supraespinosa para dirigirse por medio de un tendón que guarda una relación altamente adherente a la cápsula articular, para insertarse en la cara superior del tubérculo mayor del húmero (Latarjet & Ruiz Liard, 2019).

Participa en la primera fase de la abducción por lo que en su evaluación se debe prestar atención, lo que involucra de los 0° a los 60° (Kapandji, 2007).

- **Infraespinoso:**

Su inserción medial se origina en la fosa infraespinosa, insertándose en los dos tercios mediales de esa fosa, en su trayecto el tendón pasa por detrás de la cápsula articular para insertarla en la superficie media del tubérculo mayor.

Cumple la función de abducción y rotación externa del húmero. Al igual que contribuye en la estabilidad del húmero durante sus movimientos (Latarjet & Ruiz Liard, 2019).

- **Redondo menor:**

Su origen es en la mitad superior del borde lateral de la escápula, su cuerpo muscular asciende oblicuamente hacia la región externa hasta insertarse en el tubérculo mayor del húmero.

Su acción es la de rotación externa y como el resto de los músculos del manguito se encarga de ayudar a mantener la cabeza humeral en la cavidad glenoidea (Latarjet & Ruiz Liard, 2019).

- **Subescapular:**

Es un músculo de forma triangular situado profundamente en la cara anterior de la escápula: Su origen es en el labio anterior del borde medial de la escápula y en la cara anterior de este hueso. Su inserción es en el tubérculo menor del húmero.

Su función es hacer aducción del hombro y rotación interna del húmero, además de contribuir en estabilizar la cabeza humeral en la cavidad glenoidea durante los movimientos del hombro (Latarjet & Ruiz Liard, 2019).

Artrocinemática de la articulación glenohumeral.

La articulación glenohumeral está compuesta por dos superficies de contacto: la glena, una superficie cóncava en la escápula que permanece fija durante los movimientos del hombro, y la cabeza del húmero, una superficie convexa que se desplaza activamente durante los movimientos.

Teniendo en cuenta las reglas cóncava-convexa, durante un movimiento acontece al mismo tiempo el deslizado y el rodado, pero estos se dan en direcciones opuestas. El rodado es siempre en dirección del movimiento, mientras que el deslizamiento es contraria al sentido del desplazamiento. En este caso durante la abducción el húmero rueda hacia arriba, y se desliza hacia abajo (Bordoli, 1995).

Estabilidad de escápula.

Es de utilidad comprender el papel de la estabilidad articular sobre las patologías de hombro las cuales incluyen al manguito rotador. Es por ello que en el examen físico se debe evaluar la presencia o ausencia de disquinesia escapular, ya que una alteración en la dinámica o especialmente la estática repercute sobre el hombro (Kibler & Thomas, 2012). Se debe tener en cuenta que un control escapular alterado corresponde a otro factor asociado a la aparición de lesiones de hombro.

Por lo anteriormente nombrado, evaluar la disquinesia escapular es crucial, ya que afecta la estabilidad articular y puede influir en patologías como las del manguito rotador. Por lo cual se evalúa la estática al comparar la posición de la escápula desde una vista posterior y lateral, luego se le pueden realizar maniobras correctivas para evaluar la modificación de los síntomas.

Para realizar el Scapular Assistance Test (SAT), también conocido como la prueba de asistencia escapular, se utiliza una fijación manual: una mano estabiliza la

clavícula y la espina de la escápula con el pulgar y los dedos en forma de horquilla, mientras que la otra toma el ángulo inferior de la escápula. Desde esta posición, se asiste el movimiento de abducción favoreciendo la rotación ascendente de la escápula.

Mecanismo de lesión en manguito rotador.

Como norma general el mecanismo de lesión involucra movimientos a repetición por encima del plano del hombro, tal como la abducción y flexión excesiva, tomando objetos pesados con los codos extendidos, con una mayor prevalencia en operarios que utilicen máquinas que generen vibraciones. (Sánchez et al; 2009, p. 18)

Tendinopatías.

En lo que a patologías del tendón se refiere, resulta relevante el modelo planteado por Jill Cook, el cual describe la patología del tendón como un proceso continuo compuesto por tres estados tisulares los cuales se dan constantemente. Dichos estados son tendinopatía reactiva, tendón desestructurado y tendinopatía degenerativa.

En la primera fase, la tendinopatía reactiva, se produce como resultado de una sobrecarga aguda de fuerzas. Por definición, no implica una respuesta inflamatoria, aunque sí genera una respuesta celular hiperactiva ante la carga, donde los proteoglicanos aumentan su actividad metabólica, lo que a su vez incrementa el contenido de agua en la matriz extracelular.

La segunda fase, denominada tendón desestructurado o “recuperación fallida” se caracteriza por una mayor desorganización de la matriz extracelular, con discontinuidad en los fascículos de colágeno. En esta etapa, también se observa un incremento en el número de células y un aumento en la producción tanto de colágeno como de proteoglicanos.

Finalmente, en la fase degenerativa, hay una progresión de la desorganización, con áreas de muerte celular por apoptosis o fallos en la función de los tenocitos. Si la degeneración es suficientemente extensa y se combina con cargas elevadas, podría ocurrir la rotura del tendón (Cook et al; 2017, p. 61 - 69).

Existen factores tanto intrínsecos como extrínsecos que facilitan la aparición de sintomatología tendinosa característica de una tendinitis. Dentro de estos últimos encontramos el sobreuso, pudiendo estar relacionados a deportes de alta exigencia caracterizados por estiramientos cíclicos repetitivos y de corta duración.

Por otro lado dentro de los factores intrínsecos vale la pena mencionar que algunos son modificables por el individuo como el estilo de vida y la salud en general, y otros no modificables como son los relacionados a genes que participan en la alineación y organización del colágeno, así como proteínas tales como la troponina que regulan la capacidad de carga y compresión. Finalmente también están relacionados factores como el sexo y la edad que alteran las propiedades elásticas del tendón (Alvarado, 2020, p. 14-23).

Composición y estructura del tendón.

El tendón está compuesto principalmente por colágeno tipo I (30%), elastina (2%), agua (68%) y tenocitos. Su estructura jerárquica incluye fibras de colágeno que se agrupan en fibrillas. Estas fibras se organizan en fascículos primarios (sub-fascículos), secundarios (fascículos), terciarios y cuaternarios en tendones más voluminosos. Cada fascículo está rodeado por el endotendón, que contiene vasos sanguíneos, linfáticos y nervios. El epitendón y el paratendón envuelven al tendón, formando el peritendón, que facilita el deslizamiento con tejidos vecinos. Los tenocitos, células especializadas, se disponen en cadenas longitudinales y contribuyen a la alineación de las fibras de colágeno. (Wavreille & Fontaine, 2009, p. 5-9).

En el fascículo primitivo predomina el colágeno tipo I, que constituye aproximadamente el 30% de la composición del tendón. Este colágeno está inmerso en una matriz de mucopolisacáridos y proteoglicanos, la cual contiene un 68% de agua. Los tenocitos, las principales células del tendón, se encuentran distribuidos en esta matriz y son responsables de sintetizar y mantener los componentes de la matriz extracelular, incluyendo el colágeno y los proteoglicanos. La matriz contribuye a la hidratación, viscoelasticidad y organización del colágeno, asegurando la integridad estructural necesaria para distribuir las cargas de manera eficiente. (Wavreille & Fontaine, 2009, p. 5-9)

También es importante comprender cómo se da la transición entre el tendón y el hueso, lo que se denomina entesis, esta permite una transición mecánica y progresiva, y en ella predomina el tejido conectivo denso rodeado por un plexo rico en vasos.

Esta zona de transición, puede dividirse en cuatro zonas más: sustancia tendinosa, fibrocartilago, fibrocartilago mineralizado y hueso. La inserción de un tendón en una superficie ósea produce un relieve a modo de tuberosidad o cresta, resultante de la acción mecánica que se transmite desde el tendón que perfora la superficie de los huesos (Wavreille & Fontaine, 2009, p 5-9).

Propiedades mecánicas del tendón.

El tendón es una estructura viscoelástica, lo que significa que presentan curvas de tensión-deformación no lineales, en un material viscoelástico la energía mecánica no regresa por completo al aplicar una carga sino que se pierde por el fenómeno de histéresis, donde se disipa parte de la energía, por ejemplo, en forma de calor (Hamill et al; 2015).

La curva de deformación tendinosa presenta varias fases como se puede ver en la **Figura 1**. La primera corresponde a un crecimiento exponencial, que refleja la progresiva tensión de las fibras tendinosas. Una vez que todas las fibras alcanzan un estado de tensión, comienza una segunda fase lineal que corresponde a un 4% de elongación, fase que es utilizada para calcular el módulo de Young del tendón. Posteriormente, en la tercera fase, la curva entra en un rango extrafisiológico, que ocurre entre un 4% y 8% de elongación donde ocurren rupturas microscópicas. Finalmente, en la fase de meseta y ruptura, las lesiones macroscópicas iniciales pueden observarse alrededor del 14% de elongación. (Wavreille & Fontaine, 2009, p. 9-11)

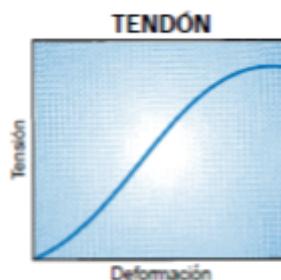


Figura 1: Curvas de tensión-deformación para el tendón. Adaptado de *Biomecánica: bases del movimiento humano* (p. 82), por J. Hamill, 2015, Wolters Kluwer.

Carga efectiva.

Es importante considerar la carga efectiva a la hora de dosificar ejercicios, este concepto hace referencia a la cantidad de carga mecánica que el tendón es capaz de tolerar y procesar de manera beneficiosa, sin generar una sobrecarga que pueda perpetuar o agravar el daño tisular. La carga debe ser cuidadosamente ajustada según la fase en la que se encuentre el tendón (reactiva, desestructurada o degenerativa), de manera que estimule la adaptación y la reorganización de la matriz sin provocar un retroceso en el proceso de recuperación.

Por lo tanto, la planificación terapéutica debe contemplar tanto la intensidad como la frecuencia y duración del estímulo, en un marco progresivo y controlado que favorezca la restauración funcional del tejido.

¿Qué es el sistema endocannabinoide?

El SEC es una red de señalización celular que ayuda a regular la homeostasis en el cuerpo, influyendo por medio de receptores, neurotransmisores y enzimas en una variedad de procesos fisiológicos importantes, como el apetito, el dolor, la memoria, la inflamación, y el equilibrio energético.

A continuación se detallan los componentes más importantes del SEC:

1. Endocannabinoides: Son moléculas que produce el cuerpo de forma natural, los dos endocannabinoides más estudiados son la anandamida (AEA) y el 2-araquidonilglicerol (2-AG). Estos compuestos actúan como neurotransmisores y se unen a receptores específicos en el cuerpo para regular diferentes funciones.

2. Receptores CBs: Se encuentran en todo el cuerpo, pero son particularmente abundantes en el sistema nervioso central y periférico. Los principales receptores son:

- Receptor cannabinoide CB1: Predominan en el sistema nervioso central, lo podemos encontrar en neuronas del cerebro, médula y sistema nervioso periférico. “Se hallan en abundancia en las regiones del cerebro responsables del movimiento [...], del procesamiento de la memoria (hipocampo, corteza cerebral) y de la modulación del dolor (ciertas partes de la médula espinal, sustancia gris periacueductal),” (Grotenhermen, 2006, p.10-14). Adicional a esto, Ramos Atance menciona en su libro que “El receptor CB1 está ubicado en las regiones del sistema nervioso periférico y central donde se controla la señalización del dolor.” (2017) Por lo que se debe pensar en la utilidad de un tratamiento a nivel del nervio periférico sobre su influencia en la vía del dolor.

- Receptor cannabinoide CB2: Estos receptores están implicados en la regulación de la inflamación y las respuestas inmunitarias. Se ubican en “adipocitos, el hígado, los pulmones, la musculatura lisa, el tracto gastrointestinal, las células pancreáticas β , el endotelio vascular, los órganos reproductivos, el sistema inmunológico, los nervios periféricos sensoriales y en los nervios simpáticos.” (Filipponi, 2022).

Cabe mencionar que se ha demostrado que tanto el receptor CB1 como el CB2 están presentes en el músculo esquelético humano, y que estos interactúan en las vías que regulan la oxidación de los ácidos grasos (Cavuto et al; 2007).

3. Enzimas: Son responsables de descomponer los endocannabinoides una vez que han cumplido su función. Las principales son la hidrolasa de amidas de ácidos grasos (FAAH), que degrada la anandamida, y la monoacilglicerol lipasa (MAGL), que descompone el 2-AG.

Los CBs exógenos, presentes en la planta de cannabis como el tetrahidrocannabinol (THC) y el cannabidiol (CBD), interactúan con este sistema al unirse a los receptores CB1 y CB2 o modulando su actividad.

Farmacocinética.

La cantidad de CBs absorbidos y la velocidad de absorción varían según la vía de administración.

La vía inhalatoria, una de las más utilizadas, permite una absorción rápida pero presenta pérdidas significativas de CBs durante el proceso. En contraste, la vía oral implica un proceso más lento, ya que los CBs deben atravesar el sistema digestivo y sufrir el metabolismo de primer paso hepático. Sin embargo, esta vía permite un mayor aprovechamiento de los CBs, aunque el tiempo necesario para alcanzar la circulación sistémica es mayor (CONADIC, 2019, p.13-14).

Otras vías de administración incluyen la rectal, sublingual, oftálmica, intravenosa y transdérmica. Esta última se caracteriza por un inicio de acción lento pero sostenido, ya que los CBs atraviesan las capas de la piel de manera gradual. La duración de su efecto varía según el sistema empleado: los parches transdérmicos, por ejemplo, pueden liberar CBs de forma continua durante varios días, mientras que los geles y cremas suelen tener un efecto más limitado en el tiempo.

Los CBs presentan un comportamiento notorio en su distribución dentro del organismo debido a su notable capacidad para disolverse en grasas (lipofilia). Una vez que entran en la sangre, se asocian rápidamente con proteínas plasmáticas y se dirigen inicialmente hacia los órganos con mayor flujo sanguíneo, como el cerebro, los riñones, el estómago, los pulmones, el hígado, el corazón y el bazo. Posteriormente, se acumulan en los depósitos de grasa del cuerpo (Williamson & Evans, 2000, p. 1203-1314).

El metabolismo de los CBs ocurre principalmente en el hígado, donde son procesados por las enzimas del sistema citocromo P450. Su vida media de eliminación varía entre 20 y 60 horas, aunque algunos metabolitos pueden detectarse hasta 5 o 6 días después de la última administración, dependiendo del método de análisis utilizado. Una vez transcurrido el período de vida media, aproximadamente el 12% de los metabolitos se eliminan por la orina y el 68% a través de las heces (CONADIC, 2019, p.13-14).

La teoría de metabolización y eliminación se aplica a las vías de administración que permiten un ingreso significativo de CBs al organismo. Sin embargo, en el caso de la vía transdérmica, la cantidad de CBs que alcanza el

torrente sanguíneo es mínima, ya que su acción es predominantemente localizada y no sistémica.

Características de los cannabinoides.

Vale la pena mencionar que los CBs son moléculas liposolubles, lo que facilita su difusión a través de las membranas celulares, compuestas por bicapas lipídicas, favoreciendo así su absorción por la vía trans-epidérmica. De este modo, se aprovechan las propiedades de los CBs junto con la acción del US mediante la sonoforesis, lo que permite una adecuada penetración del principio activo en la piel.

Es importante mencionar el peso molecular de las dos moléculas presentes en mayor proporción, ya que como se verá más adelante en las características óptimas para que una molécula atraviese la piel, es recomendable que tenga un bajo peso molecular, menor a 600 Da. En el caso del tetrahidrocannabinol tiene un peso molecular de 314.47 Da, mientras que el CBD tiene un peso molecular de 313.4636 Da. por lo tanto ambos cuentan con un peso molecular dentro del rango recomendado.

Efecto séquito o entourage.

El efecto séquito o entourage se refiere a la interacción entre los diferentes componentes de la planta de cannabis, produciendo no solo sinergia entre ellos, sino también modulando los efectos terapéuticos, teniendo en cuenta todo el espectro de CBs presentes en la planta (tetrahidrocannabinol, CBD, cannabichromene, cannabigerol y otros CBs presentes en menor cantidad). Por lo que es beneficioso utilizar distintos principios activos del cannabis y no solo aislando un componente (Pérez-Martínez, 2022).

Esto coincide con lo planteado por el Dr Mariano Garcia de Palau quien explica los beneficios de la aplicación de tópicos que combinan CBD y THC y su efecto beneficioso sobre el tratamiento del dolor al momento de combinar ambos CBs "...las formulaciones para aplicar de manera tópica suelen ser básicamente ricas en CBD, pero sí contiene también THC el efecto en general es más potente, sobre todo el analgésico." (Garcia de Paul, n.d).Lo que coincide con otras fuentes

que explican cómo se produce efecto séquito “el CBD aumenta los efectos terapéuticos del THC mejorando su distribución y biodisponibilidad. En este sentido, por ejemplo, dada su naturaleza altamente hidrofóbica, el CBD penetra en las membranas biológicas aumentando su fluidez y con ello la capacidad del THC de penetrar en los tejidos.” (Ramos Atance, 2017, p.27) De esta forma se explica la sinergia para potenciar sus efectos.

Principios del ultrasonido terapéutico.

Además del empleo de la técnica de sonoforesis, también se aprovechan los principios de la utilización del US en su forma convencional, este posee acción terapéutica gracias a su efecto mecánico y térmico.

El principio mecánico consiste en generar una compresión y expansión del tejido según esté seteada la frecuencia del equipo de US, por lo cual se suele decir que tiene un efecto de “micromasaje” (Martín Cordero, 2008, p.213-216). El cual se da como resultado de la vibración a la que se ven sometidos los tejidos por conducir las ondas mecánicas (Rodríguez Martín, 2004, p. 522-528).

Este efecto se relaciona con la cavitación, proceso de acción desgasificante, en el que las ondas ultrasónicas reorganizan burbujas microscópicas presentes en el medio. Las rápidas variaciones de presión generadas por el US provoca la formación, el crecimiento y, en algunos casos, el colapso de estas burbujas de gas. Este colapso puede desencadenar efectos mecánicos en el entorno circundante. (Martín Cordero, 2008, p.213-216)

Otro efecto importante es el térmico, este se da ya que existe una resistencia a la deformación y conducción, donde se genera energía producto del roce intermolecular o también por la agitación del medio electrolítico del líquido intersticial e intracelular (Rodríguez Martín, 2004, p. 522-528). Gracias a esto se consigue elevar la temperatura de manera localizada y profunda, dependiendo de la fricción antes mencionada, la intensidad y duración del tratamiento. El efecto diatérmico del US presenta ventajas gracias a su acción más selectiva en los tejidos ricos en

colágeno como los tendones, músculos, ligamentos y cápsulas, entre otros (Martín Cordero, 2008, p.213-216).

Vale la pena mencionar que ambos principios están presentes al momento de aplicar US, pero dependiendo de la modalidad va a predominar uno sobre otro, siendo en modalidad continua donde predomine el efecto térmico y en modalidad pulsátil el mecánico. Pero aún así, ambos estarán en mayor o menor medida al momento de la aplicación.

Sonoforesis.

La sonoforesis es la introducción de moléculas a través de la piel, independientemente de su polaridad. El éxito en la administración de sustancias terapéuticas dependerá de la capacidad intrínseca de dichas sustancias para atravesar la piel y alcanzar concentraciones suficientes que generen el efecto deseado en el organismo (Martín Cordero, 2008, p.227). Además, cabe mencionar que la técnica de aplicación para sonoforesis no se diferencia de la utilización de US convencional.

Mecanismo de acción de sonoforesis.

Dentro de las posibles explicaciones del mecanismo por el cual se produce sonoforesis, Mitragotri plantea que podría ser por medio de la cavitación y el efecto térmico (Mitragotri et al; 1995).

La cavitación se relaciona con la generación y oscilación de burbujas de gas en un medio acuoso, en este caso el gel, al romperse estas burbujas genera una alteración en la membrana favoreciendo el movimiento de fármacos a través de las células por medio de un aumento en la actividad de las células del estrato córneo.

A su vez el efecto térmico contribuye a la apertura de poros y dilatación de vasos, lo que predispone a recibir y distribuir el fármaco con el que estamos realizando sonoforesis.

Elección de vehículo farmacéutico o excipiente.

Casiraghi en su artículo del 2020, investiga la influencia del vehículo en la absorción percutánea de CBD y comparó pomadas oleosas con gel de propilenglicol, llegando a la conclusión de que la mezcla de propilenglicol/agua logró el mejor rendimiento tanto en la tasa de permeación como en la retención cutánea. Demostrando ser el gel de propilenglicol, el vehículo más eficaz entre las formulaciones propuestas para ser utilizado como vehículo del concentrado de CBs (Casiraghi et al; 2020).

El gel cumple los requisitos para ser un buen vehículo, “Un vehículo debe ser fácil de aplicar y retirar, no tóxico ni irritante, químicamente estable, cosméticamente aceptable y farmacológicamente inerte.” (Mengatto, 2010, p.11). Aunque la bibliografía apoya el uso de gel como medio de transmisión en US, al realizar pruebas con resina de CBs, el gel formó una mezcla no homogénea como se observa en la **Figura 2**. Al agregar alcohol, se obtuvo un resultado algo mejor y más homogéneo tal como se muestra en la **Figura 3**; sin embargo, en una prueba a menor escala con US, el gel demostró ser un vehículo inadecuado, ya que se evaporó rápidamente por la acción del US, el calor corporal, exposición al aire y el deslizamiento del cabezal. Esto dejó una cantidad considerable de resina acumulada en el cabezal del dispositivo **Figura 4** y en la piel, sin posibilidad de atravesar la barrera transdérmica.



Figura 2: Resina en gel



Figura 3: Gel con resina luego de agregar alcohol.



Figura 4: Impactación de resina en el cabezal, uso de gel.

Por este motivo, se decidió abandonar el uso clásico del gel y probar una crema base, que, tras una aplicación de veinte minutos, no dejó residuos en el cabezal. Los resultados fueron notablemente mejores, considerando que los CBs, al ser sustancias lipofílicas, se disuelven de forma más efectiva en una crema base. Este cambio hacia el uso de crema base en lugar de gel resultó ser más conveniente en la práctica, ya que optimizó la aplicación y permitió una transmisión más efectiva de los CBs a través de la piel. La crema no solo evitó la evaporación y acumulación de resina en el cabezal, sino que también mejoró la solubilidad de los CBs, potenciando así los beneficios terapéuticos de la técnica.

Características óptimas para que una molécula atraviese la piel.

Se debe tener en cuenta cuáles son las propiedades de la molécula para que sea eficiente la penetración del principio activo, es de utilidad que tenga un peso

molecular bajo, en lo posible menor a 600Da, preferentemente que sea soluble en aceite o agua, que tenga un bajo punto de fusión, si es posible menor a 200°C. Y en el caso de conocer la concentración, poder realizar el coeficiente de partición y que este arroje un resultado entre 1 y 4 (Barry, 2001).

Se ha determinado que el estrato córneo actúa como una barrera que ofrece una resistencia en la difusión significativamente mayor, hasta 1000 veces más elevada, a la penetración de sustancias hidrosolubles, en contraste con la resistencia frente a las sustancias liposolubles. Esto resalta la notable diferencia en la capacidad de penetración dependiendo de las propiedades de solubilidad del fármaco (Riviere & Papich, 2001, p.175,203).

Vías de absorción transdérmica.

Existen dos principales vías para el transporte de fármacos gracias a la piel: la vía transepidérmica y la vía transanexial o transpedicular, esta última, se da por medio de los anexos cutáneos. Cabe destacar que la vía transepidérmica es considerada la principal ruta de absorción, ya que cuenta con un área superficial mil veces mayor que la transpedicular y puede subdividirse en el paso entre las células y el paso a través de ellas. Por su parte, la vía transanexial depende principalmente de las glándulas sebáceas, aunque también, en menor medida, del transporte de las paredes de los folículos pilosos y las glándulas sudoríparas (Pareja, 2004, p.49-52).

La absorción transdérmica tiene ventajas sobre otras vías clásicas para la administración de CBs como lo es la vía oral, en la cual es necesario que una vez ingerido el derivado de CBs, este es absorbido por el tracto gastrointestinal transportado al hígado por el sistema porta antes de permitir el paso a la circulación sistémica, por lo que necesita del primer paso hepático, durante el cual el hígado metaboliza parte de la sustancia, reduciendo su concentración y eficacia afectando a la biodisponibilidad (Mahmoudinooodezh et al; 2022). Por lo cual es interesante la vía transdérmica ya que elimina la necesidad de terapias farmacológicas sistemáticas produciendo un efecto localizado en el área de interés, reduce la dosis total necesaria para alcanzar el sitio objetivo y disminuye los efectos secundarios (Goyal et al; 2016).

Aspectos que influyen en la absorción.

Cabe mencionar que existen determinados aspectos que influyen en mayor o menor medida sobre la absorción de fármacos por medio de la piel. En primer lugar, la existencia de lesiones cutáneas que alteren el estrato córneo afectando las vías de absorción como por ejemplo, la presencia de cicatrices disminuye la cantidad de glándulas sudoríparas y sebáceas.

Por otro lado Mengatto (2010) al referirse a heridas agudas comenta “las lesiones cutáneas que alteran el estrato córneo hacen que aumente el grado de absorción.” (p.10) así que dependerá del tipo de lesión como esta influye sobre la absorción, ante una herida o desgarramiento de superficie que afecta a la barrera de protección de la epidermis, permite el paso de diferentes sustancias. Pero eso se da de una forma descontrolada que no es beneficiosa ya que además aparece un riesgo de infección. (Pareja, 2004, p.49-52).

Así mismo el grado de hidratación de la piel influye, ya que aumenta su permeabilidad al momento de estar saturada de agua, así como también determina el coeficiente de difusión la temperatura de la piel, a mayor temperatura existe una mayor vasodilatación lo que pone a los vasos más predispuestos de permitir la difusión del fármaco.

Otros dos factores que modifican la entrada de agentes terapéuticos son la zona a tratar y la edad del paciente. En cuanto a la zona, el contenido de anexos, el grosor del estrato córneo y el contenido lipídico varía según el área a tratar. Por otro lado, la edad del paciente, también influye, ya que, por ejemplo, en niños es más permeable que en el adulto (Mengatto, 2010), también en adultos mayores se ve facilitada la incorporación de fármacos ya que es más fina la piel, pero se encuentra compensada por el menor grado de hidratación de la piel del adulto mayor.

Por último es importante que los principios que se utilicen para realizar aplicaciones medicinales por medio de la piel tengan cierto grado de liposolubilidad para penetrar la membrana celular (Pareja, 2004, p.49-52).

Frecuencia del ultrasonido en sonoforesis.

Al momento de determinar qué frecuencia se utilizó para realizar sonoforesis se analizó investigaciones previas que emplearon sonoforesis al momento de realizar tratamiento en patologías musculoesqueléticas.

Primero Carabajal Escobar & Maria Belén (2015) realizó un estudio comparativo entre iontoforesis y sonoforesis, y al momento de utilizar el US eligió la frecuencia de 1MHz. Por otro lado Merchán & Jairo (2016) al momento de comparar la eficacia de la sonoforesis de emisión pulsátil y la sonoforesis continua analizar los resultados un efecto más favorable a frecuencia de 1MHz en combinación de la modalidad continua.

Durante su trabajo de grado Cornejo (et al; 2017) donde describe los beneficios de la sonoforesis combinado con ejercicios de estiramientos en pacientes con lumbago utiliza 1MHz en modalidad continua y una intensidad de 0.8W/cm² a 1.2 W/cm² lo que resultó en una disminución de síntomas en los pacientes con lumbago. Además Mitragotri (et al; 1995) en su estudio afirma que la aplicación de US a 1MHz en combinación con 2w/cm² mejoró el transporte transdérmico de una variedad de fármacos.

En conclusión, las investigaciones revisadas coinciden en utilizar una frecuencia de 1 MHz para la aplicación de sonoforesis en el tratamiento de diversas patologías musculoesqueléticas. Se observó que esta frecuencia, los estudios destacan los beneficios del uso de 1 MHz en modalidades específicas, como la continua, en combinación con intensidades adecuadas, lo que demuestra su efectividad en el tratamiento de patologías musculoesqueléticas.

Modalidad de ultrasonido en sonoforesis.

La elección de la modalidad de US terapéutico se basó en un estudio comparativo entre sonoforesis de emisión pulsátil y continua. Aunque el estudio tuvo una muestra pequeña de 20 deportistas con esguinces de tobillo, no encontró diferencias significativas debido a la limitada población. Sin embargo, concluyeron que la sonoforesis continua es más eficiente en el tratamiento del dolor (Merchán &

Jairo, 2016). Por lo tanto, se optará por esta modalidad para lograr un tratamiento más eficaz, teniendo en cuenta que el efecto térmico prevalece sobre el mecánico, lo que tiende a aumentar la vasodilatación.

METODOLOGÍA

Criterios de inclusión.

- Paciente que tenga tendinitis del manguito rotador diagnosticado por un médico.
- Consentimiento informado leído, entendido y firmado voluntariamente por el paciente.
- Mayor de 18 años y menor de 70 años al momento del ingreso en el estudio.

Criterios de eliminación.

- Presencia de contraindicaciones para el uso general de US.
- Pacientes con enfermedades crónicas no controladas.
- Que existan lesiones primarias de la piel o secundarias sin resolver.
- Paciente que por motivos personales o laborales se niegue a la utilización de derivados del cannabis.
- Paciente que ya se encuentre usando aceites con derivados de cannabis.

Criterios de salida.

- Que aparezca irritación pasada dos horas de la aplicación.
- Resequedad de la piel inconfortable.
- Interrupción del tratamiento o cese de este con menos de diez sesiones.
- Descompensación de alguna enfermedad de base.
- Fotosensibilidad en la zona luego de la aplicación.

Población.

Al momento del ingreso del paciente que cumpla con los criterios de inclusión y exclusión quedarán registrados los siguientes datos para contextualizar el caso clínico.

- Antecedentes del paciente: edad, sexo, historial médico relevante.
- Síntomas y signos: presentación clínica, examen físico y resultado de las escalas de evaluación del paciente.
- Diagnóstico: métodos diagnósticos utilizados, exámenes complementarios y resultados obtenidos. Descartar patologías cervical, descartar enfermedades poliarticulares
- Tratamiento: Detalles de la intervención o manejo realizado.

Modalidad de la investigación.

Estudio descriptivo, estudio/reporte de caso, el cual se centra en la aplicación de sonoforesis con CBs en un paciente, analizando detalladamente la intervención, resultados, y efectos secundarios en el contexto individualizado al paciente.

Investigación asociada a variables.

Se analizará el dolor y el rango articular activo al inicio y al final del tratamiento, con una escala visual análoga y goniometro, respectivamente, Los datos quedarán registrados en un documento de recolección de información, el cual incluye una breve historia clínica de la paciente, más el resultado de las variables a medir.

Variables dependientes.

Como método de medición para las funciones de hombro se optará por usar la "Traducción y adaptación transcultural del *Constant-Murley Score* al español de la Argentina".

Esta escala se encuentra dividida en cuatro secciones, la primera dimensiona el **dolor**, la segunda se refiere a las **actividades de la vida diaria** efectuadas en la última semana, en la tercera sección incluye indicadores de **movilidad activa** en flexión anterior, abducción, rotación externa y rotación interna (Gómez et al: 2022).

El último y cuarto ítem mide **fuerza**, para esto se utilizarán balanzas digitales como las usadas para medir valijas de viajes. El uso de este tipo de balanzas se encuentran validadas (Johansson & Adolfsson, 2005, p.273-278) y autorizadas para su empleo en la Revista Argentina de Ortopedia y Traumatología.

Para puntuar la fuerza el brazo debe estar en abducción de 90° y se le pide al paciente que realice un movimiento activo en abducción, se registran tres pruebas con un intervalo de un minuto con el objetivo de evitar la fatiga y luego se promedia el resultado de las tres pruebas. Si la fuerza medida en kilogramos se multiplica por 2.2 para obtener la puntuación.

Derivado de material vegetal.

Se utilizó resina de cannabis, la cual se extrajo en la Universidad Nacional de Río Negro mediante un método de extracción de resina en alcohol, a continuación se detallan los pasos llevados a cabo para la extracción.

Disolución de CBs en alcohol:

1. Las flores previamente secadas y curadas se colocan en el freezer con una antelación de por lo menos 72 horas antes del inicio del proceso, esto con el fin de ayudar a romper las estructuras celulares, además se produce una solidificación de los compuestos CBs generando “cristales”, lo que facilita la liberación de los CBs y terpenos durante el proceso de extracción. En nuestro caso se congelaron por 9 días por cuestiones organizacionales. En la **Figura 5** se puede observar una vista general previo al comienzo de extracción donde se observa la condensación en el exterior del frasco producto del cambio de temperatura.



Figura 5: Vista previa al inicio del proceso.

2. Se realiza un pesaje de las flores secas con el propósito de registrar la cantidad de gramos que se están utilizando como se puede observar en la **Figura 6**, por lo que constatamos que estábamos trabajando con 118,95g.



Figura 6: Pesado de flores.

3. Se colocaron las flores en un matraz erlenmeyer, y se le agregó alcohol hasta cubrir las flores como se puede observar en la **Figura 7**, seguido a esto revolvimos por 10 minutos garantizando que el alcohol llegue a todas las partes de las flores.



Figura 7: Agregado de alcohol.

4. Pasado ese tiempo se filtra con un colador de cocina, separando a grosso modo el líquido de las sustancias sólidas como se aprecia en la **Figura 8**, esto se lo denomina filtrado grueso.



Figura 8: Filtrado grueso.

5. Se vuelve a agregar alcohol dos veces a las flores, filtrando con el colador con el objetivo de realizar una extracción serial, este es un método de separación que consiste en realizar varias extracciones sucesivas utilizando en este caso alcohol limpio que actúa como un disolvente para maximizando la extracción de de CBs. En nuestro caso lo realizamos tres veces para garantizar una extracción prácticamente total.

6. Al finalizar la extracción serial tenemos un líquido con un alto contenido en CBs aunque aún presenta impurezas derivadas del polvillo y sedimentos que las flores podrían haber acumulado debido a factores ambientales. Por lo que

colocamos un papel filtro walkman en un embudo largo, para separar las pequeñas impurezas como se muestra en las **Figuras 9 y 10**. Dejando caer el contenido filtrado en una probeta higienizada. Al finalizar el proceso de filtrado, aparecen a simple vista en el papel walkman las impurezas resultantes del proceso de separación de partículas sólidas (**Figura 11**).



Figura 9: Vista general del proceso de filtrado fino.



Figura 10: Filtrado



Figura 11: Residuos post filtrado fino.

7. Después del proceso de filtrado, se llevó a cabo un pequeño experimento casero en el laboratorio de la universidad para evaluar la presencia de CBs en la solución. El procedimiento consistió en tomar unos pocos mililitros de la mezcla de alcohol y CBs, y añadir una pequeña cantidad de agua. Al hacerlo, se observó la formación de un precipitado blanquecino en el fondo del tubo de ensayo. Este fenómeno ocurre porque los CBs son compuestos lipofílicos, es decir, solubles en alcohol pero poco solubles en agua. Al agregar agua, se reduce la capacidad del disolvente (el alcohol) para mantener los CBs disueltos, lo que provoca su precipitación hacia el fondo del recipiente. El resultado de este experimento se observa en la Figura 12.



Figura 12: Experimento para evaluar la presencia de cannabinoides

Evaporación del alcohol:

Llegado este momento tenemos una solución líquida de alcohol alto en Cbs, pero se ha utilizado aproximadamente 2.8 litros de alcohol, por lo que es necesario aumentar la temperatura para que se evapore el alcohol dejando solo el soluto que nos interesa, los CBs.

Para la evaporación se utilizó un anafe eléctrico, el cual emite calor intermitentemente manteniendo una temperatura constante entre los 55 a 65 grados centígrados. En la **Figura 13**, se observa el inicio del proceso de evaporación, donde el alcohol comienza a disiparse gradualmente. Este procedimiento tomó aproximadamente 4 horas, debido a la capacidad limitada del recipiente de aluminio utilizado. Para optimizar el proceso, se debía agregar la solución nuevamente al recipiente cada vez que su volumen se reducía más del 75%.



Figura 13: Comienzo del proceso de evaporación.

A medida que la evaporación avanza, el volumen de la solución se reduce considerablemente, y la presencia de alcohol es cada vez menor. En la **Figura 14**, se aprecia el estado del proceso cuando este está cerca de completarse, pero aún queda una pequeña cantidad de alcohol presente en la mezcla.



Figura 14: Proceso de evaporación.

En un momento dado, cuando la consistencia cambia de líquida a viscosa, el aroma también se transforma: deja de percibirse el olor a alcohol y adquiere una fragancia floral con matices acaramelados. Es en ese instante que nos damos cuenta de que el alcohol se ha evaporado por completo y solo queda resina de cannabis.

Finalmente, cuando el alcohol se ha evaporado por completo, la consistencia cambia de líquida a viscosa y el aroma también se transforma: desaparece el olor a alcohol, dando lugar a una fragancia floral con matices acaramelados, como se muestra en la **Figura 15**. En este momento, y antes de que se enfríe, se aprovecha la licuefacción de la resina debido a la temperatura para transferirla a un contenedor más pequeño. Posteriormente, se procede a pesarla, confirmando un rendimiento de 13,32 gramos de resina obtenida a partir de 118,95 gramos de flores secas.

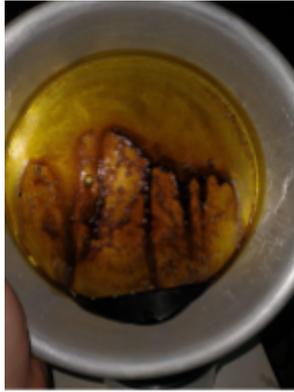


Figura 15: Resina de cannabis en su estado final.

Posología (dosis).

Cuando hablamos de la posología debemos determinar la relación entre el soluto y el solvente, el soluto es la resina de cannabis con alcohol, la cual se mide en ml de resina preparada y el solvente y vehículo como antes mencionado es la crema base. No se encontró bibliografía que responda a la incógnita de cuántos mililitros de resina deben disolverse en el gel. Aunque existen estudios sobre preparados oleosos para una penetración transdérmica, estos no son aplicables en este caso, por lo que se decidió utilizar una concentración del 5%.

Homogeneización del gel con cannabinoides.

Para lograr una emulsión eficaz y homogénea, es fundamental evitar la formación de áreas con concentraciones irregulares del fármaco, ya que esto podría llevar a una distribución desigual de su efecto terapéutico. Para optimizar el proceso, primero se calienta ligeramente la resina, lo cual facilita su fluidez antes de añadir la crema base. Luego, se incorpora la crema y se realiza una primera mezcla manual con una paleta de silicona, lo cual permite una premezcla que facilita y potencia la acción del homogeneizador.

Finalmente, se utiliza un homogeneizador rotativo de alta velocidad como el observable en la **Figura 16**, el cual alcanza hasta 32.000 rpm. A través de su acción de cizallamiento, este equipo asegura la mezcla, emulsificación y homogeneización

de los CBs en la crema base, garantizando una distribución uniforme del principio activo en toda la emulsión y mejorando la eficacia del tratamiento.



Figura 16: Utilizando el homogeneizador rotativo en la crema base con resina.

Equipo.

Características específicas del equipo	
Marca	Kertran®
Modelo	DUAL
Frecuencias	1 MHz y 3 MHz
Forma de onda	Continua o pulsada
Regulación de la intensidad	0,0 W/cm ² a 3,0W/cm ² , ajustable continuamente
Área del cabezal	19,6 cm ²
ERA (Effective Radiating Area)	5 cm ²
Material del cabezal	Aluminio

Elaborado por: (Merchán & Jairo, 2016), Modificado por Geronimo Diaz (2024).

REPORTE DEL CASO

Descripción del procedimiento de recolección de datos.

Durante la recolección de datos, se utilizará una planilla basada en la escala Constant-Murley Score, que evalúa diferentes aspectos como el dolor, las actividades de la vida diaria, la movilidad activa y la fuerza. Es fundamental aplicar esta escala al inicio de la sesión, antes de que el paciente reciba el tratamiento de kinesiología y fisioterapia, para evitar la fatiga y así obtener una evaluación más precisa del estado natural del paciente. La escala será aplicada el primer y último día de sesión, lo que permitirá comparar los resultados.

Intervenciones.

En cada sesión de kinesiología y fisioterapia se le administra sonoforesis con CBs al principio o al final del tratamiento, según convenga. Se determinó emplear modalidad continua de 1MHz a una dosis final de 30J/cm² durante el tiempo necesario para llegar a esta dosis determinada.

Forma de aplicación.

Durante su aplicación es necesario que se realicen movimientos, ya que los equipos de US producen un haz no homogéneo, por lo que se deben evitar ascensos de intensidad con un movimiento de rotación sobre su eje, al mismo tiempo que se realiza una traslación lenta sobre el área a tratar. (Martín Cordero, 2008) Mientras tanto la cantidad de gel a usar será a demanda durante el tiempo de aplicación.

Cantidad de crema a aplicar.

Se aplica la cantidad de crema base con CBs necesaria a demanda mientras dure el tiempo de aplicación, ya que durante la aplicación el se va absorbiendo, y es

necesario que siempre haya un medio de conducción para el pasaje de las ondas del US al cuerpo humano.

Momento de aplicación.

Solo se aplicará US con CBs al inicio del tratamiento cuando el dolor presente un dolor agudo o una inflamación considerable. Y cuando el objetivo sea reducir la tensión muscular antes de comenzar la terapia. En cambio, se utilizará la sonoforesis al final del tratamiento cuando tenga como propósito relajar los músculos después de una sesión de ejercicios cuando el fin sea reducir la fatiga muscular.

Cabe mencionar que si bien se pudiera aplicar dos veces en una sesión de kinesiología y fisioterapia, ya que existe un intervalo temporal que evita la sobrecarga de energía en los tejidos, pero consideramos la sonoforesis como una herramienta que no debe ocupar toda la sesión de kinesiología. Por lo que se optará por solo realizar una aplicación por sesión.

Tiempo de aplicación y dosis.

La dosis se refiere a la cantidad de energía que se aplica sobre un tejido durante un tratamiento, lo que se mide en J/cm^2 . En su libro, Rodríguez Martín analiza la evidencia empírica de diversos autores, en donde se establece una dosis media de $30J/cm^2$ para las lesiones del manguito rotador (Rodríguez Martín, 2004, p 526). Por lo que una vez establecida la dosis se debe calcular el tiempo necesario para llegar a la cantidad de energía que se requiera alcanzar, por lo que es necesario determinar factores como la potencia, la superficie eficaz del cabezal, la modalidad del US, y la superficie a tratar.

- Potencia en w/cm^2 . Esta es la rapidez con la que se aplica una energía en un segundo, debe encontrarse en un equilibrio ya que una potencia muy elevada no permite la correcta absorción en el cuerpo. Se debe elegir la potencia que el paciente tolere y perciba como un calor agradable antes de producir dolor. Cabe mencionar que la potencia en w/cm^2 se ajusta desde el equipo de US.

- Superficie tratada en cm². La superficie a tratar dependerá sobre qué estructura musculoesquelética se quiera trabajar y sobre las dimensiones corporales del paciente. Para calcular el área a tratar medimos el alto y ancho de la zona corporal a tratar, y multiplicamos el primer lado por el segundo. En este caso medimos como se observa en la **Figura 17**, y luego multiplicamos 15cm por 15cm y obtenemos un área de 225 cm².



Figura 17: Medición del área a tratar.

- ERA. Esta es la superficie del transductor de US que realmente emite ondas ultrasónicas, en este caso el fabricante del equipo nos proporciona el ERA. Pero si no lo tuviésemos deberíamos calcularlo manualmente $ERA = P / \text{Área del transductor}$; donde P sería la potencia en milivatios.

$$ERA = \frac{P}{\text{Área del transductor}}$$

- Factor de %. Hace referencia a si trabajamos en continuo o pulsado, en qué porcentaje del ciclo se estarán emitiendo ondas y cual es la relación entre emisión de ondas y descanso como un porcentaje. En el caso de este trabajo se utiliza en modalidad continua por lo que corresponde a un 100%.

$$\text{tiempo} = \frac{\text{Dosis x superficie en cm}^2}{W/\text{cm}^2 \times ERA \times 100\% \text{ de continuo}}$$

Fórmula extraída de la página web (Rodríguez Martín, n.d.).

Si lo interpretamos la operación anterior es lo mismo que decir

$$\text{Tiempo} = \frac{\text{Joules totales}}{W/\text{cm}^2 \times ERA \times 100\% \text{ de continuo}}$$

Potencia eficaz

A continuación a partir de los datos obtenidos del paciente y según los conceptos explicados anteriormente fórmula queda de tal forma:

$$\text{Tiempo} = \frac{30\text{J/cm}^2 \times 225\text{cm}^2}{1.5\text{W / cm}^2 \times 5\text{cm}^2 \times 100\%} = \frac{6750}{7.5} = 900\text{s} = 15 \text{ min}$$

Duración del tratamiento.

Se realizaron 17 sesiones distribuidas dos veces por semana, donde se combinará el empleo de US con ejercicios terapéuticos, ya que tienen una buena efectividad (Virseda García, 2011) además de la combinación de terapias manuales y articulares. El tratamiento fue realizado por la kinesióloga a cargo de la paciente, aplicando en cada sesión sonoforesis con cannabinoides (CBs), según los parámetros y tiempos de exposición del US previamente establecidos.

Descripción del caso y evaluación clínica.

Tras dos meses de búsqueda en la ciudad de San Carlos de Bariloche de una paciente que cumpliera con los criterios de inclusión y exclusión establecidos, se identificó una posible candidata a través de una clase de taichi. Una participante manifestó molestias en el hombro, lo que permitió a una asistente habitual de la clase, iniciar una conversación e informarle sobre el TFG en curso. Luego de este primer acercamiento, la paciente manifestó su interés en participar y comentó que desde hacía una semana se encontraba bajo tratamiento kinesiológico en el centro "Akutun Kinesiología". Posteriormente, fue ella quien facilitó el contacto con la profesional a cargo de su rehabilitación, la kinesióloga Victoria López.

A partir de esta instancia se selecciona paciente femenina de 64 años consulta con derivación médica por diagnóstico de tendinitis del manguito rotador. Durante la anamnesis, refiere que el dolor se originó inicialmente en la región del pulgar derecho y progresivamente se intensificó en el hombro derecho, lo que sugiere un atrapamiento nervioso del plexo braquial debido a la disfunción del hombro.

Manifiesta que el dolor en el hombro ha empeorado significativamente desde que comenzó a pasear regularmente con su nieto de la mano. Asimismo, el dolor se agrava al realizar actividades de la vida diaria, como correr cortinas o manipular utensilios pesados, como ollas.

Este dolor aumenta al realizar movimientos del hombro de flexión y abducción con el codo extendido, probablemente debido al incremento del brazo de palanca sobre la articulación glenohumeral.

La paciente señala que trabajó durante varios años como cuidadora de infantes, lo que implicaba cargar niños con frecuencia, tanto para mecerlos como para otras actividades relacionadas con su labor lo que implica movimientos repetitivos, sobrecarga mecánica por posturas sostenidas, lo que genera una compresión subacromial y a una degeneración de los músculos del manguito rotador

En su historia clínica, informa estar diagnosticada con enfermedad de Ménière, la cual al ir generando una pérdida de audición progresiva del lado derecho, la obliga a girar frecuentemente la cabeza hacia el lado opuesto al hombro afectado para compensar su audición, lo que podría exacerbar el cuadro clínico. Además la paciente nos comenta que frente a situaciones nerviosas incrementa su sintomatología de Ménière, lo que a su vez repercute sobre el hombro afectado.

Además nos comenta la paciente a lo largo de las sesiones que padece el síndrome de Marfan, el cual afecta al tejido conectivo, aunque la paciente nos refiere no tener una sintomatología muy marcada en relación al síndrome, al hacer una evaluación visual llama la atención la longitud de brazos aumentada lo que aumenta el brazo de palanca sin tener en cuenta las posibles implicaciones del tejido conectivo.

Durante la evaluación terapéutica, se observa un umbral de dolor bajo y una marcada aprensión hacia cualquier movilización o técnica manual, lo que sugiere sensibilidad aumentada y temor al movimiento. La paciente reporta haber mantenido el hombro inmovilizado por un tiempo prolongado debido al dolor asociado con la tendinitis del supraespinoso. A la evaluación se comporta como un síndrome de hombro congelado, asociado a la formación de adherencias en la cápsula glenohumeral, lo que limita aún más su rango de movimiento y funcionalidad.

Para confirmar el diagnóstico al momento que ingresa la paciente, se le realizan maniobras para descartar una posible compresión nerviosa a nivel periférico y pruebas específicas del manguito rotador para confirmar el daño sobre los tejidos de esta estructura. Dentro de las pruebas elegidas para llevar adelante esta tarea se seleccionan el:

- Test de compresión de Jackson: Este test evalúa la compresión de las raíces nerviosas cervicales, y ante una maniobra positiva aparecen síntomas como dolor o parestesias que se irradian al brazo o el hombro. Para realizar este test, el paciente se sienta con la espalda recta, el examinador realiza una leve inclinación lateral hacia un lado y aplica una presión axial sobre la cabeza.

- Prueba de Adson: Esta maniobra evalúa la compresión del plexo braquial a nivel de los escalenos y del desfiladero torácico. Para realizar esta maniobra el paciente debe estar sentado con la espalda recta, el examinador palpa el pulso radial y se le pide al paciente que gire la cabeza hacia el lado contrario al que se está tomando el pulso y seguidamente se le pide que inhale profundamente. Frente a un cambio en la fuerza del pulso o la aparición de síntomas como dolor u hormigueo esta maniobra es positiva.

- Prueba del despegue: Mediante esta maniobra se examina el subescapular mediante la rotación interna contra resistencia, donde el paciente coloca la mano en la espalda a nivel lumbar, y se le pide que la aleje de torso mientras se ejerce una resistencia.

- Prueba de aislamiento del supraespinoso: Con el brazo en abducción de 90°, y 30° de flexión y rotación interna el paciente intenta mantener esta posición contra resistencia.

- La prueba de Neer: Se realiza para evaluar si existe una compresión de los tendones del manguito en el arco coracoacromial, para lo cual se le coloca el miembro al paciente en elevación en flexión y rotación interna.

En el presente cuadro se muestran los resultados obtenidos en cada una de estas pruebas.

Prueba	Resultado
Test de compresión de Jackson	Negativo

Prueba de Adson	Negativa
Prueba de despegue	Negativa
Prueba de aislamiento del supraespinoso	Positiva
Prueba de Neer	Positiva

Trabajo en cada sesión.

Primera sesión:

Se realiza la anamnesis y la evaluación física inicial, seguida de la aplicación de la escala Constant-Murley para valorar el dolor, la movilidad activa, la fuerza y las actividades de la vida diaria. Además, se evalúa la movilidad articular mediante goniometría en movimientos pasivos. Para garantizar la precisión de la medición, la escala se aplica antes de cualquier intervención kinesiológica o fisiátrica, evitando así la influencia de la fatiga. Posteriormente, se explica el tratamiento a la paciente y se revisa el consentimiento informado junto con el kinesiólogo, dejando constancia escrita del procedimiento.

Con el acotado tiempo restante de la sesión se le realiza la aplicación de sonoforesis y se complementa la sesión con masoterapia, aprovechando la crema rica en CBs para disminuir el tono de músculos hiperactivos como el trapecio (porción descendente), el redondo mayor y el subescapular (porción tendinosa).

Se indica un ejercicio domiciliario: en decúbito supino, sosteniendo un palo con ambas manos, la paciente debe realizar un empuje con la extremidad sana para asistir el movimiento de la extremidad afectada, intentando alcanzar la mayor elevación posible.

Segunda sesión:

Luego de la aplicación de sonoforesis, se realiza masoterapia durante diez minutos en el redondo mayor y en los músculos pectorales mayor y menor. Posteriormente, se lleva a cabo una movilización del hombro mediante la técnica de

“cajón posterior”, favoreciendo la posteriorización de la cabeza humeral y logrando una mejora en la rotación externa.

Tercera sesión:

Tras la aplicación de US, se realizó masoterapia en el cuello, la porción descendente del trapecio y el espacio axilar medial. Luego, con la paciente en decúbito dorsal, se trabajó la rotación externa del hombro utilizando una pesa. Posteriormente, realizó extensión de tríceps con una banda elástica. Finalmente, en posición de cuadrupedia, se ejecutó un ejercicio en cadena cinética cerrada, en el que se le indicó aproximar y alejar los hombros manteniendo los codos extendidos

Cuarta sesión:

Al inicio de la sesión la paciente refiere una reducción del dolor al dormir, aunque persiste la molestia durante el día. No obstante, percibe una mayor movilidad en sus actividades diarias.

Se inicia la 4ª sesión con tratamiento de puntos gatillo en el angular del omóplato, el trapecio (fibras descendentes) y la inserción del subescapular, debido a la presencia de espasmos por respuesta defensiva al dolor. Luego, se aplica la técnica de Kaltenborn en la articulación del hombro para favorecer la abducción, finalizando con una maniobra de bombeo tipo "cajón posterior", con el paciente en decúbito supino y el hombro fuera de la camilla, con el objetivo de elongar la cápsula y los ligamentos anteriores.

Quinta sesión:

Se aplica US con sonoforesis, incluyendo la zona del tendón del bíceps. Luego, se realizan técnicas de Kaltenborn y movilidad pasiva del hombro en rotación interna, externa y abducción.

La paciente ejecuta la movilidad con polea de forma asistida y activa, enfatizando la movilidad escapular mediante maniobras de asistencia. Finaliza con el ejercicio de "despegue", en el cual sostiene un palo con ambas manos y lo aleja de la espalda, asistiendo el movimiento con la extremidad sana.

Sexta sesión:

En decúbito supino, la paciente sostiene un palo con ambas manos y lo eleva contra la gravedad en dirección al techo. En la misma posición, realiza rotaciones de hombro, alternando entre rotación interna y externa. Luego, con una banda elástica, ejecuta extensión de brazo, manteniendo el correcto posicionamiento escapular.

A continuación, en decúbito supino con las manos apoyadas sobre la camilla (posición de "bicho muerto"), empuja contra la superficie. Posteriormente, en cuadrupedia, realiza movimientos de antepulsión y protracción escapular. Se concluye con terapia manual, incluyendo anclaje miofascial en los escalenos y tratamiento de puntos gatillo en el trapecio (fibras descendentes).

Séptima sesión:

Además de la aplicación de US en la musculatura del manguito rotador, se aplica sonoforesis en el bíceps, seguida de masoterapia profunda en el tendón del bíceps, la zona distal del dorsal ancho y el cuello, incluyendo el trapecio (fibras descendentes y horizontales).

La paciente realiza movilidad con polea, seguida de extensiones de hombro y codo en decúbito ventral con un palo. Para finalizar, en sedestación, ejecuta empujes hacia el suelo con una pelota de esferodinamia, promoviendo el descenso escapular.

Octava sesión:

Luego de la aplicación de US, se realiza masoterapia en el trapecio (fibras descendentes) y el vientre del bíceps. A continuación, se efectúa tracción de la extremidad superior con asistencia en rotación interna y externa para mejorar el posicionamiento de la cabeza humeral. Se complementa con técnicas de energía muscular en rotación interna y externa.

Se indican ejercicios con palo en decúbito dorsal, incluyendo elevaciones y movimientos laterales para trabajar las rotaciones. Se mantiene el trabajo con polea y, finalmente, con una banda elástica, se realiza rotación externa con fase isométrica.

Novena sesión:

Se inicia con masaje profundo en la musculatura cervical, aplicado transversalmente a las fibras de los erectores del cuello y los músculos extensores, rotadores e inclinadores de la cabeza. Se detecta hipertonia en el elevador de la escápula, por lo que se aplica tratamiento de punto gatillo.

Se indican ejercicios en cadena cinética cerrada para el miembro superior en cuadrupedia, extensión de tríceps con banda elástica y empuje de pelota en sedestación para facilitar el descenso escapular.

La sesión finaliza con técnicas pasivas, incluyendo anclaje miofascial del trapecio, estiramiento de la cápsula anterior del hombro en decúbito dorsal con maniobra de “cajón posterior”, Kaltenborn en flexión y abducción, y estiramiento pasivo en rotación externa.

Se observa que cuando la paciente recibe información detallada sobre el procedimiento, su nivel de confianza aumenta y se evidencian menos signos de dolor durante la movilidad pasiva.

Décima sesión:

Se realiza tratamiento de punto gatillo y anclaje miofascial en el trapecio. Se complementa con estiramiento de los pectorales mayor y menor, acompañado de técnicas de respiración y relajación.

Se aplica la técnica de Kaltenborn en flexión de hombro, elongación de la cápsula anterior y masoterapia profunda en el tendón del pectoral mayor y la porción superior del dorsal ancho.

Onceava sesión.

Comienza la sesión con levantamientos de un palo con ambos brazos, combina con ejercicios excéntricos del bíceps con anda, seguido a vuelos frontales con pesas.

Luego realiza rotación externa con banda, y continua con un ejercicio donde se agarra del espaldar sueco a la altura del pecho de la paciente, tomándose con

ambas manos mientras realiza una sentadilla, de tal modo que estira los músculos axioapendiculares, luego realiza polea y se va la paciente a la casa con un vendaje neuromuscular que ayuda a la propiocepción de la posición escapular.

Doceava sesión.

La paciente en esta sesión refiere haber dormido mal por un dolor en el cuello, indagando la kinesiología hace notar que pudo deberse a situaciones nerviosas que aumentan en el síndrome de meniere que presenta la paciente lo que la lleva a aumentar el dolor en la zona cervical.

Por lo que se realiza masoterapia del cuello, se trabaja de manera manual sobre los erectores de la cabeza, se realizan técnicas respiratorias y movilización costal superior y se realiza una técnica de craneosacro.

Luego la paciente se dirige al espaldar sueca y con una cinta no elástica se la coloca en la cabeza del húmero y realiza movilizaciones de la cabeza del húmero mientras se sostiene con una mano. Finalizando la sesión con rotaciones externas dinámicas con una banda de baja resistencia.

Decimotercera sesión.

Pasada la aplicación de US, se comienza con la paciente en decúbito dorsal levantando un palo con ambos miembros superiores seguido a una rotación interna/externa con el palo realizando ambos ejercicios de una manera dinámica y rítmica.

Luego la paciente se coloca en sextupedia donde toca el hombro contrario con cada mano, de tal modo que se descarga peso sobre el hombro lesionado mientras se mantiene una estabilidad.

A continuación realiza remo con mancuerna mientras descarga peso en el lado en el brazo contrario a la mancuerna, de esta forma ganando fuerza y movilidad en un brazo mientras que en el otro la estabilidad alternadamente. Seguido a esto realiza ejercicio de excéntrico de bíceps.

Y finaliza la sesión con un movilización pasiva de flexión, abducción y rotación externa de hombro y seguidamente elongaciones de bíceps.

Decimocuarta sesión.

Se comienza con polea, luego se realiza rotaciones internas y externas con banda, luego pasa a realizar extensiones de codo con banda. Seguido a esto la paciente realiza elevaciones frontales con pesas, luego remo bajo utilizando un palo y un elástico con la paciente sentada, y finaliza con jalones de dorsal ancho con banda con ayuda de un palo para realizar la toma.

Decimoquinta sesión.

Se le realiza masoterapia sobre el bíceps y el cuadrilátero humerotricipital aprovechando la crema sobrante de la aplicación de sonoforesis. Luego la paciente desde la camilla en decúbito dorsal lleva un palo al techo utilizando resistencia, al igual que se le amplía una leve resistencia realizando rotaciones internas y externas con el palo.

Luego eleva una pelota de esferodinamia contra la pared haciéndola girar con ambas manos, luego en sedesto realiza empujes de pelota descargando el peso y realizando un descenso escapular, a continuación realiza dorsales y remos con banda y se finaliza con la extensión de tríceps con banda.

Decimosexta sesión.

Se inicia la sesión realizando una movilización de la cabeza del hombro aplicando la técnica de kaltenborn y masoterapia del pectoral mayor y menor. Después se continúa con un movilización pasiva de abducción y rotación externa y se le realiza neurodinamia del plexo braquial.

Luego realiza un estiramiento hacia adelante con ayuda de una pelota de esferodinamia con ambos miembros sobre la pelota, luego con la paciente en cuclillas con una banda elástica realiza un movimiento de sacar una espada, continúa luego realizando tríceps con banda. Para finalizar realiza jalones de dorsal utilizando una banda elástica y protusiones y protracción y retracción de la escápula en el espaldar sueco.

Decimoséptima sesión.

Se realiza la reevaluación funcional mediante la escala Constant-Murley, con el objetivo de valorar la evolución del tratamiento en términos de dolor, movilidad activa, fuerza y desempeño en actividades de la vida diaria.

Conclusión del tratamiento fisioterapéutico.

El tratamiento combinó sonoforesis con CBs, masoterapia y técnicas miofasciales para reducir la hipertonia muscular y mejorar la movilidad articular. Se emplearon estrategias como la técnica de Kaltenborn para optimizar la biomecánica del hombro y disminuir restricciones capsulares. Paralelamente, se implementó un programa de ejercicios progresivos, comenzando con movilidad asistida mediante palo, polea y banda elástica, y avanzando hacia ejercicios en cadena cinética cerrada y estabilización escapular. Esta progresión favoreció el control motor, la fuerza y la funcionalidad del hombro en patrones de movimiento específicos.

A través de esta estrategia integral, se logró una mejora en el control motor, el rango articular y la fuerza muscular, permitiendo una recuperación funcional en los patrones de movimiento específicos del hombro afectado.

RESULTADOS

La escala Constant-Murley fue administrada al inicio y al final del tratamiento, con el objetivo de evaluar el dolor, las actividades de la vida diaria, la movilidad y la fuerza. En la tabla se presentan los puntajes obtenidos en cada ítem evaluado durante ambas aplicaciones teniendo en cuenta que a mayor puntuación mejor funcionalidad de hombro.

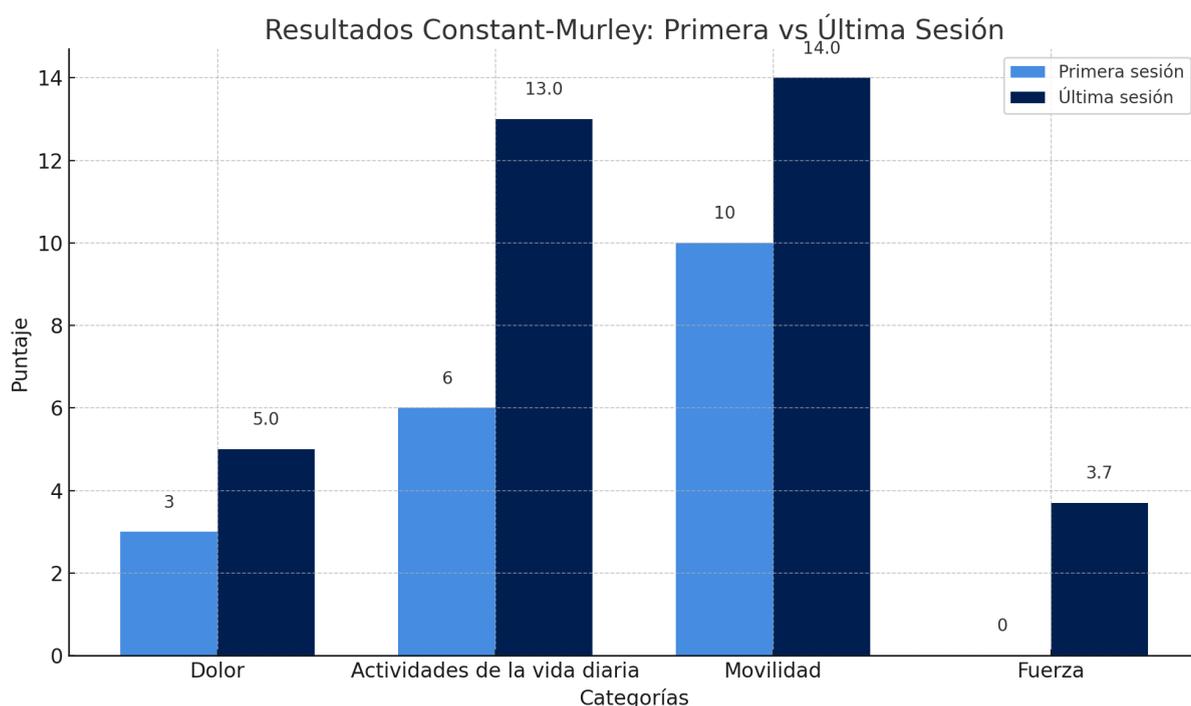


Figura 18: Gráfico de barras con los resultados de la escala Constant-Murley.

Análisis de resultados del test Constant-Murley

En el parámetro de **dolor**, se observó una mejoría relativa, pasando de 3 a 5 puntos. Si bien representa una evolución positiva, la magnitud del cambio sugiere que el alivio del dolor fue moderado, y no alcanzó una puntuación óptima dentro del rango esperado (15 puntos).

Respecto a las **actividades de la vida diaria**, se evidenció una mejoría significativa, con un incremento de 6 a 13 puntos. Esta evolución refleja una recuperación funcional marcada, implicando una mayor autonomía en las tareas cotidianas. La mejora más notoria dentro de este ítem se relaciona con la **calidad del sueño**, ya que la paciente pasó de presentar interrupciones ocasionales a lograr

un descanso continuo, lo que contribuyó a una mejor calidad de vida. Asimismo, pudo retomar con mayor funcionalidad sus actividades recreativas, tales como tai chi y yoga, lo cual no solo refleja una mejora física, sino también un impacto positivo en su bienestar emocional.

En el ítem de **movilidad**, se registró un avance de 10 a 14 puntos, lo que representa una mejora en el rango articular activo y posiblemente en la coordinación motora del hombro evaluado. Así mismo la paciente al finalizar las sesiones de tratamiento argumentó que “siento que puedo moverme más” haciendo referencia a que tiene un mayor rango de movimiento no doloroso.

En cuanto a la **fuerza**, el valor final registrado fue de 3.7 puntos. Al principio no podía llegar a los 90° de abducción y vencer la gravedad. Además la fuerza en general fue mejorando ya que en determinados ejercicios podía utilizar bandas con mayor resistencia, o inclusive ejercicios que no podía realizar contra la gravedad y se ayudaba de su brazo sano, al finalizar las sesiones pudo realizarlos contra resistencia.

El puntaje total final fue de 40.2 sobre 100, lo cual indica una mejora global con respecto a la situación inicial, aunque aún persisten limitaciones funcionales. Este resultado sugiere que el tratamiento aplicado tuvo un efecto positivo, especialmente en la función general del hombro, aunque con margen para continuar la rehabilitación.

Efectos secundarios.

No se registraron efectos adversos cutáneos a lo largo del tratamiento. En ninguna de las sesiones se observaron lesiones primarias en la piel compatibles con reacciones alérgicas, tales como máculas sugestivas de dermatitis alérgica, ni pápulas que pudieran indicar dermatitis por contacto o urticaria. La piel de la paciente se mantuvo íntegra y sin signos de irritación, lo cual refuerza la tolerancia local del preparado utilizado en la aplicación de sonoforesis con CBs.

La paciente manifestó una inconformidad inicial al aplicar la crema debido a que esta era conservada en la heladera y, al primer contacto generaba sensación de

frío. Seguido a esto no presentaba ningún disgusto ya que al tratarse de una crema base con CBs correspondía con las características físicas de una crema normal pero con color verdoso y un ligero olor que no se asemejaba al olor de las flores ni del cannabis fumado.

DISCUSIÓN

Se observó una mejora parcial en la sintomatología de la paciente tratada con sonoforesis y CBs. Sin embargo, es importante considerar que los resultados obtenidos en un estudio de caso están influenciados por múltiples variables individuales, incluyendo factores psicoemocionales que pueden haber incidido en la percepción del dolor y en la respuesta al tratamiento. Por este motivo, resulta indispensable ampliar la muestra y considerar realizar un estudio comparativo para obtener resultados más generalizables y estadísticamente significativos. Este trabajo, por lo tanto, se configura como un punto de partida que aporta evidencia preliminar para futuras investigaciones.

En relación con la preparación del vehículo farmacéutico, si bien la formulación utilizada mostró ser funcional, se identifican oportunidades de mejora. La relación entre la cantidad de materia prima utilizada y el volumen final de crema obtenida sugiere una eficiencia limitada en el proceso actual.

Luego de haber producido la crema con CBs, se recibió una recomendación de una productora local de la ciudad de Viedma, quien propuso una variante en el método de preparación: en lugar de evaporar completamente el alcohol para obtener una resina espesa, sugiere reducir el volumen hasta alcanzar un litro de solución alcohólica concentrada en CBs, la cual se mezcla directamente con la crema base. Esta alternativa, aunque resulta en una concentración más baja, permitiría una mayor eficiencia en términos de rendimiento, facilitando la elaboración de mayores volúmenes de producto final sin comprometer la viabilidad terapéutica de la aplicación tópica.

CONCLUSIÓN

Este trabajo representa una primera aproximación al uso de CBs aplicados mediante sonoforesis para el tratamiento de lesiones del manguito rotador en Argentina. A través del estudio de caso presentado, se observó que esta combinación terapéutica constituye una alternativa no invasiva, sin efectos secundarios registrados, que podría contribuir a la modulación del dolor y la mejora funcional del hombro en contextos clínicos.

Si bien los resultados obtenidos reflejan una evolución positiva en la sintomatología de la paciente, es necesario subrayar que el carácter exploratorio y descriptivo de esta investigación, centrado en un caso clínico puntual, limita la posibilidad de generalización. No obstante, los hallazgos permiten vislumbrar el potencial terapéutico de los CBs administrados por vía transdérmica mediante sonoforesis.

La evaluación funcional del hombro evidencia una evolución positiva a lo largo del tratamiento, destacándose mejoras relevantes en la movilidad, las actividades de la vida diaria y en menor medida en el dolor. Estos cambios reflejan una recuperación funcional progresiva que impactó favorablemente en la calidad de vida de la paciente, permitiéndole retomar actividades recreativas y mejorar su descanso nocturno. Aunque persisten algunas limitaciones, el tratamiento mostró un buen efecto terapéutico.

Además, la buena tolerancia cutánea observada durante las sesiones respalda la seguridad local del uso de CBs mediante sonoforesis, sin reportarse efectos adversos en la piel. Estos hallazgos contribuyen a reforzar el potencial de esta estrategia terapéutica como una alternativa viable y bien tolerada dentro de un abordaje kinésico.

La extracción de resina de cannabis llevada a cabo en la Universidad Nacional de Río Negro permitió obtener un concentrado rico en cannabinoides mediante un proceso controlado. A partir de 118,95 gramos de flores secas, se logró un rendimiento de 13,32 gramos de resina para formular la crema mediante técnicas de homogeneización.

Posteriormente, se evaluaron diferentes vehículos para la aplicación transdérmica de los CBs mediante sonoforesis. Si bien la literatura científica respalda el uso de geles como medios de transmisión, en la práctica estos demostraron ser inestables y poco efectivos debido a su rápida evaporación y mala homogeneización con la resina. En contraste, el empleo de una crema base lipofílica resultó significativamente más adecuado, permitiendo una mejor disolución de los cannabinoides y una mayor eficiencia en la entrega cutánea sin dejar residuos en el cabezal del ultrasonido. Esta experiencia evidencia la importancia de experimentar y adaptar las recomendaciones bibliográficas en base a la práctica.

En este sentido, este trabajo sienta las bases para futuras investigaciones que busquen consolidar esta estrategia terapéutica dentro del ámbito de la fisioterapia. Ya que existe un marco normativo vigente que rige el uso medicinal de cannabis y la aplicación de fármacos locales desde la kinesiología.

LIMITACIONES

Dentro de las limitaciones esperables, es que, al tratarse de una descripción de caso, posee nulo poder probabilístico, por ende, por si solo tiene una gran limitación a la hora de generalizar para poder argumentar que es efectivo combinar el uso de sonoforesis con CBs.

Además existe mayor susceptibilidad a que aparezcan sesgos ya sea por parte del paciente como por parte del terapeuta interfiriendo en el resultado del tratamiento y de la investigación.

La obtención de pacientes para este estudio presentó mayores dificultades de las previstas. No fue sencillo encontrar un kinesiólogo dispuesto a ceder su tiempo y sus pacientes para llevar a cabo el reporte de caso en la ciudad de San Carlos de Bariloche. Además, aquellos que mostraron disposición estuvieron sujetos a las restricciones burocráticas propias de los hospitales o instituciones en las que trabajaban.

Debido a estas limitaciones, se procedió con el estudio de un paciente que presentaba afecciones concomitantes, lo que impidió trabajar con un caso ideal en el que la lesión del manguito rotador estuviera aislada.

Se debe tener en cuenta que la aplicación de sonoforesis con cannabinoides no se realizó de forma aislada, sino dentro de un tratamiento más amplio. Esta circunstancia impide determinar de forma exacta si la mejora observada se debe únicamente al uso de cannabinoides. Lo que se presenta como una limitación metodológica a la hora de diferenciar los efectos atribuibles a cada componente de la intervención terapéutica.

Además al momento de realizar el marco teórico se encontró estudios que sugieren previo a un procedimiento de sonoforesis realizar un peeling previo a la aplicación, de esta forma se eliminan barreras que pudieren producirse por células muertas y además favorece la vasodilatación. Por lo que con una adecuada preparación de la piel, el efecto podría ser mayor. A pesar de conocer esa información no se procedió a realizar el peeling ya que no se cuenta con los equipos necesarios.

Finalmente, si bien estaba contemplada la idea de realizar un análisis de cromatografía para obtener los porcentajes de CBs y el ratio (proporción entre los diferentes CBs), ya que este último ayuda a la estandarización y replicabilidad, escogiendo el ratio según las necesidades de paciente. Este análisis no se pudo realizar.

REFERENCIAS.

- Alvarado, F. B. (2020, 1). *Revista Ciencia & Salud: Integrando Conocimientos*, 3(6), 14-23. <https://revistacienciaysalud.ac.cr/ojs/index.php/cienciaysalud/article/view/103>
- Barry, W. B.W. (2001, Septiembre). Novel mechanisms and devices to enable successful transdermal drug delivery. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 14, 101-114. [https://doi.org/10.1016/S0928-0987\(01\)00167-1](https://doi.org/10.1016/S0928-0987(01)00167-1)
- Bordoli, P. D. (1995). *Manual para el análisis de los movimientos* (Vol. 1). Centro Editorial Argentino.
- Camacho Reyes, G. J. (2020). Fitoterapia y sonoforesis como tratamiento para el manejo del dolor en espolón calcáneo. Estudio de caso. *Medicina e Investigación Universidad Autónoma del Estado de México*, 8(2), 24-30.
- Carabajal Escobar, & Maria Belén. (2015, Junio). Eficacia de la aplicación de la iontoforesis frente a la sonoforesis en el tratamiento convencional de tendinitis del supraespinoso en pacientes de la Cruz Roja de la ciudad de Ambato. *Repositorio Universidad Técnica de Ambato*.
- Carvalho, V. M., Aguiar, A. F. L., Baratto, L. C., Souza, F. L. C., & Rocha, E. D. (2020, Enero 08). Quantificação de canabinóides em extratos medicinais de *Cannabis* por cromatografia líquida de alta eficiência. *Universidade Federal do Rio de Janeiro*, 43(1), 90-97. <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170457>
- Casiraghi, A., Musazzi, U. M., Centin, G., Franzè, S., & Minghetti, P. (2020, Octubre 23). Topical Administration of Cannabidiol: Influence of Vehicle-Related Aspects on Skin Permeation Process. *Pharmaceuticals*, 13. <https://doi.org/10.3390/ph13110337>
- Cavuoto, P., McAinch, A. J., Hatzinikolas, G., George, G., & Allen, G. A. (2007, Marzo 15). Effects of cannabinoid receptors on skeletal muscle oxidative pathways. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 267, 63--69. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2006.12.038>

- Cavuoto, P., McAinch, A. J., Hatzinikolas, G., Janovská, A., Game, P., & Weittert, G. A. (2007, 10 2). The expression of receptors for endocannabinoids in human and rodent skeletal muscle. *Biochem Biophys Res Commun*. 10.1016/j.bbrc.2007.09.099

- Congreso de la República Argentina. (2017, 09 22). Ley 27.350 Uso Medicinal de la Planta de Cannabis y sus derivados. *Boletín Oficial de la República Argentina*. <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/270000-274999/273801/norma.htm>

- Cook, J. L., Rio, E., Purdam, C. R., Girdwood, M., Ortega-Cebrian, S., & Docking, S. I. (2017, 6 2). El continuum de la patología de tendón: concepto actual e implicaciones clínicas. *Medicina de l'Esport*, 52(194), 62 - 69. <https://doi.org/10.1016/j.apunts.2017.05.002>.

- Cornejo, A., Angélica, M., Castro, R., Iris, A., López, R., & De La Paz, R. (2017). Beneficios de la sonoforesis combinado con ejercicios de estiramiento en pacientes con lumbago que asisten a la clínica de fisioterapia, Facultad Multidisciplinaria Oriental, Universidad de El Salvador, año 2017. *Universidad de El Salvador*. <https://oldri.ues.edu.sv/id/eprint/17012/>

- Filipponi, M. M. (2022). Fisiología del Sistema endocannabinoide y su implicancia en el dolor crónico - Abordaje Kinésico. *Universidad Nacional de Río Negro - Repositorio Institucional Digital*. <http://rid.unrn.edu.ar/handle/20.500.12049/10096>

- Garcia de Paul, M. (n.d.). *Características de las vías de administración de cannabis - Actualización*. Fundación CANNA. Retrieved 03 23, 2024, from <https://www.fundacion-canna.es/caracteristicas-de-las-vias-de-administracion-de-cannabis-a-actualizacion>

- Gómez, D., Dainotto, T., Moya, D., & Patiño, J. M. (2022). Traducción y adaptación transcultural del Constant-Murley Score al español de la Argentina. *Asociación Argentina Ortopedia Traumatología*, 579-592. <https://doi.org/10.15417/issn.1852-7434.2022.87.4.1491>

- Grotenhermen, F. (2006, 01). Los cannabinoides y el sistema endocannabinoide. *Cannabinoids*, 10-14. https://www.researchgate.net/publication/228813935_Los_cannabinoides_y_el_sistema_endocannabinoide

- Johansson, K. M., & Adolfsson, L. E. (2005, Junio). Intraobserver and interobserver reliability for the strength test in the Constant-Murley shoulder assessment. *Elsevier Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 14(3), 273-278. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2004.08.001>
- Kapandji, A. (2007). *Fisiología Articular, Esquemas Comentados De Mecánica Humana*. (6.ª ed., Vol. 1). Panamericana.
- Kibler, B. W., & Thomas, S. J. (2012, 03). Pathomechanics of the Throwing Shoulder. *Sports Med Arthrosc*, 20(1), 22-29. 10.1097/JSA.0b013e3182432cf2
- Latarjet, A., & Ruiz Liard, A. (2019). *Anatomía Humana* (5.ª ed., Vol. 1). Panamericana.
- Legislatura de la Provincia de Río Negro. (2017, 07 13). Ley N° 5215 La Regulación Del Ejercicio Profesional De Las Actividades En Kinesiología Y Fisioterapia. *Boletín Oficial de la Provincia de Río Negro*, 6. <https://web.legisrn.gov.ar/legislativa/legislacion/ver?id=9692>
- Martín Cordero, J. E. (2008). ULTRASONIDO TERAPÉUTICO. In *Agentes Físicos Terapéuticos* (p. 227). Ciencias Médicas. ISBN 978-959-212-320-5
- Mengatto, L. N. (2010, Noviembre 24). Administración de fármacos por vía transdérmica. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL. <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/handle/11185/226>
- Merchán, M., & Jairo, P. (2016, Febrero). La Eficacia De La Sonoforesis De Emisión Pulsátil Vs La Sonoforesis De Emisión Continua En El Tratamiento Fisioterapéutico En Deportistas Con Esguince De Tobillo Grado I Y Grado Ii Que Asisten Al Dispensario Médico De La Federación Deportiva De Tungurahua. *Repositorio Universidad Técnica de Ambato*.
- *Ministerio de Justicia y Derechos Humanos - Argentina*. (2017, Abril 19). InfoLEG - Ministerio de Justicia y Derechos Humanos - Argentina. Retrieved March 24, 2024, from <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/270000-274999/273801/norma.htm>
- Mitragotri, S., Edwards, D. A., Blankschtein, D., & Langer, R. (1995, 02). A Mechanistic Study of Ultrasonically-Enhanced Transdermal Drug Delivery. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 84(6), 679-706. 10.1002/jps.2600840607

- Ochoa Samayoa, S. I. (2017, Noviembre). Aplicación De Sonoforesis Y Cinesiterapia Activa Asistida En Comparación Con Ultrasonido Terapéutico Y Cinesiterapia Activa Asistida En Pacientes Con Hombro Doloroso Como Secuela De Evento Cerebrovascular. Estudio realizado en Fundabiem Jalapa, Guatemala. *Universidad Rafael Landívar*.

- Páez Gil, Y., Avello Olivert, M. E., Herrera Broche, M., Rodríguez Santana, L., Fraga Ramirez, O., & Alemán Hernández, F. (2022, Diciembre 31). Efectividad de la aplicación de la sonoforesis y la iontoforesis en el tratamiento del síndrome de dolor regional complejo tipo I en las manos. *Acta Médica del Centro*, 16(4).
http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2709-79272022000400626&script=sci_arttext

- Pareja, B. (2004). Aspectos Biofarmacéuticos de las Preparaciones Dermatológicas. *Círculo Dermatológico del Perú*, 15(1), 49-52.
https://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/fofia/vol15_n1/aspec.htm#1

- Pérez-Martínez, J. (2022, Noviembre 28). Aspectos prácticos de la elección del producto y la titulación con cannabis medicinal para el dolor crónico. *Revista de la Sociedad Española del Dolor*, 29. <https://dx.doi.org/10.20986/resed.2022.4031/2022>

- Ramos Atance, J. A. (Ed.). (2017). *Efectos terapéuticos de los cannabinoides*. Instituto Universitario de Investigación Neuroquímica de la Universidad Complutense de Madrid.

- Rodríguez Martín, J. M. (n.d.). *Dosificación en ultrasonoterapia*. Electroterapia en fisioterapia. Retrieved September 27, 2024, from <https://www.electroterapia.com/dosis-us.php>

- Rodríguez Martín, J. M. (2004). *Electroterapia en Fisioterapia*. Editorial Médica Panamericana S.A.

- Sánchez, F. S., Llinares Clausi, B. J., & Cruz Gisbert, J. M. (2009, 03 16). Patología del manguito de los rotadores en el ambiente laboral. *Universita de Barcelona*, 18. <http://hdl.handle.net/2445/7061>

- Vírseda García, Á. (2011, Mayo 26). Efectividad del tratamiento mediante ultrasonido y ejercicios terapéuticos en la tendinitis del supraespinoso sin calcificar. Universidad de Alcalá de Henares.<https://ebuah.uah.es/dspace/handle/10017/9190>