



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD
ÁREA ACADÉMICA DE MEDICINA



HOSPITAL GENERAL PACHUCA

TRABAJO TERMINAL

**“EVALUACIÓN DE LA EFICACIA ANALGÉSICA EN PACIENTES CON
CIRUGÍA POR FRACTURA DE TOBILLO CON Y SIN ADMINISTRACIÓN DE
MgSO₄ EN EL HOSPITAL GENERAL PACHUCA DE OCTUBRE A
DICIEMBRE DE 2025”.**

PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALISTA EN

ANESTESIOLOGÍA

QUE PRESENTA LA MÉDICO CIRUJANO

DIANA ITZEL CRUZ PELCASTRE

M.C. ESP. HERENDIRA VELASCO GARCÍA
ESPECIALISTA EN ANESTESIOLOGÍA
DIRECTORA DEL TRABAJO TERMINAL

DR. EN C. TOMÁS EDUARDO FERNÁNDEZ MARTÍNEZ
DOCTOR EN CIENCIAS
CODIRECTOR DEL TRABAJO TERMINAL

PACHUCA DE SOTO, HIDALGO, MARZO 2026

DE ACUERDO CON EL REGLAMENTO INTERNO DE LA COORDINACIÓN DE POSGRADO DEL ÁREA ACADÉMICA DE MEDICINA, AUTORIZA LA IMPRESIÓN DEL TRABAJO TERMINAL TITULADO:

"EVALUACIÓN DE LA EFICACIA ANALGÉSICA EN PACIENTES CON CIRUGÍA POR FRACTURA DE TOBILLO CON Y SIN ADMINISTRACIÓN DE MgSO₄ EN EL HOSPITAL GENERAL PACHUCA DE OCTUBRE A DICIEMBRE DE 2025".

QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALISTA EN ANESTESIOLOGÍA QUE SUSTENTA LA MÉDICO CIRUJANO:

DIANA ITZEL CRUZ PELCASTRE

PACHUCA DE SOTO HIDALGO, MARZO DE 2026

POR LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

M.C. JOSÉ ANTONIO HERNÁNDEZ VERA
DIRECTOR DEL INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD

M.C. ESP. ARTURO SALAZAR CAMPOS
JEFE DEL ÁREA ACADÉMICA DE MEDICINA.

DR. EN C. OSVALDO ERIK SÁNCHEZ HERNÁNDEZ
COORDINADOR DE LAS ESPECIALIDADES MÉDICAS

DR. EN C. TOMÁS EDUARDO FERNÁNDEZ MARTÍNEZ
CODIRECTOR DEL TRABAJO TERMINAL

POR EL HOSPITAL GENERAL PACHUCA

M.C. ESP. ANTONIO VÁZQUEZ NEGRETE
DIRECTOR DEL HOSPITAL GENERAL PACHUCA

M.C. ESP. ANTONIA GONZÁLEZ RUÍZ
SUBDIRECTORA DE ENSEÑANZA, CAPACITACIÓN E INVESTIGACIÓN

M.C. ESP. LEONCIO VALDEZ MONROY
ESPECIALISTA EN ANESTESIOLOGÍA
PROFESOR TITULAR DE LA ESPECIALIDAD DE ANESTESIOLOGÍA

M.C. ESP. HERENDIRA VELASCO GARCÍA
ESPECIALISTA EN ANESTESIOLOGÍA
DIRECTORA DEL TRABAJO TERMINAL





HOSPITAL GENERAL PACHUCA
SUBDIRECCIÓN DE ENSEÑANZA, CAPACITACIÓN E INVESTIGACIÓN

Pachuca de Soto, Hidalgo, a 04 de febrero de 2026.

Of. N°: HGP-SECI-

0734 -2026

Asunto: Autorización de impresión de proyecto

M.C. ESP. ARTURO SALAZAR CAMPOS
JEFE DEL ÁREA ACADÉMICA DE MEDICINA (ICSa)
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
PRESENTE

En seguimiento al oficio No. HGP/I-288 /2026 de fecha 30 de enero del año en curso emitido por los comités de Ética en Investigación y el comité de Investigación; notifico a Usted que ha sido autorizada la impresión del trabajo terminal de la **M.C. Diana Itzel Cruz Pelcastre** médica residente de tercer año de la especialidad en Anestesiología, correspondiente al ciclo académico 1° de marzo 2025 a 28 de febrero 2026, cuyo título es **"Evaluación de la eficacia analgésica en pacientes con cirugía por fractura de tobillo con y sin administración de MgSO4 en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025"**.

Sin más por el momento, me despido de usted enviándole un cordial saludo.

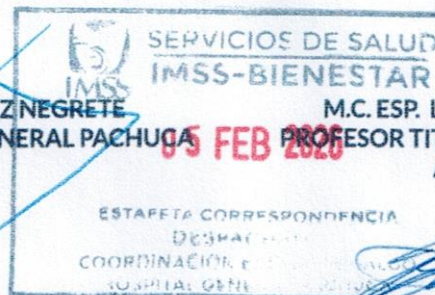
ATENTAMENTE

DR. ANTONIO VÁZQUEZ NEGRETE
DIRECTOR DEL HOSPITAL GENERAL PACHUCA

M.C. ESP. LEONCIO VALDÉZ MONROY
PROFESOR TITULAR DE LA ESPECIALIDAD DE ANESTESIOLOGÍA

M.C. ESP. HERENDIRA VELASCO GARCÍA
DIRECTOR DE TESIS

DR. EN C. TOMÁS EDUARDO FERNÁNDEZ MARTÍNEZ
CODIRECTOR DE TESIS



Elaboró:
L.D. Judith Atanilla Hernandez
Apoyo Administrativo
Subdirección de Enseñanza

Revisó:
Dr. Jorge Abraham Vázquez Hernández
Coordinador de Enseñanza

Autorizó:
Dra. Antonia González Ruíz
Subdirectora de Enseñanza,
Capacitación e Investigación

Carretera Pachuca Tulancingo, Núm. 101, Col., Ciudad de los Niños, Pachuca de Soto, Hgo., C. P. 42070, Teléfono: 771 71 3 46 49 (Ext. 151), Correo Electrónico: dir.hpachuca.ibh@outlook.com.



2026
año de
Margarita Maza

ÍNDICE

ABREVIATURAS.....	1
RESUMEN.....	2
ABSTRACT.....	4
I.- MARCO TEÓRICO	6
II.- ANTECEDENTES.....	21
III.- JUSTIFICACIÓN	25
IV.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	27
IV.1.- PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	27
IV.2.- HIPÓTESIS.....	28
IV.3.- OBJETIVOS.....	29
OBJETIVO GENERAL.....	29
<i>Objetivos específicos</i>	29
V.- MATERIAL Y MÉTODOS.....	31
V.1.- DISEÑO DE ESTUDIO.....	31
V.2.- SELECCIÓN DE LA POBLACIÓN DE ESTUDIO	31
<i>V.2.1.- Criterios de inclusión</i>	31
<i>V.2.2.- Criterios de exclusión</i>	31
<i>V.2.3.- Criterios de eliminación</i>	32
V.3.- DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA Y MUESTREO.....	32
<i>V.3.1.- Tamaño de la muestra</i>	32
<i>V.3.2.- Muestreo</i>	33
V.4.- DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES	33
V. 5. INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	35
VI.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN	38
VII.- ASPECTOS ÉTICOS.....	39
VIII.- RESULTADOS	40

IX.- DISCUSIÓN	56
X.- CONCLUSIÓN	59
XI.- RECOMENDACIONES	60
XII.- BIBLIOGRAFÍA.....	61
XIII.- ANEXOS.....	65
XIII.1.- ANEXO 1	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de los pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo según sexo y la administración de $MgSO_4$ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025.....	40
Tabla 2 Distribución de los pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo según su escolaridad y la administración de $MgSO_4$ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025.....	41
Tabla 3. Distribución de los pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo según su ocupación y la administración de $MgSO_4$ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025.....	42
Tabla 4. Distribución de los pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo según su estado civil y la administración de $MgSO_4$ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025.....	43
Tabla 5. Distribución de los pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo según su edad y la administración de $MgSO_4$ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025.....	44
Tabla 6. Distribución de los pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo según su clasificación ASA y la administración de $MgSO_4$ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025.....	45
Tabla 7. Distribución de los pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo según las comorbilidades presentadas y la administración de $MgSO_4$ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025.....	46
Tabla 8. Distribución de los pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo según el tipo de fractura y la administración de $MgSO_4$ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025.....	47
Tabla 9. Distribución de los pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo según los efectos adversos presentados y la administración de $MgSO_4$ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025.....	53
Tabla 10. Distribución de los pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo según la necesidad de analgésicos de rescate y la administración de $MgSO_4$ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista medial y lateral de la articulación del tobillo. Se observan los principales ligamentos estabilizadores: el ligamento deltoideo en la cara medial, y los ligamentos talofibular anterior, calcaneofibular y tibiofibulares en la cara lateral, así como las estructuras óseas asociadas (tibia, fíbula, astrágalo y calcáneo). Imagen Creative Commons Attribution 4.0 International, tomada de (4).	7
Figura 2. Radiografías del tobillo en vistas anteroposterior, oblicua y lateral: que muestran una fractura del maléolo lateral (indicado por flechas blancas). Estas imágenes corresponden a una de las fracturas más comunes del tobillo, frecuentemente asociadas a mecanismos de inversión forzada. Imagen tomada de	8
Figura 3. Representación esquemática del receptor NMDA (N-metil-D-aspartato), formado por las subunidades GluN1 y GluN2. Se muestran los principales sitios de unión: glutamato, glicina, poliaminas, zinc (Zn^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), y fenciclidina (PCP), así como el canal iónico que permite el paso de Na^+ y Ca^{2+} al interior celular y K^+ al exterior. El Mg^{2+} bloquea el canal en reposo, siendo desplazado con la despolarización. Imagen tomada de (32).	19
Figura 4. Distribución de los pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo según la duración de la analgesia postoperatoria y la administración de $MgSO_4$ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025.....	48
Figura 5. Distribución de los pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo según la EVA a las 6 horas y la administración de $MgSO_4$ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025	49
Figura 6. Distribución de los pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo según la EVA a las 12 horas y la administración de $MgSO_4$ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025	50
Figura 7. Distribución de los pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo según la EVA a las 24 horas y la administración de $MgSO_4$ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025	51
Figura 8. Distribución de los pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo según la EVA a las 24 horas y la administración de $MgSO_4$ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025	52

Figura 9. Distribución del tiempo de estancia hospitalaria y la administración de MgSO ₄ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025	54
Figura 10. Odds ratio para dolor postoperatorio moderado–severo (EVA ≥ 6) a las 12 horas según la administración de MgSO ₄ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025.....	55

ABREVIATURAS

AINE	Antiinflamatorio no esteroideo
ED50	Dosis mínima efectiva
EVA	Escala visual análoga
FDA	Food And Droug Administration
IASP	Asociación internacional para el estudio del dolor
IM	Intramuscular
IV	Intravenosa
MgSO ₄	Sulfato de Magnesio
NMDA	Receptores N-metil-D-aspartato
OR	Riesgo relativo
ORIF	La reducción abierta y fijación interna
PA	Pronación Abducción
PER	Pronación-Rotación externa
SA	Supinación-aducción
SER	Supinación-rotación externa

RESUMEN

Antecedentes: El control del dolor postoperatorio en la cirugía por fractura de tobillo es complejo y ha motivado el uso de estrategias de analgesia multimodal. El sulfato de magnesio se ha propuesto como coadyuvante analgésico, aunque existe evidencia limitada en este tipo de cirugía y no forma parte de los protocolos del Hospital General Pachuca. Por ello, el presente estudio evalúa su eficacia y seguridad en el manejo del dolor postoperatorio.

Objetivo: Evaluar la eficacia analgésica en pacientes con cirugía por fractura de tobillo con y sin administración de $MgSO_4$ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025.

Materiales y métodos: Ensayo clínico aleatorizado, triple ciego y prospectivo. Se emplearon medidas de tendencia central y dispersión para las variables cuantitativas, así como frecuencias y proporciones para las variables cualitativas. El análisis bivariado comparó la intensidad del dolor, la duración de la analgesia, el uso de analgésicos de rescate y los efectos adversos entre los pacientes con y sin administración de $MgSO_4$. Asimismo, se exploraron correlaciones con el consumo de analgésicos y la estancia hospitalaria y, en presencia de asociaciones estadísticamente significativas, se aplicó regresión logística.

Resultados: Se incluyeron 74 pacientes con fractura de tobillo, distribuidos en dos grupos: $MgSO_4$ ($n = 37$) y control ($n = 37$). No se observaron diferencias basales ni en el tipo de fractura entre los grupos ($p = 0.166$). La duración de la analgesia fue mayor en el grupo con $MgSO_4$ (7.62 ± 3.65 h) frente al grupo control (4.86 ± 1.48 h), con una diferencia media de 2.76 h ($p < 0.001$). La intensidad del dolor fue menor con $MgSO_4$ a las 6 h (3.57 ± 2.15 vs 4.70 ± 2.64 ; $p = 0.047$) y a las 12 h (5.76 ± 1.95 vs 7.27 ± 1.12 ; $p < 0.001$), sin diferencias a las 24 h ($p = 0.084$). La estancia hospitalaria fue similar entre grupos (1.65 ± 0.63 vs 1.81 ± 0.70 días; $p = 0.30$). Tampoco hubo diferencias en efectos adversos ($p = 0.491$) ni en la necesidad de analgesia de rescate ($p = 0.079$). No se observó

correlación entre la dosis de MgSO_4 y la estancia hospitalaria ($r = -0.06$; $p = 0.595$). En el análisis multivariado, el uso de MgSO_4 se asoció con menor probabilidad de dolor moderado-severo ($\text{EVA} \geq 6$) a las 12 h ($\text{OR} = 0.08$; $\text{IC } 95\%: 0.02-0.40$).

Conclusión: La administración perioperatoria de sulfato de magnesio se asoció con una mayor duración de la analgesia y con menores puntuaciones de dolor en el postoperatorio temprano en pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo, sin observarse un incremento en los efectos adversos. Estos hallazgos apoyan su uso como coadyuvante analgésico en este contexto clínico.

Palabras clave: Eficacia analgésica, MgSO_4 , coadyuvante, cirugía por fractura de tobillo.

ABSTRACT

Background: Postoperative pain management in ankle fracture surgery is complex and has led to the use of multimodal analgesia strategies. Magnesium sulfate has been proposed as an analgesic adjuvant, although there is limited evidence for its use in this type of surgery, and it is not part of the protocols at Hospital General Pachuca. Therefore, this study evaluates its efficacy and safety in postoperative pain management.

Objective: To evaluate the analgesic efficacy in patients undergoing ankle fracture surgery with and without MgSO_4 administration at Hospital General Pachuca from October to December 2025.

Materials and methods: Randomized, triple-blind, prospective clinical trial. Measures of central tendency and dispersion were used for quantitative variables, as well as frequencies and proportions for qualitative variables. Bivariate analysis compared pain intensity, duration of analgesia, use of rescue analgesics, and adverse effects between patients with and without MgSO_4 administration. Correlations with analgesic consumption and hospital stay were also explored, and logistic regression was applied when statistically significant associations were found.

Results: Seventy-four patients with ankle fractures were included and divided into two groups: MgSO_4 (n = 37) and control (n = 37). No baseline differences or differences in fracture type were observed between the groups ($p = 0.166$). The duration of analgesia was longer in the MgSO_4 group (7.62 ± 3.65 h) compared to the control group (4.86 ± 1.48 h), with a mean difference of 2.76 h ($p < 0.001$). Pain intensity was lower with MgSO_4 at 6 h (3.57 ± 2.15 vs 4.70 ± 2.64 ; $p = 0.047$) and at 12 h (5.76 ± 1.95 vs 7.27 ± 1.12 ; $p < 0.001$), with no difference at 24 h ($p = 0.084$). Hospital stay was similar between groups (1.65 ± 0.63 vs 1.81 ± 0.70 days; $p = 0.30$). There were also no differences in adverse effects ($p = 0.491$) or in the need for rescue analgesia ($p = 0.079$). No correlation was observed between the MgSO_4 dose and hospital stay ($r = -0.06$; $p = 0.595$). In multivariate analysis, MgSO_4 use was associated with a lower likelihood of moderate-to-severe pain (VAS ≥ 6) at 12 h (OR = 0.08; 95% CI: 0.02–0.40).

Conclusion: Perioperative administration of magnesium sulfate was associated with a longer duration of analgesia and lower pain scores in the early postoperative period in patients undergoing ankle fracture surgery, without an increase in adverse effects. These findings support its use as an analgesic adjuvant in this clinical setting.

Keywords: Analgesic efficacy, MgSO₄, adjuvant, ankle fracture surgery.

I.- MARCO TEÓRICO

Articulación del tobillo

La articulación del tobillo es sinovial de tipo bisagra que permite el movimiento en un solo plano, facilitando principalmente los movimientos de dorsiflexión y flexión plantar. Está formada por la unión de tres huesos: la tibia distal, el peroné distal y el astrágalo. Las superficies articulares de la tibia y el peroné, junto con el cuerpo del astrágalo, conforman la denominada mortaja del tobillo, que actúa como una estructura de encaje para estabilizar la articulación. Esta región anatómica incluye tres prominencias óseas conocidas como maléolos: el maléolo medial, ubicado en el extremo inferior de la tibia; el maléolo lateral, correspondiente al extremo distal del peroné; y el maléolo posterior, que también forma parte de la tibia distal (1).

La estabilidad de la articulación del tobillo depende principalmente de la congruencia entre la mortaja tibiofibular y el cuerpo del astrágalo, así como de la integridad de la sindesmosis distal, los ligamentos y la musculatura circundante. La sindesmosis del tobillo es una articulación fibrosa que conecta la tibia y el peroné en su extremo distal, y está compuesta por tres ligamentos fundamentales: el ligamento interóseo tibiofibular, el ligamento tibiofibular anterior inferior y el ligamento tibiofibular posterior inferior. Estos elementos proporcionan soporte frente a las fuerzas de separación entre la tibia y el peroné (2).

En la región medial, el ligamento deltoideo se origina en el maléolo medial y se inserta en el astrágalo, el navicular y el calcáneo. Este ligamento es esencial para limitar los movimientos de eversión excesiva del tobillo. Por otro lado, el complejo de ligamentos laterales, que incluye el ligamento talofibular anterior, el ligamento talofibular posterior y el ligamento calcaneofibular, se origina en el maléolo lateral y desempeña un papel crucial en la prevención de la inversión excesiva. La articulación del tobillo recibe inervación a través de ramas articulares de los nervios tibial, peroneo superficial y peroneo profundo, los cuales contribuyen tanto a la sensibilidad como al control propioceptivo. La irrigación arterial se realiza mediante ramas de las arterias tibial anterior, tibial posterior y peronea,

que aseguran el adecuado aporte sanguíneo a las estructuras articulares y periarticulares (3).

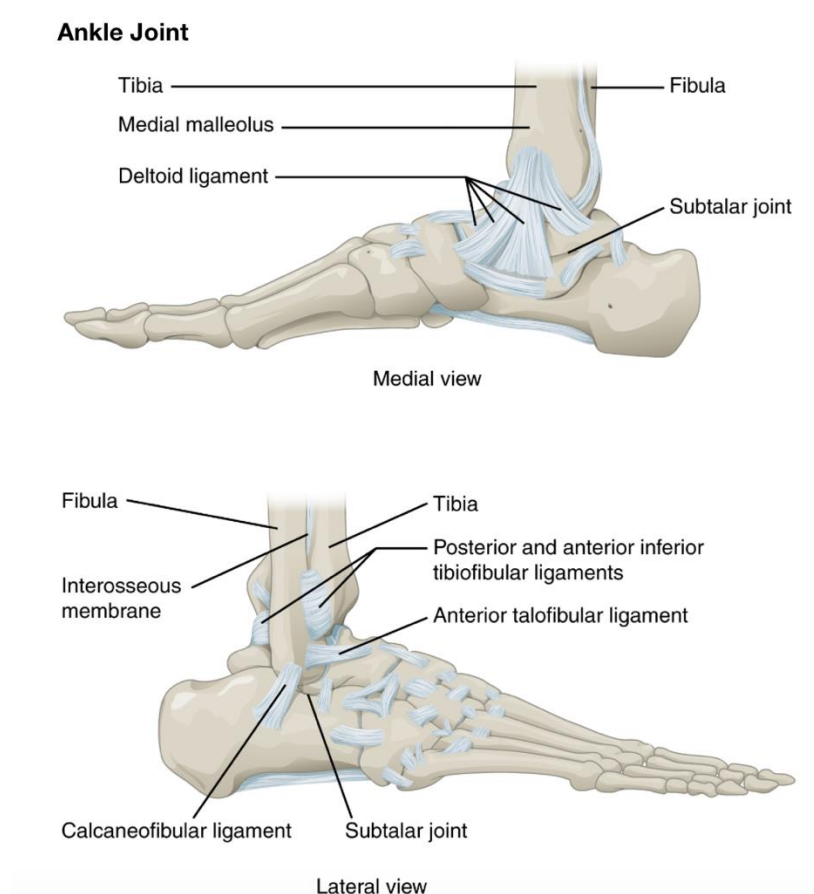


Figura 1. Vista medial y lateral de la articulación del tobillo. Se observan los principales ligamentos estabilizadores: el ligamento deltoideo en la cara medial, y los ligamentos talofibular anterior, calcaneofibular y tibiofibulares en la cara lateral, así como las estructuras óseas asociadas (tibia, fibula, astrágalo y calcáneo). Imagen Creative Commons Attribution 4.0 International, tomada de (4).

Fractura del tobillo

Las fracturas agudas de tobillo pueden comprometer múltiples estructuras anatómicas (Figura 2). Los sistemas de clasificación resultan fundamentales para describir el mecanismo de la lesión y las estructuras afectadas, lo que es clave para determinar el enfoque terapéutico más adecuado. Estas fracturas pueden ser consecuencia de diversos tipos de traumatismo, entre los que se incluyen mecanismos por torsión, impacto directo o aplastamiento. Las fuerzas de torsión suelen originarse por caídas, tropiezos o durante la práctica de actividades deportivas, generando un giro forzado en la articulación del tobillo. Los traumatismos por impacto son frecuentes en caídas desde altura, donde el astrágalo se ve comprimido por el peso de la tibia y el peroné distales. Por otro lado, las lesiones por aplastamiento del tobillo pueden presentarse en accidentes de tráfico o al quedar atrapado el pie bajo un objeto pesado. La magnitud de la conminución ósea y el grado de daño en los tejidos blandos están directamente relacionados con la cantidad de energía involucrada en el traumatismo (5).



Figura 2. Radiografías del tobillo en vistas anteroposterior, oblicua y lateral: que muestran una fractura del maléolo lateral (indicado por flechas blancas). Estas imágenes corresponden a una de las fracturas más comunes del tobillo, frecuentemente asociadas a mecanismos de inversión forzada. Imagen tomada de .

A lo largo del tiempo, se han desarrollado diversos sistemas de clasificación que permiten describir y categorizar las fracturas de tobillo de manera sistemática. Estas clasificaciones son fundamentales para comprender el mecanismo de la lesión, evaluar la gravedad del daño estructural y planificar el tratamiento más adecuado, ya sea conservador o quirúrgico (6).

Clasificación anatómica de las fracturas de tobillo

La clasificación anatómica de las fracturas de tobillo se basa en la localización de la lesión ósea dentro de la estructura articular y distingue los siguientes tipos principales (7,8):

- **Fractura aislada del maléolo medial:** Implica exclusivamente el compromiso del maléolo medial, correspondiente al extremo distal de la tibia en su porción interna.
- **Fractura aislada del maléolo lateral:** Afecta únicamente al maléolo lateral, que representa el extremo distal del peroné en su cara externa.
- **Fractura bimaléolar:** Se caracteriza por la fractura simultánea de dos de los tres maléolos del tobillo. La combinación más frecuente involucra el maléolo medial y el maléolo lateral; sin embargo, en algunos casos puede observarse afectación del maléolo posterior y el lateral.
- **Fractura trimaleolar:** Ocurre cuando los tres maléolos de la articulación del tobillo (medial, lateral y posterior) presentan fracturas de manera simultánea. Estas lesiones suelen generar una marcada inestabilidad articular y, en la mayoría de los casos, requieren manejo quirúrgico para restablecer la congruencia y estabilidad del tobillo.

Clasificación de Danis-Weber

La clasificación de Danis-Weber es un sistema ampliamente utilizado para categorizar las fracturas de tobillo en función de la localización de la fractura del peroné distal con respecto a la sindesmosis tibiofibular. Esta clasificación resulta fundamental para

determinar la estabilidad de la lesión y orientar el tratamiento más adecuado. Se divide en tres tipos principales (8):

- **Weber tipo A:** La fractura del peroné distal se localiza por debajo del nivel de la sindesmosis tibiofibular. Estas fracturas suelen ser estables, ya que la sindesmosis y el ligamento deltoideo permanecen intactos. En la mayoría de los casos, este tipo de lesión puede tratarse de manera conservadora mediante inmovilización.
- **Weber tipo B:** La fractura se sitúa a nivel de la sindesmosis. La estabilidad de este tipo de fractura depende de la integridad de la sindesmosis y del ligamento deltoideo. Si ambas estructuras permanecen indemnes, es posible optar por un tratamiento conservador. Sin embargo, en presencia de inestabilidad, como ocurre cuando existe lesión del ligamento deltoideo o de la sindesmosis, se requiere una fijación quirúrgica para garantizar la correcta alineación y estabilidad del tobillo.
- **Weber tipo C:** La fractura del peroné se localiza por encima del nivel de la sindesmosis. Este tipo de fractura se asocia frecuentemente a una disrupción de la sindesmosis y del ligamento deltoideo, lo que genera una lesión inherentemente inestable. Por lo tanto, el tratamiento de elección es la reducción abierta y la fijación interna (RAFI).

Clasificación de Lauge-Hansen

La clasificación de Lauge-Hansen describe las fracturas de tobillo en función de dos variables principales: la posición del pie en el momento de la lesión (supinación o pronación) y la dirección de la fuerza aplicada (aducción, abducción o rotación externa). Esta clasificación ofrece una visión detallada de los mecanismos lesionales que originan fracturas y lesiones ligamentarias en el tobillo. El primer término del nombre de cada tipo indica la posición del pie al momento del trauma, mientras que el segundo describe el movimiento del astrágalo dentro de la mortaja tibiofibular en relación con la tibia. En los casos en que el pie está en pronación, los ligamentos mediales (como el ligamento deltoideo) se encuentran bajo tensión y son más susceptibles a lesionarse. Por el

contrario, cuando el pie está en supinación, los ligamentos laterales están en tensión y son propensos a la lesión. La clasificación se divide en cuatro tipos principales (9):

- **Supinación-aducción (SA):** Es menos frecuente en las fracturas de tobillo y se caracteriza por una secuencia específica de lesiones. Inicialmente, se produce una fractura transversa del peroné distal, localizada generalmente por debajo del nivel de la sindesmosis tibiofibular. Posteriormente, puede observarse una fractura vertical del maléolo medial, como resultado de la progresión del mecanismo lesional.
- **Supinación-rotación externa (SER):** Es el más común, representando aproximadamente el 60% de las fracturas de tobillo. Este tipo de lesión sigue una secuencia progresiva que comienza con la ruptura del ligamento tibiofibular anterior inferior. A medida que la rotación externa del astrágalo continúa, se produce una fractura espiral u oblicua del peroné distal, generalmente a nivel de la sindesmosis o ligeramente por encima de ella. Posteriormente, ocurre una lesión del ligamento tibiofibular posterior inferior o una avulsión del maléolo posterior. Finalmente, el mecanismo lesional puede culminar en una fractura del maléolo medial o en la ruptura del ligamento deltoideo.
- **Pronación-rotación externa (PER):** El mecanismo inicia con el pie en pronación, lo que incrementa la tensión en las estructuras mediales del tobillo. Esto provoca, en primera instancia, una fractura del maléolo medial o una lesión del ligamento deltoideo. La fuerza de rotación externa aplicada posteriormente genera una lesión del ligamento tibiofibular anterior inferior. Conforme progresa la lesión, se produce una fractura espiral u oblicua del peroné, situada proximal al plafón tibial. En la etapa final, es común observar una lesión del ligamento tibiofibular posterior inferior o una avulsión del maléolo posterior.
- **Pronación-abducción (PA):** Se relaciona con mecanismos de alta energía y suele presentarse con fracturas de mayor conminución. Inicialmente, se observa una fractura del maléolo medial o una lesión del ligamento deltoideo. En etapas posteriores, la lesión progresa hacia la ruptura del ligamento tibiofibular anterior inferior. Finalmente, se produce una fractura conminuta o transversa del peroné, localizada por encima del plafón tibial.

Tratamiento de las fracturas de tobillo

El tratamiento de las fracturas de tobillo tiene como objetivo principal restaurar y estabilizar la mortaja tibiofibular del tobillo. Esto puede lograrse mediante medidas conservadoras en fracturas estables o mediante fijación quirúrgica en fracturas inestables (10).

Tratamiento no quirúrgico: El manejo conservador está indicado en fracturas de tobillo estables, como las fracturas unimaleolares aisladas sin desplazamiento ni traslación del astrágalo, lo cual se confirma mediante radiografías de tobillo en carga. Asimismo, se contempla en pacientes que no son candidatos para cirugía debido a comorbilidades, condiciones médicas que contraindican el procedimiento o cuando el paciente rechaza la intervención quirúrgica. También es una opción en aquellos casos con compromiso severo de los tejidos blandos, donde la cirugía podría aumentar el riesgo de complicaciones .

Tratamiento quirúrgico: La reducción abierta y fijación interna (RAFI u ORIF por sus siglas en inglés) está indicada en fracturas inestables de tobillo que afectan la mortaja, siempre que el paciente sea apto para cirugía y cuente con tejidos blandos en condiciones adecuadas. En casos de luxación de fractura de tobillo, puede ser necesario realizar una reducción abierta de manera urgente si la reducción cerrada falla o si existe compromiso neurovascular. Generalmente, la fijación quirúrgica se realiza dentro de las primeras 24 horas o se difiere algunos días para permitir que disminuya el edema de los tejidos blandos y reducir el riesgo de dehiscencia de la herida quirúrgica (11).

Manejo del dolor: analgesia

En el abordaje del dolor postoperatorio, es esencial considerar un aspecto clave. En términos generales, este tipo de dolor implica "sensaciones sensoriales, emocionales y mentales desagradables, junto con respuestas autonómicas, psicológicas y conductuales, desencadenadas por la intervención quirúrgica" (12). Gestionar este dolor

de manera efectiva resulta fundamental para disminuir las complicaciones postoperatorias y evitar el sufrimiento innecesario del paciente.

La definición del dolor por parte de la Asociación Internacional para el Estudio del Dolor (IASP) describe esta sensación como una experiencia desagradable que abarca tanto lo sensorial como lo emocional, vinculada a un posible daño tisular o confirmado, o descrita en esos términos. Actualmente, persiste un debate sobre la necesidad de modificar esta definición. No obstante, la clasificación de los fármacos para el tratamiento del dolor sigue siendo estable, dividida en agentes analgésicos opioides y agentes analgésicos no opioides (13).

Agentes analgésicos opioides

Los opioides constituyen una amplia clase de medicamentos con una estructura similar a los alcaloides naturales presentes en el opio, que proviene de la resina de la adormidera (*Papaver somniferum*). Son considerados los fármacos más efectivos y ampliamente utilizados en el tratamiento del dolor intenso; sin embargo, han sido objeto de controversia debido a su potencial para generar adicción, tolerancia y efectos secundarios. Aunque los opioides están indicados para el tratamiento del dolor agudo y crónico, las directrices del Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades sugieren que los médicos solo deben recetarlos si se espera que los beneficios, tanto en términos de alivio del dolor como en función, superen los riesgos asociados, y siempre utilizando la dosis más baja y durante el menor tiempo posible para tratar el dolor lo suficientemente intenso como para requerir opioides (14).

Agentes analgésicos no opioides

- a) **Acetaminofén (paracetamol):** Recetado para aliviar el dolor leve a moderado, así como el dolor moderado a severo (como complemento a los opioides), y para reducir la fiebre de forma temporal. Sin embargo, el acetaminofén no debe

emplearse para tratar el dolor neuropático debido a la falta de evidencia documentada al respecto (15).

b) Antidepresivos: Los inhibidores selectivos de la recaptación de serotonina y norepinefrina, como la duloxetina, y los antidepresivos tricíclicos, como la amitriptilina, han demostrado ser efectivos en diversas condiciones de dolor neuropático, siendo considerados como tratamiento de primera línea. Además de su uso para trastornos psiquiátricos como la depresión mayor y la ansiedad generalizada, estos medicamentos también se recetan para tratar patologías como la fibromialgia y el dolor musculoesquelético crónico, incluso, se recomienda el uso de antidepresivos como tratamiento preventivo para la migraña y las cefaleas tensionales (como la amitriptilina). Ambos grupos farmacológicos parecen ser más efectivos en pacientes que presentan síntomas depresivos y dolor como comorbilidades que en aquellos que solo experimentan dolor (16).

c) Antiepilépticos: Varios fármacos antiepilépticos también son conocidos por sus propiedades analgésicas, ya que reducen la liberación de neurotransmisores o la actividad neuronal. Entre los antiepilépticos más comunes para tratar el dolor se encuentran (17):

Gabapentina: Recomendada para tratar la neuralgia postherpética en adultos y el dolor neuropático.

Pregabalina: Indicada para tratar el dolor neuropático asociado con neuropatía periférica diabética o lesión de médula espinal, la neuralgia postherpética y la fibromialgia.

Oxcarbazepina y carbamazepina: Recetadas para tratar la neuralgia trigeminal o glossofaríngea.

d) Anestésicos locales: La lidocaína es uno de los fármacos más utilizados en esta categoría, aprobada por la FDA para tratar la neuralgia postherpética y recomendada para el dolor neuropático periférico (18).

e) Antiinflamatorios no esteroides (AINEs): Estos medicamentos se emplean para tratar el dolor leve a moderado, el dolor asociado con la inflamación y para reducir la fiebre de manera temporal. Al igual que el acetaminofén, los AINEs no han demostrado eficacia en el tratamiento del dolor neuropático (19).

Los AINEs se presentan en múltiples formulaciones: por vía oral (comprimidos, cápsulas, jarabes, tabletas masticables), tópica (geles, cremas, parches), rectal (supositorios) y en algunos casos, parenteral (vía intramuscular o intravenosa). La mayoría de los AINEs son ácidos débiles, bien absorbidos a través del tracto gastrointestinal, con alta unión a proteínas plasmáticas (>95%), metabolismo hepático (oxidación y conjugación) y eliminación renal predominantemente como metabolitos inactivos. Por ejemplo, el ibuprofeno alcanza su concentración plasmática máxima entre 1 y 3 horas, vida media de 2 a 4 horas y es excretado mayormente por orina (20).

Los AINEs ejercen su efecto analgésico, antiinflamatorio y antipirético mediante la inhibición competitiva de las enzimas ciclooxigenasa COX-1 y COX-2, reduciendo la producción de prostaglandinas proinflamatorias como la PGE₂. La inhibición selectiva de COX-2 explica gran parte del alivio del dolor y la inflamación, mientras que la inhibición de COX-1 está asociada con efectos adversos, como daño en la mucosa gastrointestinal y alteraciones en la agregación plaquetaria por disminución del tromboxano A₂ (21).

Las dosis varían según el AINE: ibuprofeno suele usarse a 200–400 mg cada 6–8 h (máximo 1200 mg/día sin receta, hasta 2400 mg/día con supervisión); naproxeno entre 250–500 mg cada 12 h; ketorolaco IV en postoperatorio típicamente 15–30 mg cada 6 h, por no más de 5 días (22). El uso

de AINEs puede causar irritación gástrica, úlceras, sangrado gastrointestinal (debido a la inhibición de prostaglandinas protectoras), así como deterioro renal (por reducción de perfusión glomerular). Adicionalmente, pueden provocar retención de líquidos, hipertensión, reacciones cutáneas, riesgo cardiovascular incrementado y exacerbación en pacientes asmáticos sensibles (23).

Bupivacaína hiperbárica

La bupivacaína hiperbárica es un anestésico local tipo amida combinado con dextrosa para aumentar su densidad respecto al líquido cefalorraquídeo, lo que permite un control más predecible de su distribución en anestesia subaracnoidea. Se emplea para producir bloqueos sensoriales y motores en procedimientos como cirugías de miembros inferiores, pelvis, abdomen inferior y cesáreas. La dosis varía según el tipo de cirugía: en cesárea, la dosis mínima efectiva (ED50) se ha estimado en 7.4–7.8 mg, mientras que en cirugías ortopédicas de miembros inferiores suelen utilizarse entre 10 y 15 mg, ajustadas al nivel de bloqueo, peso, edad y condiciones del paciente. Su farmacodinámica se basa en el bloqueo de los canales de sodio voltaje-dependientes en las fibras nerviosas, lo que impide la despolarización y la conducción del impulso nervioso; en solución hiperbárica, la gravedad y la posición del paciente determinan la extensión del bloqueo (24).

En cuanto a la farmacocinética, la absorción sistémica desde el espacio subaracnoideo es lenta y depende del flujo sanguíneo local y la dosis administrada; presenta una unión a proteínas plasmáticas cercana al 95 %, metabolismo hepático y eliminación renal de metabolitos, con una vida media plasmática de 2.5–3 horas, aunque el efecto anestésico puede durar entre 2 y 4 horas. Los efectos secundarios incluyen hipotensión por bloqueo simpático, bradicardia, náuseas, vómito y retención urinaria, mientras que la absorción sistémica excesiva puede ocasionar toxicidad neurológica (mareo, tinnitus, convulsiones) y cardiovascular (arritmias, colapso) (25).

Fentanilo

El fentanilo es un opioide sintético de alta potencia, agonista selectivo de los receptores μ -opioides, empleado como coadyuvante en anestesia para potenciar la analgesia intraoperatoria y postoperatoria, con administración posible por vía intratecal, epidural, intravenosa o como parte del bloqueo espinal en combinación con anestésicos locales como la bupivacaína. En anestesia subaracnoidea se utilizan habitualmente dosis de 10–20 μg como aditivo para mejorar el inicio del bloqueo, aumentar la profundidad de la analgesia y prolongar su duración sin incrementar significativamente los efectos adversos, mientras que por vía intravenosa se emplean dosis de 0.5–2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ en analgesia aguda, siendo 100 μg IV aproximadamente equivalentes a 10 mg de morfina. Su farmacodinámica se fundamenta en la unión con alta afinidad a receptores μ en médula espinal y cerebro, lo que inhibe la transmisión nociceptiva y modifica la percepción del dolor; además, produce depresión respiratoria, sedación, miosis y bradicardia, con un inicio de acción rápido debido a su marcada lipofilia (26).

Desde el punto de vista farmacocinético, presenta un modelo multicompartimental caracterizado por una distribución inicial en 1–2 minutos tras la administración IV, seguida de una fase de redistribución de 10–15 minutos y una vida media terminal prolongada (≈ 200 min); su lipofilia facilita la acumulación en tejidos grasos y musculares, con liberación lenta posterior. Se metaboliza en el hígado principalmente por la isoenzima CYP3A4, y sus metabolitos se eliminan por vía renal. Los efectos secundarios incluyen sedación, náuseas, vómito, prurito, constipación, retención urinaria, bradicardia e hipotensión, mientras que el efecto adverso más relevante es la depresión respiratoria, cuyo riesgo aumenta con dosis elevadas, administración rápida o en pacientes con patología pulmonar; adicionalmente, la administración intratecal o epidural puede asociarse a prurito y somnolencia postoperatoria (27).

Ketorolaco

El ketorolaco es un antiinflamatorio no esteroideo (AINE) con potentes propiedades analgésicas, indicado para el manejo de dolor moderado a severo, particularmente en el contexto postoperatorio, aunque no posee efectos anestésicos. Su mecanismo de acción consiste en la inhibición reversible de las enzimas ciclooxigenasa (COX-1 y COX-2), lo que disminuye la síntesis de prostaglandinas responsables de la sensibilización nociceptiva, la inflamación y la fiebre; a diferencia de los opioides, no deprime el sistema nervioso central, por lo que su efecto analgésico es complementario y carente de potencial adictivo. En adultos, la dosis recomendada por vía intravenosa (IV) o intramuscular (IM) es de 30 mg como dosis única o 30 mg cada 6 horas, sin exceder 120 mg diarios; por vía oral, tras la terapia parenteral, se puede administrar una dosis inicial de 20 mg, seguida de 10 mg cada 4–6 horas, con un máximo de 40 mg diarios (28).

Posee buena biodisponibilidad por vía IM e IV, con una vida media de eliminación de aproximadamente 5.6 horas después de una dosis de 30 mg; se metaboliza en el hígado y se excreta principalmente por riñón, con alrededor del 90 % del fármaco y sus metabolitos eliminados por esta vía. Entre sus efectos adversos destacan los gastrointestinales (dispepsia, náuseas, dolor abdominal, úlceras y riesgo de hemorragia), renales (deterioro de la función renal, retención de líquidos), y cardiovasculares (hipertensión y aumento del riesgo de eventos trombóticos en uso prolongado). También puede prolongar el tiempo de sangrado por inhibición plaquetaria, por lo que se contraindica en pacientes con riesgo elevado de hemorragia; debido a estos efectos, su administración no debe exceder 5 días (29).

Coadyuvantes

En el manejo anestésico de la cirugía de fractura de tobillo, el empleo de coadyuvantes en técnicas de anestesia regional se ha consolidado como una estrategia eficaz para mejorar los resultados analgésicos y optimizar el control del dolor postoperatorio. Los coadyuvantes son fármacos que se añaden a los anestésicos locales con el objetivo de

potenciar sus efectos, prolongar la duración del bloqueo sensorial y motor, reducir el tiempo de inicio del bloqueo y minimizar el consumo de opioides en el postoperatorio (30).

Entre los coadyuvantes más estudiados en el ámbito de la anestesia regional se encuentra el sulfato de magnesio ($MgSO_4$), cuya eficacia y seguridad han sido ampliamente documentadas en numerosos ensayos clínicos y metaanálisis. Su inclusión como adyuvante en bloqueos neuroaxiales y periféricos ha demostrado mejorar de forma significativa la calidad del bloqueo anestésico, prolongar la duración del efecto sensorial y motor, así como ofrecer una analgesia postoperatoria más prolongada. El $MgSO_4$ actúa principalmente como un antagonista no competitivo de los receptores N-metil-D-aspartato (NMDA), impidiendo la entrada de calcio a la célula postsináptica. Esta acción bloquea los mecanismos de sensibilización central y disminuye la transmisión nociceptiva, lo que resulta en un mejor control del dolor tanto en el periodo intraoperatorio como postoperatorio, (Figura 3) (31).

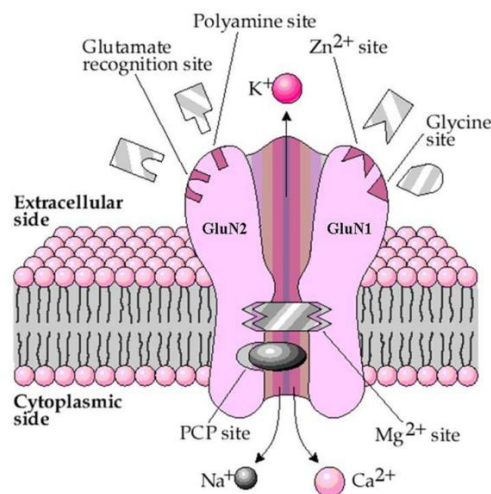


Figura 3. Representación esquemática del receptor NMDA (N-metil-D-aspartato), formado por las subunidades GluN1 y GluN2. Se muestran los principales sitios de unión: glutamato, glicina, poliaminas, zinc (Zn^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), y fenciclidina (PCP), así como el canal iónico que permite el paso de Na^+ y Ca^{2+} al interior celular y K^+ al exterior.

El Mg^{2+} bloquea el canal en reposo, siendo desplazado con la despolarización. Imagen tomada de (32).

Además de su efecto sobre los receptores NMDA, el $MgSO_4$ tiene la capacidad de estabilizar las membranas neuronales y reducir la liberación de neurotransmisores excitatorios, como el glutamato, potenciando así el efecto de los anestésicos locales. Estos mecanismos fisiológicos permiten prolongar el tiempo de inicio del dolor postoperatorio, alargando el intervalo libre de dolor tras el procedimiento quirúrgico, y reducen la necesidad de analgesia sistémica adicional, principalmente opioides. Esto se traduce en un menor riesgo de efectos adversos relacionados con el uso de opioides, como náuseas, vómitos, depresión respiratoria y estreñimiento (33).

II.- ANTECEDENTES

A nivel mundial, el control del dolor postoperatorio continúa siendo un reto importante para la anestesiología. Se estima que entre el 60 y el 80% de los pacientes sometidos a cirugía presentan dolor postoperatorio, y cerca del 30% lo experimenta con intensidad moderada a severa, a pesar de recibir tratamiento analgésico estándar (34). En cirugías abdominales generales, un metaanálisis mostró que la administración de sulfato de magnesio redujo en un 25% las puntuaciones de dolor en las primeras 24 horas y disminuyó en aproximadamente 30% el consumo de opioides comparado con el grupo control (35).

De manera similar, en procedimientos ortopédicos, el uso de magnesio como coadyuvante prolonga la duración de los bloqueos regionales en un promedio de 90 a 120 minutos adicionales y reduce en más de un 20% la necesidad de analgésicos adicionales durante el postoperatorio inmediato (36). En México, el dolor postoperatorio es un problema altamente frecuente. Un estudio realizado en un hospital mostró que aproximadamente 87 % de los pacientes reportan dolor agudo después de una cirugía, y de estos, alrededor del 24 % experimentan dolor de intensidad moderada a severa en las primeras 24 horas (37).

En relación con la utilización del $MgSO_4$ como tratamiento coadyuvante, se ha documentado su eficacia en la prolongación del bloqueo sensorial y motor, así como en la reducción del consumo de analgésicos opioides en el postoperatorio de cirugías ortopédicas de extremidades inferiores. De manera particular, Albrecht et al. (2013), llevaron a cabo un ensayo clínico aleatorizado y controlado con el objetivo de evaluar la eficacia analgésica del $MgSO_4$ administrado junto con bupivacaína y fentanilo en pacientes sometidos a cirugía por fractura de tibia. Incluyeron a pacientes adultos que recibieron anestesia intratecal con bupivacaína, a quienes se les adicionó ya sea neostigmina o $MgSO_4$, y se evaluaron la duración del bloqueo, el tiempo de rescate analgésico, y la necesidad de opioides postoperatorios. Los resultados mostraron que el grupo que recibió $MgSO_4$ presentó una prolongación significativa del bloqueo sensorial y

motor, así como un menor requerimiento de analgesia adicional en comparación con el grupo control. Por lo tanto, concluyeron que el $MgSO_4$, como adyuvante en anestesia intratecal, mejoró la calidad de la analgesia postoperatoria sin asociarse a efectos adversos significativos (38).

Además, Dori et al. (2016), llevaron a cabo un ensayo clínico aleatorizado, doble ciego, con el propósito de evaluar las propiedades analgésicas del $MgSO_4$ y la neostigmina, administrados junto con bupivacaína y fentanilo en pacientes programados para cirugía de fractura de tibia. En total, incluyeron a 210 pacientes, quienes fueron distribuidos aleatoriamente en tres grupos: el grupo F recibió 10 mg de bupivacaína y 25 μ g de fentanilo; el grupo N recibió 150 μ g de neostigmina añadidos a la misma combinación de bupivacaína y fentanilo; y el grupo M recibió 50 mg de $MgSO_4$ junto con bupivacaína y fentanilo. Evaluaron la duración de la analgesia, la puntuación del bloqueo motor, el dolor postoperatorio a las 6 y 12 horas de la cirugía, el tiempo de micción postoperatoria, así como la incidencia de hipotensión, bradicardia, depresión respiratoria, náuseas, y vómito. Los resultados mostraron que el grupo M, tratado con $MgSO_4$, presentó una duración de la analgesia significativamente mayor (330.76 ± 80.98 minutos) en comparación con el grupo F (280.98 ± 60.33 minutos). Asimismo, las puntuaciones del dolor fueron inferiores en el grupo M a las 6 horas (NRS: 2.44 ± 0.98) y 12 horas (NRS: 4.10 ± 0.88) del postoperatorio, en comparación con los otros dos grupos. No se observaron diferencias significativas en las puntuaciones de bloqueo motor ni en el tiempo de micción entre los tres grupos antes del alta de la recuperación. En contraste, el grupo N, que recibió neostigmina, presentó una mayor incidencia de hipotensión (40%), bradicardia (25%) y náusea y vómito (70%), sin que se observara depresión respiratoria en ninguno de los participantes. Por lo tanto, los autores concluyeron que la adición de 50 mg de $MgSO_4$ a la solución intratecal de bupivacaína-fentanilo mejoró tanto la eficacia como la duración de la analgesia sin efectos secundarios significativos, mientras que la neostigmina incrementó la incidencia de eventos adversos sin prolongar de manera efectiva la duración analgésica (39).

En ese mismo año, Kumar et al. (2016), llevaron a cabo un ensayo clínico prospectivo, aleatorizado y controlado con el propósito de comparar la eficacia analgésica del $MgSO_4$ ($MgSO_4$) administrado por vía intravenosa versus intratecal, en combinación con bupivacaína hiperbárica en pacientes sometidos a cirugía de cadera bajo anestesia subaracnoidea. Se incluyeron noventa pacientes, clasificados como ASA I y II, con edades entre 20 y 60 años. Los participantes fueron asignados aleatoriamente a tres grupos. El grupo 1 recibió bupivacaína 0.5% (15 mg) por vía intratecal con solución salina intravenosa; el grupo 2 recibió la misma dosis de bupivacaína intratecal y una infusión intravenosa de $MgSO_4$ (50 mg/kg en 250 mL de solución salina) administrada 30 minutos antes del bloqueo; mientras que el grupo 3 recibió bupivacaína 0.5% intratecal combinada con 50 mg de $MgSO_4$ (0.1 mL) y solución salina intravenosa. Los autores evaluaron las características del bloqueo sensitivo y motor, las puntuaciones en la escala visual análoga (EVA) durante las primeras 24 horas postoperatorias, el tiempo de analgesia postoperatoria y la necesidad de analgesia de rescate. Los resultados mostraron que el grupo que recibió $MgSO_4$ por vía intravenosa presentó un intervalo libre de dolor más prolongado, puntuaciones de dolor más bajas, una duración mayor del bloqueo sensitivo y motor, y un menor requerimiento de analgesia de rescate en comparación con los grupos que recibieron $MgSO_4$ por vía intratecal o el grupo control ($p < 0.05$). Por lo tanto, los autores concluyeron que la administración intravenosa de $MgSO_4$ fue más eficaz que la administración intratecal en la reducción del dolor postoperatorio y en la prolongación de la analgesia en pacientes sometidos a cirugía de cadera bajo anestesia subaracnoidea (40).

De manera semejante, Xu et al. (2017), llevaron a cabo un ensayo clínico aleatorizado y controlado con el objetivo de comparar la eficacia del $MgSO_4$ frente a un placebo de solución salina en el control del dolor posterior a la THA. Se incluyeron sesenta pacientes que fueron asignados aleatoriamente a dos grupos: el grupo intervención recibió una inyección intraarticular de 10 mL de $MgSO_4$ (100 mg/mL), mientras que el grupo control recibió 10 mL de solución salina. Ambos grupos fueron comparables en sus características basales y recibieron analgesia postoperatoria adicional mediante morfina intravenosa según necesidad. Los autores evaluaron el dolor mediante la escala visual análoga (EVA), el consumo acumulado de morfina y el puntaje funcional de la cadera a

través del Harris Hip Score (HHS). Los resultados mostraron que el grupo tratado con $MgSO_4$ presentó puntuaciones EVA significativamente más bajas en reposo a las 6 y 12 horas postoperatorias en comparación con el grupo control, aunque no se observaron diferencias en otros tiempos de medición (preoperatorio, 2, 4, 24 y 48 horas, ni en los días 3, 7 y 14 postoperatorios). Asimismo, durante la actividad, el grupo de magnesio mostró menores puntuaciones de dolor a las 24 horas. Además, el consumo total de morfina fue significativamente menor en el grupo de $MgSO_4$ durante los intervalos de 0-6, 6-12 y 0-48 horas postoperatorias. No se encontraron diferencias significativas en el consumo de morfina entre los grupos durante los períodos de 12-24 y 24-48 horas. Finalmente, aunque ambos grupos mostraron una mejoría significativa en el puntaje HHS del preoperatorio al postoperatorio, no se identificaron diferencias significativas entre ellos. Por lo tanto, los autores concluyeron que la administración intraarticular de $MgSO_4$ proporcionó un mejor control del dolor y una reducción en el consumo de morfina en el periodo postoperatorio temprano tras la artroplastia total de cadera (41).

III.- JUSTIFICACIÓN

El manejo del dolor postoperatorio constituye uno de los principales retos en la práctica quirúrgica moderna, especialmente en procedimientos ortopédicos como la cirugía por fractura de tobillo. Un control inadecuado del dolor agudo puede retrasar la recuperación funcional, aumentar el riesgo de complicaciones postoperatorias, prolongar la estancia hospitalaria y favorecer la transición hacia dolor crónico, con el consecuente impacto negativo en la funcionalidad y calidad de vida del paciente.

Actualmente, el manejo del dolor postquirúrgico se sustenta principalmente en opioides y los AINEs. Aunque eficaces, estos fármacos presentan efectos adversos relevantes: los opioides pueden provocar náusea, vómito, estreñimiento, retención urinaria, depresión respiratoria y, en algunos casos, tolerancia y dependencia; mientras que los AINEs incrementan el riesgo de complicaciones gastrointestinales, renales y cardiovasculares. Este panorama ha impulsado la adopción de estrategias de analgesia multimodal, orientadas a reducir el consumo de opioides y minimizar sus efectos adversos sin comprometer el control del dolor.

El $MgSO_4$ ha surgido como una opción coadyuvante en la analgesia perioperatoria gracias a sus propiedades farmacológicas. Actúa como antagonista no competitivo del receptor N-metil-D-aspartato (NMDA) y modulador de los canales de calcio, interviniendo en mecanismos clave de transmisión y amplificación del dolor nociceptivo. La activación excesiva de los receptores NMDA se asocia con hiperalgesia, sensibilización central y dolor crónico postquirúrgico; su inhibición mediante $MgSO_4$ podría potenciar los efectos analgésicos de otros medicamentos, reduciendo el requerimiento de opioides y mejorando el perfil analgésico global.

Diversos estudios han documentado que la administración perioperatoria de $MgSO_4$ disminuye la intensidad del dolor y reduce el consumo de analgésicos opioides en cirugías abdominales, ginecológicas y ortopédicas. No obstante, persiste una brecha de evidencia sobre su utilidad específica en cirugías ortopédicas por fractura de tobillo, particularmente en población mexicana.

Desde la perspectiva de salud pública, el uso de fármacos de bajo costo y amplia disponibilidad, como el MgSO_4 , constituye una estrategia viable y accesible para mejorar la calidad de la atención en hospitales públicos. Los resultados de esta investigación podrían sustentar la incorporación del MgSO_4 en protocolos de analgesia multimodal adaptados a las necesidades y características de la población atendida en el Hospital General de Pachuca.

IV.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el Hospital General de Pachuca, la cirugía por fractura de tobillo representa una de las intervenciones ortopédicas más frecuentes, particularmente en pacientes adultos en edad productiva. A pesar de la alta incidencia de este tipo de fracturas en la unidad, el manejo del dolor postoperatorio continúa siendo un reto importante, ya que los esquemas analgésicos actualmente utilizados se basan principalmente en opioides y AINEs, fármacos que, aunque eficaces, se asocian con efectos adversos que pueden prolongar la estancia hospitalaria y retrasar la recuperación funcional. En la práctica cotidiana del hospital no existen protocolos que incluyan el uso de $MgSO_4$ como coadyuvante analgésico en la cirugía por fractura de tobillo. Esta ausencia de lineamientos limita la oportunidad de incorporar estrategias de analgesia multimodal que podrían reducir el consumo de opioides, minimizar sus efectos adversos y optimizar la recuperación del paciente. Ante esta situación, es necesario generar evidencia local que evalúe la eficacia y seguridad del $MgSO_4$ en el contexto específico del Hospital General de Pachuca. Los resultados de este estudio permitirán determinar si su integración en el manejo perioperatorio de la fractura de tobillo es una alternativa viable para mejorar el control del dolor, acortar la estancia hospitalaria y optimizar el uso de recursos en un hospital de alta demanda asistencial.

IV.1.- Pregunta de investigación

¿Cuál es la eficacia analgésica en pacientes con cirugía por fractura de tobillo con y sin administración de $MgSO_4$ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025?

IV.2.- Hipótesis

Hipótesis alterna: El uso de $MgSO_4$ como tratamiento coadyuvante mejora el control del dolor postoperatorio, al aumentar la duración de la analgesia, disminuir la intensidad del dolor, reducir la necesidad de analgesia de rescate y mantener una baja incidencia de efectos adversos en pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo en el Hospital General Pachuca, de octubre a diciembre de 2025.

Hipótesis nula: El uso de $MgSO_4$ como tratamiento coadyuvante no mejora el control del dolor postoperatorio, al aumentar la duración de la analgesia, disminuir la intensidad del dolor, reducir la necesidad de analgesia de rescate y mantener una baja incidencia de efectos adversos en pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo en el Hospital General Pachuca, de octubre a diciembre de 2025.

IV.3.- Objetivos

IV.3.1. Objetivo general

Evaluar la eficacia analgésica en pacientes con cirugía por fractura de tobillo con y sin administración de $MgSO_4$ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025.

IV.3.2. Objetivos específicos

1. Caracterizar las variables sociodemográficas y clínicas de los pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo, mediante la aplicación de un cuestionario estructurado, a fin de describir el perfil general de la población atendida en el Hospital General Pachuca durante el periodo de octubre a diciembre de 2025.
2. Identificar la intensidad del dolor postoperatorio en pacientes intervenidos por fractura de tobillo, utilizando la escala visual análoga (EVA), con el fin de comparar los niveles de dolor entre quienes recibieron o no $MgSO_4$ como tratamiento coadyuvante y quienes no lo recibieron, en el Hospital General Pachuca, de octubre a diciembre de 2025.
3. Comparar la duración de la analgesia postoperatoria entre pacientes con y sin administración de $MgSO_4$ como coadyuvante, a través del seguimiento clínico posterior a la cirugía, a fin de evaluar la efectividad analgésica del $MgSO_4$ en el Hospital General Pachuca, durante el periodo de octubre a diciembre de 2025.
4. Identificar la incidencia de efectos adversos relacionados con el manejo analgésico postquirúrgico, mediante el monitoreo clínico de pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo, con y sin administración de $MgSO_4$ como coadyuvante, con el fin de valorar la seguridad de dicho tratamiento en el Hospital General Pachuca, de octubre a diciembre de 2025.
5. Evaluar la necesidad de analgesia de rescate en pacientes intervenidos quirúrgicamente por fractura de tobillo, a través del registro del uso y dosis de

medicamentos adicionales, para comparar su frecuencia entre los grupos con y sin MgSO_4 como tratamiento coadyuvante, en el Hospital General Pachuca, durante el periodo de octubre a diciembre de 2025.

V.- MATERIAL Y MÉTODOS

V.1.- Diseño de estudio

Ensayo clínico aleatorizado, triple ciego y prospectivo.

V.2.- Selección de la población de estudio

V.2.1.- Criterios de inclusión

1. Pacientes del Hospital General Pachuca.
2. Pacientes que se atiendan entre octubre y diciembre de 2025.
3. Pacientes de 18 a 50 años.
4. Pacientes de cualquier sexo.
5. Pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo.
6. Pacientes que firmen el consentimiento informado.

V.2.2.- Criterios de exclusión

1. Pacientes con antecedentes de alergia o hipersensibilidad conocida al $MgSO_4$ o a cualquiera de los medicamentos utilizados en el protocolo anestésico o analgésico.
2. Pacientes con diagnóstico previo de insuficiencia renal crónica o aguda, debido al riesgo de acumulación y toxicidad del magnesio.
3. Pacientes con insuficiencia hepática severa, que puedan presentar alteraciones en el metabolismo y la excreción de fármacos.
4. Pacientes con trastornos neuromusculares, como miastenia gravis o síndrome de Eaton-Lambert, que pueden ser exacerbados por el $MgSO_4$.
5. Pacientes con antecedentes de enfermedad cardíaca significativa, como bloqueo auriculoventricular de segundo o tercer grado, bradicardia severa o insuficiencia cardíaca descompensada, por el riesgo de alteraciones hemodinámicas con el uso de magnesio.

V.2.3.- Criterios de eliminación

1. Pacientes con historia clínica incompleta.
2. Pacientes derivados a otro centro hospitalario para su atención.

V.3.- Determinación del tamaño de la muestra y muestreo

V.3.1.- Tamaño de la muestra

Se consideró la siguiente ecuación:

$$n = \frac{2(Z_{\alpha/2} + Z_{\beta})^2 \sigma^2}{\Delta^2}$$

Donde:

n: tamaño de muestra por grupo.

$Z_{\alpha/2}$: valor Z correspondiente al nivel de significancia deseado (1.96 para un nivel de confianza del 95%).

Z_{β} : valor Z correspondiente al poder estadístico deseado (1.28 para un poder del 90%).

σ : desviación estándar estimada (2).

Δ : diferencia mínima clínicamente relevante entre los dos grupos (1.5).

Para la σ se consideró 2, y para Δ 1.5 con base en el estudio de Choi G. et al. (2021) (42).

Sustitución:

$$n = \frac{2 \cdot (Z_{\alpha/2} + Z_{\beta})^2 \cdot \sigma^2}{\Delta^2}$$

$$n = \frac{2 \cdot (1.96 + 1.28)^2 \cdot (2)^2}{(1.5)^2} = \frac{2 \cdot (3.24)^2 \cdot 4}{2.25} = \frac{2 \cdot 10.4976 \cdot 4}{2.25} = \frac{83.9808}{2.25} \approx 37.3$$

Total de 37 pacientes por grupo, 74 pacientes en total para el estudio.

V.3.2.- Muestreo

Se seleccionaron los primeros 74 pacientes que cumplieron con los criterios de inclusión y que fueron sometidos a cirugía por fractura de tobillo en el Hospital General de Pachuca, durante el periodo comprendido entre octubre y diciembre de 2025. La asignación a los grupos de estudio se realizó de manera aleatoria. El grupo intervención recibió anestesia base mediante bloqueo neuroaxial con bupivacaína hiperbárica más fentanilo, junto con el esquema analgésico convencional con ketorolaco, añadiéndose además la administración de sulfato de magnesio en perfusión, a una dosis de 30 mg/kg, como coadyuvante. El grupo control recibió la misma anestesia base con bupivacaína hiperbárica más fentanilo y el esquema analgésico convencional con ketorolaco, sin la administración de sulfato de magnesio. Para asegurar la aleatorización, se utilizó una caja cerrada que contenía 74 esferas de dos colores distintos: rojo para identificar al grupo con sulfato de magnesio y azul para identificar al grupo sin sulfato de magnesio. Antes de la cirugía, se extrajo al azar una esfera, lo que definió el grupo al que fue asignado cada paciente.

V.4.- Definición operacional de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Escala de medición	Fuente
Edad	Tiempo que ha vivido una persona desde su nacimiento hasta la actualidad.	Identificar la edad cumplida al momento del estudio.	Cuantitativa, discreta y absoluta Años	Expediente clínico

Sexo	Clasificación biológica de una persona según sus características sexuales.	Registrar el sexo biológico del paciente.	Cualitativa, nominal 1. Hombre 2. Mujer	Expediente clínico
Escolaridad	Nivel máximo de estudios formales que ha completado el paciente al momento de la cirugía.	Registrar el último grado de estudios alcanzado.	Cualitativa, ordinal 1. Sin estudios 2. Primaria 3. Secundaria 4. Educación media superior 5. Educación superior	Expediente clínico
Ocupación	Actividad laboral principal que desempeña el paciente de forma habitual.	Registrar la ocupación reportada en el expediente (empleado, comerciante, estudiante, ama de casa, jubilado, etc.).	Cualitativa, nominal 1. Desempleado 2. Estudiante 3. Empleado 4. Profesionista 5. Labores del hogar 6. Jubilado	Expediente clínico
Estado civil	Condición legal o social del paciente en relación con el matrimonio o unión libre.	Registrar el estado civil reportado en el expediente	Cualitativa, nominal 1. Soltero 2. Casado 3. Unión libre 4. Divorciado 5. Viudo	Expediente clínico
ASA	Clasificación del estado físico del paciente según la American Society of Anesthesiologists (ASA).	Registrar el grado ASA asignado preoperatoriamente.	Cualitativa, ordinal 1. I 2. II 3. III 4. IV	Expediente clínico
Comorbilidades	Presencia de enfermedades crónicas adicionales al diagnóstico principal.	Registrar la existencia de comorbilidades relevantes	Cualitativa, nominal 1. Hipertensión 2. Obesidad 3. Osteoporosis 4. Otra	Expediente clínico
Tipo de fractura	Clasificación clínica de la fractura de tobillo.	Registrar el tipo de fractura.	Cualitativa, nominal 1. Maleolo lateral 2. Bimalleolar 3. Trimalleolar	Expediente clínico
Uso de MgSO ₄	Administración de MgSO ₄ como coadyuvante en el manejo analgésico intraoperatorio (30 mg/Kg).	Registrar si el paciente recibió o no MgSO ₄ durante la cirugía.	Cuantitativa, continua de razón mg/Kg	Expediente clínico
Duración de la analgesia postoperatoria	Tiempo transcurrido desde el final de la cirugía hasta la	Registrar el tiempo (en horas) desde el término de la cirugía	Cuantitativa, continua y de razón Horas	Expediente clínico

	primera solicitud de analgesia de rescate.	hasta la administración del primer analgésico.		
Escala Visual Análoga del dolor (EVA)	Escala subjetiva utilizada para medir la intensidad del dolor postoperatorio en una escala de 0 a 10.	Registrar la puntuación de la EVA a las 6, 12 y 24 horas postoperatorias.	Cualitativa, ordinal 0-10	Expediente clínico
Efectos adversos	Eventos no deseados asociados a la administración de analgésicos o del MgSO ₄ .	Identificar la presencia o ausencia de efectos adversos específicos.	Cualitativa, nominal 1. Náuseas 2. Vómito 3. Hiperglucemia	Expediente clínico
Necesidad de analgésicos de rescate	Administración de medicamentos adicionales para el control del dolor postoperatorio.	Registrar si el paciente requirió o no analgesia de rescate..	Cualitativa, nominal 1. Sí 2. No	Expediente clínico
Tiempo de estancia hospitalaria	Periodo total de hospitalización del paciente, expresado en días.	Registrar el número de días de estancia hospitalaria desde el ingreso hasta el egreso postoperatorio.	Cuantitativa, discreta Días	Expediente clínico

V. 5. Instrumento de recolección de datos

Evaluación de la eficacia analgésica en pacientes con cirugía por fractura de tobillo con y sin administración de MgSO₄ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025

Fecha: _____

Número de expediente: _____

1. Edad: _____

2. Sexo

1. Hombre: _____

2. Mujer: _____

3. Escolaridad

1. Sin estudios: _____
2. Primaria: _____
3. Primaria incompleta: _____
4. Secundaria: _____
5. Secundaria incompleta: _____
6. Educación media superior: _____
7. Educación media superior incompleta: _____
8. Educación superior: _____
9. Educación superior incompleta: _____

4. Ocupación

1. Desempleado: _____
2. Estudiante: _____
3. Empleado: _____
4. Profesionista: _____
5. Labores del hogar: _____
6. Jubilado: _____

5. Estado civil

1. Soltero: _____
2. Casado: _____
3. Unión libre: _____
4. Divorciado: _____
5. Viudo: _____

6. ASA

1. I: _____
2. II: _____
3. III: _____
4. IV: _____

7. Comorbilidades

- 1. Hipertensión: _____
- 2. Obesidad: _____
- 3. Osteoporosis: _____
- 4. Otra: _____

8. Tipo de fractura:

- 1. Maleolo lateral: _____
- 2. Bimalleolar: _____
- 3. Trimalleolar: _____

9. 1. AINES: _____

10. Duración de la analgesia postoperatoria: _____

11. Con base en la información presentada en el expediente y en relación al dolor, después de la intervención quirúrgica, ¿cuál es la escala visual análoga del dolor (EVA) postanestésica que muestra la paciente?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Ausencia
de dolor

El peor
dolor

12. Efectos adversos

- 1. Náuseas: _____
- 2. Vómito: _____
- 3. Hiperglucemia: _____

13. Necesidad de analgésicos de rescate

- 1. Sí: _____
- 2. No: _____

14. Tiempo de hospitalaria: _____

VI.- Análisis estadístico de la información

Los datos recopilados se registraron en una base de datos y se analizaron utilizando el software GraphPad Prism versión 9.0. La población de estudio se caracterizó mediante medidas de tendencia central y dispersión para las variables cuantitativas, incluyendo media, mediana, desviación estándar y rango intercuartílico, mientras que las variables cualitativas se describieron mediante frecuencias absolutas y proporciones.

El análisis bivariado se realizó considerando los dos grupos de comparación: pacientes que recibieron sulfato de magnesio como tratamiento coadyuvante y pacientes que no lo recibieron. Se evaluaron las siguientes variables de desenlace: intensidad del dolor postoperatorio, duración de la analgesia, necesidad de analgesia de rescate y presencia de efectos adversos. La distribución de los datos se verificó mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Para las variables cuantitativas se aplicó la prueba t de Student para muestras independientes, se calculó la diferencia de medias o la diferencia de medianas con su respectivo intervalo de confianza del 95%.

Las variables cualitativas se analizaron mediante la prueba de X^2 o la prueba exacta de Fisher, según correspondiera. Adicionalmente, se evaluó la relación entre la administración de $MgSO_4$ y el consumo de analgésicos postoperatorios, así como el tiempo de estancia hospitalaria, mediante pruebas de correlación de Pearson. En los casos en que se identificaron asociaciones estadísticamente significativas, se construyó un modelo de regresión logística binaria para determinar si la administración de sulfato de magnesio constituyó un factor independiente en la reducción del dolor postoperatorio y en la disminución del consumo de analgésicos, reportando las odds ratio. En todos los análisis se consideró un valor de $p < 0.05$ como criterio de significancia estadística.

VII.- ASPECTOS ÉTICOS

Este estudio se realizó en seres humanos y prevaleció el criterio de respeto a la dignidad de los participantes y la protección de sus derechos, de conformidad con lo establecido en el Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud, particularmente en su artículo 17, dado que esta investigación se clasificó como de **riesgo mayor al mínimo** al tratarse de un ensayo clínico.

VIII.- RESULTADOS

Durante el periodo de estudio comprendido entre octubre y diciembre de 2025, se incluyeron un total de 74 pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo en el Hospital General Pachuca que cumplieron con los criterios de inclusión. La población de estudio se distribuyó equitativamente en dos grupos de comparación, 37 pacientes (50%) recibieron 30 mg/kg de sulfato de magnesio ($MgSO_4$) como parte del esquema analgésico perioperatorio, mientras que 37 pacientes (50%) no recibieron dicha intervención.

En relación con la distribución por sexo, del total de 74 pacientes incluidos en el estudio, 42 (56.76%) correspondieron al sexo masculino y 32 (43.24%) al sexo femenino. En el grupo que recibió $MgSO_4$, 16 pacientes (21.62%) fueron hombres y 21 (28.38%) mujeres. Por su parte, en el grupo sin administración de $MgSO_4$ se registraron 26 hombres (35.14%) y 11 mujeres (14.86%), (Tabla 1).

Tabla 1. Distribución de los pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo según sexo y la administración de $MgSO_4$ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025

		$MgSO_4$				Total	
		Sí		No			
		n	%	n	%	n	%
Sexo	Hombre	16	21.62%	26	35.14%	42	56.76%
	Mujer	21	28.38%	11	14.86%	32	43.24%
Total		37	50%	37	50%	74	100%

Fuente: Expediente

En cuanto al nivel de escolaridad, la mayor proporción de pacientes presentó estudios de nivel secundaria, con 37 casos (50%) del total de la muestra. Le siguieron los pacientes con educación media superior, con 18 casos (24.32%), y aquellos con primaria, con 11 casos (14.86%). La educación superior se registró en 6 pacientes (8.11%), mientras que únicamente 2 pacientes (2.7%) no contaban con estudios formales. Con respecto a la distribución por grupos, en el grupo que recibió $MgSO_4$ predominó el nivel de secundaria, con 19 pacientes (25.68%), seguido de educación media superior en 10 pacientes (13.51%) y primaria en 7 pacientes (9.46%). En el grupo sin administración de $MgSO_4$, también se observó una mayor frecuencia de pacientes con escolaridad secundaria, con 18 casos (24.32%), seguida de educación media superior en 8 pacientes (10.81%) y educación superior en 5 pacientes (6.76%), (Tabla 2).

Tabla 2 Distribución de los pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo según su escolaridad y la administración de $MgSO_4$ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025.

		$MgSO_4$					
		Sí		No		Total	
		n	%	n	%	n	%
Escolaridad	Sin estudios	0	0%	2	2.7%	2	2.7%
	Primaria	7	9.46%	4	5.41%	11	14.86%
	Secundaria	19	25.68%	18	24.32%	37	50%
	Educación media superior	10	13.51%	8	10.81%	18	24.32%
	Educación superior	1	1.35%	5	6.76%	6	8.11%
Total		37	50%	37	50%	74	100%

Fuente: Expediente

Respecto a la ocupación, la mayoría de los pacientes mencionó trabajar como empleados, con un total de 38 casos (51.35%). En menor proporción se identificaron pacientes dedicados a labores del hogar, con 16 casos (21.62%), seguidos de estudiantes con 9 casos (12.16%). Las categorías de profesionista y desempleado representaron 6 (8.11%) y 5 (6.76%) pacientes, respectivamente. En la distribución por grupos, en el grupo que recibió $MgSO_4$ predominó la ocupación de empleado, con 19 pacientes (25.68%), seguida de labores del hogar en 11 pacientes (14.86%) y estudiantes en 4 pacientes (5.41%). En el grupo sin administración de $MgSO_4$, también se observó una mayor frecuencia de empleados, con 19 casos (25.68%), seguidos de estudiantes en 5 pacientes (6.76%) y labores del hogar en 5 pacientes (6.76%), (Tabla 3).

Tabla 3. Distribución de los pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo según su ocupación y la administración de $MgSO_4$ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025

		$MgSO_4$					
		Sí		No		Total	
		n	%	n	%	n	%
Ocupación	Desempleado	1	1.35%	4	5.41%	5	6.76%
	Estudiante	4	5.41%	5	6.76%	9	12.16%
	Empleado	19	25.68%	19	25.68%	38	51.35%
	Profesionista	2	2.7%	4	5.41%	6	8.11%
	Labores del hogar	11	14.86%	5	6.76%	16	21.62%
Total		37	50%	37	50%	74	100%

Fuente: Expediente

En relación con el estado civil, la categoría más frecuente fue la unión libre, con 36 pacientes (48.65%), seguida de solteros con 25 casos (33.78%) y casados con 11 pacientes (14.86%). Las categorías de divorciado y viudo se presentaron en un solo caso cada una, representando el 1.35% respectivamente. Aunado a lo anterior, en el grupo que recibió $MgSO_4$ predominó la unión libre, con 19 pacientes (25.68%), seguida de solteros en 11 pacientes (14.86%) y casados en 7 pacientes (9.46%). En el grupo sin administración de $MgSO_4$, también se observó una mayor proporción de pacientes en unión libre, con 17 casos (22.97%), seguida de solteros en 14 pacientes (18.92%) y casados en 4 pacientes (5.41%), (Tabla 4).

Tabla 4. Distribución de los pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo según su estado civil y la administración de $MgSO_4$ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025

		MgSO ₄					
		Sí		No		Total	
		n	%	n	%	n	%
Estado civil	Soltero	11	14.86%	14	18.92%	25	33.78%
	Casado	7	9.46%	4	5.41%	11	14.86%
	Unión libre	19	25.68%	17	22.97%	36	48.65%
	Divorciado	0	0%	1	1.35%	1	1.35%
	Viudo	0	0%	1	1.35%	1	1.35%
Total		37	50%	37	50%	74	100%

Fuente: Expediente

Por otra parte, en cuanto a la edad de los pacientes, en el grupo que recibió $MgSO_4$, la edad media fue de 33.7 años, con una desviación típica de 8.58 años, observándose un rango de edad entre 18 y 50 años. Por su parte, en el grupo sin administración de $MgSO_4$,

la edad media fue de 35.41 años, con una desviación típica de 11.41 años, y un rango igualmente comprendido entre 18 y 50 años, (Tabla 5).

Tabla 5. Distribución de los pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo según su edad y la administración de MgSO₄ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025

	MgSO ₄	Frecuencia	%	Valor medio	Desviación típica	Mínimo	Máximo
Edad	Sí	37	49.33%	33.7	8.58	18	50
	No	37	49.33%	35.41	11.41	18	50

Fuente: Expediente

Respecto a la clasificación del estado físico según la American Society of Anesthesiologists (ASA), la mayoría de los pacientes se ubicó en la categoría ASA II, con un total de 55 casos (74.32%). En menor proporción se encontraron pacientes clasificados como ASA III, con 14 casos (18.92%), mientras que la categoría ASA I se presentó en 5 pacientes (6.76%). En cuanto a la distribución por grupos, en el grupo que recibió MgSO₄ se registraron 28 pacientes (37.84%) clasificados como ASA II, 7 pacientes (9.46%) como ASA III y 2 pacientes (2.7%) como ASA I. De manera similar, en el grupo sin administración de MgSO₄ se identificaron 27 pacientes (36.49%) con clasificación ASA II, 7 pacientes (9.46%) ASA III y 3 pacientes (4.05%) ASA I, (Tabla 6).

Tabla 6. Distribución de los pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo según su clasificación ASA y la administración de MgSO₄ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025

		MgSO ₄					
		Sí		No		Total	
		n	%	n	%	n	%
ASA	ASA I	2	2.7%	3	4.05%	5	6.76%
	ASA II	28	37.84%	27	36.49%	55	74.32%
	ASA III	7	9.46%	7	9.46%	14	18.92%
	Total	37	50%	37	50%	74	100%

Fuente: Expediente

En relación con la presencia de comorbilidades, la condición más frecuente en la población de estudio fue la obesidad, identificada en 36 pacientes (48.65%). La hipertensión arterial se registró en 16 pacientes (21.62%), mientras que 22 pacientes (29.73%) no presentaron comorbilidades documentadas. Además, en el grupo que recibió MgSO₄ se identificaron 18 pacientes (24.32%) con obesidad, 8 pacientes (10.81%) con hipertensión arterial y 11 pacientes (14.86%) sin comorbilidades. De forma equivalente, en el grupo sin administración de MgSO₄ se registraron 18 pacientes (24.32%) con obesidad, 8 pacientes (10.81%) con hipertensión arterial y 11 pacientes (14.86%) sin comorbilidades, (Tabla 7).

Tabla 7. Distribución de los pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo según las comorbilidades presentadas y la administración de MgSO₄ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025

		MgSO ₄					
		Sí		No		Total	
		n	%	n	%	n	%
Comorbilidades	Hipertensión	8	10.81%	8	10.81%	16	21.62%
	Obesidad	18	24.32%	18	24.32%	36	48.65%
	Ninguna	11	14.86%	11	14.86%	22	29.73%
Total		37	50%	37	50%	74	100%

Fuente: Expediente

En cuanto al tipo de fractura de tobillo, la más frecuente fue la fractura de maléolo lateral, identificada en 32 pacientes (43.24%), seguida de la fractura bimalleolar en 30 pacientes (40.54%) y la fractura trimalleolar en 12 pacientes (16.22%). Específicamente, en el grupo que recibió MgSO₄ se observó una mayor proporción de fracturas bimalleolares, con 19 casos (25.68%), seguida de fracturas de maléolo lateral en 13 pacientes (17.57%) y fracturas trimalleolares en 5 pacientes (6.76%). En el grupo sin administración de MgSO₄, la fractura de maléolo lateral fue la más frecuente, con 19 casos (25.68%), seguida de fracturas bimalleolares en 11 pacientes (14.86%) y fracturas trimalleolares en 7 pacientes (9.46%). El análisis estadístico mediante la prueba de X² no mostró valores estadísticamente significativos entre la administración de MgSO₄ y el tipo de fractura (χ² = 3.59; gl = 2; p = 0.166), (Tabla 8).

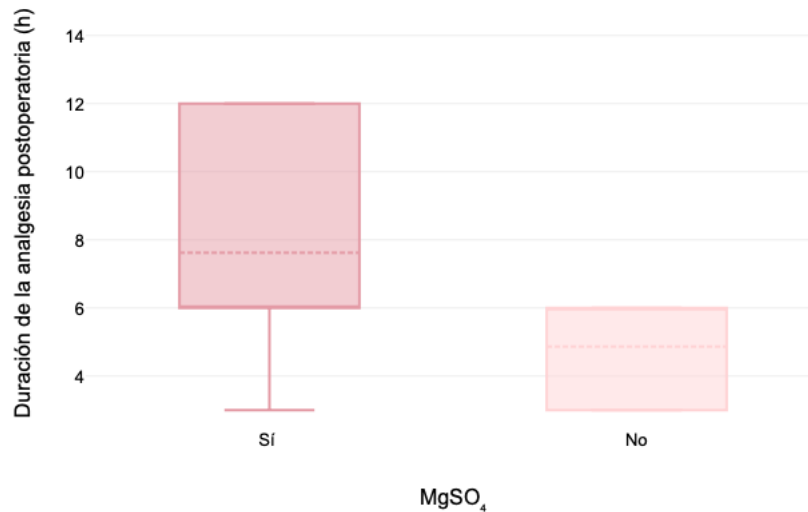
Tabla 8. Distribución de los pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo según el tipo de fractura y la administración de MgSO₄ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025

		MgSO ₄					
		Sí		No		Total	
		n	%	n	%	n	%
Tipo de fractura	Maleolo lateral	13	17.57%	19	25.68%	32	43.24%
	Bimalleolar	19	25.68%	11	14.86%	30	40.54%
	Trimalleolar	5	6.76%	7	9.46%	12	16.22%
Total		37	50%	37	50%	74	100%

Fuente: Expediente

En relación con la duración de la analgesia postoperatoria, se analizaron 74 pacientes distribuidos equitativamente entre los grupos con y sin administración de MgSO₄. En el grupo que recibió MgSO₄, la duración media de la analgesia fue de 7.62 horas, con una desviación típica de 3.65 horas y un error estándar de la media de 0.60. Por su parte, en el grupo sin administración de MgSO₄, la duración media de la analgesia fue de 4.86 horas, con una desviación típica de 1.48 horas y un error estándar de 0.24. La comparación entre ambos grupos mediante la prueba t de Student para muestras independientes, mostró una diferencia estadísticamente significativa en la duración de la analgesia postoperatoria (t = 4.26; gl = 72; p < 0.001). La diferencia media entre los grupos fue de 2.76 horas, con un error estándar de la diferencia de 0.65 y un intervalo de confianza del 95% que osciló entre 1.47 y 4.05 horas, (Figura 4).

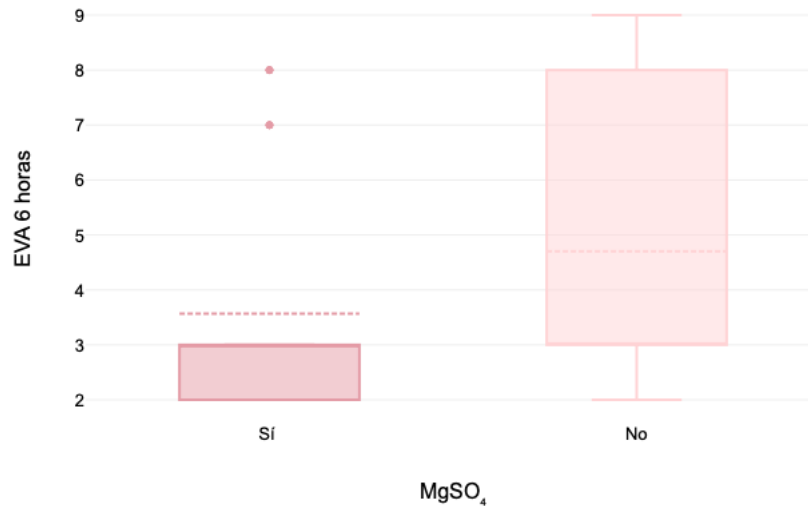
Figura 4. Distribución de los pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo según la duración de la analgesia postoperatoria y la administración de $MgSO_4$ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025



Fuente: Expediente

Respecto a la intensidad del dolor evaluada mediante la escala visual análoga (EVA) a las 6 horas del postoperatorio, el grupo que recibió $MgSO_4$, la puntuación media de EVA fue de 3.57, con una desviación típica de 2.15 y un error estándar de la media de 0.35. En contraste, el grupo sin administración de $MgSO_4$ presentó una puntuación media de EVA de 4.70, con una desviación típica de 2.64 y un error estándar de la media de 0.43. La comparación entre ambos grupos mediante la prueba t de Student para muestras independientes, mostró una diferencia estadísticamente significativa en la puntuación de EVA a las 6 horas postoperatorias ($t = -2.02$; $gl = 72$; $p = 0.047$). La diferencia media entre los grupos fue de -1.14 puntos, con un intervalo de confianza del 95% que osciló entre -2.25 y -0.02 , (Figura 5).

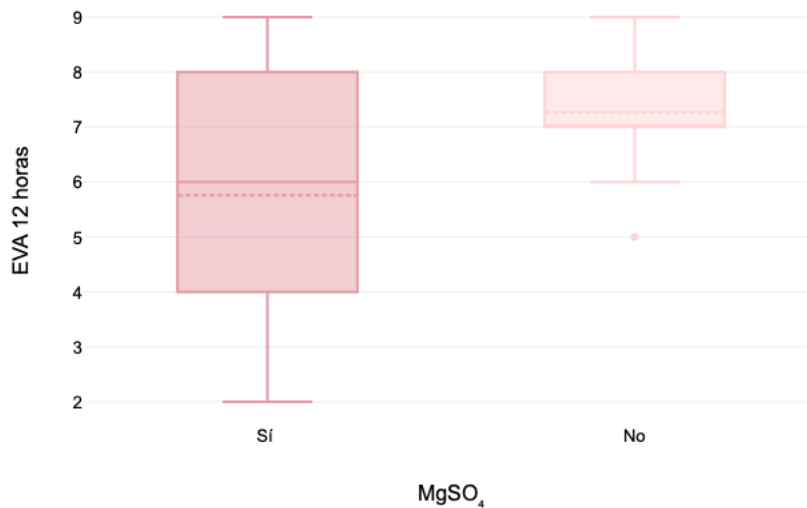
Figura 5. Distribución de los pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo según la EVA a las 6 horas y la administración de $MgSO_4$ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025



Fuente: Expediente

En relación con la intensidad del dolor evaluada mediante la escala visual análoga (EVA) a las 12 horas del postoperatorio, el grupo que recibió $MgSO_4$, la puntuación media de EVA fue de 5.76, con una desviación típica de 1.95 y un error estándar de la media de 0.32. Por su parte, en el grupo sin administración de $MgSO_4$, la puntuación media de EVA fue de 7.27, con una desviación típica de 1.12 y un error estándar de la media de 0.18. La comparación entre ambos grupos mediante la prueba t de Student para muestras independientes, presentó una diferencia estadísticamente significativa en la puntuación de EVA a las 12 horas postoperatorias ($t = -4.09$; $gl = 72$; $p < 0.001$). La diferencia media entre los grupos fue de -1.51 puntos, con un intervalo de confianza del 95% comprendido entre -2.25 y -0.78 , (Figura 6).

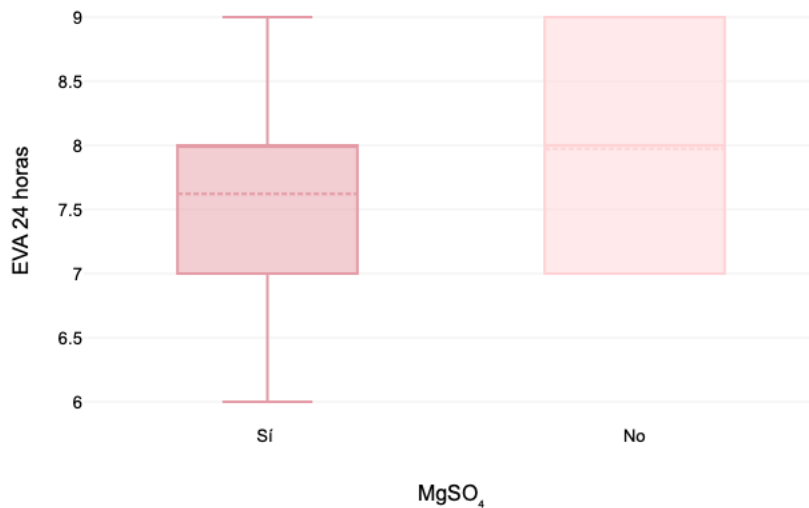
Figura 6. Distribución de los pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo según la EVA a las 12 horas y la administración de $MgSO_4$ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025



Fuente: Expediente

En relación con la intensidad del dolor evaluada mediante la escala visual análoga (EVA) a las 24 horas del postoperatorio, el grupo que recibió $MgSO_4$, la puntuación media de EVA fue de 7.62, con una desviación típica de 0.95 y un error estándar de la media de 0.16. Por su parte, en el grupo sin administración de $MgSO_4$, la puntuación media de EVA fue de 7.97, con una desviación típica de 0.76 y un error estándar de la media de 0.13. La comparación entre ambos grupos mediante la prueba t de Student para muestras independientes, no mostró una diferencia estadísticamente significativa en la puntuación de EVA a las 24 horas postoperatorias ($t = -1.75$; $gl = 72$; $p = 0.084$). La diferencia media entre los grupos fue de -0.35 puntos, con un intervalo de confianza del 95% que osciló entre -0.75 y 0.05 , (Figura 7).

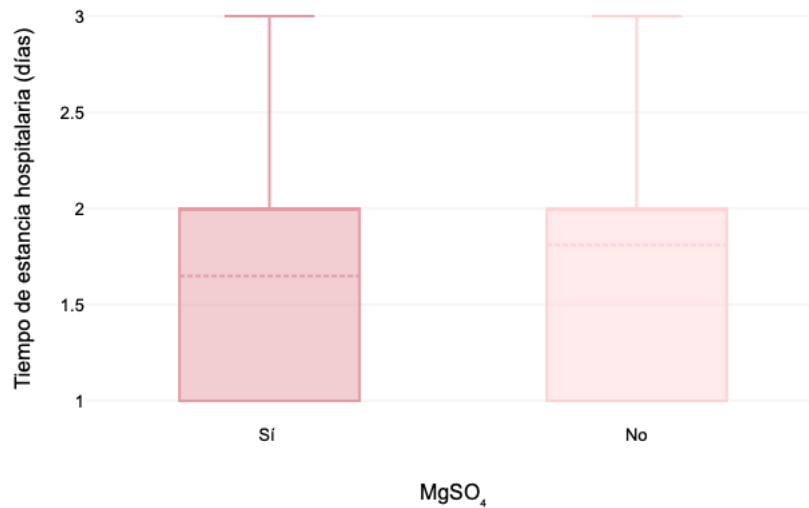
Figura 7. Distribución de los pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo según la EVA a las 24 horas y la administración de $MgSO_4$ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025



Fuente: Expediente

En cuanto al tiempo de estancia hospitalaria el grupo que recibió $MgSO_4$, la estancia hospitalaria media fue de 1.65 días, con una desviación típica de 0.63 y un error estándar de la media de 0.10. Por su parte, en el grupo sin administración de $MgSO_4$, la estancia hospitalaria media fue de 1.81 días, con una desviación típica de 0.70 y un error estándar de la media de 0.12. La comparación entre ambos grupos mediante la prueba t de Student para muestras independientes, no mostró diferencias estadísticamente significativas en el tiempo de estancia hospitalaria ($t = -1.04$; $gl = 72$; $p = 0.30$). La diferencia media entre los grupos fue de -0.16 días, con un intervalo de confianza del 95% comprendido entre -0.47 y 0.15 , (Figura 8).

Figura 8. Distribución de los pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo según la EVA a las 24 horas y la administración de MgSO₄ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025



Fuente: Expediente

En relación con la presencia de efectos adversos, la mayoría de los pacientes no presentó eventos secundarios asociados al manejo analgésico, con un total de 65 casos (87.84%). Las náuseas se observaron en 7 pacientes (9.46%), mientras que el vómito se registró en 2 pacientes (2.7%). Sin embargo, en el grupo que recibió MgSO₄ se documentaron náuseas en 5 pacientes (6.76%) y vómito en 1 paciente (1.35%), mientras que 31 pacientes (41.89%) no presentaron efectos adversos. En el grupo sin administración de MgSO₄, se registraron náuseas en 2 pacientes (2.7%), vómito en 1 paciente (1.35%) y ausencia de efectos adversos en 34 pacientes (45.95%). El análisis estadístico mediante la prueba exacta de Fisher no mostró valores estadísticamente significativos entre la

administración de MgSO₄ y la presencia de efectos adversos (Prueba exacta de Fisher= 1.42; gl = 2; p = 0.491), (Tabla 9).

Tabla 9. Distribución de los pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo según los efectos adversos presentados y la administración de MgSO₄ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025

		MgSO ₄					
		Sí		No		Total	
		n	%	n	%	n	%
Efectos adversos	Náuseas	5	6.76%	2	2.7%	7	9.46%
	Vómito	1	1.35%	1	1.35%	2	2.7%
	Ninguno	31	41.89%	34	45.95%	65	87.84%
Total		37	50%	37	50%	74	100%

Fuente: Expediente

Finalmente, en cuanto a la necesidad de analgésicos de rescate durante el periodo postoperatorio, 23 pacientes (31.08%) requirieron analgesia adicional, mientras que 51 pacientes (68.92%) no presentaron dicha necesidad. En el grupo que recibió MgSO₄, 8 pacientes (10.81%) requirieron analgésicos de rescate y 29 pacientes (39.19%) no los necesitaron. Por su parte, en el grupo sin administración de MgSO₄, 15 pacientes (20.27%) requirieron analgesia de rescate, mientras que 22 pacientes (29.73%) no la requirieron. El análisis estadístico mediante la prueba de X² no mostró valores estadísticamente significativos entre la administración de MgSO₄ y la necesidad de analgésicos de rescate ($\chi^2 = 3.09$; gl = 1; p = 0.079), (Tabla 10).

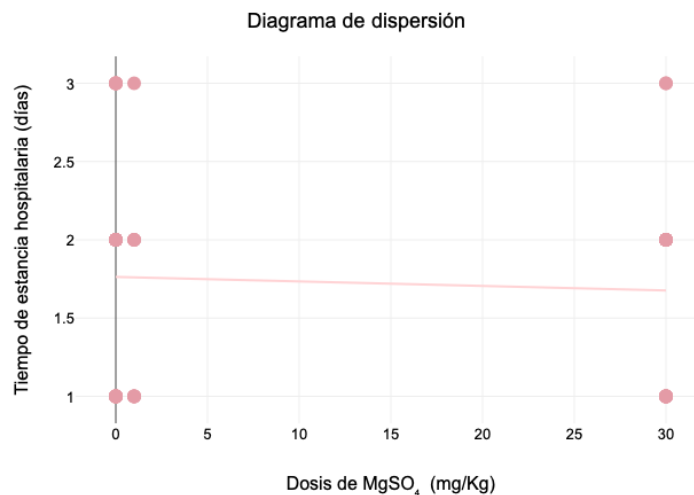
Tabla 10. Distribución de los pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo según la necesidad de analgésicos de rescate y la administración de MgSO₄ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025

		MgSO ₄					
		Sí		No		Total	
		n	%	n	%	n	%
Necesidad de analgésicos de rescate	Sí	8	10.81%	15	20.27%	23	31.08%
	No	29	39.19%	22	29.73%	51	68.92%
Total		37	50%	37	50%	74	100%

Fuente: Expediente

Al analizar la relación entre la dosis de MgSO₄, y el tiempo de estancia hospitalaria, no se identificó una correlación estadísticamente significativa entre ambas variables. El análisis de correlación mostró un coeficiente $r = -0.06$, con un valor de $p = 0.595$, (Figura 9).

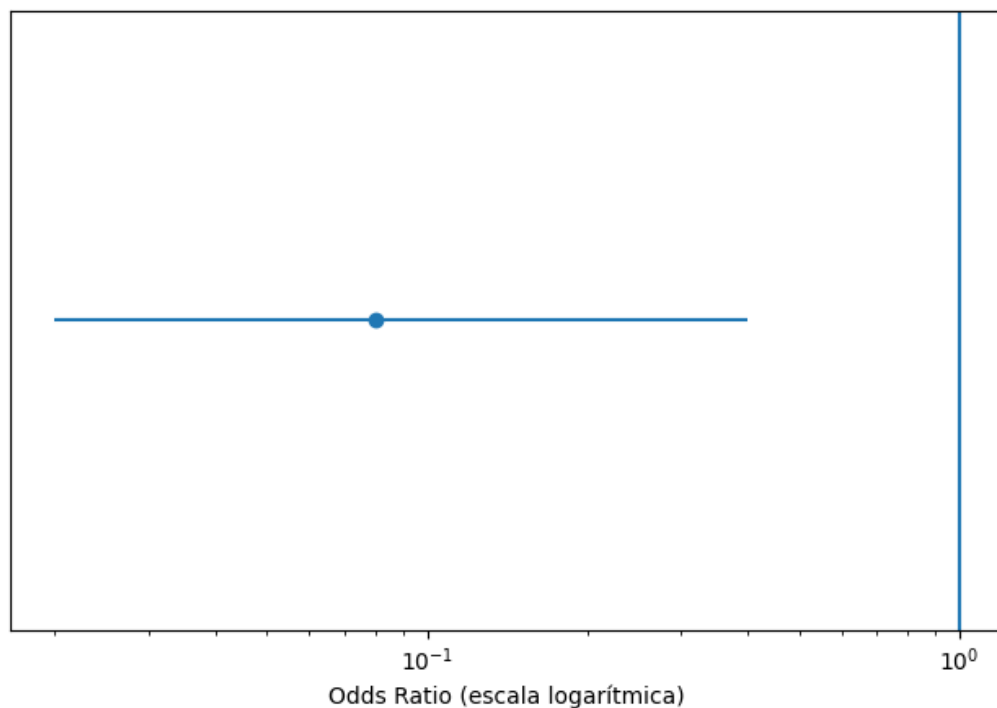
Figura 9. Distribución del tiempo de estancia hospitalaria y la administración de MgSO₄ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025



Fuente: Expediente

Con base en las diferencias estadísticamente significativas observadas en el análisis bivariado para la intensidad del dolor postoperatorio a las 12 horas, se construyó un modelo de regresión logística binaria con el objetivo de evaluar si la administración de sulfato de magnesio se asociaba de manera independiente con la reducción del dolor postoperatorio. El desenlace se definió como la presencia de dolor moderado a severo (EVA ≥ 6). El análisis mostró que la administración de sulfato de magnesio se asoció con una menor probabilidad de presentar dolor moderado a severo a las 12 horas del postoperatorio, con una odds ratio de 0.08 (IC 95%: 0.02–0.40), (Figura 10).

Figura 10. Odds ratio para dolor postoperatorio moderado–severo (EVA ≥ 6) a las 12 horas según la administración de $MgSO_4$ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025



Fuente: Expediente

IX.- DISCUSIÓN

Uno de los resultados principales del estudio fue el aumento en la duración de la analgesia postoperatoria en el grupo que recibió MgSO_4 (7.62 h) en comparación con el grupo control (4.86 h), con una diferencia media de 2.76 h ($p < 0.001$). Este patrón es congruente con la evidencia previa que describe al MgSO_4 como coadyuvante con potencial para prolongar el periodo libre de dolor o el tiempo al primer rescate analgésico en distintos contextos quirúrgicos. En cirugías ortopédicas, se ha descrito que el magnesio puede prolongar la duración de bloqueos regionales y reducir la necesidad de analgesia adicional en el postoperatorio inmediato (36). Si bien el presente estudio no se centró en un bloqueo regional como desenlace primario, la prolongación del intervalo analgésico observado es consistente con el efecto coadyuvante descrito en la literatura.

Además, los ensayos clínicos en cirugía ortopédica de extremidades inferiores reportaron prolongación de la analgesia cuando MgSO_4 se incorporó como adyuvante. Albrecht et al. observaron prolongación del bloqueo y menor requerimiento de analgesia adicional con MgSO_4 como adyuvante en anestesia intratecal en cirugía por fractura de tibia (38). De forma similar, Dori et al. reportaron mayor duración de analgesia y menores puntajes de dolor a 6 y 12 horas en el grupo con MgSO_4 intratecal frente a comparadores (39). En el mismo sentido, Kumar et al. describieron que la administración intravenosa de MgSO_4 se asoció con un intervalo libre de dolor más prolongado y menor necesidad de rescate (40). Aunque el tipo de cirugía y las vías de administración difieren entre estudios, en conjunto estos antecedentes ofrecen un marco coherente para interpretar el incremento en duración analgésica observado en cirugía de tobillo en el presente trabajo.

El análisis de EVA mostró diferencias a tiempos tempranos: a las 6 horas el grupo MgSO_4 presentó una media menor (3.57 vs 4.70; $p = 0.047$), y a las 12 horas la diferencia fue más marcada (5.76 vs 7.27; $p < 0.001$). En contraste, a las 24 horas la diferencia no fue estadísticamente significativa (7.62 vs 7.97; $p = 0.084$). Este comportamiento temporal es congruente con reportes previos donde el beneficio analgésico del MgSO_4 se observó principalmente en el periodo postoperatorio temprano.

En cirugía ortopédica, Dori et al. reportaron puntajes de dolor inferiores con MgSO_4 a las 6 y 12 horas (39), y Kumar et al. también describieron puntuaciones EVA más bajas en las primeras 24 horas cuando MgSO_4 se administró por vía intravenosa (40). En artroplastia total de cadera, Xu et al. observaron diferencias significativas en EVA en reposo a las 6 y 12 horas, sin diferencias sostenidas en otros puntos posteriores, incluyendo 24 y 48 horas (41). En concordancia, el presente estudio identificó diferencias en los primeros dos puntos de medición y ausencia de diferencia significativa a las 24 horas, lo que sugiere que el efecto del MgSO_4 podría ser más evidente durante el periodo inmediato y temprano del postoperatorio, cuando el componente nociceptivo y la respuesta inflamatoria inicial son más intensos y cuando el esquema analgésico basal puede mostrar mayor variabilidad individual.

Cabe destacar que, aunque la EVA a las 24 horas no alcanzó significancia estadística, el análisis mostró una diferencia media negativa (-0.35) con un intervalo de confianza que incluye el cero (-0.75 a 0.05), lo que es consistente con un efecto pequeño o con insuficiente potencia para detectar diferencias en ese punto temporal. Esto es compatible con la tendencia reportada en algunos estudios donde el beneficio se concentra en las primeras horas y tiende a atenuarse conforme avanzan las 24–48 horas, especialmente cuando se instauran analgesias complementarias o rescates que homogeneizan el dolor reportado.

La necesidad de analgesia de rescate fue menor en el grupo MgSO_4 (8/37) que en el grupo sin MgSO_4 (15/37), aunque la diferencia no alcanzó significancia estadística ($p = 0.079$). Este resultado puede interpretarse como una tendencia que es consistente con la reducción del dolor temprano y con la mayor duración de la analgesia, aun cuando el umbral estadístico no se alcanzó. En los antecedentes, metaanálisis y ensayos han descrito reducción del consumo de opioides o menor necesidad de analgesia adicional con MgSO_4 (35,36,38–41).

La mayoría de los pacientes no presentó efectos adversos (87.84%), y la comparación entre grupos para náuseas y vómito no mostró diferencias significativas ($p = 0.491$). Este perfil es consistente con los antecedentes que describen ausencia de incremento

sustancial de eventos adversos con MgSO_4 en algunos ensayos, especialmente cuando se compara con otros adyuvantes. En el ensayo de Dori et al., el grupo con neostigmina tuvo mayor incidencia de hipotensión, bradicardia y náusea/vómito, mientras que el grupo con MgSO_4 no presentó incrementos relevantes en esos eventos (39). Asimismo, Albrecht et al. reportaron que el MgSO_4 mejoró la calidad analgésica sin asociarse con eventos adversos significativos (38). En este estudio, aunque las náuseas se observaron con mayor frecuencia en el grupo MgSO_4 (5 vs 2), el número absoluto de casos fue bajo y la comparación no evidenció asociación significativa.

Dado el tamaño muestral y las características del desenlace, la interpretación del modelo debe considerar la estabilidad estadística y el número de eventos en cada categoría del desenlace. Aun así, el resultado es consistente con la evidencia previa que reporta menores puntajes de dolor en el periodo postoperatorio temprano con MgSO_4 en procedimientos ortopédicos (36,39–41), y se alinea con el patrón observado en su análisis bivariado para EVA a 6 y 12 horas.

Así pues, los resultados se integran con reportes previos donde el MgSO_4 se ha asociado con reducción del dolor temprano y prolongación de la analgesia (35,36,38–41). En el contexto nacional, donde se ha descrito una alta frecuencia de dolor agudo postoperatorio y presencia de dolor moderado–severo durante las primeras 24 horas (37), los datos obtenidos aportan evidencia en un escenario ortopédico específico (fractura de tobillo) y bajo un esquema de administración perioperatoria definido (30 mg/kg), mostrando cambios detectables principalmente en el periodo temprano.

X.- CONCLUSIÓN

En pacientes sometidos a cirugía por fractura de tobillo en el Hospital General Pachuca durante octubre a diciembre de 2025, la administración perioperatoria de MgSO_4 a dosis de 30 mg/kg se asoció con una mayor duración de la analgesia postoperatoria y con menores puntuaciones de dolor en el periodo temprano, particularmente a las 6 y 12 horas. A las 24 horas no se identificaron diferencias estadísticamente significativas en la intensidad del dolor. Asimismo, no se observaron diferencias significativas en el tiempo de estancia hospitalaria ni en la frecuencia de efectos adversos gastrointestinales entre los grupos. Aunque la necesidad de analgésicos de rescate fue menor en el grupo con MgSO_4 , esta diferencia no alcanzó significancia estadística. En el análisis de regresión logística binaria, la administración de MgSO_4 se asoció con una menor probabilidad de presentar dolor moderado a severo ($\text{EVA} \geq 6$) a las 12 horas del postoperatorio. Estos resultados sugieren que el MgSO_4 puede funcionar como coadyuvante analgésico principalmente durante el postoperatorio temprano en este tipo de cirugía.

XI.- RECOMENDACIONES

Se recomienda ampliar el tamaño de la muestra y el periodo de inclusión de los pacientes con el objetivo de incrementar la potencia estadística del estudio y permitir una evaluación más precisa de los desenlaces analgésicos, particularmente en aquellas variables que mostraron tendencias sin alcanzar significancia estadística. Asimismo, sería pertinente incorporar desenlaces funcionales y de recuperación temprana, como el tiempo a la deambulaci3n, la tolerancia a la movilizaci3n o la percepci3n de recuperaci3n por parte del paciente, con el fin de explorar si la mejoría en el control del dolor se asocia con beneficios clínicos adicionales. Finalmente, se sugiere ampliar la evaluaci3n de seguridad mediante el registro sistemático de variables hemodinámicas, nivel de sedaci3n y otros posibles eventos adversos, además de los efectos gastrointestinales, para contar con una caracterizaci3n más completa del perfil de seguridad del MgSO₄ en este contexto quirúrgico.

XII.- BIBLIOGRAFÍA

1. Hunt KJ, Baldin T, D'hooghe P, Pereira H. Biomechanics of the Ankle. In: Lateral Ankle Instability: An International Approach by the Ankle Instability Group. 2021.
2. Ebraheim NA, Taser F, Shafiq Q, Yeasting RA. Anatomical evaluation and clinical importance of the tibiofibular syndesmosis ligaments. *Surgical and Radiologic Anatomy*. 2006;28(2).
3. Golanó P, Vega J, de Leeuw PAJ, Malagelada F, Manzanares MC, Götzens V, et al. Anatomy of the ankle ligaments: A pictorial essay. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2010;18(5).
4. OpenStax. <https://philschatz.com/anatomy-book/contents/m46377.html>. 2025. *Anatomy and Physiology*.
5. Hermena S, Slane VH. *Ankle Fractures*. 2025.
6. Pflüger P, Harder F, Müller K, Biberthaler P, Crönlein M. Evaluation of ankle fracture classification systems in 193 trimalleolar ankle fractures. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*. 2022;48(5).
7. Swierstra BA, van Enst WA. The prognosis of ankle fractures: a systematic review. *EFORT Open Rev*. 2022;7(10).
8. Meinberg EG, Agel J, Roberts CS, Karam MD, Kellam JF. Fracture and Dislocation Classification Compendium-2018. *J Orthop Trauma*. 2018;32.
9. Warner SJ, Garner MR, Hinds RM, Helfet DL, Lorch DG. Correlation Between the Lauge-Hansen Classification and Ligament Injuries in Ankle Fractures. *J Orthop Trauma*. 2015;29(12).
10. Tengberg PT, Ban I. [Treatment of ankle fractures]. *Ugeskr Laeger*. 2018 Oct 8;180(41).
11. Verona M, Marongiu G, Cardoni G, Piras N, Frigau L, Capone A. Arthroscopically assisted reduction and internal fixation (ARIF) versus open reduction and internal fixation (ORIF) for lateral tibial plateau fractures: A comparative retrospective study. *J Orthop Surg Res*. 2019;14(1).

12. Aguilar JL, Montes A, Benito C, Caba F, Margarit C. Manejo farmacológico del dolor agudo postoperatorio en España. Datos de la encuesta nacional de la Sociedad Española del Dolor (SED). *Revista de la Sociedad Española del Dolor*. 2018;25(2).
13. Aydede M. Does the IASP definition of pain need updating? *Pain Rep*. 2019 Sep;4(5):e777.
14. Chakote K, Guggenheimer J. Implications of use of opioid-containing analgesics for palliation of acute dental pain. *J Opioid Manag*. 2019;15(1).
15. Botting R, Ayoub SS. COX-3 and the mechanism of action of paracetamol/acetaminophen. In: *Prostaglandins Leukotrienes and Essential Fatty Acids*. 2005.
16. Finnerup NB. Nonnarcotic Methods of Pain Management. *New England Journal of Medicine*. 2019;380(25).
17. Colloca L, Ludman T, Bouhassira D, Baron R, Dickenson AH, Yarnitsky D, et al. Neuropathic pain. *Nat Rev Dis Primers*. 2017 Feb 16;3(1):17002.
18. Queremel Milani DA, Davis DD. Pain Management Medications. *StatPearls*. 2021.
19. Stamer UM, Erlenwein J, Freys SM, Stammschulte T, Stichtenoth D, Wirz S. Perioperative analgesia with nonopioid analgesics. Vol. 62, *Anesthesiologie und Intensivmedizin*. 2021.
20. Loetsch J, Oertel B. NSAIDs, Pharmacokinetics. In: *Encyclopedia of Pain*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2013. p. 2350–61.
21. Khalil NA, Ahmed EM, Tharwat T, Mahmoud Z. NSAIDs between past and present; a long journey towards an ideal COX-2 inhibitor lead. *RSC Adv*. 2024;14(42):30647–61.
22. Ong CKS, Lirk P, Tan CH, Seymour RA. An evidence-based update on nonsteroidal anti-inflammatory drugs. Vol. 5, *Clinical Medicine and Research*. 2007.
23. Vonkeman HE, van de Laar MAFJ. Nonsteroidal Anti-Inflammatory Drugs: Adverse Effects and Their Prevention. Vol. 39, *Seminars in Arthritis and Rheumatism*. 2010.
24. Tyagi A, Mathur M, Salhotra R, Rautela RS. Minimum effective dose of intrathecal hyperbaric bupivacaine for cesarean section with and without prophylactic norepinephrine infusion: Randomized triple-blinded trial. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol*. 2024 Jul;40(3):491–7.

25. VEERING BT, BURM AGL, SPIERDIJK J. SPINAL ANAESTHESIA WITH HYPERBARIC BUPIVACAINE. *Br J Anaesth*. 1988 Feb;60(2):187–94.
26. Weigl W, Bieryło A, Wielgus M, Krzemień-Wiczyńska Ś, Kołacz M, Dąbrowski MJ. Perioperative analgesia after intrathecal fentanyl and morphine or morphine alone for cesarean section. *Medicine*. 2017 Dec;96(48):e8892.
27. Ebrie AM, Woldeyohanis M, Abafita BJ, Ali SA, Zemedkun A, Yimer Y, et al. Hemodynamic and analgesic effect of intrathecal fentanyl with bupivacaine in patients undergoing elective cesarean section; a prospective cohort study. *PLoS One*. 2022;17(7 July).
28. Guan J, Feng N, Yang K, Abudouaini H, Liu P. The efficacy and safety of ketorolac for postoperative pain management in lumbar spine surgery: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Syst Rev*. 2024 Nov 5;13(1):275.
29. Esparza-Villalpando V, Ortiz-Barroso G, Masuoka-Ito D. Evidence-based safety profile of oral ketorolac in adults: Systematic review and meta-analysis. *Pharmacol Res Perspect*. 2024 Dec 23;12(6).
30. Brummett CM, Williams BA. Additives to local anesthetics for peripheral nerve blockade. In: *International Anesthesiology Clinics*. 2011.
31. Li M, Jin S, Zhao X, Xu Z, Ni X, Zhang L, et al. Does Magnesium Sulfate as an Adjuvant of Local Anesthetics Facilitate Better Effect of Perineural Nerve Blocks?: A Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Clinical Journal of Pain*. 2016;32(12).
32. Mor A, Grossman Y. High pressure modulation of NMDA receptor dependent excitability. *European Journal of Neuroscience*. 2007 Apr 11;25(7):2045–52.
33. Duarte-Medrano G, Nuño-Lámbarri N, Cabal-Ruiz V, Minnuti-Palacios M, Dominguez-Franco A, Dominguez-Cherit JG. Sulfato de magnesio: un adyuvante esencial en anestesiología. *Revista Chilena de Anestesia*. 2024;53(5):488–94.
34. Choi GJ, Kim Y Il, Koo YH, Oh HC, Kang H. Perioperative magnesium for postoperative analgesia: An umbrella review of systematic reviews and updated meta-analysis of randomized controlled trials. Vol. 11, *Journal of Personalized Medicine*. 2021.

35. Avci Y, Rajarathinam M, Kalsekar N, Tawfic Q, Krause S, Nguyen D, et al. Unravelling the analgesic effects of perioperative magnesium in general abdominal surgery: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Brazilian Journal of Anesthesiology (English Edition)*. 2024 Jul;74(4):844524.
36. Sbitan L, Nabhan AI, Alafandi BZ, Alzraikat O, Alzraikat N. Magnesium sulfate for postoperative pain in orthopedic surgery: A narrative review. *Medicine*. 2024 Jun 14;103(24):e38522.
37. Luna Alonso Y, Guevara Valerio H, Romero Luna DI, Martínez Nápoles AR, Cortés Martínez LA, Bañuelos Ortiz E, et al. Estimación de la prevalencia, intensidad del dolor postoperatorio y satisfacción de los pacientes postoperados del Hospital Ángeles Lomas. *Acta Médica Grupo Ángeles*. 2020;18(2):133–9.
38. Albrecht E, Kirkham KR, Liu SS, Brull R. Peri-operative intravenous administration of magnesium sulphate and postoperative pain: A meta-analysis. Vol. 68, *Anaesthesia*. 2013.
39. Dori MM, Foruzin F. The analgesic efficacy of intrathecal bupivacaine and fentanyl with added neostigmine or magnesium sulphate. *Anesth Pain Med*. 2016;6(6).
40. Kumar A, Chaudhary UK, Kansal D, Rana S, Sharma V, Kumar P. Comparison of intravenous Magnesium Sulphate with intrathecal Magnesium Sulphate for postoperative analgesia in orthopaedic patients undergoing extracapsular hip fracture surgery. *Int J Basic Clin Pharmacol*. 2016;6(1).
41. Xu X, Wen H, Hu Y, Liu Z, Pan X. Efficacy of intra-articular magnesium for postoperative analgesia in total hip arthroplasty. *Biomed Rep*. 2017;6(2).
42. Choi GJ, Kim Y II, Koo YH, Oh HC, Kang H. Perioperative magnesium for postoperative analgesia: An umbrella review of systematic reviews and updated meta-analysis of randomized controlled trials. Vol. 11, *Journal of Personalized Medicine*. 2021.

XIII.- ANEXOS

XIII.1.- Anexo 1



Secretaría de Salud de Hidalgo
Hospital General Pachuca
Subdirección de Enseñanza e Investigación
Jefatura de Investigación
CONSENTIMIENTO INFORMADO

Fecha: _____.

Por medio de la presente, declaro que acepto participar de manera voluntaria en el proyecto de investigación titulado: "Evaluación de la eficacia analgésica en pacientes con cirugía por fractura de tobillo con y sin administración de $MgSO_4$ en el Hospital General Pachuca de octubre a diciembre de 2025".

Se me explicó que el objetivo principal de este estudio es conocer si el sulfato de magnesio ($MgSO_4$) ayuda a disminuir el dolor después de una cirugía de tobillo y si puede reducir la cantidad de medicamentos extras para controlarlo.

Durante la cirugía recibiré el tratamiento habitual para el dolor que se administra en el hospital.

- Si me asignan al grupo con $MgSO_4$, además recibiré este medicamento por la vena durante la operación, en la cantidad indicada por el estudio.

- Si me asignan al grupo sin $MgSO_4$, recibiré una solución similar por la vena pero que no contiene el medicamento, además del tratamiento habitual.

El sulfato de magnesio puede ocasionar en algunos casos molestias leves como enrojecimiento, somnolencia, mareo, náusea o malestar en el lugar de la aplicación. En raras ocasiones pueden presentarse efectos más fuertes, como disminución del ritmo del corazón, dificultad para respirar o debilidad muscular. Si llegara a presentarse cualquier problema, se suspenderá de inmediato el medicamento y recibiré la atención médica necesaria.

Este medicamento podría ayudar a mejorar el control del dolor y reducir la necesidad de otros fármacos que suelen tener más efectos secundarios. Sin embargo, no hay garantía de que obtenga este beneficio. La información que se obtenga servirá para mejorar la atención y manejo del dolor en otros pacientes con problemas similares.

Entiendo que mi participación es completamente voluntaria y que puedo retirarme en cualquier momento sin que esto afecte la calidad de la atención médica que reciba en el hospital. La información que se recoja será confidencial y se usará solo con fines académicos y científicos.

En caso de dudas o problemas relacionados con el estudio, puedo comunicarme con la responsable del proyecto, M. C. Diana Itzel Cruz Pelcastre, al teléfono 771-332-0956, o con la presidenta del Comité de Ética en Investigación del Hospital General de Pachuca, Dra. Maricela Soto Ríos, al teléfono 771-713-4649.

Nombre y firma del participante

Nombre y firma de testigo 1

Nombre y firma de testigo