

***EFFECTOS DE LAS SUSTANCIAS
CORROSIVAS SOBRE LOS ORIFICIOS DE
ENTRADA PRODUCIDOS POR
PROYECTILES DE ARMA DE FUEGO EN
SUPERFICIES ÓSEAS CON TEJIDO
BLANDO***

*Téc. Aranzazú Ailen Ortega
Téc. María Virginia Romano*



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ENTRE RÍOS

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

LICENCIATURA EN CRIMINALÍSTICA

Proyecto Final

**Efectos de las sustancias corrosivas sobre los orificios de
entrada producidos por proyectiles de arma de fuego en
superficies óseas con tejido blando.**

Estudiante:

Téc. Aranzazú Ailen Ortega, DNI 43.292.994

aranzaort18@gmail.com

Téc. María Virginia Romano, DNI 43.843.729

virgyromano@hotmail.com

Director:

Lic. Osvaldo Víctor Rossi

Co-Director:

Lic. Gastón Narcotti

Oro Verde E.R., diciembre 2025

Cátedra Proyecto Final

Lic. Virginia Ramírez

Lic. María Florentina Centurión

Lic. Fátima Miño

Tribunal Evaluador

Lic. Virginia Ramírez

Lic. María Florentina Centurión

Lic. Fátima Miño

Resumen

El uso de armas de fuego es una de las técnicas delictivas más frecuentes, y las acciones para ocultar estos hechos pueden incluir prácticas inimaginables y atroces. Por ello, el objetivo de esta investigación fue explorar los efectos que se producen sobre los orificios de entrada ocasionados por un proyectil de arma de fuego 9 x 19 mm en superficies óseas con tejido blando cuando se somete a una solución de soda cáustica o a una solución de ácido sulfúrico-ácido fosfórico. La población correspondió a cadáveres heridos por arma de fuego expuestos a sustancias corrosivas, y la muestra estuvo constituida por aquellos lesionados por proyectiles 9 x 19 mm inmersos en las soluciones mencionadas. La investigación tuvo un enfoque cuantitativo y un diseño cuasiexperimental, prospectivo y longitudinal. Se realizaron 27 disparos sobre muestras vacunas, se sumergieron en agua (control) y en las sustancias corrosivas, y se abrieron a los 15, 30, 60 y 90 días. En cada instancia se registraron las características de las muestras, los datos se organizaron en una tabla y las imágenes se clasificaron por apertura. Con el paso del tiempo, las muestras comenzaron a degradarse. La solución ácida fue la más destructiva: a los 15 días el orificio de entrada ya no pudo identificarse. En la solución básica, tras 60 días las muestras empezaron a desintegrarse, impidiendo identificar el orificio. En conclusión, ambas sustancias corrosivas produjeron alteraciones significativas en el orificio de entrada, dificultando la inferencia del calibre e incluso la identificación del orificio.

Palabras Claves

Balística de efecto, Orificio de entrada, Sustancias corrosivas, Descomposición, Eliminación de evidencia.

Agradecimientos

Queremos aprovechar esta oportunidad para expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas y lugares que han sido parte fundamental de nuestro recorrido.

En primer lugar, a los Profesores Osvaldo y Gastón, cuya dedicación y compromiso han sido una fuente constante de inspiración para nosotras. Gracias por su paciencia, por guiarnos en cada etapa de este proceso y por compartir con nosotras no solo conocimientos, sino también valores y enseñanzas que van más allá del aula. Su apoyo y pasión por lo que hacen nos motivaron siempre a seguir adelante y a enfrentar cada desafío con confianza.

A las bibliotecarias, Adriana y Silvina, que siempre estuvieron dispuestas a orientarnos y ayudarnos a encontrar todo lo que necesitábamos. Su calidez y disposición hicieron de la biblioteca un espacio aún más enriquecedor, donde nos sentimos siempre cómodas y apoyadas en nuestra búsqueda de conocimiento.

A la Facultad, le agradecemos por proporcionarnos un entorno de aprendizaje tan enriquecedor, con recursos y oportunidades que nos permitieron desarrollarnos como estudiantes y como personas.

Al Tiro Federal, por habernos brindado las instalaciones para poder llevar a cabo nuestras actividades. El espacio que nos ofrecieron fue mucho más que un lugar físico; fue un símbolo de hospitalidad y un punto de encuentro para compartir experiencias que enriquecieron nuestra formación.

Queremos agradecer a todas las personas que generosamente nos donaron los frascos para nuestra investigación. Su apoyo, aunque pueda parecer un gesto pequeño, fue clave para continuar con nuestro trabajo. Estamos profundamente agradecidas por su colaboración.

A todos ellos, les debemos mucho. Gracias por su apoyo incondicional y por haber sido parte de este camino que ahora, con gratitud, recordamos.

Aranzazú

Durante estos años aprendí muchísimas cosas y compartí este camino con personas valiosas, cuyo apoyo y compañía fueron fundamentales para mi desarrollo personal y académico. En primer lugar, quiero agradecerme a mí misma por no rendirme, incluso en los momentos más difíciles, y por mantener la fe en que todo esfuerzo, siempre vale la pena.

Agradezco a mi mamá, por su amor incondicional, por ser mi ejemplo de fortaleza, por cada palabra de aliento y creer en mí incluso cuando yo dudaba. A mi hermano por las risas, por su cariño y acompañamiento el cual me recordaba que nunca estaba sola. A mi abuela, por sus oraciones en los momentos de estudio y por su amor eterno. A mi tía por su cariño en cada abrazo y por ser mi ejemplo de dedicación y esfuerzo. A mi abuelo y a mi primo, por acompañarme en todo momento desde el cielo y enviarme fortalezas. Este logro se los dedico a ustedes, porque sin su amor y compañía, este camino habría sido mucho más difícil.

A mis besties, gracias por su amistad sincera, por sus palabras de aliento, sus risas y su compañía cuando más lo necesitaba y por celebrar conmigo cada pequeño logro. Su amistad fue un refugio y una fuente de fuerza constante.

A mis facu amigas, gracias por las charlas interminables, las risas compartidas y hasta los llantos que vivimos juntas. Gracias por estar presentes en los días difíciles y por hacer que cada momento de esta etapa fuera más llevadera e inolvidable. Son recuerdos que guardaré para siempre.

A mi amiga y compañera de tesis, agradezco a la vida por hacernos sentar juntas aquel primer día de clases, por compartir durante todos estos años momentos de esfuerzo, risas y locuras. No solo logramos una tesis, sino también una amistad que valoro profundamente.

Al llegar al final de esta etapa, me llevo conmigo no solo el conocimiento, sino también los recuerdos y la gratitud por quienes hicieron de este proceso algo verdaderamente especial.

¡Muchísimas gracias!

María Virginia

A lo largo de este proceso aprendí mucho más de lo que imaginaba, no sólo en lo académico, sino también en lo personal. Nunca hubiese llegado hasta acá sin el eterno apoyo de mis papás, a quienes agradezco la paciencia y el amor incondicional en cada paso y decisión que tomé en mi vida. Sin ellos, ni mis hermanos -con sus charlas, risas y siendo mi sostén cuando las cosas se me iban de las manos-, el camino hubiese sido difícil de afrontar; por eso les dedico este trabajo.

Agradezco a mis amigos suardenses, por cada mensaje y llamada, y por hacerme sentir que siempre estuve acompañada, incluso a la distancia.

A mis gurisas entrerrianas, porque no solo formamos una amistad, sino una compañía constante en cada hora de cursado, siempre con el mate en la mano. Gracias por ser apoyo en los momentos difíciles, cuando lo que más se necesitaba era distracción y risas, y no estudio ni trabajos.

A mi CdC, que en los días más difíciles que me tocaron afrontar, estuvieron ahí sin importar la fecha y la hora. Gracias por abrirme las puertas de sus casas y familias, para que cada tanto me sintiera como en mi hogar.

A mi compañera de tesis y amiga desde el primer día que puse un pie en la facultad. Es un orgullo enorme haber compartido con vos estos seis años: cada experiencia, cada desafío y cada logro. Gracias por abrirme las puertas de tu casa, por la compañía constante y por hacer de este camino algo mucho más lindo.

Y a todos los que me acompañaron en el proceso, gracias. Esta provincia me deja recuerdos hermosos; me alegra el corazón haber pertenecido, aunque mi paso haya sido corto, a este lugar donde la gente es tan cálida y brindada. ¡Muchísimas gracias!

Hoy cierro esta etapa con el corazón lleno de gratitud por todo lo vivido y por quienes hicieron de este camino algo inolvidable.



ÍNDICE

“Efectos de las sustancias corrosivas sobre los orificios de entrada de proyectiles de arma de fuego.”

Índice

<i>Resumen</i>	4
<i>Palabras Claves</i>	4
<i>Agradecimientos</i>	5
<i>Índice de Figuras</i>	11
<i>Índice de Tablas</i>	13
<i>Introducción</i>	14
<i>Planteamiento del Problema</i>	17
<i>Formulación</i>	17
<i>Objetivos</i>	18
<i>Objetivo General</i>	18
<i>Objetivos Específicos</i>	18
<i>Justificación y Relevancia Social</i>	18
<i>Bases del Proyecto</i>	20
<i>Marco Teórico</i>	21
<i>Criminalística y Balística</i>	21
<i>Química</i>	23
<i>Medicina Legal</i>	26
<i>Marco Legal</i>	28
<i>Estado del Arte</i>	30
<i>Propuesta Metodológica</i>	32
<i>Enfoque y diseño.</i>	33
<i>Población y Muestra</i>	33
<i>Variables</i>	34

<i>Recolección de Datos</i>	35
<i>Objetivo Específico 1.</i>	37
<i>Objetivo Específico 2.</i>	38
<i>Objetivo Específico 3.</i>	38
<i>Análisis de Datos</i>	40
<i>Instrumento 1, 5 y 6</i>	40
<i>Instrumento 2, 4 y 7</i>	40
<i>Prueba piloto, Hallazgos y Discusión de resultados</i>	41
<i>Prueba piloto</i>	42
<i>Hallazgos de la Prueba Final</i>	45
<i>Discusión de resultados</i>	59
<i>Conclusiones</i>	61
<i>Recomendaciones</i>	65
<i>Referencia Bibliográfica y Bibliografía</i>	68
<i>Anexos</i>	73

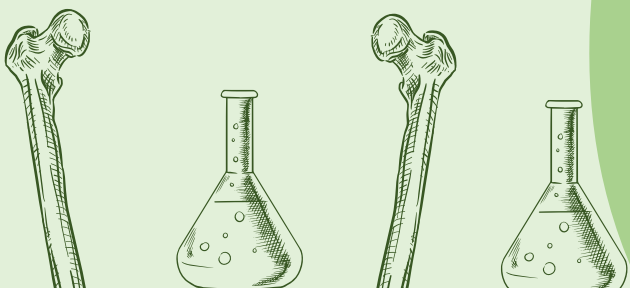
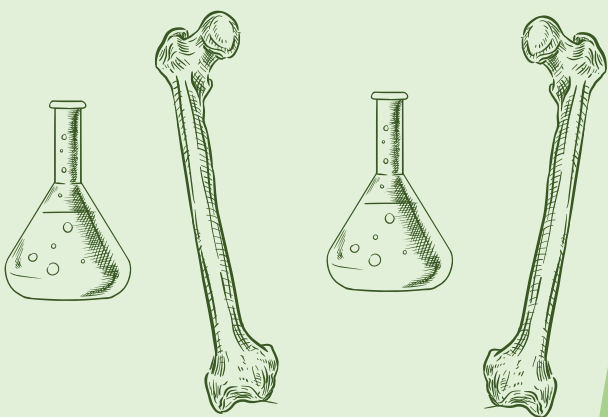
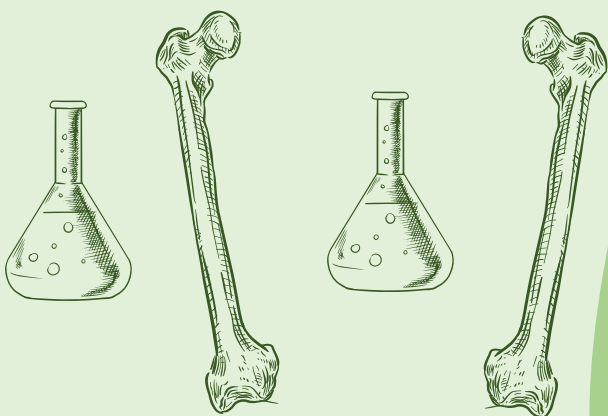
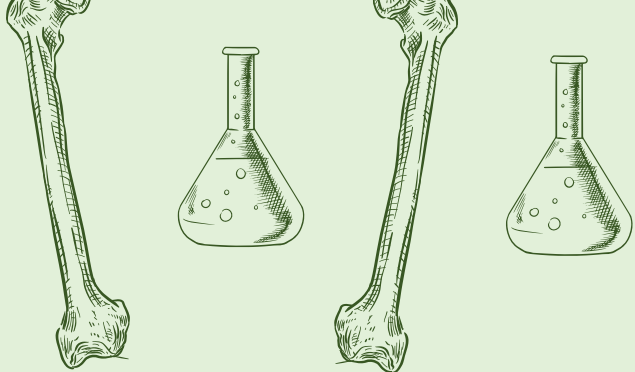
Índice de Figuras

Figura 1 Calibre en ánima rayada	22
Figura 2 Ahumamiento sobre piel	23
Figura 3 Rótulo y etiqueta para materiales corrosivos	24
Figura 4 Arma de fuego y cartuchería utilizada	35
Figura 5 Etiquetado de los frascos	36
Figura 6 Sustancias corrosivas utilizadas	36
Figura 7 Estantería con las muestras	37
Figura 8 Resultados de Prueba Piloto	44
Figura 9 Condiciones de control, 15 días	45
Figura 10 Solución ácida, 15 días	47
Figura 11 Solución básica, 15 días	48
Figura 12 Condiciones de control, 30 días	49
Figura 13 Solución ácida, 30 días	50
Figura 14 Solución básica, 30 días	51
Figura 15 Condiciones de control, 60 días	52
Figura 16 Solución ácida, 60 días	54
Figura 17 Solución básica, 60 días	55
Figura 18 Condiciones de control, 90 días	56
Figura 19 Solución ácida, 90 días	57
Figura 20 Solución básica, 90 días	58
Figura 21 Preparación del corte vacuno	74
Figura 22 Arma de fuego y cartuchería usada	75
Figura 23 Registro y control de muestra	75
Figura 24 Preparación de los frascos	76

Figura 25 <i>Frascos organizados por apertura</i>	76
Figura 26 <i>Trabajo de campo, apertura 15 días</i>	77
Figura 27 <i>Tabla de datos</i>	86

Índice de Tablas

Tabla 1	<i>Productos utilizados en la Prueba Piloto</i>	42
Tabla 2	<i>Mediciones. Condiciones de control, 15 días</i>	46
Tabla 3	<i>Mediciones. Soda cáustica, 15 días</i>	48
Tabla 4	<i>Mediciones. Condiciones de control, 60 días</i>	53
Tabla 5	<i>Mediciones. Condiciones de control, 90 días</i>	56
Tabla 6	<i>Mediciones. Soda cáustica, 90 días</i>	59
Tabla 7	<i>Tabla compacta, condiciones de control</i>	78
Tabla 8	<i>Tabla compacta, solución de ácido sulfúrico-ácido fosfórico</i>	80
Tabla 9	<i>Tabla compacta, solución de soda cáustica</i>	83



INTRODUCCIÓN

“Efectos de las sustancias corrosivas sobre los orificios de entrada de proyectiles de arma de fuego.”

Introducción

Muchas veces, nos sentamos a ver series o películas como *Breaking Bad*, *Chicago P.D.* o *Sicario*, y nos encontramos con escenas que parecen sacadas directamente de la imaginación más retorcida de un guionista. Situaciones como el uso de ácidos para disolver cuerpos, eliminar rastros de ADN o destruir evidencia incriminatoria pueden parecer excesivamente dramáticas o poco realistas. A menudo, asumimos que estos elementos forman parte del mundo ficticio del entretenimiento, diseñados para impactar al espectador y elevar la tensión de la trama.

Sin embargo, lo inquietante es que estas prácticas no se quedan en la pantalla. En la realidad existen casos en los que métodos similares han sido empleados por asesinos, organizaciones criminales o sicarios. Lo que en principio podría parecer ciencia ficción, tiene su correlato en el mundo real, donde las personas llevan a cabo procedimientos que superan la imaginación.

Utilizar sustancias corrosivas intencionalmente para encubrir la posible identificación o para deshacerse completamente de un cuerpo, es una técnica que se ha observado en algunos casos de renombre como *El Vampiro de Londres* en la década de 1940, los casos de Jeffrey Dahmer desde 1970 a 1990, o *El Pozolero* en los años 2000.

Así mismo, una técnica que utilizan los criminales para provocar daño o incluso la muerte de las personas, es el uso de armas de fuego. Debido a esto es relevante orientar el presente estudio hacia la rama de la balística.

Como futuros profesionales, es importante abordar una de las posibilidades que puede llegar a presentarse en un hecho, ya que las acciones de los delincuentes por tratar de cubrir sus actos los puede llevar a hacer cosas inimaginables y atroces. Y es a causa de este tipo de casos delictivos y al constante uso de armas de fuego, lo que conduce a estudiar aquellos efectos que se podrían generar por el contacto de las sustancias corrosivas sobre el orificio por donde

ingresó el proyectil de un arma de fuego, siendo capaz de interferir en su identificación e incluso en la aproximación del calibre.

Planteamiento del Problema

La problemática surge en la biblioteca de la Facultad de Ciencia y Tecnología, al revisar proyectos finales de los egresados para encontrar algún tema de interés. Fue en ese contexto que, al leer el proyecto titulado *Aproximación del calibre de un arma de fuego según el impacto de proyectiles en restos óseos carbonizados* de Burgalat y Manasseri, surgió la idea. Y es que, si se considera la cantidad de casos de homicidios en los que interviene un arma de fuego, así como la necesidad de algunos delincuentes de eliminar rápidamente el cadáver para evitar ser descubiertos, puede deducirse que el responsable sería capaz de recurrir a métodos extremos con tal de alcanzar su objetivo, lo que representaría un inconveniente al momento de realizar el trabajo, ya que son métodos poco comunes, pero no inviables.

Una maniobra muy utilizada en mafias influyentes de países como México e Italia es la sumersión de los cadáveres en algún tipo de sustancia corrosiva, como lo es el ácido sulfúrico, muriático o soda cáustica. Aunque esta técnica no es de las más utilizadas en nuestro país, existe un caso conocido en donde se apeló al uso de este procedimiento: el de Jorge Salomón Sauan, ocurrido en Rosario en 1980 (*El Litoral*, 2022), el cual, posteriormente inspiró la novela *Un Crimen Argentino* (Sietecase, 2002), y su adaptación cinematográfica (Combina, 2022).

Uno de los desafíos que podría surgir en el futuro como peritos es la identificación y aproximación del calibre del arma de fuego empleada en un hecho cuando el cadáver es sometido, en este caso, a una sustancia corrosiva, tal como una solución de soda cáustica (NaOH) o una solución de ácido sulfúrico-ácido fosfórico (H_2SO_4/H_3PO_4).

Formulación

¿Qué efectos se producen sobre el orificio de entrada ocasionado por un proyectil de arma de fuego 9 x 19 mm en superficies óseas con tejido blando cuando se somete a una solución de soda cáustica o a una solución de ácido sulfúrico-ácido fosfórico?

Objetivos

Objetivo General

Explorar los efectos que se producen sobre los orificios de entrada ocasionados por un proyectil de arma de fuego 9 x 19 mm en superficies óseas con tejido blando cuando se somete a una solución de soda cáustica o a una solución de ácido sulfúrico-ácido fosfórico.

Objetivos Específicos

1. Comparar los orificios de entrada en su estado de descomposición sin acelerantes con aquellos sometidos a las sustancias corrosivas.
2. Determinar si el diámetro de los orificios de entrada sometidos a sustancias corrosivas permite aproximar el calibre del arma de fuego utilizada.
3. Explorar las diferencias en las muestras observadas según si fueron sometidas a una solución o a otra.

Justificación y Relevancia Social

Teniendo en cuenta que no existe información publicada disponible donde se explique el comportamiento de los restos óseos afectados por proyectiles de arma de fuego y sometidos a sustancias corrosivas, es que se presenta esta investigación. Así, cuando el día de mañana los profesionales deban enfrentarse a hechos delictivos con estas características, puedan recurrir a un antecedente, ya que la identificación y la aproximación del calibre del proyectil es un aspecto crucial para la investigación judicial, debido a que nos permite reducir el rango de los posibles calibres del arma empleada en el delito.

Elegimos utilizar una solución de soda cáustica y una solución de ácido sulfúrico y ácido fosfórico como sustancias corrosivas porque poseen propiedades diferentes, una es una solución básica, y, la otra, es una solución ácida; también por su fácil acceso en el mercado ya que, para

la formación de la solución básica, se adquirió en una ferretería un *desengrasante a base de soda cáustica*, y, para la solución ácida, se obtuvo en una veterinaria un producto conocido como *LAC Plus - Limpiador ácido desincrustante de baja espuma para superficies y sistemas CIP*; además por las grandes cantidades que se pueden obtener, ya que el día de mañana cuando el perpetrador necesite deshacerse de un cadáver requerirá de un volumen considerable de estas sustancias para lograr su cometido.



BASES DEL PROYECTO

*“Efectos de las sustancias corrosivas sobre los
orificios de entrada de proyectiles de arma de fuego.”*

Bases del Proyecto

Marco Teórico

Criminalística y Balística

Para iniciar con los fundamentos que avalan este proyecto, es importante destacar desde un principio la definición de la *criminalística*. Según Ccaza Zapana (2012):

La Criminalística es la ciencia de carácter empírico e interdisciplinario, que mediante la integración de diversos métodos y técnicas estudia, verifica, examina y analiza vestigios, indicios y evidencia de toda índole y origen, en y/o dejados por cualquier individuo -sea este presunto culpable de la comisión de un delito, o un sujeto totalmente ajeno a cualquier tipo de proceso judicial-, organismo u objeto a efectos de determinar las circunstancias, medios e individuos implicados en el hecho que dio lugar a su estudio e intervención. (p. 9)

Como dice la definición, esta ciencia abarca muchas disciplinas, siendo una de ellas la *balística*, que Albarracín (1971) define como “ciencia y arte que estudia integralmente las armas de fuego, el alcance y dirección de los proyectiles que disparan y los efectos que producen” (p.181).

En este contexto se encuentra la *balística forense*, disciplina que “se encarga de investigar el comportamiento simple o complejo de las balas, así como del examen de las trazas relacionadas con el uso de armas de fuego, las que se ven involucradas en eventos presuntamente criminales” (Vidrio, 2007, p. 291).

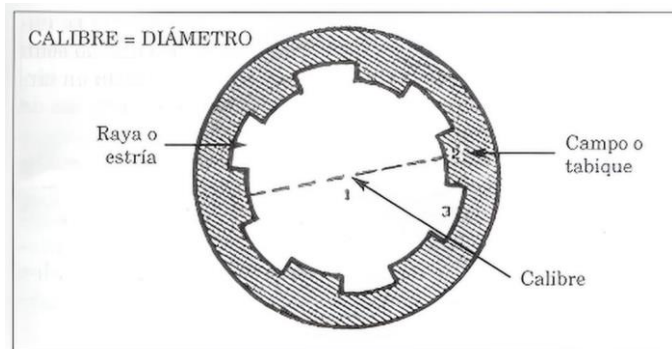
La balística, en busca de mejorar su estudio, se divide en tres grandes ramas: interior, exterior y de *efectos*; esta última es la que se utilizará en este proyecto ya que la misma “se encarga del estudio de las consecuencias y los efectos que puede producir el proyectil disparado por un arma de fuego, desde el primer impacto hasta que se haya detenido” (Silveyra, 2008, p. 161).

Se considera necesario entender el significado de *calibre*; según Ferreyro (2011) “el calibre representa una dimensión, y esa dimensión es la que nos da el diámetro del ánima del cañón y, gráficamente, el diámetro del proyectil” (p. 89). En el caso de las armas de ánima rayada, Cibrián Vidrio (2007) dice que el calibre “se establece por la distancia entre dos campos o tabiques directamente opuestos del interior del cañón” (p. 62), este se considera como el *calibre real mínimo*.

Debido a que en esta

Figura 1

Calibre en ánima rayada



Nota. Adaptado de *Balística técnica y forense* (p.62), por Cibrián Vidrio, 2007, Ediciones La Rocca.

investigación se apunta a los daños que pueden producir las armas de fuego, es indispensable fundamentar respecto a las lesiones sobre el cuerpo humano producidas por proyectiles de armas de fuego. Según Barreiro (2010), “las lesiones producidas por arma de fuego son las que se provocan por la penetración de un proyectil en el cuerpo de la persona generando una herida u orificio de entrada” (p. 150). Enfatizando en el *orificio de entrada*, el mismo autor lo define como “el provocado por el proyectil al ingresar al cuerpo humano, guardando proporción con este, pero apenas más chico, dependiendo del plano con el que choque el elemento proyectado y la elasticidad que tenga el tejido humano” (p. 151). Según su morfología, Flores (2015) lo describe como “forma redondeada u ovoidea, depende del ángulo de incidencia del proyectil. Si su ingreso es perpendicular (90°) será redondeada” (p. 167).

Se pueden observar diferentes signos dependiendo de la distancia desde la que se ejecuta el disparo (a boca de jarro, quemarropa, corta distancia, larga distancia); en esta investigación se busca destacar la *distancia a quemarropa*, ya que constituye el intervalo en el

cual se realizarán los disparos; esta se entiende como “heridas provocadas a distancias no mayores de 5 a 15 centímetros. Entre las características que hallaremos son: 1) el orificio de entrada; 2) el halo de Fisch; 3) el tatuaje; 4) el ahumamiento, y 5) quemaduras sobre la piel” (Barreiro, 2010, p. 151).

Debido a que el *ahumamiento* fue hallado sobre las muestras, resulta necesario definirlo; el mismo también es conocido como *falso tatuaje*, denominado así ya que está formado por el depósito del negro de humo, que se adhiere superficialmente y desaparece con el lavado (Patitó, 2012; Rojas, 1984).

Figura 2

Ahumamiento sobre piel



Nota. Adaptado de *Gunshot Wounds. Practical Aspects of Firearms, Ballistics, and Forensic Techniques*. (3er ed.) (p.58 y 61), por Di Maio, V, 2016, CRC Press / Taylor & Francis Group.

Química

Resulta importante hacer un poco de énfasis sobre las sustancias que se utilizarán, algunas definiciones y características para tener en cuenta.

Para iniciar, la diferenciación entre cáusticos y corrosivos. Según la Real Academia Española (s.f.), un *cáustico* es, por definición, “una cosa: Que quema y destruye los tejidos animales”. Además, Flores (2015) señala que los cáusticos se definen de la siguiente manera:

Son aquellas sustancias que, puestas en contacto con los tejidos orgánicos, reaccionan químicamente con ellos produciendo su desorganización más o menos profunda, que puede llegar incluso a su destrucción. Estas sustancias se pueden clasificar en ácidos, álcalis, sales y gases. (p. 225)

Por su parte, un *corrosivo*, según la Real Academia Española (s.f.), es una sustancia “que corroe o tiene la propiedad de corroer”. También puede definirse como “cualquier material que atacará y destruirá, mediante acción química, cualquier tejido vivo con el que entre en contacto” (Fire, 2009, p. 263).

Estos tipos de materiales fueron clasificados dentro de la «Clase 8» por la Organización de Naciones Unidas (ONU), en un documento oficial denominado *Recomendaciones relativas al Transporte de Mercancías Peligrosas*; según Burke (2013) “los corrosivos se agrupan en la Clase 8 porque los efectos corrosivos de los ácidos y las bases son muy similares en los tejidos y metales, si

entran en contacto con ellos” (p. 435). Existen dentro de esta clase dos tipos: ácidos y bases.

Burke (2013) expone que las soluciones ácidas se consideran ácidas, es decir aquellas que tienen un valor en la escala de pH de 1 a 6,9, y que cuanto menor es el número de pH, más ácida es una solución ácida; mientras que las soluciones básicas se consideran alcalinas, esto es, las que tienen valores en la escala de 7,1 a 14, y viceversa, cuanto mayor es el número de pH, más alcalina es una solución básica. Aquellos materiales con un valor de pH de 7 se

Figura 3

Rótulo y etiqueta para materiales corrosivos



Nota. Adaptado de *The Common Sense Approach to Hazardous Materials* (p.264), por Frank L. Fire, 2009, PennWell. Corporation.

consideran neutros. El pH es una medida logarítmica de la concentración de iones de hidrógeno expresada en una escala del 1 al 14.

Dicho y aclarado esto, se prosigue con las definiciones de *base* y *ácido*. Las *bases* se caracterizan por contener el ion hidróxido (OH^-), lo que las hace químicamente activas. Además, al tratarse de compuestos iónicos e inorgánicos, se las concibe como los opuestos de los ácidos inorgánicos (Fire, 2009). Dentro de estos compuestos se encuentra el *hidróxido de sodio*, NaOH, también conocido como *soda cáustica*, *sosa cáustica* o *lejía*; es una base fuerte, con un pH de solución de 13, muy corrosiva, irritante, deliquescente¹ y no combustible. Es un sólido blanco presentado en forma de perlas, copos o gránulos; es soluble en agua y reactivo a ella, generando una gran cantidad de calor al disolverse en esta, y absorbe el agua y el dióxido de carbono. Es extremadamente corrosivo para los tejidos en presencia de humedad (Burke, 2013; Fire, 2009).

Ahora bien, un *ácido* es definido como “un compuesto que contiene uno o más ‘hidrógenos débilmente retenidos’ y es muy activo químicamente” (Fire, 2009, p. 264). Estos se subdividen en orgánicos e inorgánicos, difieren entre ellos principalmente por la presencia del compuesto carbono en la fórmula: los ácidos inorgánicos no contienen carbono, y generalmente los primeros no son tan fuertes como los últimos, esto es debido a que los ácidos inorgánicos o minerales se ionizan² considerablemente más que los orgánicos (Burke, 2013; Fire, 2009). Un término que se puede asociar a los ácidos, e incluso a los corrosivos, es la *concentración*: cantidad de ácido que se mezcla con agua, generalmente expresado en porcentaje; si, por ejemplo, obtenemos una concentración del 98% de ácido sulfúrico, es porque el 98% es ácido sulfúrico y el otro 2% es agua; o si tenemos una solución del 50% de ácido nítrico, 50% será ácido nítrico y 50% será agua (Burke, 2013).

¹ Que tiene la propiedad de absorber la humedad del aire hasta formar una disolución acuosa. (Real Academia Española, s.f.)

² Método por el cual se producen iones, los cuales son átomos (o moléculas) cargadas eléctricamente, debido al exceso o falta de electrones respecto a átomo (o molécula) neutro (Tovar, 2017).

Dentro de los ácidos inorgánicos se hallan el ácido sulfúrico y el fosfórico.

El *ácido sulfúrico*, H_2SO_4 , es uno de los ácidos más fuerte y corrosivo conocido, con un pH de solución de 1,2. Es un líquido denso y aceitoso, que varía de color incoloro a marrón oscuro, dependiendo su pureza. Es muy reactivo y disuelve la mayoría de los metales, además es considerado tóxico, debido principalmente a que su corrosividad destruye muchos tejidos. Es miscible con el agua, pero también reacciona violentamente con ella, produciendo enormes cantidades de calor y salpicaduras explosivas (Burke, 2013; Fire, 2009).

El *ácido fosfórico*, H_3PO_4 , es un corrosivo que se puede presentar como un sólido cristalino, tóxico, irritante, higroscópico y no combustible (a temperatura ambiente) o como un líquido incoloro, inodoro y efervescente, dependiendo de la concentración y la temperatura que presente; es soluble en agua y absorbe el oxígeno fácilmente. Su corrosividad afecta a metales ferrosos y aleaciones, y es irritante para la piel y los ojos (Burke, 2013; Fire, 2009).

Medicina

Es fundamental también tener ciertos criterios sobre cómo actúan estas sustancias, sean bases o ácidos, sobre la piel del cuerpo humano.

Los *álcalis* producen una lesión cuando entran en contacto con la piel mediante el ion OH^- ; al combinarse con las proteínas y con las grasas forman jabones, generando escaras blandas, húmedas y untuosas de color blanquecino al tacto, produciendo el fenómeno de *saponificación*, de un color rojo ya que disuelve la hemoglobina (Flores, 2015; González, 2004; Patitó, 2012).

Los *ácidos*, en cambio, generan una acción lesiva, y dependen del ion H^+ , siendo este el responsable de los efectos cáusticos que se producen por la coagulación de la albúmina orgánica (Flores, 2015; González, 2004; Patitó, 2012).

Cuando se trata de la sumersión de un cuerpo humano en una cantidad considerable de ácido sulfúrico, por ejemplo, este se desintegra casi por completo y se transforma en un líquido oscuro, salvo el cabello, que por su estructura histológica especial logra resistir la acción del ácido (Trujillo Nieto, 1999).

Marco Legal

Este proyecto se basa en ciertas cuestiones legales que son importantes de destacar.

Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos - SGA (Global Harmonized System - GHS)

El *Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA)* es, según el Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social (s.f.), “un sistema integral de comunicación de peligros de alcance internacional”. En Argentina, su aplicación se encuentra regulada por la *Resolución SRT N.º 801/2015* y sus modificatorias.

El mismo organismo explica que “el SGA forma parte de un marco de acción reconocido a nivel mundial que implica la adopción de un etiquetado claro y uniforme, así como la disponibilidad de fichas de seguridad estandarizadas y en nuestro idioma”. Este sistema establece criterios de clasificación basados en las propiedades “físicoquímicas, toxicológicas o ecotoxicológicas del producto y sus efectos sobre la salud y el medio ambiente”, agrupando los peligros en categorías —por ejemplo, “corrosivos” como peligro para la salud humana— (Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social, s.f.).

Recomendaciones Relativas al Transporte de Mercancías Peligrosas - Clasificación

Según las *Recomendaciones Relativas al Transporte de Mercancías Peligrosas —Reglamentación Modelo* de las Naciones Unidas (UN, 2019), “las sustancias (comprendidas las mezclas y soluciones) y los objetos sometidos a la presente Reglamentación se adscriben a una de las nueve clases siguientes según el peligro o el más importante de los peligros que presenten” (p. 55).

Dentro de dichas clases, la de interés para esta investigación es la **clase 8**, definida como: “sustancias corrosivas que, por su acción química, causan lesiones irreversibles en la

piel o que, si se produce una fuga, pueden causar daños de consideración a otras mercancías o a los medios de transporte” (UN, 2019, p. 173).

Respecto a las armas de fuego

Debido a que se trabajó con armas de fuego y munición real, se considera necesario destacar que toda manipulación de los nombrados fue bajo la Ley Nacional N° 20.429 de Armas y Explosivos, al Decreto N.° 395/75, reglamentación de dicha ley, y al Decreto N.° 302/83, respecto al control de pólvoras y explosivos.

Además, se tuvo en cuenta al Registro Nacional de Armas (RENAR), una entidad gubernamental que se encarga de registrar, fiscalizar y controlar las armas de fuego, otros materiales controlados y a sus usuarios en el país, con excepción del armamento de las Fuerzas Armadas.

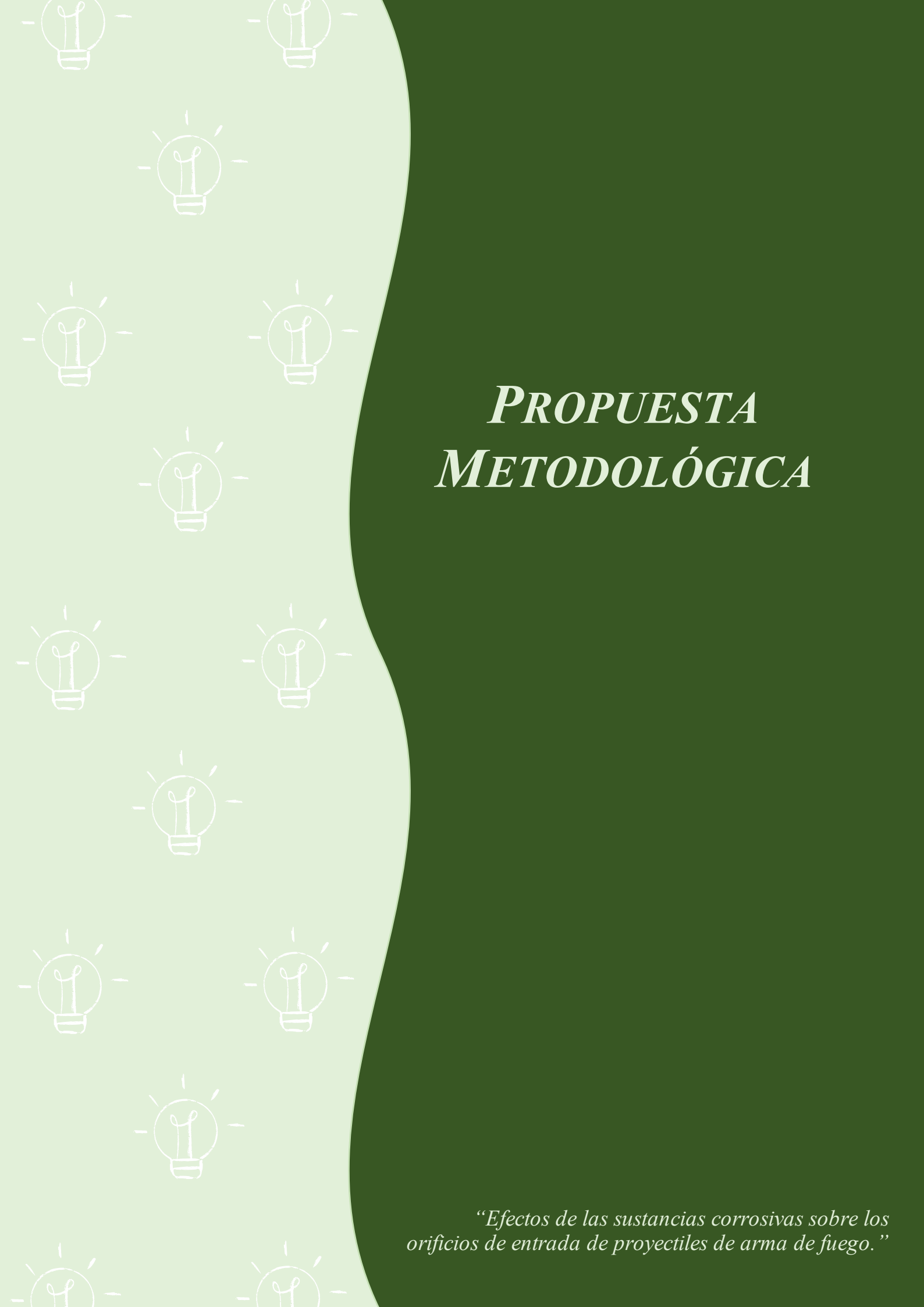
Estado del Arte

- “Aproximación del calibre de un arma de fuego según el impacto de proyectiles en restos óseos carbonizados”, Buralat, Ma. Gabriela, y Manasseri, Brenda Cruz, (2023). Este proyecto tuvo como objetivo general explorar los cambios que se producen en los orificios de entrada del proyectil de arma de fuego en superficies óseas planas sometidas a altas temperaturas, para lograr una aproximación al calibre del arma empleada, y las autoras pudieron concluir que existe pérdida de material óseo por acción de la temperatura, afectando la apariencia morfológica del orificio en todos los calibres trabajados.

- “The Effects of Corrosive Substances on Human Bone, Teeth, Hair, Nails, and Soft Tissue”, Kristen M. Hartnett, Ph. D.; Laura C. Fulginiti, Ph. D., Frank Di Modica, Det. (2011). En esta investigación se estudiaron los efectos que producen los productos químicos de uso doméstico, como ácido muriático, ácido sulfúrico, soda cáustica, lavandina, limpiador séptico y coca cola, sobre tejidos humanos como hueso, piel, dientes, entre otros. Los autores obtuvieron como conclusión que el ácido clorhídrico fue la sustancia más eficiente, destruyendo la mayoría de los tejidos humanos en menos de 24 horas, siendo este barato y fácil de conseguir. En segundo lugar, queda el ácido sulfúrico, aunque es más difícil su acceso debido al control del mismo, y los demás agentes fueron efectivos solamente en un tipo particular de tejido o no presentaron cambios visibles.

- “Method of Concealment of Corpses in Mafia’s Homicides. “Melting” in Strong Acids”, M. Grillo MD, F. M. Cascino MD, V. Murgio MD, L. Milone MD, PhD (2011). Este estudio científico tuvo como objetivo verificar el uso de ácido sulfúrico sobre tejidos biológicos de animales, para observar los cambios macroscópicos que sufren los tejidos blandos y los huesos, tratando de verificar las afirmaciones de los ‘pentiti’. Demostraron que, con la sustancia pura, a los dos días las estructuras musculares se encontraban sueltas y la médula ósea se había ablandado; mientras que con la sustancia activada con agua comprobaron que a

los dos días los huesos parecían bastante disueltos. Llegaron a la conclusión de que es poco probable que un cuerpo entero pueda disolverse en ácido en pocos minutos como lo afirman los ‘pentiti’, aunque sí puede hacer irreconocible el cadáver permitiendo una eliminación en un segundo tiempo.



PROPUESTA METODOLÓGICA

*“Efectos de las sustancias corrosivas sobre los
orificios de entrada de proyectiles de arma de fuego.”*

Propuesta Metodológica

Enfoque y diseño.

La presente investigación tiene un enfoque *cuantitativo*, dado que parte de una idea que debe delimitarse, se establecen objetivos y preguntas de investigación, y se redacta un marco teórico; de las preguntas surgen hipótesis y variables, y se origina un plan para probarlas; se miden las variables, se analizan estas mediciones utilizando métodos estadísticos y se concluye respecto de la o las hipótesis (Hernández Sampieri, 2014).

El diseño de la investigación es *cuasiexperimental*, porque es un estudio experimental pero no cumple con el requisito de control de todas las variables, es decir el proyecto no es ejecutado en un ambiente donde se pueden controlar condiciones como humedad, temperatura o incidencia de la luz, como lo son los laboratorios.

Se utiliza un diseño *prospectivo*, porque se registra la información a medida que ocurren los fenómenos, y *longitudinal*, porque las variables se estudian a lo largo de un período de tiempo (Canales, Alvarado y Pineda, 1994).

Población y Muestra

La *población* o *universo* se define como “el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones” (Lepkowski, 2008b, como se cita en Hernández Sampieri, 2014). En el presente estudio, la población está conformada por aquellos cadáveres que son heridos por proyectiles de arma de fuego y además inmersos en sustancias corrosivas. Este grupo representa el conjunto de casos relevantes que cumplen con los criterios de inclusión establecidos por las autoras.

La *muestra* se establece como “un subconjunto o parte del universo o población en que se llevará a cabo la investigación con el fin posterior de generalizar los hallazgos al todo” (Canales, Alvarado y Pineda, 1994, p. 108). Para este estudio, se emplea un *muestreo no*

probabilístico, en el cual la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador (Hernández Sampieri, 2014, p. 176). Esta elección metodológica responde a la amplia variedad de sustancias corrosivas y tipos de cartuchería que podrían utilizarse en una investigación de este tipo.

La muestra queda definida, entonces, por aquellos cadáveres que son heridos con proyectiles de arma de fuego calibre 9 x 19 mm e inmersos en dos tipos de sustancias corrosivas: una solución de soda cáustica (NaOH) y una solución de ácido sulfúrico-ácido fosfórico (H_2SO_4/H_3PO_4).

Para tal fin, se seleccionan 27 muestras de origen animal vacuno, conformadas en superficies óseas con tejido blando (músculo y grasa), dividiéndolas en tres grupos: uno utilizado como control de la investigación; otro, inmerso en una solución de soda cáustica (NaOH); y, por último, otro en una solución de ácido sulfúrico-ácido fosfórico (H_2SO_4/H_3PO_4).

Variables

Las variables que se examinan en el presente proyecto son las siguientes:

1. Variables Cuantitativas.
 - Orificio de entrada
 - Calibre del proyectil de arma de fuego.
 - Tiempo.
 - Distancia de disparo.
2. Variables Cualitativas.
 - Sustancia corrosiva.

Recolección de Datos

Para la recolección de datos, en primer lugar, se procedió a ejecutar disparos con un arma de fuego tipo pistola, —marca Bersa FM High Power, modelo M-90 Militar, N.º de serie M55677, calibre 9 x 19 mm—, equipada con un cargador con capacidad para 15 cartuchos y con cartuchería 9 x 19 mm FLB 2017, con punta ojival truncada. Los disparos se realizaron a una distancia de 5 centímetros y un ángulo de 90°, sobre soportes óseos de origen animal vacuno que contenían tejido blando (músculo y grasa) por encima y por debajo de la estructura. Como corte vacuno, se utilizaron tiras de costillas de entre 5 y 7 centímetros de ancho. Se eligió realizar los disparos sobre este tipo de soporte óseo debido a las dimensiones y estructura que presenta.

Figura 4

Arma de fuego y cartuchería utilizada



Seguido de cada disparo, se verificó si el proyectil había atravesado la estructura y si el orificio presentaba condiciones para determinar si correspondía a un proyectil de arma de fuego, y se realizaron las fotografías correspondientes de las muestras con testigo métrico. Posteriormente, las tiras de costillas se cortaron tomando como referencia el tamaño aproximado de los soportes óseos perforados.

Se consiguieron 27 recipientes de vidrio de 350 cc, con tapas metálicas a rosca que permitieron el cierre hermético de las muestras; los mismos se rotularon de acuerdo con el

tiempo de exposición y con la sustancia en la que sería sumergida cada muestra (ejemplo: MUESTRA N° 4 ÁC. SULF. Y ÁC. FOSF. DÍA 30).

Figura 5

Etiquetado de los frascos



Además, se preparó la solución de soda cáustica que, debido a que en la bolsa plástica en la que venía contenida no incluía instrucciones de preparación, se consultó al empleado de la ferretería donde fue adquirida y, posteriormente, se corroboró la información mediante una búsqueda en fuentes web, dando que, para ser usado como limpiador de tuberías, por cada 2 litros de agua debían añadirse 290 gramos de granos de soda cáustica. La solución de ácidos, por su parte, se colocó de manera pura en los recipientes con las muestras; es decir, no fue disuelta en ninguna otra sustancia, quedando conformada en un porcentaje de 22,3% p/p³ de ácido fosfórico y 3,20% p/p de ácido sulfúrico.

Figura 6

Sustancias corrosivas utilizadas



³ Peso a peso

Se organizaron cinco grupos experimentales: un grupo control, el grupo que sería abierto a los 15 días, el de 30 días, el de 60 días y, por último, el de 90 días.

El grupo control estuvo compuesto por un total de tres muestras, colocadas de manera individual en los recipientes de vidrio; a cada una se le añadió agua potable de canilla y se cerró herméticamente con la tapa metálica a rosca. Estas muestras serían abiertas para la recolección de datos a los 15, 30, 60 y 90 días.

El siguiente grupo estuvo integrado por seis muestras: tres se colocaron individualmente en los recipientes de vidrio con la solución de soda cáustica, y, las tres restantes, en la solución de ácido sulfúrico-ácido fosfórico; todas ellas fueron cerradas herméticamente y se abrirían una

Figura 7

Estantería con las muestras



vez cumplidos los 15 días.

Los tres grupos restantes se ejecutaron de la misma manera que el anterior con la diferencia de que la apertura se realizaría a los 30, 60 y 90 días respectivamente.

Con las 27 muestras ya armadas y cerradas de manera hermética, los recipientes fueron colocados en una estantería dividida por grupos de apertura, ubicada en una habitación cerrada sin exposición a la luz.

Objetivo Específico 1.

Comparar los orificios de entrada en su estado de descomposición sin acelerantes con aquellos sometidos a las sustancias corrosivas.

Técnica. Se visualizaron las muestras de cada sustancia en cada apertura, se tomó nota en una bitácora de campo respecto a las características que presentaban los orificios de entrada y se fijaron las condiciones con una cámara fotográfica.

Instrumento 1. Bitácora de campo, donde se anotaron las características de manera detallada.

Instrumento 2. Cámara fotográfica de un celular, marca Samsung, modelo A21s, de 48 megapíxeles.

Objetivo Específico 2.

Determinar si el diámetro de los orificios de entrada sometidos a sustancias corrosivas permite aproximar el calibre del arma de fuego utilizada.

Técnica. Se comprobó si el orificio de entrada se pudo visualizar, si permitió confirmar que fue producido por un proyectil de arma de fuego, y si mediante la medición de este se pudo aproximar calibre.

Instrumento 3. Instrumento de medición del tipo calibre, de acero profesional, marca Wembley, con una precisión de 0,05 mm, para medir los orificios de entrada.

Instrumento 4. Cámara fotográfica de un celular, marca Samsung, modelo A21s, de 48 megapíxeles.

Instrumento 5. Bitácora de campo, donde se anotaron las características de manera detallada.

Objetivo Específico 3.

Explorar las diferencias en las muestras observadas según si fueron sometidas a una solución u a otra.

Técnica. Se compararon las características obtenidas de las muestras de cada una de las sustancias en sus respectivas aperturas.

Instrumento 6. Bitácora de campo, donde se anotaron las características de manera detallada.

Instrumento 7. Registro fotográfico.

Análisis de Datos

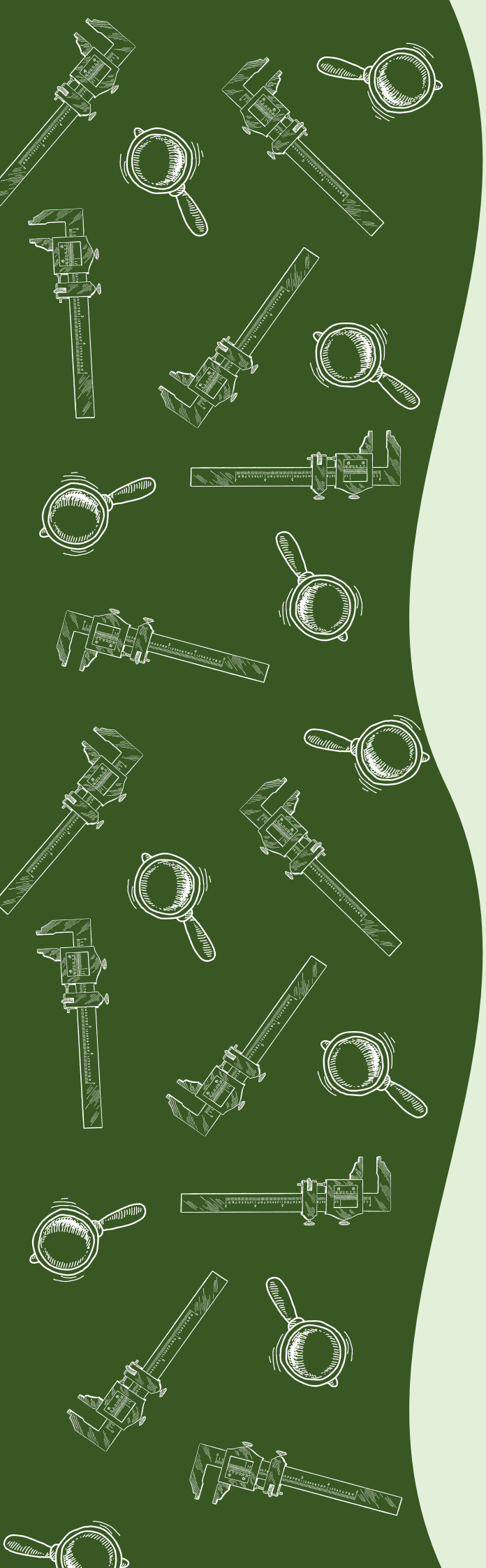
Como primer paso, se controló que todos los datos que se obtuvieron hayan estado organizados; los mismos se plasmaron en base al grupo experimental (muestras control, soda cáustica, ácido sulfúrico-ácido fosfórico) y al período de tiempo de apertura (15, 30, 60 y 90 días).

Instrumento 1, 3, 5 y 6

Respecto a estos instrumentos, se tomaron los datos y se reorganizaron en un procesador de textos (*Word*) para posteriormente colocarlos en una hoja de cálculo (*Excel*), de modo tal que queden lo más organizados y simplificados a la hora de consultarlos. Las medidas tomadas con el calibre también fueron incorporadas en la hoja de cálculo para, posteriormente, determinar si se puede o no inferir el calibre.

Instrumento 2, 4 y 7

Dentro de estos instrumentos se consideraron la cámara y el registro fotográfico. Las fotografías se organizaron en carpetas diferenciadas por aperturas, conformando de esta manera el registro fotográfico, el que fue consultado a la hora de responder los objetivos.



HALLAZGOS

“Efectos de las sustancias corrosivas sobre los orificios de entrada de proyectiles de arma de fuego.”

Prueba piloto, Hallazgos y Discusión de resultados

Antes de llevar a cabo la ejecución del proyecto, se optó por realizar una prueba piloto, dado que, en primer lugar, no se dispondría de acceso a productos corrosivos en su estado puro, tal como los empleados en el estudio de Hartnett et al. (2011) y en el de Grillo et al. (2011), referenciados en el estado del arte. Esto se debe a que, en nuestro país, este tipo de sustancias ácidas y álcalis utilizadas en laboratorios están bajo la regulación estricta del RENPRE (Registro Nacional de Precursores Químicos); y, en segundo lugar, porque no se disponen de registros conocidos en nuestro país relacionados a esta investigación donde se usen productos corrosivos de uso doméstico o laboral. Es así como surgió la idea de analizar las sustancias corrosivas que se podrían llegar a conseguir en mercados como ferreterías, forrajerías y veterinarias, y realizar este ensayo para definir las variables de la investigación, como las sustancias a utilizar y el tiempo de exposición de las muestras.

Prueba piloto

A fin de ejecutar esta prueba se adquirieron tres productos corrosivos distintos: un desengrasante sólido a base de soda cáustica, un corrector líquido de pH solicitado como «ácido muriático», y un limpiador ácido desincrustante utilizado en los equipos de frío en tambos, compuesto por partes distintas de ácido sulfúrico y ácido fosfórico.

Tabla 1

Productos utilizados en la Prueba Piloto

Nombre del producto	Agente dominante	Concentración (%)
Ácido muriático	Ácido clorhídrico	Desconocido
LAC Plus	Ácido fosfórico Ácido sulfúrico	22,3% p/p 3,20% p/p
Desengrasante a base de soda cáustica	Hidróxido de sodio	100%

Nota. Productos utilizados con su correspondiente agente dominante y concentración.

Posteriormente, se obtuvieron tres muestras de origen vacuno, compuestas por músculo, grasa y hueso. El día 17 de junio del año 2024 estas muestras fueron transportadas al Tiro Federal Argentino de la ciudad de Paraná, Entre Ríos, y, con una pistola Bersa calibre 9 x 19 mm, se ejecutaron disparos sobre las mismas. Luego, cada una de las muestras fue colocada en un recipiente rotulado, con cierre hermético, junto con su correspondiente sustancia, y se mantuvieron al resguardo de la luz solar durante un período de 89 días. En un estudio consultado (Amadasi et al., 2015), la experimentación se desarrolló durante 70 días; el propósito de extender la exposición de las muestras a un intervalo mayor fue observar qué sucedía al superar dicho lapso con las sustancias seleccionadas y, en base a esto, planificar el tiempo máximo de exposición y cada cuántos días realizaríamos la apertura de estas.

Resultados obtenidos a los 89 días:

- ***Solución de soda cáustica:*** al abrir el recipiente, se observó un líquido amarillento acompañado de un fragmento de tonalidad blanquecina. Se extrajo la muestra y se advirtió que la misma presentaba sectores de aspecto gelatinizado; la tonalidad blanquecina se encontraba acompañada de una tonalidad rosada clara en el centro de la muestra. Al manipularla, esta se iba fragmentando en partes. No se logró identificar el hueso ni el orificio de entrada del proyectil de arma de fuego.
- ***Ácido muriático:*** una vez abierto el recipiente, se observó una capa de aspecto grumoso de una tonalidad blanco-amarronado. Esta fue extraída hasta alcanzar otra capa con similares características, aunque de tonalidad marrón oscuro. En este caso, no se constató la presencia del fragmento correspondiente a la muestra vacuna; en consecuencia, no fue posible identificar el hueso que contenía el orificio de entrada del proyectil de arma de fuego.

- **Solución de ácido sulfúrico y ácido fosfórico:** efectuada la apertura del recipiente, se advirtió la presencia de una capa de aspecto grumoso, de tonalidad blanco-amarronado. Por debajo de esta capa, se observó un líquido marrón oscuro. Del fondo del frasco se extrajo una sustancia de aspecto pastoso en un tono marrón oscuro. Tal como en el ácido muriático, no se observó la presencia del fragmento correspondiente a la muestra vacuna; por consiguiente, no fue posible reconocer el hueso que contenía el orificio de entrada del proyectil de arma de fuego.

Figura 8*Resultados de Prueba Piloto*

Nota. Las imágenes pertenecen a las muestras de soda cáustica, ácido muriático y ácido sulfúrico-ácido fosfórico, respectivamente.

Por todos los resultados obtenidos, se decidió colocar como fecha límite 90 días de exposición, con aperturas de los recipientes para inspección y registro de las características de las muestras a los 15, 30, 60 y 90 días, con el objetivo de analizar qué ocurre con los especímenes en fechas anteriores a la exposición máxima en este proyecto. Además, se tomó la decisión de reducir los agentes corrosivos a una base y un ácido, siendo los mismos la solución de soda cáustica y la solución de ácido sulfúrico y ácido fosfórico, respectivamente, ya que son dos sustancias de pH opuestos, analizando así dos extremos divergentes; se descartó el uso del

ácido clorhídrico debido a que las cantidades que se podían llegar a conseguir eran más limitadas en comparación con el otro ácido mencionado.

Hallazgos de la Prueba Final

A continuación, se describen los efectos de cada agente químico sobre las muestras, de acuerdo con sus períodos de exposición, establecidos en base a los resultados de la Prueba Piloto, siendo los resultados de la Prueba Final.

Agua potable de canilla (H₂O), 15 días, condiciones de control

A simple vista, se observó un cambio en la coloración del agua hacia un color rojo translúcido, las muestras vacunas se encontraban suspendidas, permaneciendo en la superficie dentro del recipiente. Una vez abiertos los frascos se extrajeron las muestras con dificultad debido a la expansión producto de la putrefacción; las mismas presentaban una decoloración, siendo pálidas a la vista y un olor a putrefacción característico de su etapa de descomposición, el cual provocó el acercamiento de moscas.

Las tres muestras presentaban signos de ahumamiento, permitiendo de esta manera identificar el orificio de entrada.

Figura 9

Condiciones de control, 15 días



Nota. Hinchazón en muestra N.º 1, ahumamiento presente en todas ellas.

Si bien, en la muestra número 1, la distensión de los tejidos no permitió la correcta visualización del orificio, en las muestras número 2 y 3 estos se podían observar claramente, y se caracterizaban por una forma circular bien definida por el paso del proyectil perpendicularmente. Esto permitió la toma de medidas sobre los orificios, obteniendo como resultado lo siguiente:

Tabla 2

Mediciones. Condiciones de control, 15 días

Muestra N.º	Dimensión.
Muestra N.º 1	No se pudo obtener.
Muestra N.º 2	10,2 mm
Muestra N.º 3	9,8 mm

Nota. En la muestra número 1, debido a la distensión de los tejidos no se pudo visualizar correctamente el orificio.

Ácido sulfúrico - Ácido fosfórico (H_2SO_4 3,20% p/p - H_3PO_4 22,3% p/p), 15 días

En este caso también se evidenció una alteración en la coloración del producto, adquiriendo un tono pardo anaranjado transparente. La muestra número 22 se hallaba fraccionada en dos partes: una de ellas permanecía suspendida en la superficie del líquido, mientras que la otra se encontraba completamente sumergida. La muestra número 23 estaba íntegramente sumergida. En tanto que la muestra número 24 se mantenía suspendida en la superficie. Una vez realizada la apertura de los recipientes, se extrajeron las muestras: la número 22 cayó fácilmente debido al fraccionamiento que presentaba; las muestras 23 y 24 debieron extraerse manualmente y, aunque al manipularlas comenzaron a desintegrarse, pudieron aislarse del recipiente. Los especímenes evidenciaban un cambio en su coloración original: los tejidos musculares presentaban un oscurecimiento hacia tonalidades marrón oscuro; los tejidos adiposos adquirieron un tono marrón pálido; y, el soporte óseo, mostró una coloración blanco

pálido, más clara que la habitual. Asimismo, desprendían un olor pútrido tenue, semejante al de carne cocida en mal estado.

En relación con los orificios, en la muestra número 22, en la zona correspondiente al músculo, se visualizó un orificio de forma circular con presencia de residuos de color negro en su región circunferencial. El hueso se hallaba fracturado en dos partes; sin embargo, en uno de los fragmentos, se observó un medio círculo de bordes irregulares. En la muestra número 23 se evidenció una lesión perforante de forma irregular, sin detección de residuos de color negro. Por último, en la muestra número 24, se identificó un orificio circular bien definido; sin embargo, debido a la consistencia blanda de la muestra, al aplicar presión con el calibre para medir dicho orificio, se produjo una deformación del hueso. Por lo expuesto, no fue posible obtener las medidas correspondientes a los orificios de entrada.

Figura 10

Solución ácida, 15 días



Nota. Ahumamiento en el tejido (a), fragmento de hueso con medio orificio (b), orificio bien definido sobre el soporte óseo (c).

Soda cáustica (NaOH), 15 días

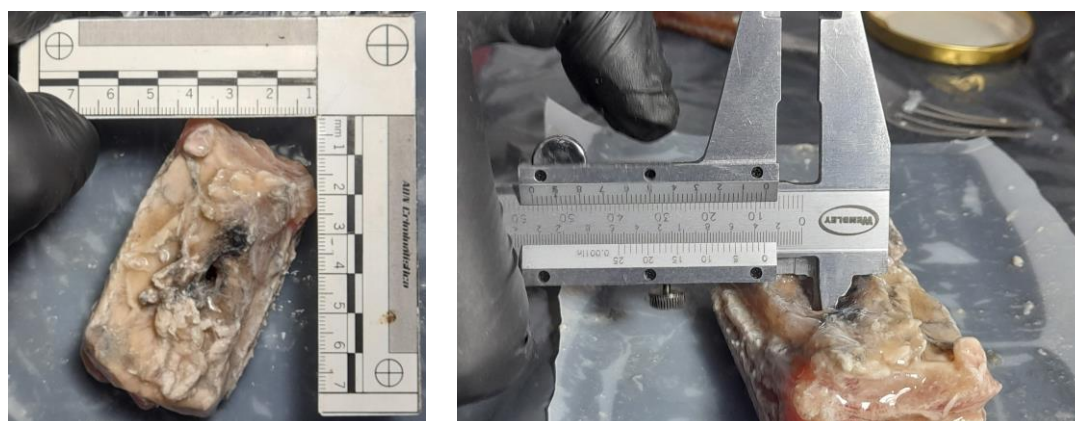
En concordancia con las muestras precedentes, también se notó una transformación en la coloración de la solución, observando tonalidades rosáceas y naranjas, todas ellas translúcidas. En todos los casos las muestras se encontraban suspendidas en la zona media del

recipiente, y por encima de ellas se detectó la presencia de hilos blanquecinos. Las mismas se lograron extraer con dificultad debido a la expansión y rigidez que presentaban. Los especímenes mostraron una degradación en su color exterior, viéndose pálidos a simple vista, con olor similar al amoníaco, y una textura jabonosa al tacto. En el fondo del frasco se detectó un residuo blanco y viscoso.

En lo que respecta a los orificios realizados por el proyectil de arma de fuego, las tres muestras presentaban signos de ahumamiento, lo que permitió identificar el orificio de entrada. Las muestras número 25 y 27 presentaban un orificio circular bien definido por el paso del proyectil perpendicularmente. El orificio en la muestra número 26 se podía visualizar, pero no tan circular y definido como en los otros casos.

Figura 11

Solución básica, 15 días



A pesar de esto, de los tres orificios se pudieron obtener medidas, siendo las siguientes:

Tabla 3

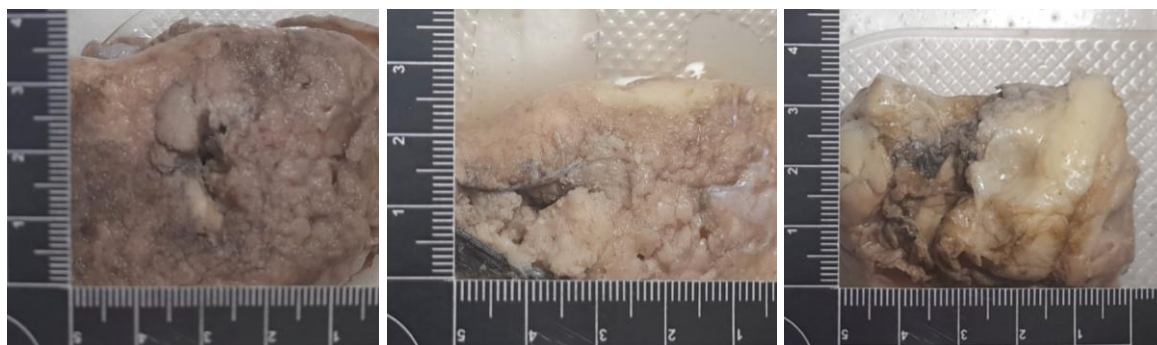
Mediciones. Soda cáustica, 15 días

Muestra N.º	Dimensión.
Muestra N.º 25	9,5 mm
Muestra N.º 26	10,2 mm
Muestra N.º 27	8 mm

Agua potable de canilla (H₂O), 30 días, condiciones de control

La coloración del agua se modificó progresivamente, pasando de un tono rojizo a una tonalidad más oscura con matices marrones, acompañada de una notable disminución en la translucidez. También se detectó la presencia de algunas burbujas antes de abrir los recipientes, característica que indicaba la falta de oxígeno y la alta presión dentro de los mismos, lo que provocó un esfuerzo mayor al retirar la tapa. Las muestras se encontraban suspendidas en la superficie y, debido a la expansión por los procesos de descomposición, la extracción de las mismas del recipiente resultó dificultosa. Presentaban un color blanquecino muy pálido, y el olor fétido era aún más intenso que el registrado en la apertura a los 15 días, lo cual concuerda con las características propias de la fase avanzada de degradación orgánica.

En cuanto a los orificios producidos por el paso del proyectil de arma de fuego, se observó que, a causa de la expansión de las muestras previamente mencionada, los tejidos musculares y los tejidos adiposos se retrajeron cubriendo los orificios de entrada, impidiendo la visualización directa de los mismos. Por este motivo, no se realizó la toma de medidas, ya que para ello hubiera sido necesario manipular las muestras, lo que podría haber comprometido su integridad.

Figura 12*Condiciones de control, 30 días*

Nota. Hinchazón de las muestras que impiden la visualización de los orificios de entrada sobre el tejido óseo.

Ácido sulfúrico - Ácido fosfórico (H_2SO_4 3,20% p/p - H_3PO_4 22,3% p/p), 30 días

Tal como en el caso precedente, la coloración de la sustancia experimentó una alteración, lo que dio como resultado un color marrón muy oscuro. En todos los recipientes se observaba una distribución heterogénea: en la parte superior se distinguía una sustancia líquida, de aspecto grumoso y tonalidad blanquecina-grisácea; en la zona intermedia, la solución de ácidos que presentaba una tonalidad amarronada con fragmentos de carne en suspensión; y, finalmente, en el fondo del recipiente, partículas de un blanco más pálido que el de la capa superior junto con fragmentos de carne sedimentados. En otras palabras, la muestra, en la forma en que fue depositada inicialmente, ya *no existía*.

Tras la apertura de los recipientes, se percibió un olor semejante al de la apertura de esta categoría en el décimo quinto día, aunque mucho más tenue que aquella vez. Se decidió vaciar el contenido del recipiente en un envase plástico; con el movimiento de esta acción, los fragmentos de las muestras de tamaño aún considerable, se deshicieron fácilmente.

En consecuencia, se obtuvo una sustancia de color marrón, heterogénea, donde además de la solución líquida de ácido propiamente dicha se podían ver partículas grandes de color blanco y

filamentos de carne color marrón oscuro. Es debido a esto que aquí tampoco se pudieron obtener medidas del orificio de entrada realizado por el paso del proyectil de arma de fuego.

Figura 13*Solución ácida, 30 días*

Soda cáustica (NaOH), 30 días

A simple vista y como venía sucediendo en otras aperturas, se pudo observar un cambio en la coloración de la sustancia, siendo este de color rojo más translúcido, en la parte superior el color de la sustancia se transformaba en un tono amarillo-naranja; todas las muestras se encontraban suspendidas. Tras la apertura de los recipientes, se destacó en todos ellos la formación de una capa gelatinosa (la parte color amarillo-naranja), la cual había adquirido la forma de la boca del frasco, generando una especie de tapa. Se intentó vaciar las muestras en un recipiente plástico; no obstante, debido a la capa gelatinosa formada en la superficie, primero se vertió el líquido y, posteriormente, fue necesario deshacer dicha capa para poder retirar las muestras. En el fondo del recipiente se pudo observar un residuo de tonalidad blanca y aspecto pastoso. El olor de las muestras seguía asemejándose al del amoníaco, e incluso se percibía con mayor intensidad.

Todas las muestras se encontraban divididas en dos porciones: una porción gelatinosa,

Figura 14

Solución básica, 30 días



cuya tonalidad variaba entre blanco y amarillo, de aspecto translúcido y con residuos de color negro; y otra porción de tonalidad rosada. Los residuos negros se consideraron indicativos de ahumamiento aún presente en la capa gelatinosa, lo que sirvió como referencia para identificar el orificio de entrada producido por el proyectil de arma de fuego. En todos los casos, el soporte óseo se hallaba fracturado y, al intentar unir los fragmentos para efectuar la medición, se evidenció una deformación del orificio, el cual presentaba una morfología más

ovalada que circular, con bordes irregulares, lo que impidió realizar una medición precisa.

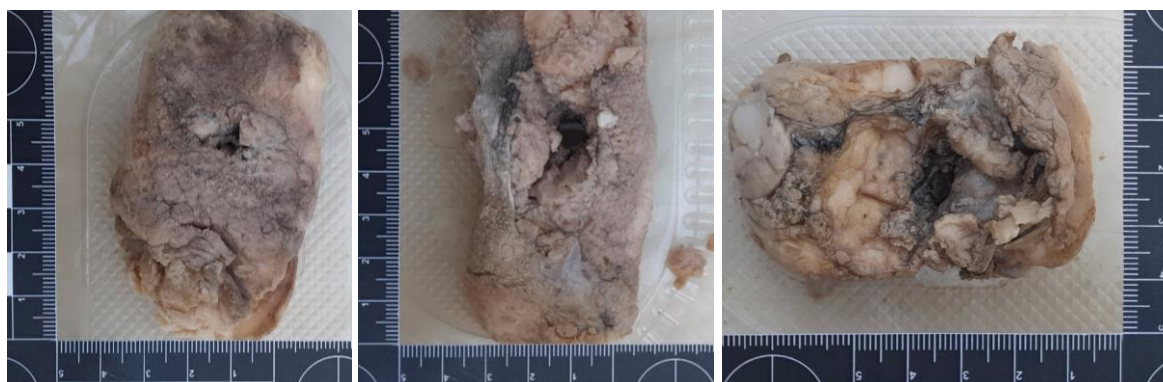
Agua potable de canilla (H₂O), 60 días, condiciones de control

La coloración del agua continuó modificándose de manera progresiva. En esta apertura, pasó de una tonalidad rojiza, con matices marrones, a una tonalidad amarillenta, con matices anaranjados y marrones; todas aún translúcidas, aunque en menor grado que en la observación anterior. Las muestras permanecían en la superficie, al igual que en las aperturas previas. Al retirar las tapas de los recipientes, se detectaron residuos blanquecinos en la superficie; la extracción de las piezas volvió a resultar dificultosa debido a que presentaban aún cierta dilatación, aunque en menor medida en comparación a las otras aperturas. Los especímenes mantenían una tonalidad blanquecina con áreas levemente rosadas, y se constató una marcada reducción del olor pútrido, asociado a su estado de descomposición.

En cuanto al orificio producido por el proyectil de arma de fuego, las tres muestras presentaban todavía indicios de ahumamiento, permitiendo identificar el orificio de entrada. En la muestra número 1, la dilatación de los tejidos seguía dificultando su visualización completa; en cambio, en las muestras número 2 y 3 los orificios se distinguían con claridad, conservando una forma circular bien definida.

Figura 15

Condiciones de control, 60 días



Nota. Muestras más deshinchadas, permitiendo la visualización parcial del orificio de entrada sobre el soporte óseo.

Ello posibilitó la realización de las mediciones correspondientes, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 4

Mediciones. Condiciones de control, 60 días

Muestra N.º	Dimensión.
Muestra N.º 1	No se pudo obtener.
Muestra N.º 2	10,7 mm
Muestra N.º 3	10 mm

Nota. En la muestra número 1, debido la distensión de los tejidos no se pudo visualizar correctamente el orificio.

Ácido sulfúrico - Ácido fosfórico (H_2SO_4 3,20% p/p - H_3PO_4 22,3% p/p), 60 días

En esta circunstancia, la sustancia continuaba presentando una coloración marrón casi negruzca, y todas las muestras se encontraban diferenciadas por fases: en la zona superior, se observaba una capa espumosa de tonalidad blanco-amarronada; luego, un líquido marrón negruzco que poseía pequeñas partículas en suspensión; y, en el fondo, una fase compuesta por partículas blancas y filamentos de tejido color marrón oscuro. Tras la apertura de los frascos, la fase superior manifestaba una textura granulada de consistencia firme, lo que impedía el vaciado inmediato de la muestra al voltear el recipiente.

Respecto al olor, este se mantenía sin cambio en relación con la apertura de los 30 días. Al transferir el contenido de los recipientes a un contenedor plástico, se registraron resultados semejantes a los de la apertura anterior, con la excepción de la presencia, en cada muestra, de un pequeño fragmento blanquecino que podría inferirse corresponde a tejido óseo.

Específicamente, en el fragmento de la muestra número 10, se observó un semicírculo; sin embargo, no fue posible determinar si correspondía a un orificio producido por un proyectil

de arma de fuego o a un proceso de degradación ósea. Por estas razones, en este período tampoco fue posible obtener mediciones del orificio de entrada.

Figura 16

Solución ácida, 60 días



Nota. Fragmento óseo con medio círculo correspondiente a la muestra número 10 (a), residuo presente en los frascos, descrito anteriormente (b).

Soda cáustica (NaOH), 60 días

Durante este período, externamente las muestras presentaban una coloración rojiza y transparente, y ocupaban la totalidad del recipiente, observándose en algunos sectores la presencia de hilos blancos. La apertura de los recipientes resultó dificultosa; una vez realizada, se advirtió en la superficie un residuo de textura gelatinosa que había adoptado la forma de la boca del frasco. En cuanto al olor, este se mantenía sin cambios respecto a la apertura de los 15 días. En el fondo se observaba un residuo blanquecino y pastoso. Las muestras vacunas presentaban una tonalidad blanca con zonas rosadas, una textura resbaladiza y una firmeza notable al tacto; al ejercer presión, no se deshacían ni se deformaban.

En lo que concierne a los orificios producidos por un proyectil de arma de fuego, el fragmento vacuno de la muestra número 13 se expandió tanto que no fue posible retirarlo del recipiente, por lo cual no pudieron obtenerse mediciones. Aun así, al examinar la muestra desde el exterior, no se logró identificar el orificio. Las muestras número 14 y 15 mostraron leves signos de ahumamiento, permitiendo establecer los orificios de entrada. Estas también se expandieron, adaptándose a la forma del recipiente y ocupando su totalidad; sin embargo, en esta ocasión sí fue posible extraerlas. No obstante, debido a la expansión antes mencionada, no se pudieron observar los orificios de entrada, impidiendo realizar las correspondientes mediciones.

Figura 17*Solución básica, 60 días**Nota. Muestra número 13.****Agua potable de canilla (H₂O), 90 días, condiciones de control***

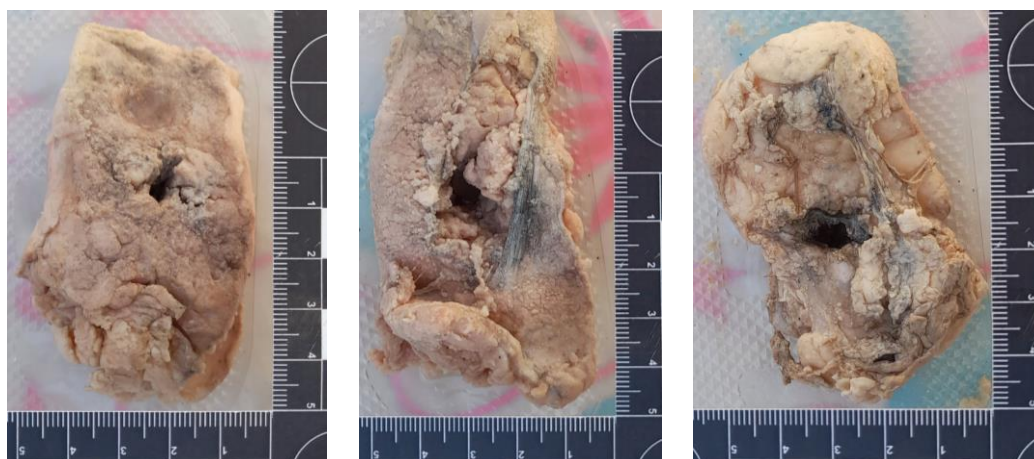
La coloración del agua evidenció nuevamente una variación, aunque diferente a las aperturas anteriores: en esta ocasión el tono era más amarillento y considerablemente más translúcido. Las muestras continuaban suspendidas en el interior, al igual que en las observaciones previas. Los recipientes no presentaron dificultad al abrirlos y los especímenes se encontraban mucho menos hinchados, lo que facilitó su extracción. Presentaban una tonalidad blanco-amarronada, semejante al color adquirido por la carne de ave tras la cocción, y el olor ya no era tan pútrido y perceptible como antes. Los tejidos musculares y adiposos de

las muestras eran blandos al tacto, tenían presencia de grumos, y si se ejercía presión se desprendían pequeños fragmentos.

En lo que concierne a los orificios, aún se evidenciaban signos de ahumamiento en todos ellos, lo que permitió identificar los orificios de entrada. La muestra número 1 continuaba hinchada, aunque ya era posible observar el orificio y proceder con la toma de medidas. En las muestras número 2 y 3, los orificios se observaban con claridad y conservaban una forma circular bien definida.

Figura 18

Condiciones de control, 90 días



Nota. Muestras deshinchadas, visualización del orificio de entrada sobre el soporte óseo.

Esto posibilitó la realización de las mediciones correspondientes, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 5

Mediciones. Condiciones de control, 90 días

Muestra N.º	Dimensión.
Muestra N.º 1	8,9 mm
Muestra N.º 2	9,1 mm
Muestra N.º 3	9,1 mm

Ácido sulfúrico - Ácido fosfórico (H_2SO_4 3,20% p/p - H_3PO_4 22,3% p/p), 90 días

En esta apertura, la coloración de las muestras seguía presentándose en un tono marrón muy oscuro, y continuaba claramente separada por fases, tal como en las aperturas de los 30 y 60 días: en la zona superior, una capa espumosa de tonalidad blanco-amarronada; en el centro, el líquido marrón oscuro; y, en el fondo, partículas blancas en menor cantidad que las observadas a los 60 días, acompañadas de filamentos de tejido. Durante la apertura de los recipientes se liberaron gases, acompañados de un sonido audible. Una vez abiertos, en la zona superior se observaba esta capa espumosa de textura granulada y consistencia firme; el olor era semejante al de las aperturas anteriores, aunque de menor intensidad.

Tras verter el contenido de los envases en un contenedor plástico, se obtuvo una mezcla heterogénea compuesta por una fase líquida, correspondiente a la solución ácida, y una fase sólida, integrada por pequeñas fibras de tejido muscular. En el fondo de los recipientes se detectó una pasta de tonalidades blanca y marrón, asociada al tejido óseo y al tejido muscular, respectivamente. Debido al estado de las muestras, fue imposible realizar las mediciones del orificio.

Figura 19*Solución ácida, 90 días***Soda cáustica ($NaOH$), 90 días**

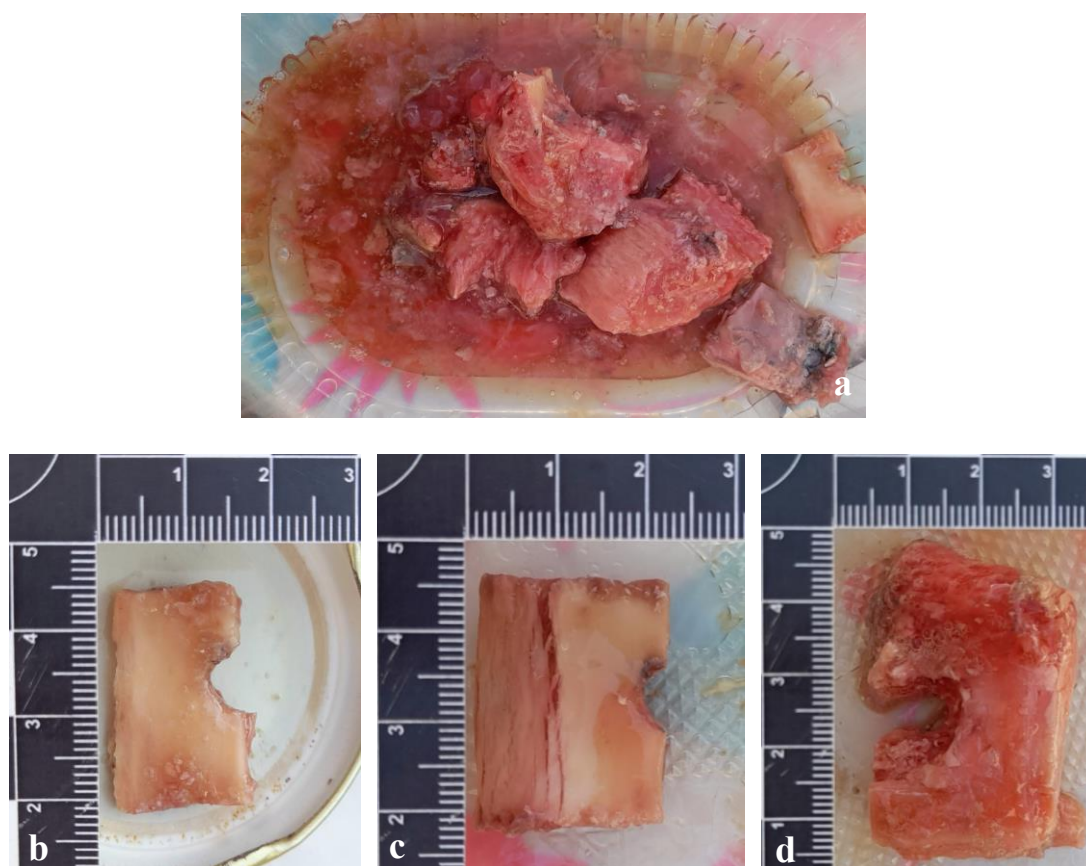
Externamente, las muestras presentaban una coloración rojiza y translúcida. Los especímenes vacunos se observaban suspendidos en el fondo de los recipientes, y al estar

expandidos, ocupaban la totalidad del espacio, adoptando la forma del frasco. Tras retirar la tapa, se percibió un olor semejante al de las aperturas anteriores, aunque considerablemente más intenso; además, la consistencia de las muestras era gelatinosa. Durante la extracción, los ejemplares comenzaron a fragmentarse y resultaban resbaladizos al tacto.

Respecto a los orificios, en las tres muestras se obtuvieron fragmentos de tejido óseo que presentaban un semicírculo; sin embargo, no fue posible determinar si correspondían a un orificio producido por un proyectil de arma de fuego.

Figura 20

Solución básica, 90 días



Nota. Muestra separada en partes (a), fragmentos de tejido óseo de las muestras número 19, 20 y 21, respectivamente (b) (c) (d).

A efectos de registro, se tomaron mediciones de dichos semicírculos, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 6*Mediciones. Soda cáustica, 90 días*

Muestra N.º	Dimensión.
Muestra N.º 19	8,6 mm
Muestra N.º 20	8,6 mm
Muestra N.º 21	9,8 mm

Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en la presente investigación evidencian ciertas concordancias y discrepancias en relación con los estudios descritos en los antecedentes.

En el estudio realizado por Hartnett et al. (2011), se reportó que, respecto al ácido sulfúrico, el tejido óseo perdió su integridad estructural a las 24 horas de exposición, adquiriendo una consistencia blanda y viscosa, acompañado por la presencia de estructuras similares a burbujas. Este comportamiento coincide parcialmente con lo observado en el presente estudio, debido a que, en este caso, dicha pérdida de integridad se manifestó a partir del día 15 y no se visualizaron las *burbujas*. Posteriormente, en su experimento, el hueso se disolvió por completo entre los días 6 y 7, dejando un residuo blanco en el fondo del frasco, lo cual resultó coincidente con lo aquí registrado, con la discrepancia de que dicho fenómeno se observó recién en la apertura de los 30 días, exceptuando las muestras de los 60 días que, tanto la número 10 como la número 12, conservaron pequeños restos óseos, lo cual podría deberse a las diferentes dimensiones de las muestras. Respecto a los tejidos blandos, se observó un cambio de coloración hacia un tono amarronado, lo que resulta concordante con lo descrito por los autores en su experimento. La discordancia en los tiempos podría deberse, probablemente, a las diferentes concentraciones que presentan los productos.

En lo que respecta a la soda cáustica, los autores señalaron que esta sustancia disolvió la grasa presente en la muestra de carne, así como el contenido de la cavidad medular en el

fémur, pero no provocó alteraciones en la estructura ni en el color del hueso. Además, observaron que, al entrar en contacto el tejido biológico con la soda cáustica, se generó una reacción exotérmica que provocó un aumento considerable de la temperatura del recipiente, impidiendo su manipulación sin protección. En contraste con lo reportado por Hartnett et al. (2011), los resultados del presente estudio indican que, cuando los especímenes son expuestos a la soda cáustica durante un período prolongado de 90 días, se produce no solo una degradación significativa de los tejidos blandos, sino también una alteración parcial del tejido óseo. Estas diferencias podrían deberse a las diferentes concentraciones o a las marcas de soda cáustica utilizadas.

Además, en el estudio de Grillo et al. (2011), los autores reportan que la muestra de cerdo, tras ser expuesta al ácido sulfúrico durante 30 minutos, presentó un cambio de coloración hacia una tonalidad marrón, similar a un estado "cocido". Al segundo día, las estructuras musculares se habían aflojado y la médula ósea se había ablandado; al sexto día, el hueso comenzó a erosionarse, aunque aún mantenía su integridad. En el presente estudio, se observó un cambio de color similar en la carne, tornándose amarronada, pero este cambio ocurrió recién a los dos días. Asimismo, se evidenció una concordancia en la separación de las estructuras musculares, fenómeno que en este caso se manifestó en la apertura de los 15 días, donde también se advirtió una pérdida de integridad del soporte óseo. Estas diferencias podrían atribuirse nuevamente a las distintas concentraciones utilizadas, así como a la composición de la sustancia ácida, la cual no solo contiene ácido sulfúrico, sino también ácido fosfórico.



CONCLUSIONES

“Efectos de las sustancias corrosivas sobre los orificios de entrada de proyectiles de arma de fuego.”

Conclusiones

Finalizado con éxito el proceso de recolección y análisis de muestras, y, considerando los datos recolectados, se puede concluir lo siguiente.

Objetivo específico N.º 1: Comparar los orificios de entrada en su estado de descomposición sin acelerantes con aquellos sometidos a las sustancias corrosivas.

Se puede concluir que, respecto a las muestras sumergidas sin acelerantes (agua potable- condiciones de control), durante todo el período de muestreo, los orificios de entrada sobre los tejidos óseos se mantuvieron con una morfología circular bien definida, siendo posible su medición en aquellos casos donde los tejidos musculares no se presentaban hinchados. Respecto a las muestras sometidas a las sustancias corrosivas, en el caso de la solución ácida, se pudieron observar alteraciones sobre el orificio de entrada a partir de los 15 días, sin poder obtener medidas de estos en ningún período de apertura; y, en lo referente a la solución básica, también se observaron alteraciones, pero en períodos de tiempo diferentes, pudiendo medirse estos orificios en algunas ocasiones.

Objetivo específico N.º 2: Determinar si el diámetro de los orificios de entrada sometidos a sustancias corrosivas permite aproximar el calibre del arma de fuego utilizada.

Ante la irregularidad del orificio y de lo que se observa, no resulta posible determinar de manera fehaciente el calibre del proyectil que atravesó la superficie. Sí se puede inferir qué calibres *no* fueron y aproximar los calibres que *sí* podrían haber sido. En esta investigación, en el caso de la solución ácida, en ninguno de los períodos de apertura se pudieron obtener medidas de los orificios por las circunstancias descritas anteriormente, por lo tanto, no se puede inferir el calibre del proyectil de arma de fuego que se utilizó. Mientras que, en el caso de la solución de soda cáustica, al lograr obtener medidas de algunas de las muestras, sí se puede inferir el calibre de ellas; las medidas van desde los 8 mm a los 10,2 mm, esto sugiere que los orificios podrían haber sido producidos por proyectiles que se encuentran en un rango de calibres

intermedios, donde estarían incluidos calibres como .38, 9 x 19 mm o .40 S&W, entre otros. Además, para determinar el calibre, siempre y en todos los casos, es necesario tener una vaina o un proyectil.

Objetivo específico N.º 3: Explorar las diferencias en las muestras observadas según si fueron sometidas a una solución u a otra.

Como principal diferencia entre las distintas sustancias se puede destacar los períodos de tiempo en los que se produjeron alteraciones sobre los orificios de entrada. En cuanto a las muestras expuestas a la solución ácida, a partir de los 15 días ya se pudieron ver cambios muy significativos sobre los orificios de entrada; esto es debido a que las muestras se encontraban separadas en fragmentos o totalmente desintegradas; solo en dos de las muestras, se pudo llegar a observar un medio círculo en el tejido óseo, siendo imposible obtener su medida dado que era maleable y al manipularlo este se deformaba. Por lo que respecta a la solución básica, las muestras se mantuvieron íntegras durante el tiempo, obteniendo recién a los 90 días muestras desintegradas con similares características a las muestras de 15 días de la solución anterior.

En relación con lo anteriormente desarrollado, de ninguna de las muestras relativas a la solución de ácido sulfúrico-ácido fosfórico se pudieron obtener medidas del orificio, registrándose un total de 0 sobre 12. En cambio, en las muestras correspondientes a la solución básica, fue posible medir el orificio en 6 de las 12 muestras.

Otra divergencia entre soluciones importante a destacar es el *ahumamiento*. En las muestras sometidas a ácido sulfúrico-ácido fosfórico, una sola de ellas presentó una pequeña mácula de color negro pudiendo inferirse como signo de ahumamiento. En las muestras inmersas en la solución de soda cáustica, las máculas de color negro que pueden deducirse como restos de ahumamiento eran más grandes, y permanecieron sobre la superficie de la muestra por un largo período de tiempo, permitiendo diferenciar el orificio de entrada.

A partir de todo lo desarrollado en los apartados precedentes, se logra dar respuesta al objetivo general de la investigación.

Objetivo general: Explorar los efectos que se producen sobre los orificios de entrada ocasionados por un proyectil de arma de fuego 9 x 19 mm en superficies óseas con tejido blando cuando se somete a una solución de soda cáustica o a una solución de ácido sulfúrico-ácido fosfórico.

Habiendo contestado los objetivos específicos, se pueden desarrollar los efectos generales que se han producido sobre los orificios de entrada habiendo sometido las muestras en las soluciones básica y ácida.

Se pudo determinar que las sustancias corrosivas utilizadas en esta investigación producen alteraciones significativas sobre el orificio de entrada, obstaculizando la inferencia del calibre e incluso la identificación del orificio en sí.

Como principal efecto diferente entre ambas sustancias corrosivas, se destacó la diferencia de tiempos requerida para llegar a la desintegración de las muestras; en las muestras sumergidas en la solución básica, el orificio de entrada conservó su integridad hasta la apertura de los 60 días, aunque la hinchazón no permitió la toma de medidas sin alterar las muestras en las primeras aperturas; mientras que, en la solución ácida, ya en la apertura de los 15 días las muestras no se presentaban íntegras, impidiendo su medición a partir de esta apertura.

Para concluir con el proyecto, las autoras destacan que, en esta investigación, se puede determinar que el orificio de entrada fue producido por un proyectil de arma de fuego; sin embargo, en casos reales, si se halla un cadáver en las condiciones expuestas para esta investigación, deberían hacerse otros análisis complementarios, ya que en muchos casos no se podía ni siquiera determinar si fue un orificio producto de un proyectil de arma de fuego, o si el orificio fue producido por algún otro tipo de proyectil, elemento contuso, o incluso la propia degradación de la muestra.

A decorative border on the left side of the page, consisting of a vertical column of alternating human femurs and Erlenmeyer flasks. The flasks contain a dark liquid with small white bubbles, suggesting a chemical reaction. The entire border is rendered in a dark, textured green color.

RECOMENDACIONES

“Efectos de las sustancias corrosivas sobre los orificios de entrada de proyectiles de arma de fuego.”

Recomendaciones

Los resultados alcanzados permiten proyectar nuevas líneas de investigación orientadas a profundizar el conocimiento en esta temática. En consecuencia, se presentan a continuación una serie de recomendaciones destinadas a orientar futuras investigaciones y contribuir tanto al ámbito académico como a la práctica profesional.

- Principalmente, el uso de carne porcina antes que vacuna; el cerdo se emplea con frecuencia como modelo biológico en investigaciones médicas y forenses debido a sus similitudes anatómicas y fisiológicas con el ser humano, particularmente en la composición de tejidos blandos, la estructura ósea y la disposición de órganos internos.
- Además, agregar como intermediario la piel o el cuero del animal elegido; en escenarios forenses, lo que se podría esperar es que el primer contacto con el proyectil de arma de fuego y con la sustancia corrosiva sea entre un cuerpo entero y no en piezas o despellejado. Por esta razón, para estudios futuros es relevante considerar la influencia de la piel como primera capa de contacto.
- Otra sugerencia es el uso de huesos más grandes, ya sea en grosor o en superficie, como los huesos del cráneo; esto se debe a que los huesos de costilla tienen más tendencia a que se fragmenten al recibir el impacto balístico; además, es más difícil encontrar casos reales donde la costilla sea la perforada con proyectiles de arma de fuego.
- Se recomienda como variable el uso de otras partes del cuerpo, como cabello o dientes, debido a la diferencia estructural con los tejidos musculares y óseos.
- También el uso de otras sustancias corrosivas que puedan conseguirse en el mercado, e incluso el uso de las mismas sustancias utilizadas en esta investigación, pero con diferentes concentraciones.
- Se propone el empleo de proyectiles de otros calibres, ya que el diámetro que estos dejan podría llegar a diferir en los resultados.

- También se podría experimentar en diferentes tiempos de exposición, y de igual manera se podrían realizar aperturas en períodos diferentes a los de esta investigación para analizar los efectos en las muestras.

- Debido a que se encontraron restos de ahumamiento sobre los orificios de entrada en las muestras, es que surge la idea del análisis para la detección de residuos de pólvora luego de la sumersión en sustancias corrosivas, ya que el día de mañana, en casos forenses reales, no se podría determinar con la simple observación si es ahumamiento fehacientemente, y no otro tipo de residuo.



REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

*“Efectos de las sustancias corrosivas sobre los
orificios de entrada de proyectiles de arma de fuego.”*

Referencia Bibliográfica y Bibliografía

Albarracín, R (1971). *Manual de Criminalística*. Editorial Policial.

Amadasi, A.- Camici, A., Sironi, L., Profumo, A., Merli, D., Mazzarelli, D., Porta, D., Duday, H., Cattaneo, C. (2015). *The effects of acid and alkaline solutions on cut marks and on the structure of bone: An experimental study on porcine ribs*. Elsevier. Legal Medicine, 17 (6), 503-508.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S134462231530033X>

Argentina. Superintendencia de Riesgos del Trabajo. (2015). *Resolución SRT N.º 801/2015. Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA)*. Boletín Oficial de la República Argentina.

Barreiro, G. (2010). *Investigación judicial de los delitos violentos*. Ediciones La Rocca.

Burgalat, M. G. y Manasseri, B. C. (2023). *Aproximación del calibre de un arma de fuego según el impacto de proyectiles en restos carbonizados* [Proyecto Final no publicado]. Biblioteca de la Facultad de Ciencia y Tecnología. Universidad Autónoma de Entre Ríos.

Burke, R. (2013). *Hazardous Materials Chemistry for Emergency Responders*. (3rd ed.). CRC Press / Taylor & Francis Group.

Canales, F. H., Alvarado, E. L., Pineda, E. B. (1994). *Metodología de la investigación* (2da ed.). Editorial Limusa.

Cibrián Vidrio, O. (2007). *Balística Técnica y Forense*. Ediciones La Rocca.

Ccaza Zapana, J. (2012). *Criminalística y Derecho Probatorio en Material Penal*. Editorial Flores.

Combina, L. (2022). *Un crimen argentino* [Película]. Pampa Films.

Cope, D., B. A., Dupras, L., Ph. D. (2009). *The Effects of Household Corrosive Chemicals on Human Dentition*. Journal of Forensic Sciences, 56(4), 1238-1246. DOI: [10.1111/j.1556-4029.2009.01147.x](https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2009.01147.x)

Número y año del decreto [con fuerza de ley]. Asunto. Fecha de promulgación del decreto.
Número en el Diario Oficial.

Decreto 302 de 1983 [Poder Ejecutivo Nacional]. Apruébese la reglamentación parcial de la Ley N° 20.429, en lo referente a pólvoras, explosivos y afines. 28 de febrero de 1983.
Boletín Oficial No 25121
<https://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/65000-69999/65856/norma.htm>

Decreto 395 de 1975 [Poder Ejecutivo Nacional]. Apruébese la reglamentación de la Ley Nacional de Armas y Explosivos (20429). 3 de marzo de 1975. Boletín Oficial No 23107.
<https://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/35000-39999/38821/norma.htm>

El Litoral. (2002, 21 de julio). *Llega al cine la historia de Juan Carlos Masciaro, el abogado y homicida que se hizo corondino*. https://www.ellitoral.com/regionales/llega-al-cine-la-historia-de-carlos-masciaro-el-abogado-y-homicida-que-se-hizo-corondino_0_VzV5hQK2zS.html?utm_term=&utm_campaign=EL+-+Website+traffic+-+Search+-+Anuncios+din%C3%A1micos&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=2288789652&hsa_cam=22807655504&hsa_grp=184294760364&hsa_ad=764651297656&hsa_src=g&hsa_tgt=dsa-19959388920&hsa_kw=&hsa_mt=&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gad_source=1&gad_campaignid=22807655504&gbraid=0AAAAACuaMr144qzrsDmLel6551WR0INCz&gclid=Cj0KCQjwsPzHBhDCARIsALIWNG27EpJCXsf5EzuzPseDQWIQ4X-N9dtbSkNJIEpInO5J7mCmemluj68aAtyqEALw_wcB

- Ferreyro, M. (2011). *Balística. Manual*. Editorial B de F.
- Fire, F. (2009). *The Common Sense Approach to Hazardous Materials*. (3rd ed.). PennWell.
- Flores, C. A. (2015). *Patología Forense. Para Médicos, Jueces, Fiscales, Abogados, Policías y Criminalistas. Tanatología. Lesionología. Asfixiología*. Editorial Tribunales.
- González, R. (2004). *Medicina Forense y Criminalística*. Ediciones Doctrino y ley LTDA.
- Grillo, M., M. D., Cascino, F. M., M. D., Murgo, V., M. D., Milone, L., M. D., Ph. D. (2011). *Method of Concealment of Corpses in Mafia's Homicides. "Meltings" in Strong Acids*. University of Palermo.
- Hartnett, K., Ph. D., Fulginiti, L., Ph. D, Di Modica, F., Det. (2011). *The Effects of Corrosive Substances on Human Bone, Teeth, Hair, Nails, and Soft Tissue*. Journal of Forensic Sciences, 56(4), 954-959. DOI: [10.1111/j.1556-4029.2011.01752.x](https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2011.01752.x)
- Hernández Sampieri, R. (). *Metodología de la investigación* (6ta ed.). McGraw Hill Education.
- Ley 20429 de 1973. Ley Nacional de Armas y Explosivos. 5 de julio de 1973. Boletín Oficial No 22700. <https://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/15000-19999/19953/norma.htm>
- Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social. (s.f.). *Sistema Globalmente Armonizado (SGA)*. Recuperado de https://www.srt.gob.ar/wp-content/uploads/2014/03/images_pdf_SGA.pdf
- Naciones Unidas. (2019). *Recomendaciones relativas al transporte de mercancías peligrosas: Reglamentación modelo* (21.^a ed.). Comité de Expertos en el Transporte de Mercancías Peligrosas y el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos. Naciones Unidas.
- Patitó, J. Á. (2012). *Manual de Medicina Legal*. Editorial AKADIA.
- Real Academia Española. (s.f.). [Cáustico]. En Diccionario de la lengua española (23.^a ed.). <https://dle.rae.es/c%C3%A1ustico?m=form>

Real Academia Española. (s.f.). [Corrosivo]. En Diccionario de la lengua española (23.^a ed.).

<https://dle.rae.es/corrosivo?m=form>

Real Academia Española. (s.f.). [Delicuescente]. En Diccionario de la lengua española (23.^a

ed.). <https://dle.rae.es/delicuescente?m=form>

Rojas, N. (1984). *Medicina Legal*. Editorial El Ateneo.

Sietecase, R. (2002). *Un Crimen Argentino*. Editorial Alfaguara.

Silveyra, J. (2008). *Armas y Crímenes*. Ediciones La Rocca.

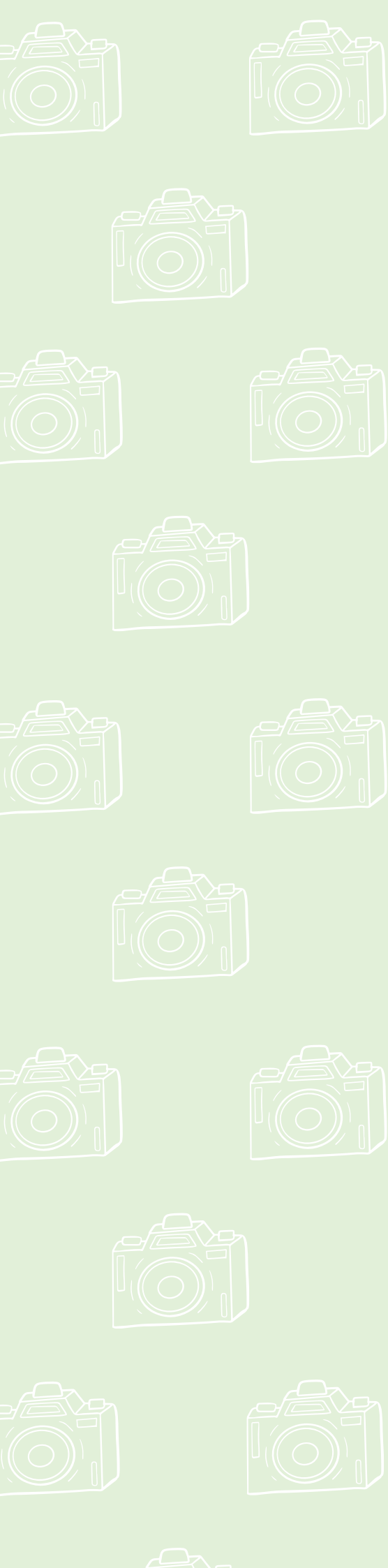
Tovar, K. (2017, junio 16). Analizan comportamiento de las antipartículas en procesos de ionización. Instituto de Física.

<https://www.fisica.unam.mx/organizacion/comunicacion/noticia.php?id=1470&>

Trujillo Nieto, G. A. (1999). *Medicina Forense*. JGH Editores.

Universidad Autónoma De Entre Ríos. (5 de Mayo de 2021). *UADER*.

<https://uader.edu.ar/la-marca-uader-se-renueva/>



ANEXO

“Efectos de las sustancias corrosivas sobre los orificios de entrada de proyectiles de arma de fuego.”

Anexos

Figura 21

Preparación del corte vacuno



Nota. Corte vacuno utilizado para el muestreo (a), señalización de zonas de disparo donde se encontraba el hueso (b), fijación del corte para la ejecución de disparos (c), distancia de disparo (d).

Figura 22

Arma de fuego y cartuchería usada



Figura 23

Registro y control de muestra



Figura 24

Preparación de los frascos



Figura 25

Frascos organizados por apertura



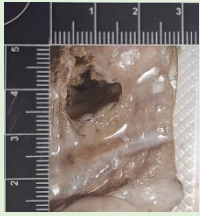
Figura 26

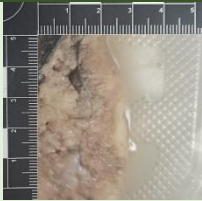
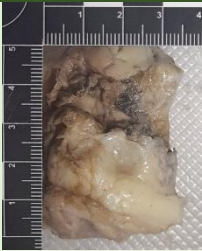
Trabajo de campo, apertura 15 días



Tabla 7

Tabla compacta, condiciones de control

Agua potable, condiciones de control					
Días	Frascos	Muestra N.º 1	Muestra N.º 2	Muestra N.º 3	Observaciones
15					
30					

					
60		 	 	 	
90					

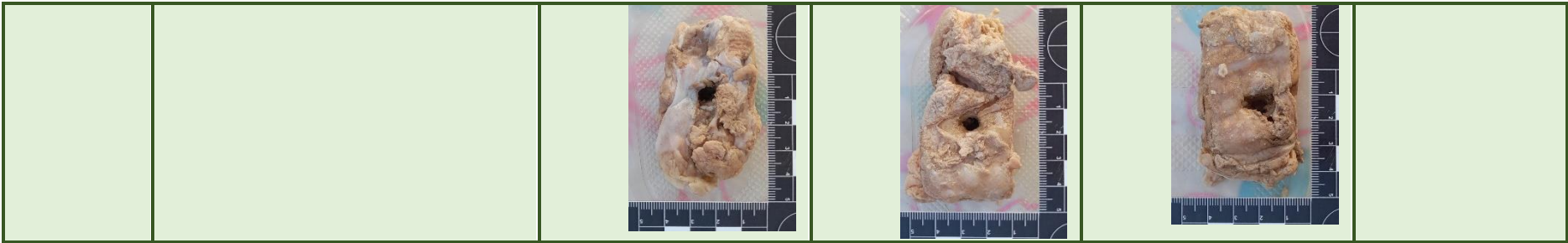
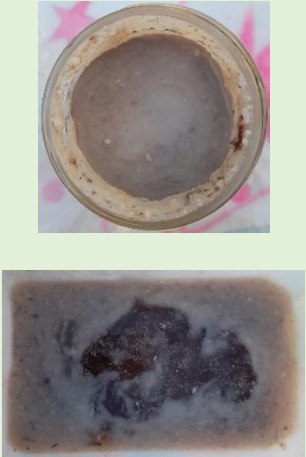


Tabla 8

Tabla compacta, solución de ácido sulfúrico-ácido fosfórico

Solución de ácido sulfúrico-ácido fosfórico					
Días	Frascos	Muestra N.º	Muestra N.º	Muestra N.º	Observaciones
15		22	23	24	Muestra 22 
					

30		4	5	6	
					
					
					
60		10	11	12	
					Muestra 10 

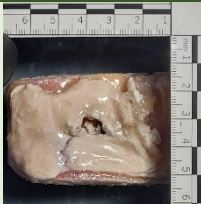
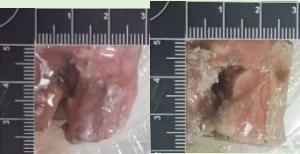
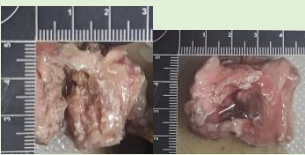
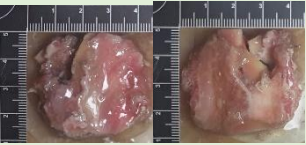
		 	 		Muestra 12 
90		16	17	18	
					

					
--	--	--	--	---	--

Tabla 9

Tabla compacta, solución de soda cáustica

Solución de soda cáustica					
Días	Frascos	Muestra N.º	Muestra N.º	Muestra N.º	Observaciones
15		25	26	27	
					

					
30		7	8	9	
					
60		13	14	15	
					

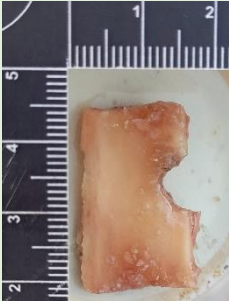
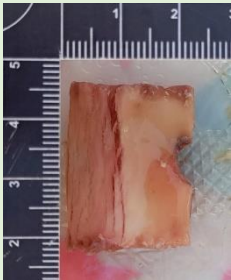
					
		19	20	21	
90					

Figura 27*Tabla de datos*

Días	Sustancia	Muestra N.º	Hinchazón	Ahumamiento	Observaciones sobre la visualización del orificio	Medidas
15	Agua	1	SÍ	SÍ	No se pudo observar por la hinchazón	-
15	Agua	2	SÍ	SÍ	Había hinchazón pero se visualizaba perfecto	10,2 mm
15	Agua	3	SÍ	SÍ	Había hinchazón pero se visualizaba perfecto	9,8 mm
15	LAC Plus	22	NO	SÍ	Hueso fragmentado, parte con semicírculo	-
15	LAC Plus	23	NO	NO	Hueso perforado de bordes irregulares	-
15	LAC Plus	24	NO	NO	Sí se visualizó el orificio, circular y bien definido	-
15	Soda Cáustica	25	SÍ	SÍ	Sí se visualizó el orificio, circular y bien definido	9,5 mm
15	Soda Cáustica	26	SÍ	SÍ	Sí se visualizó el orificio, circular y bien definido	10,2 mm
15	Soda Cáustica	26	SÍ	SÍ	Sí se visualizaba el orificio pero no tan circular ni definido	8 mm
30	Agua	1	SÍ	SÍ	No se pudo observar por la hinchazón	-
30	Agua	2	SÍ	SÍ	No se pudo observar por la hinchazón	-
30	Agua	3	SÍ	SÍ	No se pudo observar por la hinchazón	-
30	LAC Plus	4	NO	NO	-	-
30	LAC Plus	5	NO	NO	-	-
30	LAC Plus	6	NO	NO	-	-
30	Soda Cáustica	7	NO	SÍ	Hueso fragmentado, orificio ovalado de bordes irregulares	-
30	Soda Cáustica	8	NO	SÍ	Hueso fragmentado, orificio ovalado de bordes irregulares	-
30	Soda Cáustica	9	NO	SÍ	Hueso fragmentado, orificio ovalado de bordes irregulares	-
60	Agua	1	SÍ	SÍ	No se pudo observar por la hinchazón	-
60	Agua	2	SÍ	SÍ	Sí se visualizó el orificio, circular y bien definido	10,7 mm
60	Agua	3	SÍ	SÍ	Sí se visualizó el orificio, circular y bien definido	10 mm
60	LAC Plus	10	NO	NO	Se halló un fragmento de hueso donde se observaba un medio círculo	-
60	LAC Plus	11	NO	NO	-	-
60	LAC Plus	12	NO	NO	-	-
60	Soda Cáustica	13	SÍ	-	No se pudo observar por la hinchazón	-
60	Soda Cáustica	14	SÍ	SÍ	No se pudo observar por la hinchazón	-
60	Soda Cáustica	15	SÍ	SÍ	No se pudo observar por la hinchazón	-
90	Agua	1	MENOS	SÍ	Estaba hinchada, pero sí se observaba el orificio	8,9 mm
90	Agua	2	MENOS	SÍ	Sí se visualizó el orificio, circular y bien definido	9,1 mm
90	Agua	3	MENOS	SÍ	Sí se visualizó el orificio, circular y bien definido	9,1 mm
90	LAC Plus	16	NO	NO	-	-
90	LAC Plus	17	NO	NO	-	-
90	LAC Plus	18	NO	NO	-	-
90	Soda Cáustica	19	NO	SÍ	Hueso fragmentado, parte con semicírculo	8,6 mm
90	Soda Cáustica	20	NO	NO	Hueso fragmentado, parte con semicírculo	8,6 mm
90	Soda Cáustica	21	NO	SÍ	Hueso fragmentado, parte con semicírculo	9,8 mm