

Universidad Nacional

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Escuela de Ciencias Biológicas

Informe Final

(PASANTÍA)

“Fortalecimiento de competencias técnicas y profesionales en verificación metrológica en la Sección de Toxicología Forense del Departamento de Ciencias Forenses del Organismo de Investigación Judicial”

Organismo de Investigación Judicial, Departamento de Ciencias Forenses, Sección de Toxicología

Estudiante:

Fabiana Morales-González

(116680662)

Tutor

Dr. Javier Alvarado Mesén

Supervisor

Lic. Marco Martínez Esquivel

Campus Omar Dengo

Heredia, Costa Rica

Setiembre, 2025

Este trabajo de graduación fue APROBADO por el Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Biotecnología.

M.Sc. Luis Vega Corrales

Representante del Decano, quién preside

M.Sc. Freylan Mena Torres

Representante de la Dirección de la Escuela de Ciencias Biológicas

Dr. Javier Alvarado Mesén

Tutor

Lic. Marco Martínez Esquivel

Supervisor

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a Dios por permitirme alcanzar una de mis metas más importantes.

A mis padres, por ser un apoyo incondicional y por motivarme siempre a dar lo mejor de mí, de igual manera agradezco especialmente a Hillary Sandi Salas, quien no solo me brindó su ayuda y compañía, sino que se convirtió en mi mejor amiga y en un pilar fundamental durante todo este proceso. No encuentro palabras suficientes para expresar mi gratitud.

Extiendo también mi agradecimiento a la Sección de Toxicología Forense por brindarme la oportunidad de realizar mi trabajo de graduación en sus instalaciones, y al profesor y Dr. Javier Alvarado Mesén por su orientación y apoyo constante a lo largo de este proyecto.

Dedicatoria

A mi familia, por su apoyo incondicional, su paciencia y amor constante a lo largo de este proceso. Gracias por ser mi base, mi refugio y mi mayor motivación para seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles. Este logro también es de ustedes.

ÍNDICE

Agradecimientos	3
Dedicatoria	4
Abreviaturas	6
Resumen	7
Ubicación geográfica	11
Visión	11
Misión	11
Justificación de la pasantía	12
Objetivos de la pasantía	18
Objetivo General	18
Objetivos específicos	18
Metodología de trabajo	19
Resultados	22
Discusión de los resultados	25
Relevancia de la pasantía en el perfil profesional	29
Conclusiones	30
Recomendaciones	31
Referencias bibliográficas	32

Abreviaturas

ANABANSI	<i>American National Standards Institute – National Accreditation Board</i>
DCF	Departamento de Ciencias Forenses
ILAC	<i>International Laboratory Accreditation Cooperation</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organización Internacional de Normalización)
ISO 8655-6	<i>Piston-operated volumetric apparatus — Gravimetric methods for determination of measurement error</i>
ISO Guide 98-3 (GUM)	<i>Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement</i>
ISO/IEC 17025:2017	Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración
OIJ	Organismo de Investigación Judicial
OIML	<i>Organización Internacional de Metrología Legal</i> (International Organization of Legal Metrology)
OIML R111-1	Weights of classes E1, E2, F1, F2, M1, M2, M3

Resumen

La pasantía se llevó a cabo en la Sección de Toxicología Forense del OIJ, con el propósito de fortalecer las competencias técnicas y profesionales de la estudiante mediante la verificación metrológica de instrumentos críticos, en concordancia con la norma ISO/IEC 17025:2017. La experiencia formativa en metodología incluyó la revisión de Procedimientos Operativos Normalizados, el Manual de Calidad y programas de control de equipos, así como el atestiguamiento de competencias técnicas. Se realizaron verificaciones intermedias en balanzas, micropipetas y termómetros, aplicando normas internacionales (OIML R111-1, ISO 8655-6, ISO GUM) y controles ambientales que garantizaron la trazabilidad y confiabilidad de los resultados. Los hallazgos demostraron que la metrología y el aseguramiento documental fortalecen la validez de los dictámenes forenses, consolidando la imparcialidad técnica y la gestión de riesgos en el laboratorio. En conclusión, la experiencia evidenció que la metrología es un pilar esencial en el ámbito forense y biotecnológico, al asegurar la exactitud de las mediciones y contribuir al perfil profesional mediante herramientas normativas y prácticas con impacto científico, legal y social.

Palabras clave: Metrología forense, ISO/IEC 17025, trazabilidad, balanzas, micropipetas, termómetros, control de calidad, toxicología forense.

Introducción

Historia de la Institución

Para comprender el origen del Organismo de Investigación Judicial (OIJ) es necesario hacer un recorrido breve en la historia política del país que hizo posible su constitución como entidad pública. Es importante mencionar que Costa Rica logra su independencia el 15 de setiembre de 1821 y de esta manera la organización política inició por parte de los costarricenses creando un gobierno propio. Para el 1.º de diciembre de 1821, bajo este contexto, se formula el Pacto Social Fundamental Interino de Costa Rica, conocido como el Pacto de Concordia; en el cual se funda la Junta Suprema Gubernamental para cumplir las funciones de gobierno, así como un tribunal para ejercer la justicia (Rojas *et al.*, 2007). Asimismo, la Asamblea Nacional Constituyente estableció, mediante el Decreto V, la división del Estado en tres poderes: Ejecutivo, Legislativo y Judicial, el 24 de setiembre de 1824 (Cascante Segura, 2023)

Arroyo-Chacón (2019) explica que, en la rama judicial, se estableció que la Corte Suprema de Justicia impartiría el poder; pero no es hasta el 25 de enero de 1825 con la Ley Fundamental del Estado Libre de Costa Rica, que se empieza a plantear de qué forma podría estar constituida dicha Corte. El 1.º de octubre de 1826 se establece que esta se conformaría por tres magistrados y los tribunales y juzgados se constituirían por Ley. El gobernante de esa época, Braulio Carrillo Colina, emitió el Código General que comprendía tres partes o códigos: civil, penal y de procedimientos (Arroyo-Chacón, 2019).

En el contexto de los procesos de modernización institucional que caracterizaron a Costa Rica a mediados del siglo XX, se produjo un fortalecimiento sustancial del Poder Judicial, derivado de la promulgación de la Constitución Política de 1949, vigente hasta la

actualidad. En dicho texto constitucional, el Poder Judicial se establece como un órgano autónomo e independiente de los demás poderes del Estado, reconociéndosele la potestad de autoorganización y autogobierno, así como la facultad de nombrar a su propio personal, sin injerencia del Poder Ejecutivo ni del Legislativo, tal como se estipula en los artículos 9, 153 y 154 (Roldán & Solano, 2001).

Este reconocimiento normativo no solo consolidó la independencia política del Poder Judicial, sino que además le asignó de manera exclusiva la función de juzgar y sentenciar, atribución que constituye la esencia del órgano jurisdiccional. En consecuencia, los funcionarios encargados de la administración de justicia pueden ejercer sus labores con plena imparcialidad, garantizando que sus resoluciones no se vean subordinadas a los intereses de los otros poderes estatales ni a presiones de carácter gremial o sectorial (Arroyo-Chacón, 2019).

Por otro lado, Mora y Solís (2003) mencionan que, con los cambios realizados en la Constitución Política, el 12 de diciembre de 1973 se aprobó la Ley 5229, la cual respalda la creación del Organismo de Investigación Judicial. Este quedó sujeto a la Corte Suprema de Justicia y fue necesario expandir el personal judicial, incluyendo fiscales.

Según Roldán y Solano (2001), las directrices impuestas por la Ley Orgánica del Organismo de Investigación Judicial establecen que dicho ente está conformado por una Dirección General, que posee el control sobre los siguientes departamentos: el Departamento de Investigaciones Criminales, el Departamento de Medicina Legal y el Departamento de Ciencias Forenses (DFC). Este último está encargado de realizar los peritajes, llevar a cabo los estudios y evacuar las consultas relativas a las ciencias forenses en todos aquellos asuntos que le competan.

El DCF cumple una función técnica fundamental en el apoyo al sistema de justicia, siendo responsable de la ejecución de análisis científicos que permitan interpretar la evidencia física relacionada con un hecho delictivo. Entre sus funciones destacan la identificación de sustancias, el análisis de muestras biológicas, la comparación balística, la documentación de huellas y rastros, así como la emisión de informes periciales que contribuyen a la toma de decisiones judiciales. La labor del DCF se caracteriza por su alto grado de especialización y su apego a estándares internacionales de calidad, con el fin de garantizar la confiabilidad, trazabilidad y objetividad de los resultados emitidos.

Para la década de 1990, la Morgue Judicial se encontraba en el sexto piso de un edificio en una zona muy céntrica de la capital costarricense. Las quejas por los olores provocaron una orden sanitaria interpuesta por los comerciantes de la zona (Chinchilla-Mora, 2019). Debido a esta situación, se iniciaron los trámites para trasladar hacia otro lugar las instalaciones de los Departamentos de Medicina Legal y Laboratorios Forenses. Fue así como a partir de 1997, ambos departamentos comenzaron a operar en la finca La Soledad, ubicada en San Joaquín de Flores, en la provincia de Heredia. Las nuevas instalaciones cuentan con una superficie total de más de catorce mil metros cuadrados, superando con creces los aproximadamente dos mil metros cuadrados de las anteriores instalaciones (Chinchilla-Mora, 2019).

En este contexto institucional y normativo, la presente pasantía se desarrolló propiamente en la Sección de Toxicología Forense, con el propósito de fortalecer las competencias técnicas y profesionales de la estudiante a través de la adquisición y aplicación de conocimientos teóricos y prácticos en principios metroológicos, normativos y de gestión de la calidad. Estas competencias fueron integradas por medio de la participación en procesos de verificación metroológica, control de instrumentos y análisis de conformidad, conforme con los requisitos establecidos por la norma ISO/IEC 17025:2017 (International Organization for Standardization (ISO), 2017). Esta experiencia permitió consolidar conocimientos fundamentales para el ejercicio profesional en el ámbito biotecnológico, en especial aquellos relacionados con la trazabilidad de las mediciones, la calidad de los resultados analíticos y su impacto en el contexto forense.

Ubicación geográfica

El Departamento de Ciencias Forenses se encuentra ubicado en San Joaquín de Flores, Heredia, Costa Rica, cuyas coordenadas corresponden a 10.007385661395764, -84.16373113310864.

Visión

Asistir con eficiencia y eficacia a la administración de justicia, por medio de la integración de conocimientos técnicos y científicos a la ejecución de análisis, que respalden el desarrollo de una actividad probatoria lícita, útil y veraz.

Misión

Por medio de la constante actualización en los avances más recientes del conocimiento técnico y científico, integrar un modelo de organización en ciencias forenses ejemplar en el ámbito continental, optimizando con ello la producción y el nivel de calidad analítica, acordes con las exigencias y necesidades de nuestra sociedad.

Justificación de la pasantía

Las normas ISO 9000 constituyen un conjunto de estándares internacionales creados para orientar y evaluar los sistemas de gestión de la calidad en organizaciones de cualquier sector y tamaño. Estas normas, desarrolladas por la Organización Internacional de Normalización (ISO, por sus siglas en inglés), ofrecen una base sólida para asegurar que los productos y servicios de una empresa, organización o institución cumplan de manera constante con los requisitos de calidad y las expectativas de los clientes. Según Goetsch y Davis (2016), estas normas “proporcionan un marco sólido para garantizar que las organizaciones cumplan consistentemente con las expectativas del cliente y los requisitos de calidad” (p. 45).

La serie ISO 9000 (cuadro 1) se enfoca en varios principios de gestión de la calidad, como por ejemplo el enfoque en el cliente, el liderazgo, la participación del personal y el enfoque basado en procesos; en la actualidad cada empresa, institución u organización debe trabajar con los criterios y estándares de calidad para así garantizar y satisfacer a sus usuarios, por este motivo surge la norma ISO 9000 en la cual se plantea implementar un sistema normalizado de calidad (Baeza y Mertens, 1999).

Cuadro 1. Composición de las normas ISO 9000 (Baeza y Martens, 1999)

NORMA 9000: GUÍAS PARA LA SELECCIÓN Y USO.

NORMA 9001: MODELO PARA EL ASEGURAMIENTO DE CALIDAD EN EL DISEÑO, DESARROLLO, PRODUCCIÓN, INSTALACIÓN Y SERVICIO.

NORMA 9002: MODELO PARA EL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN PRODUCCIÓN, INSTALACIÓN Y SERVICIO.

NORMA 9003: MODELO PARA EL ASEGURAMIENTO DE CALIDAD EN INSPECCIÓN Y PRUEBAS FINALES.

NORMA 9004: GUÍA GENERAL PARA SERVICIOS, PARA MATERIALES PROCESADOS, PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD.

Esta norma ISO 9000 implica contar con documentación obligatoria, por ejemplo, un Manual de Calidad, Procedimientos Generales y Específicos e incluso Registros de Calidad; esto para asegurar de que todo lo realizado en los procesos concuerden con lo antes mencionado (manuales, procedimientos y registros de calidad).

En el caso de un laboratorio acreditado según Westgard (2014), resulta fundamental que este opere bajo condiciones controladas que le permitan demostrar, tanto a sus clientes como a las entidades competentes, que sus resultados se ajustan a criterios de calidad previamente establecidos. Entre los requisitos esenciales que deben cumplir los laboratorios que ofrecen servicios de ensayo, destaca la necesidad de aplicar técnicas analíticas precisas que permitan validar resultados fiables y reproducibles. Este principio tiene un carácter general, aunque adquiere particular importancia en aquellos casos en los que los análisis realizados tienen implicaciones legales, tal es el caso de los laboratorios que deben emitir criterios técnicos en dictámenes dirigidos a las autoridades judiciales, donde se exige un mayor nivel de rigurosidad y trazabilidad. En este contexto, la norma ISO/IEC 17025:2005 se ha consolidado como una de las principales guías para la implementación de sistemas de gestión de calidad y la obtención de la acreditación correspondiente, ya que es una norma internacional que especifica los requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración (Arroyo-Chacón, 2019).

De esta forma, la mayoría de los laboratorios de ensayo de organizaciones públicas o privadas a nivel mundial, incluyendo al DCF del OIJ han puesto en marcha la utilización de las normas de calidad con el fin de garantizar y evidenciar su competencia técnica.

En este sentido, es importante mencionar que Costa Rica cuenta con un Sistema Nacional de la Calidad el cual se rige por la ley 8279, creada en el año 2002, cuyo propósito consiste en tener un sistema para monitorear las actividades que favorezcan una cultura de calidad, con la que se proporcione una mejor competitividad de las empresas e instituciones y que genere confianza con sus servicios (Arroyo-Chacón, 2019)

Los laboratorios dedicados a las ciencias forenses deben velar por la calidad de sus servicios; en el caso de la toxicología forense, el alcance técnico se ha vuelto muy exigente, esto debido a que la sociedad cada día presenta un aumento en criminalidad, lo que implica técnicas analíticas con mayor amplitud para trabajar más y con mejores procedimientos automatizados los cuales proporcionan resultados con mayor certeza (Soria, 2023).

El papel de las ciencias forenses es brindar confiabilidad a las pericias realizadas, con el fin de garantizar la justicia, proteger los derechos individuales y mantener la integridad del sistema legal. En este sentido, contar con un Sistema de Gestión de Calidad en los procesos penales permite que los procedimientos policiales y judiciales se realicen de manera sistemática y documentada, lo que fortalece la integridad de la cadena de custodia y la calidad de las evidencias presentadas en juicio. De lo contrario, la ausencia de un sistema estructurado puede dar lugar a errores en la recolección, preservación y presentación de pruebas, debilitando el caso y afectando la adecuada administración de justicia (Sardiñas y Hernández, 2002).

Por lo tanto, la mayoría de los laboratorios de análisis ponen en práctica la producción de datos analíticos de alta calidad a través de mediciones críticas que proporcionen confiabilidad y que sean adecuadas a los procedimientos utilizados. Las buenas prácticas en el sistema de calidad aseguran que cada proceso implica hacer las cosas de la manera correcta y utilizando el método adecuado para lograr la satisfacción del cliente (Contreras, 2005).

Para garantizar que se cumplen con todos los requisitos en calidad, los laboratorios fomentan el interés de alcanzar la acreditación, la cual es un reconocimiento formal por parte de una entidad encargada de verificar que dicho laboratorio es competente para realizar las pericias solicitadas.

El DCF cuenta con la acreditación otorgada por la *National Accreditation Board* (ANAB; ANABANSI por sus siglas en inglés de American National standards Institute). Los procesos del DCF, se estructuran por medio de los Procedimientos de Operación Normados Generales y Específicos, así mismo se busca la imparcialidad de los procesos ejecutados esto por medio de una matriz que busca la Identificación de Riesgos Potenciales a la imparcialidad en el DCF.

En la Ciudad Judicial ubicada en de San Joaquín de Flores, provincia de Heredia, se encuentra la planta física del DCF la cual cuenta con instalaciones equipadas con los materiales y condiciones ambientales para realizar correctamente los análisis e inspecciones solicitadas por la autoridad judicial correspondiente. El departamento cuenta con 8 secciones diferentes, entre ellas la Sección de Toxicología Forense la cual es la encargada de determinar la presencia o ausencia de alguna sustancia en el organismo de una persona u otro ser vivo,

que pudiera haber producido un efecto nocivo y que estuviera relacionado a una causa judicial.

Cada sección debe garantizar la validez de los resultados, los cuales no deben verse perjudicados por las condiciones ambientales ya que se emplean controles (tanto negativos como positivos) según se establecen en los procedimientos de operación normados específicos periciales aprobados y vigentes en la normativa (Gómez y Pérez, 2023).

Como parte de los métodos con los que cuenta el DCF, se encuentra el criterio de operación normado denominado: Procedimiento Control de Instrumentos de Medición, Análisis, Aparatos Auxiliares y Patrones de Medición, el cual contiene descripciones generales para la identificación, manipulación, transporte, verificación y control, como parte del mantenimiento rutinario, así como la aplicación de un Programa de Mantenimiento Preventivo y Calibración y/o Verificación (Gómez y Pérez, 2023).

Los responsables de las verificaciones intermedias deben evaluar la posibilidad de someter el instrumento de medición, análisis o equipo auxiliar crítico a un proceso de calibración, con el fin de confirmar que cumple con los requisitos establecidos en los procedimientos operativos normativos vigentes.

Como parte de los procedimientos de calidad, se registran y monitorean las condiciones ambientales de las áreas de trabajo cuando las metodologías de análisis o inspección así lo requieren. En las áreas donde se utilizan refrigeradores y congeladores para almacenar evidencias, productos químicos y reactivos críticos, estos equipos están etiquetados y deben ser revisados o verificados periódicamente para asegurar su correcto funcionamiento. Algunos procedimientos especifican las temperaturas o rangos que deben mantenerse, como en el caso de los refrigeradores que deben estar entre $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($>32\text{ }^{\circ}\text{F}$ a $50\text{ }^{\circ}\text{F}$) y los congeladores a $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\leq 32\text{ }^{\circ}\text{F}$) (Gómez y Pérez, 2023).

Un ejemplo de lo mencionado anteriormente se encuentra en el artículo 6.2.3.1 del manual de calidad del DCF. En este artículo se indica que, si la temperatura registrada, ya sea ambiental o de un equipo, se encuentra fuera del rango establecido, se deben realizar los ajustes necesarios y regular la intensidad térmica hasta que la lectura esté dentro del intervalo especificado. Si la temperatura continúa fuera del rango, es necesario contactar a la Jefatura de Sección (Gómez y Pérez, 2023).

En los laboratorios del DCF donde se almacenan indicios o insumos críticos que no ocupen condiciones especiales de temperatura, el personal de cada sección será el encargado de verificar los instrumentos requeridos con el fin evitar deterioro, contaminación o pérdida de los indicios, dejándose constancia de lo anterior por medio del formulario Evaluación de Condiciones de Almacenamiento de Insumos Adquiridos o Indicios que no Requieren Condiciones Especiales de Temperatura (Gómez y Pérez, 2023).

Dentro de las capacidades del DCF se asegura la trazabilidad de las mediciones, lo que influye significativamente en los resultados de cualquier análisis o inspección. Este es un requisito técnico, legal y confiable para los resultados (Contreras, 2005).

Para verificar que la Sección de Toxicología Forense sigue la trazabilidad de los equipos métricos, se cuenta con un programa de calibración o verificaciones. Estas calibraciones se garantizan mediante el uso de servicios de laboratorios que demuestren trazabilidad y competencia. Además, los certificados e informes de calibración emitidos por el ente encargado deben incluir la trazabilidad de los patrones nacionales y contener los resultados de la medición, incluyendo la incertidumbre asociada y/o una declaración de conformidad con una especificación metrológica identificada.

En este contexto, la presente pasantía en la Sección de Toxicología Forense del DCF se justificó no solo por la necesidad institucional de mantener la trazabilidad y fiabilidad de los procesos de medición, sino también como una oportunidad formativa clave para la estudiante. Su desarrollo permitió fortalecer competencias técnicas y profesionales mediante la adquisición y aplicación de conocimientos técnicos y prácticos en principios metrológicos, normativos y de gestión de la calidad, conforme a los lineamientos del sistema de aseguramiento de la calidad implementado en el laboratorio, basado en la norma ISO/IEC 17025:2017. Esta experiencia resulta fundamental para la formación integral en el ámbito biotecnológico y aporta herramientas cognitivas esenciales para un desempeño profesional riguroso y conforme con estándares internacionales (Taverniers, De Loose, & Van Bockstaele, 2004).

La formación práctica en entornos forenses acreditados brinda a los profesionales en formación una experiencia única para aplicar conocimientos técnicos en condiciones reales de control de calidad, documentación técnica y aseguramiento metrológico. En especial, en laboratorios que trabajan bajo normas como la ISO/IEC 17025:2017, ya que se promueve

una cultura orientada a la mejora continua, la competencia técnica y la toma de decisiones basadas en evidencias (International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC), 2017). La participación en estos procesos permite consolidar la comprensión sobre la importancia de la trazabilidad en las mediciones, la gestión del riesgo y la evaluación de la conformidad, lo cual resulta crucial para quienes aspiran a desarrollarse en el campo biotecnológico y en áreas de aplicación analítica y forense.

Objetivos de la pasantía

Objetivo General

Fortalecer las competencias técnicas y profesionales de la estudiante mediante la adquisición de conocimientos teóricos y prácticos sobre principios metroológicos, normativos y de gestión de calidad, aplicados a los procesos de medición en la Sección de Toxicología Forense del Departamento de Ciencias Forenses del Organismo de Investigación Judicial, como base fundamental para su desempeño en el ámbito biotecnológico.

Objetivos específicos

- Reconocer los principios fundamentales de la metrología y su aplicación en los procesos de medición del Laboratorio Forense, dada su relevancia en entornos biotecnológico donde la exactitud y trazabilidad son esenciales.
- Realizar procedimientos de verificación y control de equipos de medición utilizados en la Sección de Toxicología Forense, como experiencia formativa para contextos biotecnológicos que requieren alta confiabilidad analítica.
- Interpretar los requisitos técnicos y de gestión establecidos en la norma ISO/IEC 17025:2017, valorando su aplicación en la validación de resultados en el campo biotecnológico.

Metodología de trabajo

El desarrollo metodológico de esta pasantía se estructuró con el propósito de cumplir los requisitos establecidos en la norma ISO/IEC 17025:2017, que regula la competencia técnica de los laboratorios de ensayo y calibración, y de atender los lineamientos específicos aplicables a los diferentes instrumentos de medición de la Sección de Toxicología Forense del Departamento de Ciencias Forenses del Organismo de Investigación Judicial. Esta metodología fue diseñada no solo para garantizar el aseguramiento de la trazabilidad metrológica, sino también para propiciar la adquisición y aplicación de conocimientos teóricos y prácticos en principios metrológicos, normativos y de gestión de la calidad. De este modo, se buscó fortalecer las competencias técnicas y profesionales de la estudiante y aportar bases sólidas para su desempeño en el ámbito biotecnológico. Las actividades que se realizaron se detallan a continuación:

Revisión documental y comprensión de la normativa

Como fase inicial, se realizó la lectura y análisis de los documentos de los Procedimientos Operativos Normalizados (PON) institucionales con el objetivo de comprender los principios fundamentales de la metrología y su aplicación en un laboratorio forense, así como de interpretar los requisitos técnicos y de gestión de la norma ISO/IEC 17025:2017, en lo relativo al aseguramiento de la trazabilidad, el control documental y la competencia técnica del personal. Se revisaron el Manual de Calidad del Departamento de Ciencias Forenses, el procedimiento de Control de Instrumentos de Medición, Análisis, Aparatos Auxiliares y Patrones de Medición, y el Manual de Entrenamiento de la Sección de Toxicología Forense.

Atestiguamiento y validación de competencias técnicas

Se realizaron atestiguamientos prácticos para verificar la competencia técnica del personal responsable de las mediciones, esto bajo la supervisión del líder técnico de la sección. Las actividades se documentaron en el “Registro de Aprobación del Plan de

Entrenamiento y Evaluación de la Competencia Técnica”, en cumplimiento con el numeral 6.2 de la norma ISO/IEC 17025:2017.

Programación y registro de verificaciones

Con base en el documento institucional “Programa de Mantenimiento Preventivo y Calibración y/o Verificación de Equipos”, elaborado y aplicado en el DCF, se establecieron las fechas de verificación intermedia correspondientes a los instrumentos críticos. Este programa constituye una directriz interna de carácter técnico-administrativo, orientada a garantizar el aseguramiento metrológico de los equipos. En cumplimiento de lo estipulado, cada instrumento contó con un registro digital, en el cual se documentó el número de activo institucional, las especificaciones técnicas, el valor nominal (cuando correspondía) y los resultados de las mediciones realizadas.

Procedimientos de verificación de equipos

Balanzas: Se verificaron utilizando un juego de masas clase E2, modelo Sartorius YCS011-612-00 (1 mg a 1 kg), con certificado de calibración vigente. El procedimiento se realizó conforme a lo establecido en la *Organización Internacional de Metrología Legal* OIML R111-1 y a los principios de trazabilidad de la norma ISO/IEC 17025:2017. Las mediciones se realizaron en tres niveles, con tres repeticiones cada una, para minimizar el sesgo instrumental.

Termómetros: Se empleó un termómetro patrón con trazabilidad reconocida, siguiendo lo indicado en el *Manual de Calidad* del DCF y en la guía ISO 98-3:2008 (GUM). Las mediciones se realizaron simultáneamente entre tres y diez veces, manteniendo condiciones ambientales constantes.

Micropipetas: La verificación se realizó conforme a la norma ISO 8655-6, mediante el método gravimétrico utilizando agua desionizada como líquido patrón. Las mediciones se efectuaron al 10 %, 50 % y 100 % del volumen nominal de cada instrumento. Para reducir errores asociados a la evaporación o condensación, se controlaron las condiciones ambientales del laboratorio: la temperatura se registró con un termómetro patrón y se mantuvo en un rango de 20 ± 2 °C, mientras que la humedad relativa se supervisó mediante un higrómetro, procurando que permaneciera entre 45 % y 75 %. Estos parámetros fueron

monitoreados antes y durante las mediciones, asegurando su estabilidad y trazabilidad metrológica.

Finalmente se procedió a la elaboración de un diagrama de flujo del proceso de verificación metrológica de equipos en la Sección de Toxicología Forense.

Resultados

Los resultados nominales obtenidos durante las verificaciones prácticas realizadas en el marco de la pasantía son de carácter confidencial y propiedad del DCF del Poder Judicial. En cumplimiento con las políticas institucionales de protección de información sensible, dichos datos no se incluyen en este documento. Se resalta el alcance formativo obtenido durante la pasantía, respetando la normativa nacional y la confidencialidad del Organismo de Investigación Judicial.

El desarrollo de la pasantía en la Sección de Toxicología Forense contribuyó significativamente al fortalecimiento de competencias técnicas y profesionales en el área de metrología, enmarcadas en los lineamientos de la norma ISO/IEC 17025:2017, orientados al aseguramiento de la calidad en el uso de instrumentos críticos de medición de laboratorio. La adquisición y aplicación de habilidades y competencias en metrología, junto con la formación en normas de calidad, resultaron fundamentales para reconocer la importancia de la precisión, confiabilidad y verificación de las mediciones en laboratorios acreditados.

La revisión de los Procedimientos Operativos Normalizados (PON), del Manual de Calidad y el Procedimiento de Control de Instrumentos de Medición permitió una comprensión integral de los principios de la metrología y su aplicación en el entorno forense. Esta etapa constituyó la base para interpretar los requisitos técnicos y de gestión de la norma, particularmente en aspectos como la trazabilidad, la competencia técnica del personal y la validez de los resultados.

La realización de atestigüamientos prácticos, bajo la supervisión del líder técnico de la Sección, permitió verificar la competencia del personal responsable de las mediciones. Estos atestigüamientos se documentaron en el Registro de Aprobación del Plan de Entrenamiento y Evaluación de la Competencia Técnica, en cumplimiento del numeral 6.2 de la norma ISO/IEC 17025:2017. Esta experiencia fortaleció el desarrollo de competencias en evaluación técnica y al reconocimiento de la importancia del factor humano en la confiabilidad de los resultados del laboratorio. Asimismo, permitió reconocer la relevancia de la implementación de sistemas y procedimientos de gestión de datos, esenciales para garantizar su trazabilidad, integridad y seguridad.

La aplicación de procedimientos de control metrológico en los instrumentos analizados permitió comprender la importancia de realizar verificaciones que aseguren que los datos obtenidos de las mediciones con equipos básicos como balanzas o termómetros sean confiables y además, que el volumen dispensado por las micropipetas corresponda con el volumen real requerido según los protocolos establecidos para el trabajo con las diferentes muestras que se procesan en el DCF o en cualquier laboratorio de investigación.

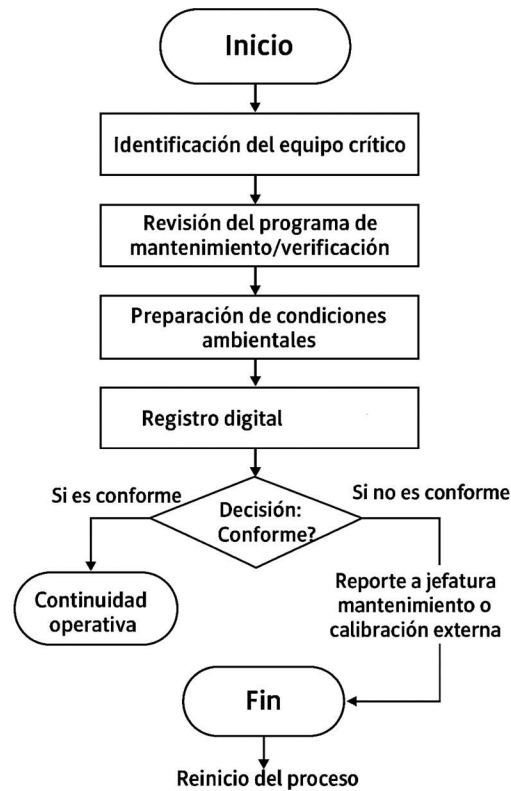


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de verificación metrológica de equipos en la Sección de Toxicología Forense (Elaboración propia).

La elaboración del diagrama de flujo (figura 1) del proceso de verificación metrológica, que integra las etapas principales desde la identificación del instrumento hasta la decisión final sobre su conformidad, incluyendo los controles ambientales y el registro digital de datos, permitió la comprensión del flujo de actividades realizadas en esta etapa. Además, fortaleció los conocimientos en la estandarización de procedimientos y evidenció la

aplicación integral de los lineamientos establecidos en la norma ISO/IEC 17025:2017 (ISO, 2017).

Discusión de los resultados

A partir de los resultados obtenidos durante la pasantía en la Sección de Toxicología Forense, se evidenció la necesidad de mantener un enfoque metrológico riguroso como garantía de la calidad y confiabilidad de las mediciones. La verificación de instrumentos críticos de medición, como balanzas, micropipetas y termómetros, permitió comprobar el cumplimiento de los criterios de aceptación definidos en los Procedimientos Operativos Normalizados (PON) y en normas internacionales como la ISO/IEC 17025:2017, la ISO 8655-6 para micropipetas de émbolo y la OIML R111-1 para pesas patrón. Estos procedimientos aseguran que los equipos se mantengan dentro de los límites de tolerancia establecidos, lo que valida su uso en procesos analíticos forenses y garantiza la continuidad operativa del laboratorio (ISO, 2017; ISO 8655-6, 2002; OIML R111-1, 2004).

Los procedimientos realizados se fundamentan en la trazabilidad metrológica, que asegura la conexión permanente con patrones internacionales de referencia y, con ello, la validez técnica y la legitimidad jurídica de las mediciones. Autores como Contreras (2005) y Taverniers *et al.* (2004), coinciden en que la correcta gestión de la trazabilidad asegura que los resultados sean comparables y reproducibles en cualquier contexto. De forma complementaria, la norma ISO/IEC 17025:2017 y los lineamientos de ILAC (2021) resaltan la necesidad de integrar, además de la verificación de los equipos de medición, otros elementos esenciales como la competencia técnica del personal, la gestión documental y el control ambiental.

De manera complementaria, el *ANSI/ASB Standard 017:2025 – Standard for Metrological Traceability in Forensic Toxicology*, emitido por la *American Academy of Forensic Sciences Standards Board (AAFS-ASB)*, refuerza los principios de trazabilidad aplicables en los laboratorios de toxicología forense al establecer criterios específicos para la conexión ininterrumpida con patrones nacionales o internacionales, el control de la incertidumbre de medición y el uso de materiales de referencia certificados. Este estándar se encuentra alineado con los requisitos de la norma ISO/IEC 17025:2017 y las políticas internacionales establecidas por ILAC P10:2020, contribuyendo al fortalecimiento del

aseguramiento metrológico y a la credibilidad técnica y jurídica de los resultados analíticos emitidos en el contexto forense (American Academy of Forensic Sciences Standards Board [AAFS-ASB], 2025).

De manera práctica, la pasantía permitió desarrollar competencias técnicas vinculadas con la aplicación del método gravimétrico en micropipetas, la estimación de la incertidumbre en las mediciones de masa y temperatura y la interpretación de la conformidad de resultados. Asimismo, se reforzaron competencias profesionales relacionadas con la gestión documental, la validación de registros y la participación en auditorías internas. Estas experiencias fueron complementadas con habilidades transversales como el pensamiento crítico, la comunicación técnica y el trabajo colaborativo. La literatura respalda esta perspectiva, Dobilienė y Meškuotienė (2025) señalan que la capacitación continua y el fortalecimiento de competencias analíticas son claves para la confiabilidad de las mediciones, mientras que NIST (2025) y UKAS (2024) destacan que la inversión en formación técnica es estratégica para asegurar la validez de los dictámenes en contextos forenses.

Los resultados de la pasantía son coherentes con lo reportado en publicaciones actuales. Farfán-Vargas *et al.* (2024) resaltan que los sistemas de aseguramiento metrológico en América Latina resultan esenciales para garantizar la calidad de los servicios sanitarios y forenses. En la misma dirección, Doyle (2020) identifica que la norma ISO/IEC 17025:2017 exige no solo competencia técnica, sino también gestión del riesgo, imparcialidad y procedimientos robustos de validación. Por su parte, Panagiotidou *et al.* (2025) subrayan que factores como el liderazgo institucional, la infraestructura adecuada y el compromiso del personal son determinantes para el éxito en la implementación de sistemas de calidad. Estos planteamientos coinciden con lo experimentado durante la pasantía, en la que la supervisión técnica, el respaldo institucional y la capacitación continua resultaron fundamentales para la consolidación de competencias técnicas y profesionales.

Investigaciones recientes enfatizan que la acreditación conlleva desafíos y oportunidades adicionales. Doyle (2024) documentó la experiencia de un laboratorio forense de ADN en su proceso de conformidad con la norma ISO/IEC 17025, donde se evidenció la importancia de las prácticas del control ambiental, el análisis de incertidumbre y la verificación de métodos. Por su parte, AlMazroua *et al.* (2022) destacan la necesidad de

marcos regionales de acreditación que fortalezcan la uniformidad de los procesos, mientras que Chango *et al.* (2024) señalan que la incorporación de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial y los dispositivos portátiles está transformando los procedimientos forenses y exige a los laboratorios mantenerse en permanente actualización tecnológica. Estas condiciones enriquecieron la comprensión sobre la necesidad de la innovación y adaptación tecnológica en el ámbito de la metrología forense.

Si bien la Sección de Toxicología Forense evidencia un sólido cumplimiento de los requisitos de la norma ISO/IEC 17025:2017, también enfrenta retos que son compartidos en el contexto latinoamericano. Bezerra *et al.* (2025) señalan que los laboratorios de genética forense en Brasil aún tienen limitaciones para acceder a servicios acreditados de calibración y ensayos de aptitud, situación que refleja una realidad común en la región. De ahí la necesidad de continuar fortaleciendo la inversión en infraestructura, garantizar la capacitación continua del personal y consolidar políticas públicas que respalden el aseguramiento metrológico, de forma que se asegure la sostenibilidad del sistema de calidad en los laboratorios forenses.

En este sentido, los hallazgos de Farfán-Vargas *et al.* (2024) ofrecen un panorama integral sobre el aseguramiento metrológico en América Latina, en el que se identifica una marcada heterogeneidad en la aplicación de normas y directrices internacionales. El estudio evidencia que, si bien existen iniciativas nacionales en países como Colombia, Cuba y Brasil, aún persisten brechas en la estandarización de procedimientos y en la adopción de sistemas robustos de gestión metrológica. Esta realidad refleja que los avances logrados en la Sección de Toxicología Forense, mediante la verificación sistemática de equipos y la implementación de controles documentales, se alinean con las mejores prácticas internacionales, contribuyendo al fortalecimiento de la confianza en los dictámenes emitidos.

De forma complementaria, Panagiotidou *et al.* (2025) destacan que la implementación de la norma ISO/IEC 17025 en laboratorios de calibración y ensayo depende de factores críticos de éxito como el liderazgo institucional, la asignación adecuada de recursos financieros y técnicos, y la formación continua del personal. Estos elementos fueron constatados durante la pasantía, donde el respaldo de la jefatura, la capacitación especializada y la existencia de infraestructura apropiada resultaron determinantes para el cumplimiento de

los requisitos normativos. La evidencia internacional subraya que, sin un compromiso estratégico de las organizaciones y un enfoque sistemático en la gestión de la calidad, los procesos de acreditación tienden a enfrentar dificultades para sostenerse en el tiempo (Farfán-Vargas *et al.* 2024).

Relevancia de la pasantía en el perfil profesional

Los aprendizajes obtenidos durante la pasantía trascienden el ámbito forense y resultan plenamente aplicables a la biotecnología, disciplina en la que la exactitud y confiabilidad de los datos experimentales son determinantes para validar procesos como la producción de biofármacos, la caracterización de organismos genéticamente modificados y la certificación de kits de diagnóstico molecular. La experiencia en un entorno acreditado bajo la norma ISO/IEC 17025:2017 evidenció que la metrología constituye un eje transversal indispensable para garantizar la calidad de las mediciones en cualquier contexto científico.

El contacto directo con procedimientos de control documental y trazabilidad metrológica reforzó la visión de que la biotecnología, al igual que la toxicología forense, debe sustentarse en principios de mejora continua y en sistemas de gestión de calidad robustos que respalden la validez de los resultados. En un escenario donde esta disciplina avanza hacia aplicaciones clínicas, industriales y ambientales, el dominio de estas prácticas representa una ventaja competitiva para asegurar la reproducibilidad y confiabilidad de los procesos.

A nivel personal y profesional, la experiencia consolidó una actitud crítica y responsable frente a la importancia de la calidad analítica. Estos aprendizajes constituyen un fundamento para aplicar la biotecnología de manera ética, precisa y alineada con estándares internacionales, contribuyendo al desarrollo científico con un enfoque de excelencia y responsabilidad social.

Conclusiones

El desarrollo de la pasantía en la Sección de Toxicología Forense del Departamento de Ciencias Forenses del OIJ permitió alcanzar de manera integral los objetivos específicos planteados. En primer lugar, se logró reconocer los principios fundamentales de la metrología aplicados a los procesos de medición, constatando que la exactitud y la trazabilidad constituyen elementos indispensables no solo para la validez técnica de los resultados, sino también para su legitimidad en contextos judiciales. La revisión de los Procedimientos Operativos Normalizados, el Manual de Calidad Institucional y la normativa vigente facilitó una comprensión profunda de estos principios, confirmando su aplicabilidad tanto en el ámbito forense como en el biotecnológico.

Asimismo, la ejecución de procedimientos de verificación y control en equipos críticos como balanzas, micropipetas y termómetros evidenció la importancia de implementar patrones trazables, controles ambientales y registros digitales para garantizar la confiabilidad y reproducibilidad de los resultados. La aplicación de estas prácticas permitió fortalecer el aseguramiento metrológico, demostrar la eficacia de los mecanismos preventivos frente a desviaciones y consolidar la validez técnica de los instrumentos de medición.

Finalmente, la interpretación de los requisitos técnicos y de gestión establecidos en la norma ISO/IEC 17025:2017 puso en evidencia que la gestión de la calidad en un laboratorio acreditado requiere un enfoque integral que articule la competencia técnica del personal, el control de las condiciones ambientales y la documentación sistemática de los procesos. El atestiguamiento de competencias técnicas evidenció ser un mecanismo esencial para garantizar el cumplimiento normativo, reducir la incertidumbre asociada a los resultados y respaldar la imparcialidad de los dictámenes periciales.

En conjunto, la experiencia desarrollada durante la pasantía no solo permitió cumplir con los objetivos propuestos, sino que también aportó al fortalecimiento del perfil profesional, al integrar competencias técnicas, normativas y actitudinales indispensables para desempeñarse en entornos de alta exigencia científica, legal y social.

Recomendaciones

A partir de la experiencia desarrollada durante la pasantía y de los resultados obtenidos, se proponen recomendaciones que contribuyen al fortalecimiento del sistema de gestión metrológica en la Sección de Toxicología Forense.

En primer lugar, aunque el laboratorio cuenta con acreditación, es importante que siga manteniendo el compromiso constante con los requisitos de la norma ISO/IEC 17025:2017. La mejora continua exige renovar de manera permanente este esfuerzo, de modo que el sistema de calidad se conserve sólido y confiable en el tiempo.

De igual manera, resulta esencial impulsar programas de capacitación dirigidos tanto al personal técnico como al administrativo. La actualización de conocimientos y el desarrollo de competencias permiten responder a las exigencias de un entorno normativo cambiante y aprovechar los avances tecnológicos que influyen en los procesos forenses.

Por otra parte, conviene reforzar los programas de verificación intermedia de los equipos críticos, asegurando que los resultados se valoren con base en criterios de aceptación claros y actualizados. Este seguimiento no solo garantiza la validez de las mediciones, sino que también respalda la continuidad operativa de los instrumentos.

Por último, se recomienda seguir ofreciendo este tipo de experiencias formativas a estudiantes de biotecnología y áreas afines, ya que el contacto directo con entornos acreditados permite adquirir competencias técnicas y profesionales aplicables tanto en el campo forense como en sectores clínicos, industriales y ambientales. De este modo, se impulsa la formación de profesionales capaces de enfrentar los retos de la calidad analítica y de la responsabilidad social en la práctica científica.

Referencias bibliográficas

- AlMazroua, M. K., Alruwaih, Z. A., Alenizi, K. A., & Alzahrani, S. A. (2022). Protocol for setting up the Arab forensic laboratories accreditation center (AFLAC). *Forensic Sciences Research*, 7(3), 221–229. <https://doi.org/10.2196/36778>
- American Academy of Forensic Sciences Standards Board. (2025). *ANSI/ASB Standard 017, Second Edition: Standard for Metrological Traceability in Forensic Toxicology*. American Academy of Forensic Sciences Standards Board. <https://www.aafs.org/academy-standards-board>
- Arroyo-Chacón, J. (2019). *Historia del poder judicial en Costa Rica*. Editorial Investigaciones Jurídicas.
- Baeza, R., & Mertens, A. (1999). *Gestión de la calidad: Normas ISO 9000*. Editorial Limusa.
- Barrantes, R. (1980). *Crónica judicial costarricense*. Editorial Jurídica Continental.
- Bezerra, L. S. de A., Souza-Neto, A. C. de, Chaves, P. B., & Poltronieri, C. F. (2025). Implementation of ISO/IEC 17025 in forensic genetics laboratories in Brazil. *Forensic Science International*, 371, 112489. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2025.112489>
- Cascante Segura, C. H. (2023). Poder judicial y estudios históricos sobre la institucionalidad costarricense: acercamientos y rezagos. *Diálogos*. *Revista Electrónica de Historia*, 24(1), 1–24. <https://doi.org/10.15517/dre.v24i1.51697>
- Chango, X., Martínez, J., & Alvarado, F. (2024). Technology in forensic sciences: Innovation and precision. *Technologies*, 12(8), 120. <https://doi.org/10.3390/technologies12080120>

- Charki, A., Aït-Ali, M., Djelouat, H., & Boudraa, B. (2019). Data comparisons and a uncertainty: A roadmap for gaining competence and improving reliability of results. *International Journal of Metrology and Quality Engineering*, 10, 7. <https://doi.org/10.1051/ijmqe/2019007>
- Chinchilla-Mora, R. (2019). Medicina Legal de Costa Rica: Historia, actualidad y proyección a futuro. *Revista de Ciencias Forenses de Costa Rica*, 21(2), 13–26. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1409-00152019000200127&script=sci_arttext
- Contreras, J. (2005). *Gestión de la calidad en laboratorios de ensayo*. Editorial Norma.
- De Andrade Bezerra, L. S., De Souza-Neto, A. C., Chaves, P. B., & Poltronieri, C. F. (2025). Implementation of ISO/IEC 17025 in forensic genetics laboratories in Brazil. *Forensic Science International*, 371, 112489. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2025.112489>
- Dobilienė, J., & Meškuotienė, A. (2025). Metrology personnel competencies: Their importance to the quality of measurements. *Measurement: Sensors*, 38, 101325. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2024.101325>
- Doyle, S. (2020). A review of the current quality standards framework supporting forensic science: Risks and opportunities. *WIREs Forensic Science*, 2(3), e1365. <https://doi.org/10.1002/wfs2.1365>
- Doyle, S. (2024). QHFSS DNA laboratory: ISO/IEC 17025 conformance. *Forensic Science International: Reports*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2023.100449>
- Farfán-Vargas, H. M., Espinoza-Morriberon, D., Moya-Salazar, M. M., Contreras-Pulache, H., & Moya-Salazar, J. (2024). Systematic review on the implementation of

- metrological assurance systems for medical devices in Latin America. *Frontiers in Medicine*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmed.2024.1281199>
- Goetsch, D. L., & Davis, S. (2016). *Quality management for organizational excellence: Introduction to total quality*. Pearson.
- Gómez, L., & Pérez, R. (2023). *Procedimientos de control de instrumentos en el DCF-OIJ*. San José: OIJ.
- International Laboratory Accreditation Cooperation. (ILAC). (2017). *Guidelines for competence of testing and calibration laboratories*. International Laboratory Accreditation Cooperation.
- International Laboratory Accreditation Cooperation. (ILAC). (2020). *ILAC P10:07/2020 ILAC policy on metrological traceability of measurement results*. International Laboratory Accreditation Cooperation.
- International Laboratory Accreditation Cooperation. (ILAC). (2021). ILAC P15:07/2021 – Application of ISO/IEC 17025:2017 for the accreditation of testing laboratories. International Laboratory Accreditation Cooperation. <https://ilac.org/publications-and-resources/ilac-policy-documents>
- International Organization for Standardization. (ISO). (2008). *ISO/IEC Guide 98-3:2008: Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*. International Organization for Standardization.
- International Organization for Standardization. (ISO). (2017). *ISO/IEC 17025:2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*. International Organization for Standardization.

- International Organization for Standardization. (ISO). (2022). *ISO 8655-6: Piston-operated volumetric apparatus — Gravimetric methods for determination of measurement error*. International Organization for Standardization.
- International Organization of Legal Metrology (OIML). (2004). *OIML D 14: Edition 2004 (E). Training and qualification of legal metrology personnel*. International Bureau of Legal Metrology.
- Mora, J., & Solís, M. (2003). *Historia institucional del Organismo de Investigación Judicial*. Editorial Forense.
- National Institute of Standards and Technology (NIST). (2025, April 7–11). *Fundamentals of metrology* [Seminar]. National Institute of Standards and Technology.
- Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML). (2004). *OIML R 111-1: Weights of classes E1, E2, F1, F2, M1, M1-2, M2, M2-3 and M3 — Part 1: Metrological and technical requirements*. International Bureau of Legal Metrology.
- Panagiotidou, E., Chountalas, P. T., Magoutas, A. I., Georgakellos, D. A., & Lagodimos, A. G. (2025). Systematic identification and validation of critical success factors for ISO/IEC 17025 implementation. *Administrative Sciences*, 15(2), 60. <https://doi.org/10.3390/admsci15020060>
- Rojas, M., Vargas, P., & Quesada, E. (2007). *Historia constitucional de Costa Rica*. Editorial Jurídica Continental.
- Roldán, J., & Solano, A. (2001). *La independencia del Poder Judicial en Costa Rica*. Editorial Investigaciones Jurídicas.
- Sardiñas, E., & Hernández, J. (2002). *Sistemas de calidad en laboratorios forenses*. Editorial Académica Española.

Soria, V. (2023). *Avances en toxicología forense y su impacto en la justicia*. Editorial Médica Panamericana.

Taverniers, I., De Loose, M., & Van Bockstaele, E. (2004). Trends in quality in the analytical laboratory. Part I. Traceability and uncertainty of analytical results. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 23(7), 480–490. [https://doi.org/10.1016/S0165-9936\(04\)00733-2](https://doi.org/10.1016/S0165-9936(04)00733-2)

United Kingdom Accreditation Service. (UKAS). (2024). *LAB 48: Decision rules and statements of conformity*. United Kingdom Accreditation Service.

Westgard, J. (2014). *Basic quality management systems for laboratories*. Westgard QC.