

DOI: 10.26820/recimundo/9.(1).enero.2025.402-412

URL: <https://recimundo.com/index.php/es/article/view/2513>

EDITORIAL: Saberes del Conocimiento

REVISTA: RECIMUNDO

ISSN: 2588-073X

TIPO DE INVESTIGACIÓN: Artículo de revisión

CÓDIGO UNESCO: 3203 Medicina Forense

PAGINAS: 402-412



Papel que juega la espectroscopia de infrarrojo cercano en la detección de drogas ilícitas en muestras de cabello humano

Role that near-infrared spectroscopy plays in the detection of illicit drugs in human hair samples

Papel que a espectroscopia no infravermelho próximo desempenha na detecção de drogas ilícitas em amostras de cabelo humano

Bryan Alejandro Alarcón Guambo¹; Verónica Paulina Cáceres Manzano²

RECIBIDO: 26/11/2024 **ACEPTADO:** 30/12/2024 **PUBLICADO:** 05/02/2025

1. Médico General; Maestrante en Criminalística y Ciencias Forenses en la Universidad Nacional de Chimborazo; Riobamba, Ecuador; bryan_a1998@hotmail.com;  <https://orcid.org/0009-0000-1940-0926>
2. Magíster en Criminalística; Especialista en Derecho Mención en Abogacía del Estado; Máster Universitario en Gestión de la Seguridad Clínica del Paciente y Calidad de la Atención Sanitaria; Abogada de Los Tribunales de La República; Licenciada en Ciencias de la Salud en Laboratorio Clínico e Histopatológico; Docente Facultad de Ciencias de la Salud; Docente de la Maestría en Criminalística y Ciencias Forenses; Universidad Nacional del Chimborazo; Grupo Interdisciplinario de Ciencia de la Vida y Productos Naturales; Riobamba, Ecuador; vcaceres@unach.edu.ec;  <https://orcid.org/0000-0001-5710-5661>

CORRESPONDENCIA

Bryan Alejandro Alarcón Guambo
bryan_a1998@hotmail.com

Riobamba, Ecuador

RESUMEN

Introducción. La detección de drogas ilícitas en muestras de cabello humano es una técnica que ofrece ventajas significativas en el campo de la toxicología forense debido a su capacidad para proporcionar una ventana de detección más amplia en comparación con otras matrices biológicas como la sangre o la orina. La electroscopia de infrarrojo cercano (NIR, por sus siglas en inglés) ha emergido como una herramienta prometedora para este propósito, gracias a su capacidad para realizar análisis rápidos, no destructivos y con alta sensibilidad. Esta tecnología permite la identificación de compuestos químicos mediante la medición de la absorción de luz en la región del infrarrojo cercano del espectro electromagnético. **Metodología.** Se realizó una búsqueda exhaustiva en bases de datos académicas como PubMed, ScienceDirect y Google Scholar. Se seleccionaron estudios publicados en los últimos quince años que abordaban el uso de NIR para la identificación de sustancias químicas en matrices biológicas, los criterios de inclusión consideraron investigaciones empíricas, revisiones sistemáticas y estudios de caso que detallaban metodologías, técnicas de análisis de datos y resultados de validación y finalmente, se sintetizaron las conclusiones de los estudios seleccionados para identificar las fortalezas, limitaciones y el potencial futuro de esta técnica en el campo de la toxicología forense. **Conclusiones.** La NIR mostró alta precisión y sensibilidad en la identificación de varias drogas ilícitas, incluyendo cocaína, anfetaminas y opioides, en las muestras de cabello, la metodología es rápida y no destructiva, permitiendo la preservación de las muestras para futuros análisis. Además, no requiere el uso de reactivos químicos peligrosos y a pesar de sus ventajas, la técnica enfrenta desafíos como la necesidad de calibraciones específicas para diferentes tipos de cabello y la variabilidad en la absorción de NIR debido a factores como el color y la textura del cabello.

Palabras clave: Drogas, Identificación, Cabello, Toxicología, Electroscopia.

ABSTRACT

Introduction. The detection of illicit drugs in human hair samples is a technique that offers significant advantages in the field of forensic toxicology due to its ability to provide a broader detection window compared to other biological matrices such as blood or urine. Near-infrared spectroscopy (NIR) has emerged as a promising tool for this purpose, thanks to its ability to perform rapid, non-destructive analyses with high sensitivity. This technology allows the identification of chemical compounds by measuring the absorption of light in the near-infrared region of the electromagnetic spectrum. **Methodology.** An exhaustive search was conducted in academic databases such as PubMed, ScienceDirect, and Google Scholar. Studies published in the last fifteen years that addressed the use of NIR for the identification of chemical substances in biological matrices were selected. The inclusion criteria considered empirical research, systematic reviews, and case studies detailing methodologies, data analysis techniques, and validation results. Finally, the conclusions of the selected studies were synthesized to identify the strengths, limitations, and future potential of this technique in the field of forensic toxicology. **Conclusions.** NIR demonstrated high accuracy and sensitivity in identifying various illicit drugs, including cocaine, amphetamines, and opioids, in hair samples. The methodology is rapid and non-destructive, allowing the preservation of samples for future analyses. Additionally, it does not require the use of hazardous chemical reagents. Despite its advantages, the technique faces challenges such as the need for specific calibrations for different hair types and variability in NIR absorption due to factors such as hair color and texture.

Keywords: Drugs, Identification, Hair, Toxicology, Spectroscopy.

RESUMO

Introdução. A detecção de drogas ilícitas em amostras de cabelo humano é uma técnica que oferece vantagens significativas no campo da toxicologia forense devido à sua capacidade de proporcionar uma janela de detecção mais ampla em comparação com outras matrizes biológicas, como sangue ou urina. A espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) surgiu como uma ferramenta promissora para esse fim, graças à sua capacidade de realizar análises rápidas, não destrutivas e com alta sensibilidade. Esta tecnologia permite a identificação de compostos químicos através da medição da absorção de luz na região do infravermelho próximo do espectro eletromagnético. **Metodologia.** Uma busca exhaustiva foi realizada em bases de dados acadêmicas como PubMed, ScienceDirect e Google Scholar. Estudos publicados nos últimos quinze anos que abordaram o uso de NIR para a identificação de substâncias químicas em matrizes biológicas foram selecionados. Os critérios de inclusão consideraram pesquisas empíricas, revisões sistemáticas e estudos de caso detalhando metodologias, técnicas de análise de dados e resultados de validação. Finalmente, as conclusões dos estudos selecionados foram sintetizadas para identificar os pontos fortes, limitações e o potencial futuro dessa técnica no campo da toxicologia forense. **Conclusões.** O NIR demonstrou alta precisão e sensibilidade na identificação de várias drogas ilícitas, incluindo cocaína, anfetaminas e opioides, em amostras de cabelo. A metodologia é rápida e não destrutiva, permitindo a preservação das amostras para análises futuras. Além disso, não requer o uso de reagentes químicos perigosos. Apesar de suas vantagens, a técnica enfrenta desafios, como a necessidade de calibrações específicas para diferentes tipos de cabelo e a variabilidade na absorção de NIR devido a fatores como cor e textura do cabelo.

Palavras-chave: Drogas, Identificação, Cabelo, Toxicologia, Espectroscopia.

Introducción

Un laboratorio de análisis debe asegurar la obtención de resultados altamente confiables. Si las medidas que se realizan en el ámbito de análisis no están respaldadas por un adecuado proceso de muestreo, de calibración, de instrumentos, de control en la calidad y manejo adecuado de reactivos y personal capacitado, no se podría garantizar de alguna manera el reporte de resultados veraces y su propósito principal, la producción de informes periciales de excelente calidad como respaldo para impartir justicia. El propósito de la validación del método de espectroscopia infrarroja es asegurar que los resultados que se obtienen sean los correspondientes a los fines previstos, asimismo que sean de ayuda a los analistas como una guía práctica en cuanto a la manera de validar métodos cualitativos enfocándose en el análisis de drogas ilícitas en materiales incautados que faciliten a identificar de un modo rápido y sistemático los requisitos que han de cumplirse para la validación (1).

En el año 2016, según el informe mundial de la Oficina de las Naciones Unidas contra las Drogas y el Delito (UNODC), se estima que 85 millones de personas consumen sustancias psicoactivas ilícitas en la región de las Américas, principalmente cannabis, con aproximadamente 50 millones, opiáceos (15 millones) y los estimulantes de tipo anfetamina y cocaína (10 millones cada una) (2).

Cada matriz biológica provee una perspectiva histórica sobre la exposición a una droga y puede aportar una valiosa información, teniendo en cuenta las limitaciones que cada una ofrece en la detección de drogas de abuso y terapéuticas. Cada matriz es de potencial utilidad ya que provee una información tóxico - farmacológica única en la historia de una persona sobre su exposición a las drogas. Desde hace más de veinte años va creciendo el interés en el uso de muestras biológicas diferentes a las tradicionales para detectar la presencia de

drogas reguladas y sus metabolitos, complementándose así la búsqueda de analitos que permitan la investigación pericial. En ésta apasionante búsqueda de los analitos presentes en las distintas muestras biológicas, con el correr del tiempo se han agregado a las ya tradicionales muestras de sangre y orina, las que hoy día conocemos con la denominación de “matrices biológicas alternativas” que, entre otras, son: el pelo, el sudor, la saliva y las uñas (3).

Metodología

Se realizó una búsqueda exhaustiva en bases de datos académicas como PubMed, ScienceDirect y Google Scholar. Se seleccionaron estudios publicados en los últimos quince años que abordaban el uso de NIR para la identificación de sustancias químicas en matrices biológicas, los criterios de inclusión consideraron investigaciones empíricas, revisiones sistemáticas y estudios de caso que detallaban metodologías, técnicas de análisis de datos y resultados de validación y finalmente, se sintetizaron las conclusiones de los estudios seleccionados para identificar las fortalezas, limitaciones y el potencial futuro de esta técnica en el campo de la toxicología forense.

Resultados

Sustancias psicoactivas

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) define las sustancias psicoactivas como diversos compuestos naturales o sintéticos que actúan sobre el sistema nervioso central y que generan alteraciones en las funciones que regulan los pensamientos, las emociones y el comportamiento. Una serie de características de estas sustancias, tanto intrínsecas como extrínsecas, les endosan una considerable atención en el marco sociocultural. Los usos de estos compuestos químicos pueden ser de carácter farmacológico, recreativo o general como sustancias con valor para la industria. La OPS, además, advierte sobre el riesgo latente del uso de sustancias psicoactivas

independientemente de la motivación o de la necesidad por la que se utilizan estos productos. Las consecuencias adversas podrían presentarse en el corto plazo, ya sean problemas o situaciones que ponen en riesgo la integridad de la misma persona o de otros individuos, tales como accidentes, conductas violentas, acciones ilegales, prácticas sexuales inseguras, transmisión

de enfermedades, entre otros. El uso prolongado de estas sustancias podría implicar problemas más severos que conllevan el desarrollo de trastornos por dependencia en detrimento de la salud y de las relaciones interpersonales (4).

Clasificación de las sustancias psicoactivas

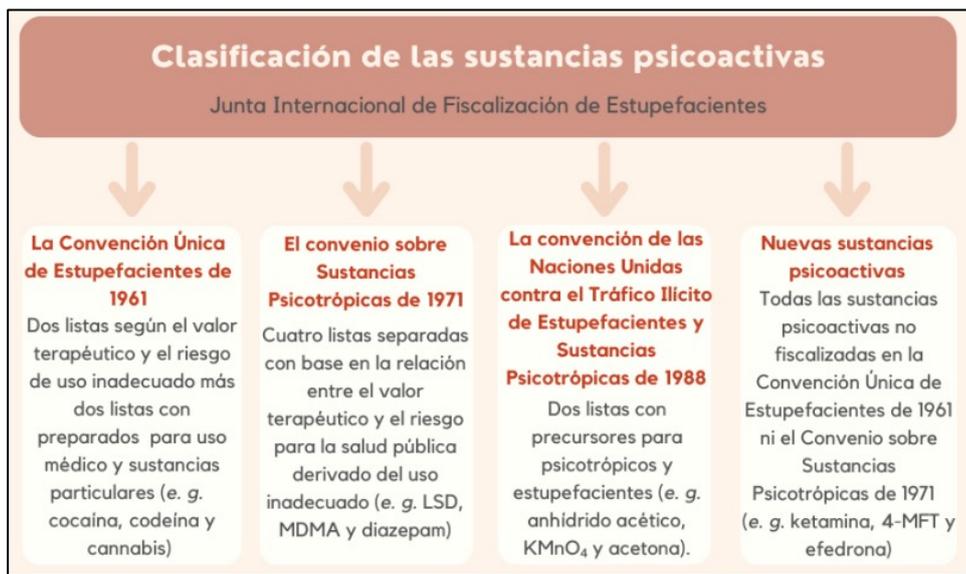


Figura 1. Clasificación general de las sustancias psicoactivas de acuerdo con el sistema internacional de fiscalización de drogas vigente

Fuente. González-Hernández (4)

Existen varias formas de clasificar las drogas de acuerdo con el interés de quien hace la clasificación. Por ejemplo, se pueden agrupar por sus efectos farmacológicos en depresoras, estimulantes o alucinógenos; es posible clasificarlas por el origen en naturales, semisintéticas o sintéticas; se pueden separar por su condición de legalidad en legales o ilegales; incluso se pueden diferenciar por sus propiedades físico-químicas o por su estructura molecular. La forma más común de clasificación de las sustancias psicoactivas es por medio de los tratados del sistema internacional de fiscalización de drogas impulsados por la ONU

a través de la Junta Internacional de Fiscalización de Estupefacientes (JIFE) tal como se desglosa en la Figura 1 (4).

Clasificación y tipos de sensores moleculares

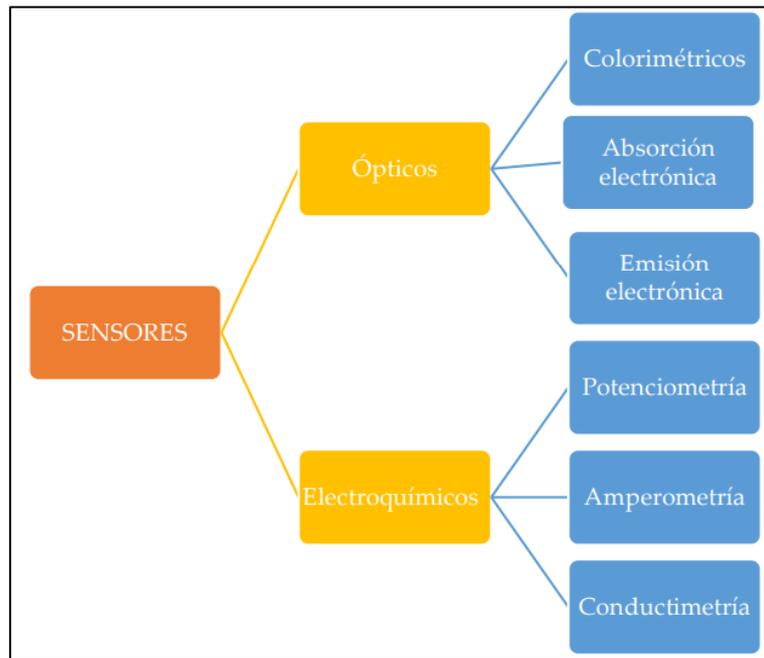


Figura 2. Clasificación general de los sensores con base en su mecanismo de detección

Fuente. Gomez Vega et al (5)

Los sensores moleculares se pueden clasificar en varias categorías en función de su mecanismo de detección y el tipo de molécula que están diseñados para detectar (anión, catión, par iónico, moléculas neutras, etc.). Sin embargo, la forma más general y amplia para describir a los sensores moleculares es con base a su mecanismo de detección (5).

1. Sensores ópticos: Los sensores ópticos son un tipo de sensor molecular, que puede detectar y/o cuantificar la presencia de un analito en un ambiente determinado mediante la producción de una señal óptica. Esta señal óptica puede ser una variación en la intensidad de la luz, un cambio en la longitud de onda (color), la polarización, la fase o cualquier otra propiedad de la luz. Dentro de esta clasificación encontramos los siguientes tipos de sensores.

- **Sensores colorimétricos.** La colorimetría es un método de transducción utilizado en quimiosensores desde hace décadas, entre algunos ejem-

plos tenemos las tiras de pH o las pruebas de embarazo. Su fortaleza se basa en la facilidad de detección del analito a simple vista, aunque hoy en día esto también se realiza por métodos espectroscópicos.

- **Sensores de absorción electrónica.** Para la cuantificación o detección de un analito con los quimiosensores que están dentro de esta clasificación, las técnicas analíticas más utilizadas son la espectroscopía de ultravioleta-visible (UV-Vis) e infrarrojo (IR), como un ejemplo del uso práctico de este tipo de quimiosensores en la vida diaria tenemos el oxímetro de pulso.
- **Sensores de emisión electrónica.** Este tipo de sensores moleculares corresponden a un grupo de quimiosensores que pueden tener como respuesta diversos fenómenos luminiscentes. Sin embargo, los quimiosensores fluorescentes son los más abundantes y destacables dentro

de esta clasificación ya que estos han sido ampliamente utilizados en diversos campos como la biología, fisiología, farmacología y ciencias ambientales (5).

2. Sensores electroquímicos: Dentro de los métodos electroquímicos que existen para detectar especies químicas, la voltametría cíclica y los electrodos ion selectivos son las técnicas más comunes, ya que no solo determinan la presencia y concentración de analitos específicos, sino que también ayudan a elucidar la termodinámica y cinética de la transferencia de electrones en la reacción monitoreada. Un sensor electroquímico es un dispositivo que convierte una actividad química en una señal eléctrica, dicha señal puede ser un potencial, una corriente o ambos, y ésta a su vez puede ser incorporada y procesada en una

computadora para revelar información química con una gran exactitud.

- **Potenciometría.** Mide el potencial electrostático (se mide el voltaje (V)). Muy poca o ninguna corriente está involucrada en la medición.
- **Voltametría o amperometría.** Mide la corriente involucrada en el proceso (se miden amperios (A)). Los potenciales de los electrodos se mantienen constantes o se utilizan como entrada variable durante las mediciones.
- **Conductimetría.** Mide la resistencia mediante corriente alterna (se miden ohmios (Ω) o conductancia (siemens [S] = $(1/\Omega)$) (5).

Liberación de fármacos e identificación de otras sustancias

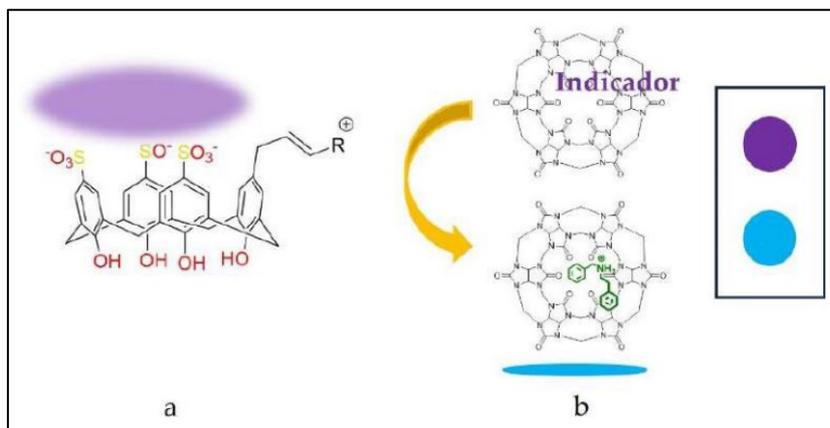


Figura 3. a) Sensor fluorescente para nicotina y cocaína, b) sensor molecular para fenetilamina

Fuente. Gomez Vega et al (5)

Por otro lado, la identificación o cuantificación de otro tipo de sustancias como los fármacos de uso controlado o restringido, así como la identificación de sustancias ilegales es también un área prioritaria. Beatty et al. (2019) reportaron la síntesis de una serie de complejos diméricos basados en

calixarenos que funcionaron como sensores fluorescentes de sustancias como nicotina, metanfetamina o cocaína (5).

Espectroscopia de infrarrojo cercano

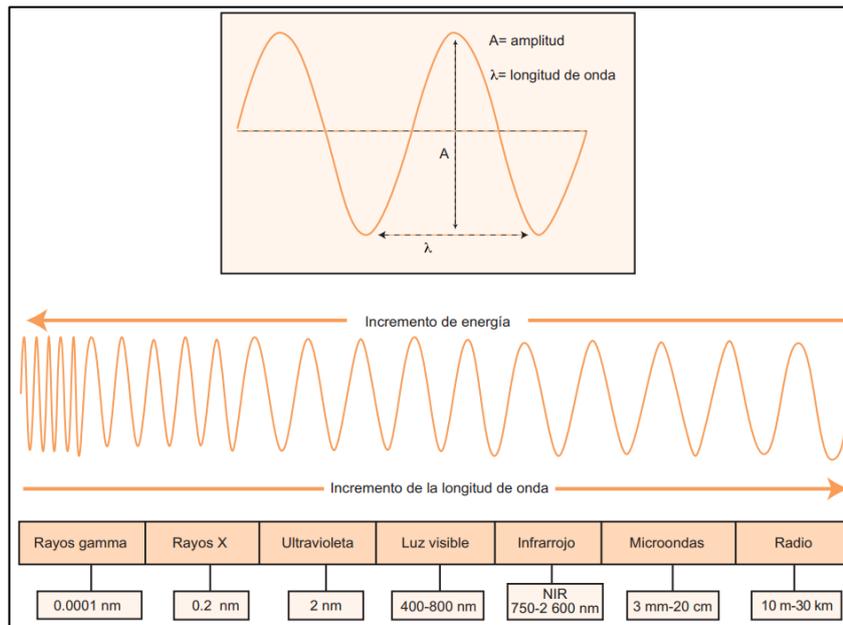


Figura 4. Representaciones esquemáticas de los componentes generales de una onda de un haz de luz señalando su amplitud y su longitud (A) y de la localización del espectro cercano al infrarrojo (NIRS) dentro del espectro general de la luz (B)

Fuente. Ramírez-García et al (6).

En años recientes la investigación se ha enfocado al desarrollo de métodos ópticos no invasivos basados en la espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS, near-Infrared spectroscopy) que han demostrado su capacidad diagnóstica al proporcionar información en tiempo real sobre los diversos procesos fisiológicos y patológicos que ocurren en tejidos y órganos. Técnicamente hablando, la NIRS involucra un haz de luz que, al interactuar con un material biológico, produce una radiación electromagnética en forma de ondas. La longitud de onda es la distancia entre dos picos o puntos altos y se mide en nanómetros (Figura 1A). El espectro infrarrojo se extiende aproximadamente de 2 500 a 25 000 nm; en cambio, el rango de longitud de onda que cubre el infrarrojo cercano está entre 750 y 2 600 nm. Las uniones específicas entre los átomos vibran a cierta frecuencia y cada tipo de estas uniones químicas dentro de una muestra absorbe rayos NIRS de una longitud de onda específica mientras todas las demás longitudes son reflejadas. Se mide

el número de reflejos a diferentes longitudes de onda y luego las mediciones son convertidas en resultados analíticos por un microprocesador. La profundidad de penetración del haz dentro de la muestra no está determinada por la posición del detector sino más bien por la potencia de la fuente de luz; por eso la NIRS es una tecnología ideal para análisis rápidos y precisos (6).

Estructura y crecimiento del cabello

El pelo es un anexo de la piel, sintetizado en el folículo piloso. Está compuesto por un 65 a 95% de proteínas (principalmente keratinas), 1 a 9% de lípidos, 0.1 a 5% de pigmentos (melanina), 0.25% a 0.95% de sales minerales y pequeñas cantidades de elementos traza, polisacáridos y 15 a 45% de agua. Constituido por una serie de células superpuestas que forman la cutícula y células corticales que forman la corteza, en cuyo centro, las células condensadas forman la médula. La estructura básica del pelo consiste en dos o tres cadenas de keratina entrecruzadas en hebras llamadas microfibrillas. Las hebras

de pelo son estabilizadas y adquieren su forma por uniones disulfuro e hidrógeno que hacen que el pelo adquiera una estructura semicristalina. En general, la tasa de crecimiento del cabello es de 1 cm/mes o, 0.35 mm por día tanto en hombres como en mujeres, pero puede variar ampliamente, entre 0.07 a 0.78 mm por día; también varía entre pelos del cuero cabelludo con respecto al pelo de otras regiones del cuerpo, (axilar, torácico, púbico) (7).

Mecanismos de incorporación de drogas en el cabello

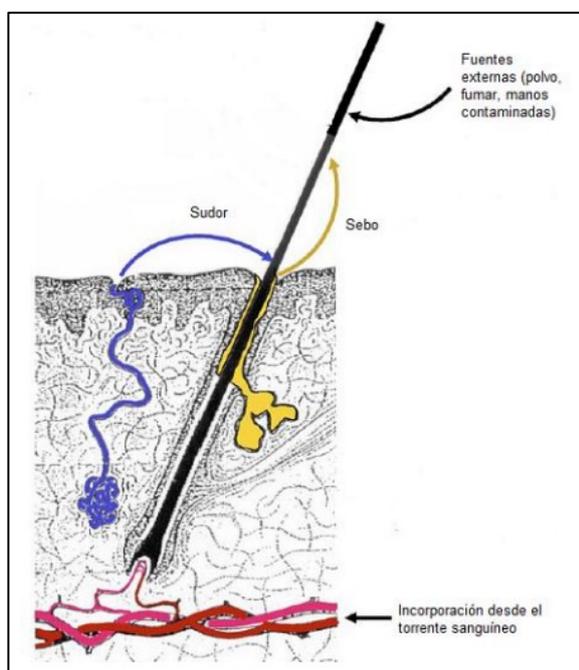


Figura 5. Mecanismos de incorporación de drogas en el cabello

Fuente. Vallejo Huertas (7).

Los mecanismos exactos involucrados en la incorporación de drogas en el cabello siguen siendo investigados. El mecanismo típico asume que las drogas ingresan en el pelo mediante difusión pasiva. El bulbo del folículo piloso, que reúne un complejo de proteínas y proteínas lipídicas dando origen a membranas celulares, es la parte más vulnerable al ataque químico y mecánico y,

es el punto de difusión primario para la incorporación y eliminación de drogas; aquí se depositan preferiblemente las drogas lipofílicas. Asimismo, cada hebra de cabello está ligada a una glándula sebácea que garantiza cubrir de sebo el pelo maduro por encima de la raíz, de dos a tres días antes de alcanzar la superficie de la piel. Por otro lado, las glándulas sudoríparas están separadas de la raíz del cabello, se encargan de humedecerlo y contribuyen con la incorporación de drogas hidrofílicas (7).

- **Difusión pasiva o activa desde el torrente sanguíneo:** Dado que las células del folículo experimentan una alta división celular, están muy bien irrigadas, por tanto, las drogas pueden difundir a través de sus membranas cumpliendo con ciertas características. La naturaleza de la sustancia incorporada (estructura y propiedades químicas), así como también, las características físicas y fisiológicas del individuo, ejercen una fuerte influencia sobre el mecanismo de incorporación que predominará. Desde el punto de vista estructural, afectará el contenido de melanina del cabello y la liposolubilidad y basicidad de la droga. En el caso del cabello canoso, el cual es una mezcla de pelo blanco y pigmentado, la concentración de drogas básicas es 10 veces mayor en cabello pigmentado, aunque no hay diferencias en el contenido de sustancias neutras. La eficiencia de la incorporación de la droga en el folículo piloso se mide teniendo en cuenta la tasa de incorporación; de las drogas más comúnmente usadas, la cocaína es la que presenta mayor eficiencia, siendo la liposolubilidad y la basicidad, las características principales que favorecen dicha incorporación. En este sentido, teniendo en cuenta que el metabolismo conlleva a un incremento en la hidrosolubilidad de las moléculas, los metabolitos, como la benzoilecgonina, entran en el cabello en menor cantidad que su precursor lipofílico (7).

- **Incorporación desde el sudor y otras secreciones:** Las drogas y sus metabolitos se excretan a través del sudor; en el caso de la cocaína es excretada en este fluido en un rango de tiempo altamente variable, de 2 a 48 horas. También pueden eliminarse a través del sebo que es un material lipídico excretado por las glándulas sebáceas, las cuales se hallan asociadas principalmente a los folículos pilosos, aunque algunas glándulas tienen ductos que les hace secretar sebo directamente a la superficie de la piel. La concentración con que contribuye el sebo al depósito de drogas en el pelo se desconoce aún. Si la droga está presente en el sebo puede depositarse en el pelo a través de un íntimo contacto de éste con la piel del cuero cabelludo. La mayor contribución de drogas en el pelo proviene del sudor y de la excreción sebácea que impregna el pelo, tanto durante su formación como en su maduración. Los analitos predominantes generalmente encontrados en pelo son las drogas intactas, es decir, sin metabolizar, mientras que los metabolitos por ser más polares, predominan preferiblemente en orina (7).
- **Incorporación desde la contaminación externa:** Estudios publicados describen que las drogas como la cocaína y la marihuana se incorporan en el cabello cuando se está en un ambiente contaminado por las mismas, por tanto, se han ido afinando las técnicas de lavado que se emplean para remover la droga que se encuentra externamente en el pelo para que sean altamente eficientes y facilitar la distinción de una administración voluntaria de la droga de una involuntaria (administración pasiva) ante un resultado analítico positivo (7).

Ventajas del pelo como matriz para análisis de drogas de abuso

1. Inalterabilidad de los resultados. La experiencia ha demostrado que el pelo es el único espécimen biológico que puede

almacenarse por tiempo indeterminado sin sufrir alteraciones si se lo conserva adecuadamente.

2. Duración de las drogas a través del tiempo. La bibliografía cita un caso donde momias egipcias de 1000 años de antigüedad revelaron la presencia de nicotina. Lo mismo cabe decir de momias peruanas en las que se encontró cocaína.
3. Su recolección o toma de muestra no requiere de una técnica invasiva, ya que la extracción de pelo se hace en la parte posterior de la cabeza (región occipital baja) cortando al nivel de la raíz.
4. Utilizando cálculos retrospectivos; es posible conocer el consumo de una droga a lo largo del tiempo basándose en que su crecimiento es regular. El dato obtenido es bastante aproximado sobre todo cuando no se conoce con exactitud el crecimiento del mismo.
5. Uso en cadáveres en estado de putrefacción; las experiencias han demostrado que la putrefacción no impide que se hallen las drogas consumidas por el individuo (8).

Ventajas de la NIR en la detección de drogas en cabello

- **No destructiva:** La NIR permite analizar muestras sin destruirlas, lo cual es esencial en contextos forenses donde la preservación de la muestra es crucial.
- **Rápida:** Los análisis pueden realizarse en cuestión de minutos, lo que permite un cribado rápido de muchas muestras.
- **Mínima preparación de la muestra:** A diferencia de otras técnicas que requieren la extracción y purificación de los analitos, la NIR puede analizar el cabello directamente.
- **Portabilidad:** Los equipos de NIR pueden ser portátiles, facilitando su uso en campo y en diferentes escenarios forenses.

- **Multicomponente:** La NIR puede detectar múltiples sustancias simultáneamente, lo que es útil para identificar la presencia de varias drogas en una sola muestra (9); (10).

Aplicación en la detección de drogas ilícitas

Principios

La NIR se utiliza para detectar drogas en el cabello mediante la identificación de patrones específicos de absorción de infrarrojos que corresponden a diferentes compuestos químicos presentes en las drogas. Cada droga tiene una firma espectral única en la región del infrarrojo cercano, lo que permite su identificación y, en muchos casos, su cuantificación (9); (10).

Procedimiento

- **Recolección de muestras:** Se recoge una muestra de cabello del individuo, generalmente cerca del cuero cabelludo para asegurar la detección de drogas recientes.
- **Preparación mínima:** En la mayoría de los casos, el cabello se puede analizar directamente sin una preparación extensa.
- **Análisis espectroscópico:** La muestra de cabello se expone a la radiación infrarroja cercana, y se registra el espectro resultante.
- **Interpretación de datos:** Los espectros obtenidos se comparan con bibliotecas de espectros de referencia para identificar y cuantificar las drogas presentes (9); (10).

Conclusión

La aplicación de la espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR) en la detección de drogas ilícitas en muestras de cabello humano representa una innovadora y prometedora metodología en el campo del análisis forense. Esta técnica, caracterizada por su no invasividad, rapidez y capacidad para

analizar múltiples componentes simultáneamente, ofrece una alternativa viable a los métodos tradicionales, como la cromatografía y la espectrometría de masas, que suelen ser más costosos y requieren procedimientos más complejos.

Los estudios han demostrado que la espectroscopía NIR es capaz de identificar y cuantificar la presencia de diversas sustancias ilícitas en el cabello humano con una alta precisión, lo que la convierte en una herramienta valiosa para la toxicología forense. La capacidad de analizar muestras sin necesidad de pretratamientos extensos reduce el tiempo y los recursos necesarios para obtener resultados fiables, lo cual es crucial en investigaciones criminales y en el monitoreo del consumo de drogas.

Además, el uso de la espectroscopía NIR en la detección de drogas en el cabello humano facilita la posibilidad de realizar análisis longitudinales, permitiendo la evaluación del consumo de sustancias a lo largo del tiempo. Esto es particularmente útil en contextos de control antidopaje, rehabilitación y cumplimiento legal.

Bibliografía

- Sánchez Ordoñez GE. Validación del método de espectroscopía infrarroja para la determinación de cannabis sativa en muestras incautadas que ingresan al Laboratorio de Química Forense del Departamento de Criminalística de Chimborazo [Internet]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2015. Available from: http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/4373/1/56T00547_UDCTFC.pdf
- Cárdenas Heredia FR, Sandoya Maza KN, Salazar Torres ZK, Espinosa Martín L. Síntomas y los posibles riesgos de covid-19 en mujeres embarazadas. FACSALUD-UNEMI [Internet]. 2023 Jul 27;7(12):52–8. Available from: <https://ojs.unemi.edu.ec/index.php/facsalud-unemi/article/view/1826>
- Perkins AM. Pelo: Matriz alternativa en el estudio de drogas reguladas y terapéuticas en el ser humano. Rev Bioquímica y Patol Clínica. 2015;79(2):39–48.
- González-Hernández J. Drogas emergentes: detección mediante sensores electroquímicos. Rev Colomb Química. 2023;52(1):25–41.

Gomez Vega PJ, Ochoa Lara KL, Corona Martínez DO, Juárez J, Reyes Márquez V. Materiales supra-moleculares: quimiosensores y otras aplicaciones prácticas. *TECNOCENCIA Chihuahua* [Internet]. 2023 Dec 7;17(4):e1318. Available from: <https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/1316>

Ramírez-García S, Carranza-Castro PH, Gutiérrez-Salinas J, García-Ortiz L, Hernández-Rodríguez S. Aplicación en medicina de la espectroscopia de infrarrojo cercano. *Med Interna México*. 2012;28(4).

Vallejo Huertas MD. Determinación de cocaína en cabello como biomarcador de consumo crónico, mediante GC-MS [Internet]. Universidad Nacional de Colombia; 2012. Available from: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/11784/598356.2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Calidonio Alvarenga M. Determinación de drogas de abuso en pelo. *Rev cienc forenses Honduras*. 2016;2(1).

Kumar P, Sharma A, Kumar D, Sharma L. Use of Spectroscopic Methods and Their Clinical Applications in Drug Abuse: A Review. *Crit Rev Anal Chem* [Internet]. 2023 Feb 17;53(2):360–73. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408347.2021.1958196>

Mitu B, Cerda M, Hrib R, Trojan V, Halámková L. Attenuated total reflection Fourier transform infrared spectroscopy for forensic screening of long-term alcohol consumption from human nails. *ACS omega*. 2023;8(24):22203–10.



CITAR ESTE ARTICULO:

Alarcón Guambo, B. A., & Cáceres Manzano, V. P. (2025). Papel que juega la espectroscopia de infrarrojo cercano en la detección de drogas ilícitas en muestras de cabello humano . *RECIMUNDO*, 9(1), 402–412. [https://doi.org/10.26820/recimundo/9.\(1\).enero.2025.402-412](https://doi.org/10.26820/recimundo/9.(1).enero.2025.402-412)