



## Aplicación de microscopía en criminalística: identificación de cristales de compuestos químicos y drogas (cristalografía)

Application of microscopy in criminalistics: identification of crystals of chemical compounds and drugs (crystallography)

Fecha de presentación: Diciembre 2021

Fecha de aceptación: Marzo 2022

Candy América Geraldine Gemigniani Navarro, María del Rosario Castillo García y Andrea Arleth Palafox Luna.  
CLEU Campus Puebla.

*“Cristalografía ocupa de la forma y propiedades de las sustancias cristalinas”*

### Resumen

El presente trabajo documental, realiza un pequeño recorrido por la cristalografía y su definición como ciencia, dónde y cómo surge la cristalografía, así como también nos adentramos a la definición de cristal y de cuáles son los estados de los cristales de acuerdo al número de sus caras. Así mismo, se realizó una recopilación de información, acerca de cómo se ocupa la cristalografía en el ámbito forense, se define lo que es la cristalografía de fármacos, y de manera más amplia, exponemos los métodos utilizados en la detección de drogas compuestas por cristales, cuál es el microscopio adecuado para estos casos y cuáles son los resultados que se obtienen, es decir, que podemos apreciar a través del microscopio que nos sirva para identificar o diferenciar un fármaco o sustancia de otra.

### Palabras clave

Cristalografía, drogas, identificación de drogas.

### Abstract

This documentary work takes a short tour of crystallography and its definition as a science, where and how crystallography arises, as well as we delve into the definition of crystal and what are the states of crystals according to the number of their faces. Likewise, a compilation of information was carried out, about how crystallography is used in the forensic field, what drug crystallography is defined, and more broadly, we expose the methods used in the detection of drugs composed of crystals. , what is the appropriate microscope for these cases and what are the results obtained, that is, what we can see through the microscope that helps us to identify or differentiate one drug or substance from another.

### Keywords

Crystallography, drugs, drug identification

## INTRODUCCIÓN

La cristalografía es la ciencia que se ocupa de la forma y propiedades de las sustancias cristalinas. Estudia las propiedades de los sólidos cristalinos para poder describir su estructura interna o atómica, sus diversas formas y su división en clases y sistemas. (Servicio Geológico mexicano, 2017)

Un cristal es la forma poliédrica regular, limitada por caras lisas, que adquiere un compuesto químico bajo la influencia de sus fuerzas interatómicas. Este proceso ocurre cuando el compuesto químico pasa, en condiciones apropiadas, del estado líquido o gaseoso al sólido. (Servicio Geológico mexicano, 2017)

Inicialmente, en los siglos XVII-XVIII y sobre todo a finales del XVIII y principios del XIX, cuando la Geología vivía una época dorada, la cristalografía se entendía principalmente como una parte de la Mineralogía. Hacía una referencia sobre que un cristalógrafo debería ser capaz de explicar la morfología externa y el crecimiento de los cristales (hábitos cristalinos), realizar su catalogación y relacionar la formación de cristales con los procesos naturales geológicos.

Por otro lado, conforme avanzaba el siglo XIX con el desarrollo de la Química (sobre todo la Orgánica) la Cristalografía pasó a asociarse más directamente con esta disciplina, toda vez que se entendía que el hábito de los cristales estaba íntimamente relacionado con su composición y que sólo era posible explicar la formación de los cristales atendiendo a las interacciones interatómicas o intermoleculares que conducen a la formación del sólido cristalino. Este enfoque constituye la Cristalografía Química o Cristalografía Química. (Amador, 2018)

En el siglo XX la Cristalografía se orientó hacia la Física debido al extraordinario desarrollo de una base conceptual teórica y de nuevo instrumental basado en fenómenos físicos que ahora se empezaban a comprender. Además, se descubrió todo un elenco de nuevas propiedades eléctricas, magnéticas, ópticas, mecánicas etc. que presentaban las sustancias sólidas cristalinas. Esto se ha dado en llamar Cristalografía Física. (Amador, 2018)

El objetivo de este trabajo de investigación es dar a conocer a los lectores, como es la identificación de los cristales, identificar en qué drogas se pueden observar estos cristales, y cómo es que se verán a través del microscopio.

## DEFINICIÓN DE CRISTALOGRAFÍA

El Servicio Geológico Mexicano define a la cristalografía como: "ciencia que se ocupa de la forma y propiedades de las sustancias cristalinas".

La cristalografía es considerada la ciencia encargada de estudiar cristales mediante sus propiedades y la forma. Para poder describir su estructura interna o atómica, su división en clases y sistemas se tendrá que estudiar las propiedades sólidas del cristal. De igual manera describe cristales compuestos o maclas, las irregularidades de los cristales, de los agregados cristalinos y de los cristales pseudomorfo.

Para poder comprender el término de cristalografía se tiene

que desglosar el término de cristales.

El Servicio Geológico Mexicano (2017) define la palabra cristal como "forma poliédrica regular, limitada por caras lisas, que adquiere un compuesto químico bajo la influencia de sus fuerzas interatómicas".

El cristal es considerado como un material en el cual sus fuerzas interatómicas formarán una estructura poliédrica regular, se presenta este proceso cuando el compuesto químico logra pasar en condiciones apropiadas del estado líquido o gaseoso, a sólido.

## ESTADOS DE LOS CRISTALES

Un cristal, bajo condiciones favorables de crecimiento, desarrollará superficies externas planas y uniformes (caras) que pueden asumir formas geométricas regulares (Servicio Geológico mexicano, 2017)

Cristal eudríco: si se desarrolla con todas sus superficies planas correctas.



Cristal subédrico: si las circunstancias sólo han permitido la formación de una parte del cristal.



Cristal anédrico: si no presenta caras.



Los adjetivos anteriores se derivan del griego hedron, que significa cara; de las raíces griegas eu, bueno; an, sin y de la raíz latina sub que significa algo.

Existen sustancias cristalinas que se pueden observar solamente a través del microscopio por ser sumamente finas y son denominadas microcristalinas, y aquellos agregados cristalinos que están tan finamente divididos que los componentes no pueden determinarse con el microscopio, pero que dan un patrón de difracción de rayos X, se denominan criptocristalinos.

Existen sustancias, tanto naturales como sintéticas, que son cristalinas y carecen de estructura interna ordenada, a éstas se les conoce como amorfas. Las sustancias amorfas naturales se designan con el nombre de mineraloides.

## USO DE LA CRISTALOGRAFÍA PARA IDENTIFICACIÓN DE DROGAS

La cristalografía es un método eficaz para estudiar la estructura tridimensional de las moléculas.

### Identificación de catinonas sintéticas

Las catinonas sintéticas son derivados obtenidos mediante síntesis química que le deben su nombre a la molécula de origen natural "catinona". La catinona es el principal alcaloide encontrado en las hojas de Khat (*Catha edulis*), una planta perenne autóctona de Etiopía, que también se cultiva en el este de África y en el sur-oeste de la Península Arábiga, sitios donde se mastican sus hojas por tradición socio-cultural y religiosa, o se preparan en forma de té para obtener de ellas el efecto estimulante (João et al., 2014; Cruz et al., 2015; Feng et al., 2017).

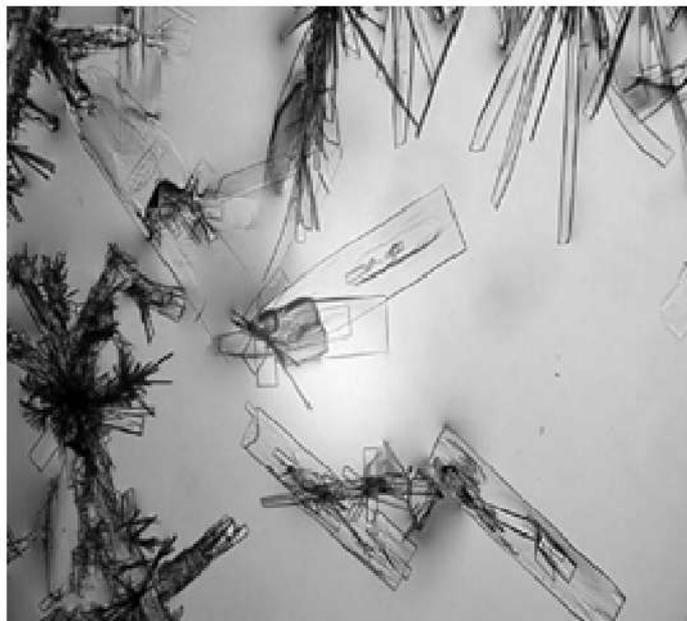
Fue identificada por primera vez entre 1761 y

1763 por el botánico sueco Peter Forskal, sin embargo, no fue hasta 1930 cuando se identificó la primera molécula con el potencial estimulante de la planta: la (+)-norpseudoefedrina (Catina), a la cual se consideraba el principal componente activo de la planta hasta que en 1975 se aisló la catinona, un beta-ceto análogo de la anfetamina, en el laboratorio de estupefacientes de las Naciones Unidas.

Las catinonas sintéticas tienen una estrecha similitud con los derivados anfetamínicos en cuanto a la estructura química y los efectos generados sobre el sistema nervioso central (SNC)

Las catinonas sintéticas son parte de las denominadas "nuevas sustancias psicoactivas", término que no hace referencia a sustancias de reciente síntesis sino a sustancias que a pesar de ser ya documentada su síntesis se conocen como nuevas sustancias psicoactivas por su reciente aparición en el mercado de las sustancias psicoactivas y por no estar en un principio fiscalizadas (Silva & Martínez, 2016).

Las pruebas microcristalinas son pruebas rápidas, sencillas de realizar y sumamente sensibles que sirven para identificar sustancias. Estas pruebas entrañan la formación de cristales a raíz de la reacción del compuesto en estudio con un reactivo. Los cristales resultantes se analizan luego mediante un microscopio de luz polarizada y se comparan con el material de referencia.



Cristal con formas de rueda de paletas y ramificaciones observado durante una prueba microcristalina para detectar la presencia de mephedrone.

### Reactivo

El reactivo es una solución acuosa de cloruro de mercurio con una concentración de 10 g/L.

Prepárense los patrones de drogas como disoluciones acuosas con concentraciones de 10 g/L.

**Método**

Mézclese una parte alícuota (10 µL) de la solución sometida a examen (1 g/L) con 10 µL del reactivo sobre una lámina de vidrio. Con una pipeta de plástico, promuevan la nucleación y formación de cristales.

**Identificación de cocaína**

La pasta de coca es un polvo de color blanco apagado, cremoso o pajizo; no es un producto fino, contiene grumos y generalmente se presenta húmedo. A menos que los grumos sean cristalinos (lo que es raro), suelen desmenuzarse con una ligera presión. Tiene un olor característico.

**Cocaína**

El manual de Naciones Unidas nos dice que "la cocaína, aunque se fabrica a partir de un producto natural un tanto variable mediante un proceso discontinuo susceptible de amplias variaciones, la cocaína varía relativamente poco si se la compara, por ejemplo, con los productos de la heroína. No obstante, no existen dos muestras ilícitas de cocaína que sean idénticas. La mayoría de las veces se presenta como un polvo cristalino blanco o blanco apagado, a menudo fino y raramente húmedo." Naciones Unidas (2012).

Su ulterior adulteración y transformación con fines de tráfico suele entrañar la adición de sustancias no sometidas a fiscalización como levamisol (o tetramisol), fenatecina, lidocaína, cafeína, diltiazem, hidroxicina, procaína, benzocaína o azúcares (como manitol, lactosa o glucosa). En cualquier caso, el aspecto físico cambia sólo ligeramente, pues todos los adulterantes conocidos se presentan también en forma de polvo blanco fino y seco.



Cocaína "crack"

Material duro, de aspecto escamoso, que se obtiene añadiendo amoníaco o bicarbonato sódico y agua al clorhidrato de cocaína y calentando el polvo que precipita como resultado.

**Ensayo de microcristales**

El manual de Naciones Unidas nos dice que los de "microcristales son ensayos rápidos, sencillos y extremadamente sensibles para la identificación de sustancias."

Entrañan la formación de cristales a partir de la reacción del material que se desea identificar con un reactivo químico, seguido del análisis de los cristales obtenidos con un microscopio polarizador y la comparación con un material de referencia.

**Ensayo con cloruro de platino****Reactivo**

Disolver un 1 g de cloruro de platino en 20 ml de agua destilada".

**Método**

Colocar dos gotas de la solución muestra (unos 2 ó 3 mg de muestra / 5 gotas de ácido clorhídrico al 10%) en un portaobjetos de microscopio limpio.

A continuación, colocar dos gotas del reactivo cerca de las gotas de muestra y utilizar una varilla de cristal para crear un pequeño canal que conecte ambas soluciones.

Observar la reacción y los cristales resultantes, sin colocar un cubreobjetos, a una ampliación de entre 100 y 200 aumentos en un microscopio polarizador.

Resultados: La cocaína forma agujas finas, largas y en forma de V con ramificaciones.



Cocaína y cloruro de platino, 100x

### Ensayo con cloruro de oro

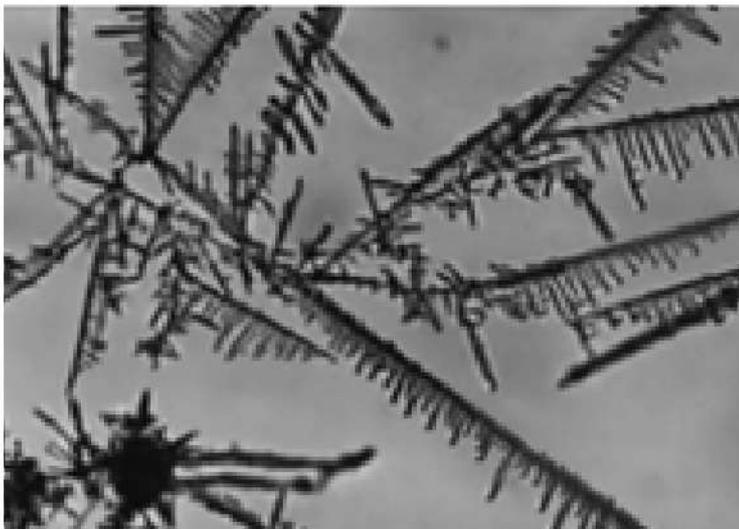
#### Reactivo

Disolver 1 g de cloruro de oro en 20 ml de agua destilada.

#### Método

Colocar dos gotas de la solución muestra (unos 2 o 3 mg de muestra /5 gotas de ácido clorhídrico al 10%) en un portaobjetos de microscopio limpio.

A continuación, colocar dos gotas del reactivo cerca de las gotas de muestra y utilizar una varilla de cristal para crear un pequeño canal que conecte ambas soluciones.



Cocaína y cloruro de oro, 200x

Observar la reacción y los cristales resultantes, sin colocar un cubreobjetos, a una ampliación de entre 100 y 200 aumentos en un microscopio polarizador.

Resultados: La cocaína forma grupos de agujas finas dispuestas radialmente con ramificaciones perpendiculares a las agujas principales.

### Notas analíticas

- Debería analizarse simultáneamente una muestra de patrón de cocaína.
- Para obtener resultados óptimos, puede variar la dilución del material de ensayo o del ácido clorhídrico.

### Identificación de piperazinas

De acuerdo con (Calvo, 2018), las piperazinas son composiciones químicas que se utilizan tanto en medicina humana, como veterinaria, así como en la industria para la fabricación de plásticos, resinas, pesticidas etc.

La piperazina se desarrolló originalmente como un antihelmíntico que fue reconocido por sus efectos similares a las anfetaminas. Los derivados de la piperazina son una clase popular de estimulantes a menudo comercializados como "party pills" o "éxtasis legal". (Espert Tortajada, Perez San Miguel, & Gadea Doménech, 2015)

Dentro de sus propiedades químicas, se dice que es un sólido que forma cristales y agujas incoloras o de color blanco, las cuales se oscurecen al ser expuestas a la luz; son sustancias que provocan quemaduras por todas las vías de exposición, lo que ocasiona síntomas de alergia o asma, así como reacciones alérgicas en la piel.

### Principales Usos

- Se utilizan como antiparasitarios, sobre todo en uso veterinario.
- Como captura y almacenamiento de carbono.

### Principales tipos de piperazinas de uso ilícito

**BZP o A2 (Bencilpiperazina):** Se considera como el primer derivado de la piperazina que apareció y cuyo consumo se ha extendido en todo el mundo. Es un estimulante del sistema nervioso central, que se vende en ampolletas o en forma de pastillas. Quienes las consumen presentan un aumento de la frecuencia cardíaca y de la presión arterial, sus efectos son similares al éxtasis, aunque menos potente.

**TMFP (3-Trifluorometilfenil):** Polvo blanco. Es un compuesto químico orgánico del grupo de derivados piperazina. Sustancia psicoactiva sobre la acción estimulante.

TMFP se ha utilizado como sustituto legal MDMA (éxtasis) y anfetaminas. El TMFP rara vez se considera una sustancia psicoactiva por

derecho propio, por lo general se usa junto con BZP, que sube el nivel de serotonina y dopamina en sinapsis

**Mcpp (3-clorfenil):** Se presentan a manera de líquido de transparente a amarillento. Es un precursor sintético en la producción de los antidepresivos trazodona, nefazodona y etoperidona. (Oficina de las naciones unidas contra la droga y el delito, 2013)

**MDBZP (3,4-metilenedioxybencil):** y la MeOPP (4-metoxifenil): son metabolitos conocidos de medicamentos de venta con receta.

### Identificación mediante pruebas microcristalinas

Procedimiento obtenido del manual de Métodos recomendados para la identificación y el análisis de las piperazinas en los materiales incautados. (Oficina de las naciones unidas contra la droga y el delito, 2013)

Son pruebas de precipitación química rápidas y sencillas de realizar, sumamente sensibles, y que requieren solo una pequeña cantidad de muestra. Estas pruebas entrañan la formación de cristales a raíz de la reacción del compuesto en estudio con un reactivo. Los cristales resultantes se analizan mediante un microscopio de luz polarizada y comparándolos con material de referencia. (Oficina de las naciones unidas contra la droga y el delito, 2013)

#### Pruebas microcristalinas de piperazinas (bromuro platínico en ácido sulfúrico)

##### Reactivo:

Disuélvase 1 g de cloruro platínico ( $H_2PtCl_6 \cdot 6H_2O$ ) en 1,7 ml de HBr (40%).

Disuélvase hasta los 20 ml con 2 partes de ácido sulfúrico concentrado y 3 partes de agua.

##### Método:

Añádase reactivo a una gota acuosa de la solución sometida a ensayo y hágase evaporar.

##### Resultados (cristal producido):

BZP----- Cristales rectangulares con extremos dentados.

TFMPP-----Aceites, luego grupos de varillas que parten de un núcleo central (manejo de varillas) (super crecimiento en forma de corbata pajarita).

2MeOPP----- Grupo de varillas (hojas anchas/varillas que parten de un núcleo).

3MeOPP----- -Cruces con bordes de peine.

4-MeOPP----- -Cristales de tipo romboidal (varillas/placas con bordes rugosos).

#### Pruebas microcristalinas para el análisis de piperazinas (cloruro de mercurio)

##### Reactivo:

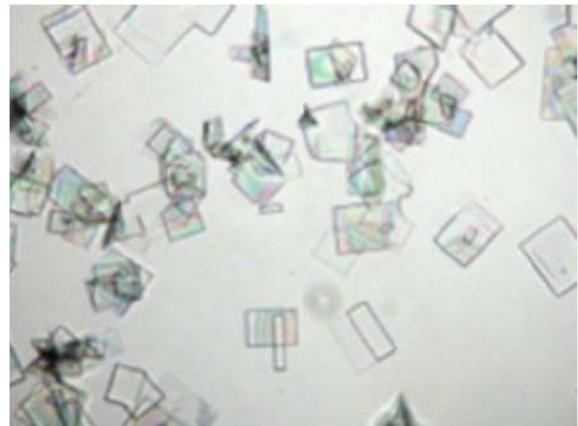
Solución acuosa de cloruro de mercurio (10g/l).

##### Método:

Mézclase una alícuota (10  $\mu$ l) de la solución sometida a examen (1 g/l) con 10  $\mu$ l de reactivo sobre una lámina de vidrio. Con una pipeta de plástico, promuévase la nucleación y la formación de cristales.

##### Resultados:

La BZP forma placas cuadradas planas y transparentes, como se puede observar en la figura II, mientras que la TFMPP produce un precipitado blanco sin formación de cristales.



Prueba microcristalina de La BZP con cloruro de mercurio

### Identificación de metanfetamina

La metanfetamina es un estimulante sumamente adictivo que afecta el sistema nervioso central. Aunque la mayoría de la metanfetamina que se usa en este país viene de laboratorios internacionales o nacionales, también se puede producir fácilmente en pequeños laboratorios clandestinos con ingredientes relativamente económicos que se pueden conseguir sin receta médica.

Se conoce comúnmente como "anfeta", "meta" y "tiza" en español o como "speed", "meth" y "chalk" en inglés. Generalmente se refiere a la forma de la droga que se puede fumar como "hielo" ("ice"), "cristal" ("crystal"), "arranque" ("crank") y "vidrio" ("glass"). Es un polvo blanco, cristalino, sin olor, y con sabor amargo que se disuelve fácilmente en agua o licor.

Al igual que la anfetamina, la metanfetamina aumenta la actividad y el habla, disminuye el apetito y produce una sensación general de bienestar. Sin embargo, la metanfetamina difiere de la anfetamina en que, cuando se usan en dosis similares, son mayores los niveles de metanfetamina que entran al cerebro, haciéndole una droga estimulante más poderosa con

efectos más duraderos y dañinos sobre el sistema nervioso central. La metanfetamina es un estimulante de la Lista II de la "Ley sobre Sustancias Fiscalizadas", lo que significa que tiene un alto potencial para ser abusada y que se puede obtener solamente por medio de prescripción médica.

### Metanfetamina de cristal

La metanfetamina es una droga estimulante que afecta el sistema nervioso central y es similar en estructura a la anfetamina. Debido al alto potencial que tiene para el abuso, la metanfetamina está clasificada como un fármaco de la Lista II de acuerdo a la Ley sobre Sustancias Controladas, y se puede obtener sólo por medio de prescripción médica no renovable.

Por lo general, la metanfetamina se presenta en forma de polvo blanco y amargo o en píldoras. La metanfetamina de cristal tiene el aspecto de fragmentos de vidrio o piedras blanco azuladas brillantes.



Metanfetamina de cristal

Foto: DEA/<https://www.dea.gov/galleries/drug-images/methamphetamine>

### Microscopio de polarización

De acuerdo con (euromex microscope holland), un microscopio de polarización se utiliza para identificar rocas y minerales en secciones delgadas. Es un microscopio óptico estándar que está equipado con una platina circular giratoria 360 ° de rotación, un polarizador para generar luz polarizada y un segundo polarizador (llamado "analizador") que se encuentra entre la muestra y la visión por el ocular. La mayoría de los materiales cristalinos y minerales cambian las direcciones de polarización de luz, lo que permite que la luz alterada pase a través del analizador y

sea observada en los oculares. El uso de un polarizador hace que sea posible ver la muestra en la llamada luz "polarizada plana". El uso de los dos polarizadores, permite el análisis de la muestra en la llamada "polarización cruzada"



Imagen tomada del sitio <https://www.euromex.com/es/productos/productos/microscopios-de-polarizacon/educacin-microscopios-de-polarizacon/>

### CONCLUSIÓN

La utilidad de la cristalografía en el ámbito forense es de suma importancia, sin embargo es necesario contar con el equipo y sustancias adecuadas para su aplicación. La identificación por medio de los cristales de las drogas de abuso, como la cocaína, la metanfetamina, los derivados de las piperazinas, así como las catinonas sintéticas, es una herramienta fundamental en el ejercicio de la criminalística, sobre todo en lo que respecta al especialista en química forense, quien es el profesional adecuado para aplicar dichas técnicas de identificación a las distintas sustancias decomisadas en los lugares de hechos relacionados con delitos de narcotráfico.

Definitivamente, el uso de estas herramientas nos permite ir un paso adelante del crimen organizado, con las dificultades que dichos procesos conllevan, como lo son la falta de recursos y del equipamiento adecuado en los laboratorios forenses mexicanos.

### BIBLIOGRAFÍA

- Amador Elizondo, U. (2018). *Cristalografía de fármacos*. Madrid: CEU Ediciones, D.L. 2018.
- Calvo, D. (30 de octubre de 2018). *InDependientes*, revista especializada en adicciones. Obtenido de <http://revistaindependientes.com/piperazinas/>
- Espert Tortajada, R., Perez San Miguel, J., & Gadea Doménech, M. (27 de febrero de 2015). *Revista española de drogodependencias, aesed*. Obtenido de [https://www.aesed.com/descargas/revistas/v40n1\\_3.pdf](https://www.aesed.com/descargas/revistas/v40n1_3.pdf)
- euromex microscopes holland. <https://www.euromex.com/es/pro>

- ductos/productos/microscopios-de-polarizacon/educacin-microscopios-de-polarizacin/
- Oficina de las naciones unidas contra la droga y el delito. (2013). unodc.org. Obtenido de <https://www.unodc.org/documents/scientific/Piperazines-S.pdf.pdf>
- Mexicano, S. G. (22 de Marzo de 2017). Cristalografía. Obtenido de Cristalografía: <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Minerales/Cristalografia.html>
- National Institute on Drug Abuse. (Mayo de 2019). Drug Facts. Obtenido de <http://www.drugabuse.gov/sites/default/files/df-methamphetamine-sp.pdf>
- Silva EA, Martínez JA. Antecedentes del estudio metabólico de MDPV y metilona. Propuesta de un modelo de biotransformación a través de hongos del género Cunninghamella. Rev. Colomb. Cienc. Quím. Farm. 2016; 45(3), 484–502.
- Unidas, N. (Septiembre de 2012). Métodos recomendados. Obtenido de Métodos recomendados: [https://www.unodc.org/documents/scientific/Cocaine\\_S.pdf](https://www.unodc.org/documents/scientific/Cocaine_S.pdf)
- UNODC. (Septiembre de 2015). Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito. Obtenido de [http://www.unodc.org/documents/scientific/STNAR49\\_Synthetic\\_Cathinones\\_S.pdf](http://www.unodc.org/documents/scientific/STNAR49_Synthetic_Cathinones_S.pdf)