

SÍNTESIS Y APLICACIÓN DEL COMPUESTO DE COORDINACIÓN: TRIOXALATOFERRATO (III) DE POTASIO

Synthesis and application of the coordination compound: potassium trioxalatoferrate (III)

Valeria Tapia-González*, María-José Tobar-Heredia, Gabriela Acurio-Pruna, Amarilis Betún-Guamán, Noella Basurto-Pinargote

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química, Riobamba, Ecuador.

*ztapia@esPOCH.edu.ec

R esumen

El estudio de los compuestos de coordinación constituye un aspecto fundamental dentro del campo de la química inorgánica debido a la naturaleza fascinante que poseen manifestada en sus propiedades particulares que les permiten tener utilidad a nivel industrial. El presente trabajo de investigación se enfoca en la síntesis y caracterización del trioxalatoferrato (III) de potasio para su aplicación factible. La síntesis del compuesto se realizó en el laboratorio en base a un conjunto de reacciones químicas progresivas de ácido oxálico, hidróxido de potasio y cloruro de hierro (III) para la preparación de una disolución de la cual se obtuvieron cristales del compuesto estudiado gracias al proceso de precipitación en ambiente sin luz. Los cristales fueron separados de la disolución a través del sistema de filtración por gravedad para su caracterización por espectroscopia de infrarrojo y finalmente su aplicación en la técnica de copia fotográfica monocromática. Los resultados de la investigación muestran que la capacidad de fotorreducción propia del ion Fe^{+3} contenido en el compuesto de coordinación estudiado le permite tener un aporte y utilidad en la industria de la fotografía como elemento para la preparación de tinta fotográfica.

Palabras clave: compuesto de coordinación, cristales, hierro, reducción química

A bstract

The study of coordination compounds is a fundamental aspect in the field of inorganic chemistry due to the fascinating nature they have manifested in their particular properties that allow them to have numerous industrial applications. This paper focuses on the synthesis and characterization of potassium trioxalatoferrate (III) for feasible application. The synthesis of the compound was carried out at the laboratory with a set of progressive chemical reactions of oxalic acid, potassium hydroxide and iron chloride (III) for the preparation of a solution from which crystals of the studied compound were obtained due to the process of precipitation in an environment without light. The crystals were separated from the solution through the gravity filtration system for its characterization by infrared spectroscopy and finally its application in the monochromatic photographic technique. The results of the investigation show that photoreduction capacity of the Fe^{+3} ion contained in the compound studied allows it to have a contribution and to be useful in the photography industry as an element for the preparation of photographic ink.

Key words: coordination compound, crystals, iron, chemical reduction.

Fecha de recepción: 16-07-2019

Fecha de aceptación: 23-12-2019

I. INTRODUCCIÓN

Los compuestos de coordinación se presentaban como sustancias de características muy particulares y de naturaleza asombrosa en los inicios de

la historia de la química inorgánica porque parecían desafiar las reglas comunes del número de valencia de ciertos metales al formar compuestos (1). Fue el científico Alfred Werner quien en 1893 presentó la teoría de la coordinación la cual

explicó que ciertos átomos metálicos al formar compuestos y actuar como núcleos centrales pueden utilizar valencias auxiliares (2).

Un compuesto de coordinación es una estructura química formada por un ion complejo y uno o varios contraiones (iones con carga opuesta). Este ion complejo posee un átomo central que corresponde a un metal de transición que se encuentra unido a una o diversas moléculas denominadas ligandos (2). La importancia del estudio de los compuestos de coordinación radica en las propiedades físicas y químicas que presentan entre las que sobresalen: colores intensos, paramagnetismo simple y estructuras cristalinas bien definidas que les permiten tener un gran número de aplicaciones a nivel industrial, entre ellas destacan: secuestro de iones metálicos, extracción y separación de metales, colorantes textiles, catalizadores en procesos de hidrogenación y oxidación (3).

Otro aspecto interesante de los compuestos de coordinación es su importancia a nivel biológico debido a que constituyen parte esencial de la estructura de enzimas que actúan como catalizadores en los sistemas biológicos por lo que estas sustancias también poseen aplicaciones terapéuticas como: tratamiento del cáncer, artritis y envenenamientos (4).

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal el estudio de las propiedades físicas y químicas del compuesto de coordinación trioxalato ferrato (III) de potasio, a través de su síntesis y caracterización, para su aplicación en la técnica de copiado fotográfico monocromático conocida como cianotipia que es posible gracias a una característica propia del hierro, un componente del ion complejo que le permite reaccionar de forma interesante cuando entra en contacto directo con una fuente de radiación ultravioleta como la luz solar. Los objetivos específicos de este trabajo se fundamentan en la obtención de cristales de trioxalato ferrato (III) de potasio en el laboratorio químico en base a la práctica realizada por el autor Castro (3), profesor de la Facultad de Ciencias la Universidad del Valle en el año 2016, la identificación de las reacciones involucradas en la formación del compuesto de coor-

dinación y la propuesta final de una aplicación factible para el compuesto obtenido.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el estudio, primero se realizó la síntesis del compuesto de coordinación en el Laboratorio de Química General e Inorgánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en base a la práctica realizada por el autor Castro (3) en la Facultad de Ciencias de la Universidad del Valle (Colombia) en el año 2016. Los reactivos con sus respectivas cantidades y unidades se presentan en la Tabla 1.

REACTIVOS	MARCAS	CANTIDADES
Agua destilada	Prolabor	80 ml
Ácido oxálico	Fisher Scientific	37.8 g
Hidróxido de potasio	Emsure	33.6 g
Cloruro de hierro (III)	Prolabor	16.2 g
Etanol al 98%	Prolabor	50 ml

Tabla 1. Reactivos para la obtención de cristales de trioxalato ferrato (III) de potasio
Fuente: Castro (3)

La obtención de cristales de trioxalato ferrato (III) de potasio se fundamenta en la reacción de precipitación que permite obtener precipitados sólidos en una disolución gracias a reacciones químicas. En esta técnica de síntesis, el precipitado obtenido se recuperó como cristales color verde esmeralda. En la práctica de laboratorio se trabajó en base a la preparación de disoluciones donde el solvente fue el agua destilada a punto de ebullición. Los reactivos fueron añadidos gradualmente en un vaso de precipitación con agua en el siguiente orden: ácido oxálico, hidróxido de potasio y cloruro de hierro.

La disolución fue preparada con ayuda de una plancha de calentamiento y con agitación manual constante para la obtención de una disolución homogénea. Cabe destacar que cada reactivo debe ser añadido por etapas y cuando cada uno haya sido disuelto completamente en agua se podrá añadir el siguiente. En esta práctica hay una reacción exotérmica cuando la solución de ácido oxálico entra en contacto con el hidróxido de sodio por tanto este último debe ser incorporado lentamente para evitar ocasionar una reacción química extremadamente violenta y también es

necesario bajar la temperatura de calentamiento al mínimo mientras se agita.

El cloruro de hierro permite obtener finalmente una disolución color verde claro que debe enfriarse a temperatura ambiente, en un lugar sin presencia de luz porque de lo contrario el hierro sufrirá una reacción prematura de reducción química impidiendo la precipitación de los cristales. Luego de dejar reposar la disolución durante 24 horas se procede a la filtración por gravedad donde el etanol se emplea para lavar los cristales recuperados por el papel filtro.

La siguiente etapa es de secado para eliminar el exceso de agua presente en los cristales por lo que se empleó un secador de bandejas con una temperatura de 65 °C en un tiempo de 45 minutos con el propósito de reducir la presencia de agua en el compuesto.

Reacciones químicas en el proceso de síntesis

Orden	Reacciones y fórmulas químicas
1	$H_2C_2O_4(aq) + 2OH^-(aq) \rightarrow C_2O_4(aq)^{2-} + 2H_2O(l)$
2	$Fe(aq)^{3+} + 3C_2O_4(aq)^{2-} \rightarrow [Fe(C_2O_4)_3]^{3-}(aq)$
3	$[Fe(C_2O_4)_3]^{3-}(aq) + K^+(aq) \rightarrow K_3[Fe(C_2O_4)_3](aq)$
4	$K_3[Fe(C_2O_4)_3] \cdot 3H_2O$

Tabla 2. Reacciones por pasos para la formación de trioxalatoferrato (III) de potasio.

En la primera reacción los iones hidroxilo del hidróxido de potasio se disocian en el agua y reaccionan con el ácido oxálico para formar iones oxalato en medio acuoso. Luego los iones de hierro (III) del tricloruro de hierro forman un ion complejo con los iones oxalato en medio acuoso en la segunda reacción. Finalmente, los iones complejos de trioxalatoferrato (III) se unen con los iones K^+ disociados en el agua para formar el compuesto de coordinación trioxalatoferrato (III) de potasio en la tercera reacción. El compuesto de coordinación se presenta trihidratado debido a que cada ion oxalato se enlaza con una molécula de agua (fórmula 4).

Trioxalatoferrato (III) de potasio: Estructura y propiedades

El complejo de coordinación trioxalatoferrato (III) de potasio está formado por el anión complejo trioxalatoferrato (III) de geometría octaé-

drica y el catión potasio con número de oxidación +1. Este complejo se caracteriza por poseer un color verde intenso. En la Figura 1 se puede observar la estructura química del compuesto, cada ion oxalato se encuentra unido al átomo central por medio de dos átomos de oxígeno que actúan como átomos donadores. Los oxalatos por lo tanto son ligandos bidentados y hay un total de seis átomos de oxígeno unidos al átomo central por lo cual el número de coordinación del complejo es seis.

Cada oxalato conforma un anillo quelato que consta de cinco átomos donde dos son de carbono, dos de oxígeno y el átomo central metálico es hierro con estado de oxidación: +3 (4).

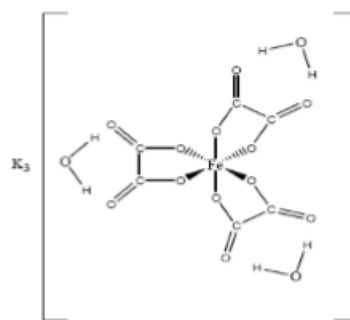


Figura 1. Estructura química del trioxalatoferrato (III) de potasio
Fuente: Castro (3)

Espectroscopia Infrarroja

Es un método empleado para la caracterización e identificación de ciertas sustancias y grupos funcionales presentes en compuestos químicos donde las vibraciones moleculares producen oscilaciones en las cargas eléctricas que emiten longitudes de onda que permiten analizar e identificar los tipos de enlaces presentes en una sustancia y en este caso el complejo de coordinación. Una molécula absorberá la energía de un haz de luz infrarroja cuando dicha energía incidente sea igual a la necesaria para que se dé una transición vibracional de la molécula. Es decir, la molécula comienza a vibrar de una determinada manera gracias a la energía que se le suministra mediante luz infrarroja (5).

Para la caracterización del compuesto se utilizó un Espectrofotómetro de Infrarrojo Jasco FT/IR-4100 del Laboratorio de Química Analítica e Instrumental de la Escuela Superior Politécnica

de Chimborazo. Este equipo permitió el análisis de una pequeña muestra del complejo sintetizado permitiendo la obtención de la Figura 2 y la Tabla 4 que muestran la transmitancia óptica, una medida de la cantidad de luz que atraviesa un cuerpo en una determinada longitud de onda. Los valores de transmitancia permiten identificar los diversos grupos funcionales presentes en una sustancia.

III. RESULTADOS

La síntesis en laboratorio permitió la obtención de trioxalato ferrato (III) de potasio en forma de cristales por medio de precipitación y filtración por gravedad. Luego, el producto fue sometido a secado donde se evidenció la pérdida de masa que se presenta en la Tabla 3.

Sustancia	Peso(g) / volumen (ml)	Estado físico	Color
Cristales luego de filtrado	41.20 g	sólido	Verde esmeralda
Cristales luego de secado	38.417 g	sólido	Verde pálido
Solución filtrada	90 ml	líquido	Verde claro

Tabla 3. Resultados de la práctica de obtención de cristales de trioxalato ferrato (III) de potasio.

El análisis por espectrofotometría infrarroja permitió obtener la Figura 2 donde el eje horizontal representa el número de onda y el eje vertical la transmitancia. Los picos más prominentes corresponden a los grupos funcionales presentes en mayor porcentaje en la estructura del compuesto analizado.

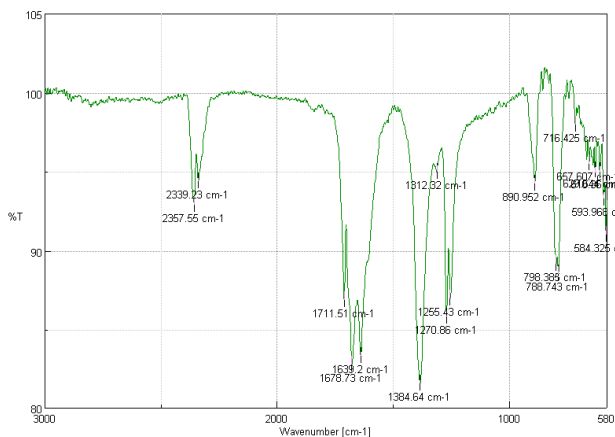


Figura 2. Espectro Infrarrojo del Trioxalato ferrato (III) de potasio obtenido en la investigación. Fuente: Laboratorio de Química Analítica e Instrumental, ESPOCH, 2019

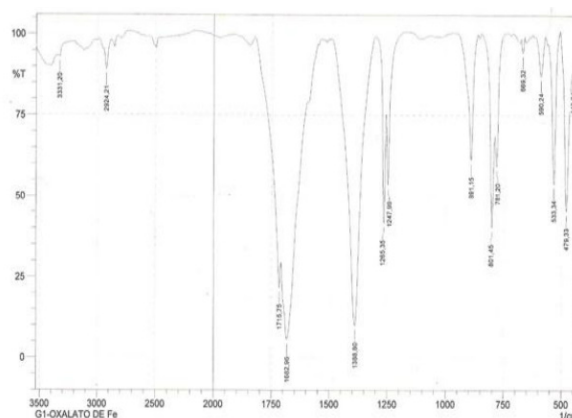


Figura 3. Referencia: Espectro Infrarrojo del Trioxalato ferrato (III) de potasio obtenido por Castro (3) Fuente: Castro (3), Universidad del Valle, Colombia, 2016

La Tabla 4 muestra números de onda y transmitancia donde los valores resaltados con colores son característicos de diversos grupos funcionales que pudieron ser identificados debido a los picos más prominentes de la Figura 2.

Wavenumber [cm-1]	%T
2339.23	94.4268
1711.51	86.9071
1678.73	82.8062
1639.2	83.328
1384.64	81.5736
1312.32	94.9986
1270.86	85.8537
1255.43	86.9623
890.952	94.2814
798.385	89.158
788.743	88.588
629.644	95.1195
593.968	93.345
584.325	91.021

Tabla 4. Número de onda y Transmitancia de los grupos químicos presentes en mayor cantidad en el compuesto obtenido Fuente: Laboratorio de Química Analítica e Instrumental, ESPOCH, 2019

Con los valores de número de onda obtenidos se procedió a la comparación de los valores con otros referenciales dados por el trabajo de investigación y síntesis del mismo compuesto realizado por el autor Castro (3) en el año 2016. En la Tabla 5 se puede observar que los valores del complejo obtenido con respecto a las bandas (grupos químicos representativos) son muy cercanos a los valores tomados como referencia. También se incluyeron los valores de longitud de onda del ácido oxálico para evidenciar la presencia de enlaces dobles carbono-oxígeno que son caracterís-

ticos del grupo oxalato.

Bandas	Longitud de onda (cm ⁻¹)		
	Ácido oxálico referencia	Complejo Referencia Castro (3)	Complejo obtenido Resultados IR
Vibraciones asimétricas	---	1715.75	1711.51
Enlaces dobles carbono-oxígeno	1685	1682.96	1678.73
Enlaces simples carbono-oxígeno	1360	1388.80	1384.64
Vibraciones simétricas	1263- 903	1265.35 – 891.15	1270.86 – 890.952
Grupo oxalato	---	781.20	788.743
Agua en red cristalina	579	590.24	593.968
Enlaces simples Hierro-Oxígeno	---	533.34	584.325

Tabla 5. Comparación de valores de longitud de onda del compuesto obtenido con valores de referencia del ácido oxálico y de la síntesis del autor Castro (3) Fuente: Laboratorio de Química Analítica e Instrumental, ESPOCH, 2019



Figura 4. Filtración, secado y almacenado del compuesto de coordinación obtenido: trioxalatoferato (III) de potasio.

IV. DISCUSIÓN

En la presente investigación, la síntesis de trioxalatoferato (III) de potasio se realizó a partir de diferentes reacciones químicas en las cuales se obtuvieron paso a paso los iones de oxalato y ferrato (III) necesarios para la formación del ion complejo oxalatoferato y su posterior unión al contraión del metal potasio para la obtención de un compuesto de coordinación. El proceso de síntesis en el laboratorio tuvo un rendimiento del 78.41% considerado como satisfactorio el cual estuvo determinado por variables y factores de temperatura, agitación y pureza de reactivos. En la Figura 4 se puede visualizar los cristales obtenidos que posteriormente fueron sometidos a secado.

Existen otros métodos de laboratorio para la obtención del trioxalatoferato (III) de potasio que

se basan en la utilización de distintos reactivos y por consecuencia involucran reacciones químicas diferentes, sin embargo llegan al mismo objetivo. Como ejemplo se puede citar la práctica del repositorio de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Complutense de Madrid realizada en el año 2011, en la cual se emplean sal de Mohr, ácido sulfúrico y oxalato ferroso. Esta práctica también difiere en el método de obtención de los cristales ya que utiliza el baño de hielo en lugar del reposo de la solución durante 24 horas, el cual es un procedimiento mucho más rápido pero puede afectar a la calidad de los cristales debido a la aceleración del proceso por descenso de la temperatura (6).

El método de filtración por gravedad empleado puede ser sustituido por la filtración al vacío, de esa forma se podría eliminar mayor cantidad de agua y otras sustancias presentes en los cristales. Se empleó etanol para el lavado de los cristales ya que es un solvente volátil que no produce reacción alguna con el trioxalatoferato (III) de potasio y es necesario emplearlo con su máximo nivel de concentración posible que para este trabajo fue del 96%.

Luego de la obtención de los cristales del compuesto de coordinación se procedió a su secado durante 45 minutos a una temperatura de 60 °C con ayuda de un equipo secador de bandejas lo cual permitió una significativa deshidratación del compuesto con una pérdida total de 2.78 g en masa con respecto a la masa inicial de los cristales (Ver Tabla 3), sin embargo la sustancia debe mantenerse en su forma trihidratada para que no se vean alteradas las propiedades químicas del Fe +3. Para el secado del compuesto la temperatura no debe exceder los 113 °C que es el límite de temperatura para la forma hidratada del compuesto que debe guardar agua de cristalización.

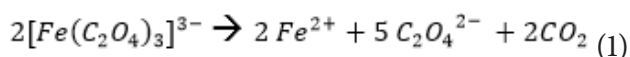
Para la caracterización del compuesto se utilizó un análisis por espectrofotometría infrarroja que permitió obtener las Tablas 4 y 5 para la comparación de los números de onda con los valores obtenidos en la práctica de síntesis realizada por el autor Castro (3). Se puede observar en la Tabla 5 que los valores de las bandas características de los iones oxalato guardan mucha similitud con

los valores de referencia sin embargo se obtuvo mayor intensidad de bandas de agua de cristalización que indican una mayor hidratación del compuesto. Con este análisis se puede asegurar que el compuesto de coordinación obtenido es trioxalato ferrato (III) de potasio.

Aplicación del compuesto de coordinación

El compuesto obtenido, trioxalato ferrato (III) de potasio, tiene su aplicación en la técnica de copia fotográfica monocromática conocida como cianotipia. Para esta aplicación se requiere una disolución fotosensible compuesta de dos sustancias químicas: trioxalato ferrato (III) de potasio y hexacianoferrato (III). Ambos compuestos se combinan en una relación 2:1 con agua destilada. Esta relación se obtuvo mediante ensayos experimentales. La disolución debe ser preparada en un ambiente oscuro y almacenada en botellas opacas para ser utilizada como pintura que es aplicada sobre papel o cartulina para dejar secar en ambiente sin luz. Luego se necesita una hoja de acetato con una imagen impresa en negativo o un cuerpo plano como hojas o flores para finalmente ser colocada sobre la hoja pintada y ser expuesta a radiación ultravioleta que se obtiene por exposición a la luz solar durante 20 minutos aproximadamente.

El principio del funcionamiento de este proceso se encuentra en la foto sensibilidad del complejo de hierro del compuesto de coordinación previamente obtenido. El átomo central Fe tiene un número de oxidación +3 coordinado con tres grupos carboxilatos. Los rayos ultravioleta de la luz solar tienen la energía suficiente para excitar el complejo trioxalato ferrato (III) y volverlo inestable, para luego sufrir una reacción de reducción interna donde el átomo de Fe +3 se oxida a Fe +2, combinándose directamente con el ferrocianuro de potasio en el interior de las fibras de papel que forman un precipitado de color azul. La reacción de foto sensibilidad del complejo en el compuesto de coordinación puede ser descrita con la siguiente ecuación química:



Luego del proceso de exposición a la luz solar, la parte que no fue expuesta a la luz según el dise-

ño del dibujo de la hoja de acetato o de la silueta de un cuerpo sólido, queda casi sin coloración a diferencia de la parte del diseño que fue expuesta a la luz del sol. Finalmente se lava la hoja en una bandeja con agua fría para remover los químicos solubles de la superficie y obtener una impresión fotográfica. El proceso de cianotipia no se restringe únicamente a superficies de papel sino también puede ser realizado sobre superficies absorbentes como madera, algodón y cuero para crear diseños y objetos interesantes. En la figura 4 se puede observar una prueba de cianotipia realizada sobre papel que se cubrió con una disolución de trioxalato ferrato (III) de potasio y ferrocianuro de potasio.



Figura 5. Impresión monocromática de la silueta de una tijera por cianotipia

V. CONCLUSIONES

Se obtuvo un valor de 40.20 g de cristales de trioxalato ferrato (III) de potasio gracias a la utilización de la cantidad adecuada de reactivos que requiere mucha precisión durante su medición y peso. Luego del secado, los cristales perdieron masa llegando a un valor de 38.4 g lo cual indica que se sintetizó el compuesto en su forma hidratada. El rendimiento de la reacción fue del 78.41%.

Se identificaron reacciones químicas por pasos en cada etapa de preparación de la disolución que dieron lugar a la precipitación de los crista-

les del compuesto de coordinación sintetizado. Estas reacciones involucraron la formación de iones cuando los reactivos sólidos entraron en contacto con el medio acuoso. La disociación de los reactivos permitió la formación de los iones complejos necesarios para la formación del compuesto de coordinación.

Se encontró una aplicación factible para el trioxalato ferrato (III) de potasio que consiste en

actuar como componente principal en el proceso de revelado fotográfico monocromático conocido como cianotipia. El compuesto de coordinación a diferencia de otras sales de hierro reacciona con el ferrocianuro de potasio produciendo una coloración fija en papel luego del revelado con una tonalidad de color azul acentuada. Este proceso se fundamenta en la reacción de reducción del Fe +3 contenido en el complejo de coordinación a Fe +2 por acción de la radiación ultravioleta.

Referencias

- Huheey J, Keiter E, Keiter R. Química Inorgánica: Principios de estructura y reactividad. 4a ed. México: Alfaomega; 2005.
- Chang R. Química. 10 a ed. México: The McGraw-Hill; 2010.
- Castro N, Domínguez I, Figueroa V. Síntesis y utilización de métodos espectroscópicos para el análisis del tris oxalato ferrato (III) de potasio. [Internet]. Colombia: Universidad del Valle; 2016 [citado 19 Junio 2019]. Disponible en: https://mavoden.weebly.com/uploads/3/8/7/6/38767835/inform._tris_oxalato.pdf
- Solarte L, Rosero M. Síntesis y Caracterización del Tris(Oxalato)Ferrato (III) de Potasio trihidratado. [Internet]. Colombia: Academia; 2015 [citado 19 Junio 2019]. Disponible en: https://www.academia.edu/19264155/S%C3%ADntesis_y_Caracterizaci%C3%B3n_del_Tris_Oxalato_Ferrato_III_De_Potasio
- Shurvell H. Spectra-Structure in the Mid- and Far- infrared Queen's University. [Internet]. Canadá: Wiley ; 2006 [citado 20 Junio 2019]. Disponible en : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/0470027320.s4101>
- Cabañas. M. Ficha Docente: QUÍMICA INORGÁNICA. [Internet]. Madrid: Universidad Complutense de Madrid; 2012 [citado 19 Junio 2019]. Disponible en: <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-73249/QI11-12.pdf>
- Universidad de Santiago de Compostela. Manual de Laboratorio de Química Inorgánica II. [Internet]. España: Galicia; 2014. Disponible en: http://www.usc.es/export9/sites/webinstitucional/gl/centros/quimica/curso/grao/Manual_laboratorio_QI2_2013_14s.pdf
- Tovar, C. Química Inorgánica: Preparación de un compuesto de coordinación: $K_3[Fe(ox)_3] \cdot 3H_2O$. [Internet]. Colombia: Universidad de Cartagena; 2014. Disponible en: http://dec.fq.edu.uy/catedra_inorganica/inorganica/practica12.pdf
- Gale P. Coordination Chemistry Reviews. 376 vol. UK: Editorial ELSEVIER; 2018.
- Walter de Gruyter. Reviews in Inorganic Chemistry. 1ª ed. Germany: Aldrige; 2018.
- Housecroft C, Sharpe A. Inorganic Chemistry. 2ª ed. London: Pearson Education Limited; 2005.
- Connelly N, Damhus T, Huttin A. Nomenclature of Inorganic Chemistry. 1ª ed. UK: Editorial Reverté; 2005.
- Rayner G. Química Inorgánica Descriptiva. 2ª ed. México: Pearson Educación; 2000.
- E. Quiñoá, R. Riguera, J. Nomenclatura y formulación de los compuestos inorgánicos. 3ª ed. España: McGraw Hill; 2006.
- Atkins P, Overton T, Rourke J, Weller M, Armstrong. Química Inorgánica. 4ª ed. China: McGraw-Hill Interamericana; 2008.
- Villa M, Aguilar J. Química Inorgánica: Manual de Practicas. 3ª ed. Colombia: Universidad de Medellín; 2014.
- Peterson W. Introduccion a la nomenclatura de las sustancias químicas. 2ª ed. España: Reverté; 2011.
- Garces A, Gomez S. Experimentación en Química Inorganica..1ª ed. España: S.LDykinson; 2009.
- VV.AA. Formulación y Nomenclatura. Química Inorgánica. 1ª ed. España: Oxford; 2013.
- Quiñoa E. Nomenclatura y Formulación de los compuestos inorgánicos. 1ª ed. España: S.A. MCGRAW-HILL; 2006.
- Leite A. Química Inorgánica II. 1ª ed. Ceará: UAB/UECE; 2015.
- Petrucci R. Química General, principios y aplicaciones modernas. 10ª ed. Madrid: Pearson educación; 2011.

23. Álvarez J. Química Inorgánica y Química orgánica. [Internet]. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid; 2014. Disponible en: <http://quim.iqi.etsii.upm.es/moles/TEXTOS/Q.%20INORGANICA%20Y%20Q.%20ORGANICA.pdf>
24. Gutiérrez M, López L. Química 1. 2ª ed. México: Pearson; 2018.
25. López L, Gutiérrez M, Arellano L. 3ª ed. México: Pearson; 2012.