



BUAP

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ANALÍTICA

“Síntesis de bases de Schiff derivadas de 2-aminofenol y análisis de su reactividad hacia metales.”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO
EN:**

QUÍMICO FARMACOBIOLOGO

**Presenta:
Alejandro Hernández Matamoros**

**Director de Tesis
Dr. José Luis Gárate Morales**

**Asesora de Tesis
Dra. Adriana Hernández Calva**

Puebla Pue.

Junio, 2025



Facultad de Ciencias Químicas BUAP

Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres, a mi mamá que siempre me ha motivado a perseguir mis sueños y objetivos en la vida, siendo la voz necesaria para nunca rendirme, aun en los peores momentos, dándome los ánimos para lograr mis metas como lo ha sido para este proyecto. A mi papá por siempre confiar en mí, enseñándome desde pequeño que puedo ser capaz de muchas cosas en la vida a través de la imaginación y la confianza, impulsándome a dar lo mejor de mí en todo lo que haga. A ambos en general por siempre apoyarme, escucharme y alentándome, siendo un gran sostén en mi vida.

Agradecer en gran medida al doctor José Luis Gárate desde las clases de la química analítica básica enseñándome las bases en la materia, como en el primer proyecto en el que llegue a su laboratorio, pero esencialmente por permitirme ser su tesista realizando las actividades bajo su cargo, dándome la oportunidad de utilizar varios de sus equipos y reactivos para obtener los resultados presentados.

Al mismo tiempo

Agradecerle a la doctora Adriana por dedicar mucho de su tiempo en revisar esta tesis aportando en cada texto mucho de su conocimiento y experiencia, enriqueciendo este proyecto.

A todos los chicos dentro del laboratorio de química analítica y organometálica que, si bien tuve en todo momento el apoyo de grandes doctores y docentes, ellos fueron mi primer recurso a cualquier duda o cuestionamiento que hubiera, colocándolos como una parte fundamental en esta tesis. Al buen joven Nes el compañero con el que estuve desde la primera semana de la carrera, clases, prácticas profesionales y en la finalización de nuestras respectivas tesis. A Vale contribuyendo en la elaboración y repetibilidad de los resultados. Los chicos Saúl, Ulises, Cosme y Angy al aportar de su conocimiento con ideas para mejorar la tesis y a los compañeros Paulina, Jesús, Erick y Levi.

Agradezco a mi comité evaluador por aceptar formar parte del trayecto, así como tomar de su tiempo para la revisión de este proyecto y aportando observaciones para enriquecer este proyecto.

A mis hermanos que a pesar de las complicaciones y la lejanía que ahora existe, durante mi estancia en la carrera me brindaron su apoyo cuando lo he necesitado e ilustrándome lo que es la vida adulta con sus éxitos y anti bajos.

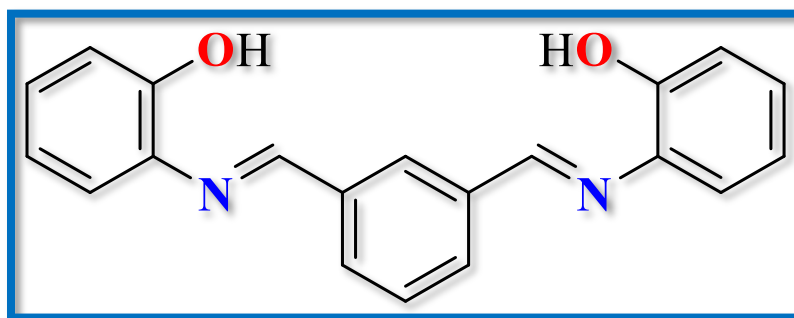
Finalmente agradecerle en gran medida a mi pareja Ana que me hizo compañía en todo momento durante el proceso, dándome ánimos en los buenos y malos momentos, sabiendo que siempre puedo confiar en ella y viviendo conmigo toda la experiencia de lo que es hacer una tesis.

Índice

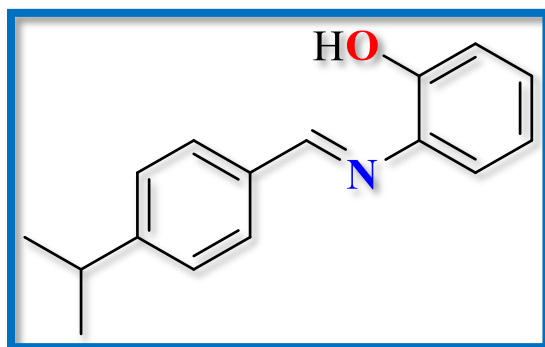
Agradecimientos.....	II
Compuestos sintetizados.....	1
Resumen	2
Abstract.....	3
Listado de abreviaturas	4
Listado de figuras esquemas y tablas	7
1. Introducción.....	10
1.1 Metales de transición de la primera serie de transición (Mn, Fe, Co, Ni, Cu y Zn) ...	10
1.2 Bases de Schiff.....	13
1.2.1 Mecanismo de reacción.....	14
1.3 Aplicaciones.....	16
1.4 Ligante	17
1.5 Procesos sintéticos	21
1.5.1 Amina primaria y aldehídos	22
2. Objetivos.....	24
3. Metodología.....	25
3.1 Equipos, Materiales, Reactivos y Disolventes.....	25
3.2 Síntesis de Bases de Schiff.....	26
3.2.1 Síntesis de R1C (2,2'-((1,3-fenilenebis(metanoililideno))bis(azaneililideno))difenol)	26
3.2.2 Síntesis de R2L (2-((4-isopropilbencilideno)amino)fenol).....	28
3.3 Caracterización	30
3.4 Reactividad Base de Schiff-Metales de la primera serie de transición	30
4. Resultados y discusión.....	32

4.1 Base de Schiff R1C	32
4.1.1 Caracterización.....	33
4.1.2 Evaluación de la coordinación del Ligante R1C frente a Iones metálicos	39
4.2 Base de Schiff R2L	42
4.2.1 Caracterización.....	42
4.2.2 Evaluación de la coordinación del Ligante R2L frente a Iones metálicos	48
5. Conclusiones.....	50
6. Perspectivas	51
7. Bibliografía.....	52
8. Anexos	55

Compuestos sintetizados



R1C



R2L

Resumen

La presente investigación se centra en la síntesis de las bases de Schiff (**R1C** y **R2L**) derivadas de una amina primaria 2-aminofenol y los aldehídos; isoftalaldehído, 4-isopropilbenzalaldehído y 3-piridinecarboxaldehído, mediante una reacción de condensación a través de tres metodologías de síntesis, tituladas en este trabajo como: ruta sintética por método básico, ruta sintética por choque térmico en medio ácido y ruta sintética larga en medio ácido. Los compuestos obtenidos para cada caso se caracterizaron a través de técnicas espectroscópicas: Ultravioleta Visible (UV-Vis) e Infrarrojo (IR) y de Resonancia Magnética Nuclear de protón (RMN ^1H), para corroborar la presencia del enlace imina, característico de este tipo de moléculas. La capacidad coordinante de las bases de Schiff hacia iones metálicos divalentes como Mn, Fe, Co, Ni, Cu y Zn se monitoreó por UV-Vis observando un cambio de color en las soluciones iniciales y la presencia de nuevas bandas de absorción en los espectros como resultado de la formación de un compuesto de coordinación, en algunos casos. Los espectros obtenidos exhibieron que el ligante **R1C** es capaz de coordinarse a los iones Mn(II), Co(II) y Cu(II), por la presencia de una banda de absorción con longitud de onda máxima en 416 nm, 413 nm y 422 nm respectivamente. En el caso del ligante **R2L**, resultó ser selectivo al ion Cu(II), esto se determinó por la presencia de una banda de absorción en una longitud de onda máxima en 421 nm. De acuerdo a los resultados que los compuestos **R1C** y **R2L** indica que son buenos candidatos para la coordinación de metales postulándose de esta manera como una alternativa viable para resolver la problemática de la contaminación por metales que existe en la actualidad debida a la contribución de las industrias y que están relacionados con varias patologías incluyendo en algunas de ellas la formación de tumores malignos.

Palabras clave: bases de Schiff, imina, complejos de coordinación, iones metálicos, sensor.

Abstract

This research focuses on the synthesis of Schiff bases (**R1C** and **R2L**) derived from a primary amine 2-aminophenol and aldehydes; isophthalaldehyde, 4-isopropylbenzaldehyde and 3-pyridinecarboxaldehyde, by a condensation reaction through three synthesis methodologies, titled in this work as: synthetic route in basic medium, synthetic route by heat shock in an acidic medium and long synthetic route in acidic medium. The compounds obtained for each case were characterized through spectroscopic techniques: Ultraviolet Visible (UV-Vis) and Infrared (IR) and proton Nuclear Magnetic Resonance (^1H NMR), to corroborate the presence of the imine bond, characteristic of this type of molecule. The coordinating capacity of Schiff bases towards divalent metal ions such as Mn, Fe, Co, Ni, Cu and Zn was monitored by UV-Vis observing a color change in the initial solutions and the presence of new absorption bands in the spectra because of the formation of a coordination compound, in some cases. The spectra obtained showed that the **R1C** ligand is capable of coordinating to Mn(II), Co(II) and Cu(II) ions, due to the presence of an absorption band with maximum wavelength at 416 nm, 413 nm and 422 nm respectively. In the case of the **R2L** ligand, it turned out to be selective to the Cu(II) ion, this was determined by the presence of an absorption band at a maximum wavelength of 421 nm. According to the results, compounds **R1C** and **R2L** indicate that they are good candidates for metal coordination, thus posing as a viable alternative to solve the problem of metal contamination that currently exists due to the contribution of industries and that are related to various pathologies, including in some of them the formation of malignant tumors.

Keywords: Schiff bases, imine, coordination complexes, metal ions, sensor.

Listado de abreviaturas

M (I)	Metal en estado de oxidación (I)
M (II)	Metal en estado de oxidación (II)
M (III)	Metal en estado de oxidación (III)
M (IV)	Metal en estado de oxidación (IV)
M (V)	Metal en estado de oxidación (V)
M (VI)	Metal en estado de oxidación (VI)
M (VII)	Metal en estado de oxidación (VII)
R1C	(2,2'-((1,3-fenilenebis(metanoililideno))bis(azaneililideno))difenol)
R1C-Mn	Compuesto de coordinación entre R1C y Manganese
R1C-Co	Compuesto de coordinación entre R1C y Cobalto
R1C-Cu	Compuesto de coordinación entre R1C y Cobre
R2L	(2-((4-isopropilbencilideno)amino)fenol)
R2L-Cu	Compuesto de coordinación entre R2L y Cobre
N/A	No aplica
h	Horas
mL	Mililitros
g	gramos

mmol	milimol
M	Mol
μL	Microlitros
TLC	Cromatografía en capa fina
cm	Centímetros
UV-Vis	Espectroscopía Ultravioleta-Visible
nm	Nanómetros
IR	Espectroscopía Infrarrojo
cm⁻¹	Unidades de número de onda
KBr	Bromuro de potasio
RMN ¹H	Espectroscopía de Resonancia Magnética Nuclear de protón
CHCl₃	Triclorometano (cloroformo)
CDCl₃	Cloroformo deuterado
ppm	Partes por millón
MHz	Megahertz
s	Señal simple
d	Señal doble
t	Señal triple

sept Señal multiplete

R_f Factor de retardo

Listado de figuras esquemas y tablas

Figura 1. Estructura química de Aldehídos y Cetonas.	14
Figura 2. Mecanismo de reacción para la formación de Bases de Schiff.....	15
Figura 3. Influencia del pH en el mecanismo de reacción para la formación de imina [14].	16
Figura 4. Estructura química del 2-aminofenol.	22
Figura 5. Estructura química del Isoftalaldehído.	22
Figura 6. Estructura química del 4-isopropilbenzaldehído.....	23
Figura 7. Cristales conseguidos de R1C	32
Figura 8. Ligante R1C en disolución, a) recién sintetizada y b) después de 72 horas.	33
Figura 9. Compuesto R1C	33
Figura 10. Espectro de infrarrojo del compuesto R1C , en pastilla de KBr.	34
Figura 11. Espectro de RMN de ^1H del compuesto R1C en CDCl_3 , a 500 MHz, referencia CHCl_3 residual.	36
Figura 12. Expansiones de las señales de RMN de ^1H de R1C en CDCl_3 , a 500 MHz, referencia CHCl_3 residual.	37
Figura 13. Espectro de absorción de UV-Vis del compuesto R1C con transiciones electrónicas.	38
Figura 14. Espectro UV-Vis de R1C en etanol coordinado con diferentes iones metálicos. El recuadro muestra una expansión de 350 a 500 nm.	39
Figura 15. Espectro de UV-Vis de R1C con la adición progresiva de acetato de manganeso $5 \times 10^{-4} \text{M}$, para formar R1C-Mn con expansión en 350 a 500 nm.	40
Figura 16. Espectro de UV-Vis de R1C con la adición de acetato de cobalto, para formar R1C-Co con expansión en 350 a 500 nm m.	40
Figura 17. Espectro de UV-Vis de R1C con la adición de acetato de cobre, para formar R1C-Cu con expansión de 350 a 500 nm.	41
Figura 18. Compuesto R2L	42
Figura 19. Espectro de infrarrojo del compuesto R2L , en pastilla de KBr.	43
Figura 20. Espectro de RMN de ^1H de R2L en CDCl_3 , a 500 MHz, referencia CHCl_3 residual.	45
Figura 21. Expansiones de las señales de RMN de ^1H de R2L en CDCl_3 , a 500 MHz, referencia CHCl_3 residual.	46
Figura 22. Espectro de absorción de UV-Vis del compuesto R2L	47
Figura 23. Espectro UV-Vis de R2L en etanol coordinado con diferentes iones metálicos. El recuadro muestra una expansión de 350 a 500 nm.	48
Figura 24. Espectro de UV-Vis de R2L con la adición de acetato de cobre, para formar R2L-Cu con expansión de 350 a 500 nm.....	49
Esquema 1. Reacción de condensación para la obtención de una base de Schiff.	13

Esquema 2. Reacción por ruta sintética por medio básico de R1C	27
Esquema 3. Reacción por ruta sintética por choque térmico de R1C	27
Esquema 4. Reacción por ruta sintética larga de R1C	28
Esquema 5. Reacción por ruta sintética por medio básico de R2L	28
Esquema 6. Reacción por ruta sintética por choque térmico de R2L	29
Esquema 7. Reacción por ruta sintética larga de R2L	29

Tabla 1. Configuración electrónica para los diferentes estados de oxidación de los elementos utilizados.	13
Tabla 2. Bases de Schiff similares reportadas en bibliografía.	19
Tabla 3. Comparación de tiempos de reacción y rendimientos entre las diferentes metodologías sintéticas para el ligante R1C	32
Tabla 4. Asignación de bandas en el espectro IR del compuesto R1C	34
Tabla 5. Resumen de desplazamientos químicos, integrales y multiplicidad de las señales del espectro de RMN H^1 de R1C	38
Tabla 6. Asignación de frecuencias para cada tipo de enlace correspondiente a la molécula R2L	43
Tabla 7. Resumen de desplazamientos químicos, integrales y multiplicidad de las señales del espectro de RMN H^1 de R2L	47
Tabla 8. Resumen de la formación de complejos ligante-metal.	50

Anexos

Figura 25. Bases de Schiff reportadas en la bibliografía S1 (N, N0-bis(salicilideno)-1, 4-diaminobenzeno), S2 (2-((4-(2-hidroxibenzilideneamino) fenilimino)metil)fenol), S3(2,2'-((1E,1'E)-(1,4-fenilenebis(metanililideno))bis(azanililiden))difenol), S4 2-((Z)-(2-aminofenilimino)metil)fenol, S5 2-((Z)-(2-aminofenilimino)metil)fenol, S6 Complejo L1 y S7 (E)-1-(piridin-4-il)-N-(p-tolil)metanimimina.....	55
Figura 26. Espectro de RMN de 1H de R1C en $CDCl_3$, a 500 MHz, referencia $CHCl_3$ residual, completo.....	56
Figura 27. Espectro de absorción UV-Vis del compuesto R1C con la adición progresiva de solución de acetato de manganeso.....	56
Figura 28. Espectro de absorción UV-Vis del compuesto R1C con la adición progresiva de solución de acetato de hierro.	57
Figura 29. Espectro de absorción UV-Vis del compuesto R1C con la adición progresiva de solución de acetato de cobalto.	57
Figura 30. Espectro de absorción UV-Vis del compuesto R1C con la adición progresiva de solución de acetato de níquel.....	58

Figura 31. Espectro de absorción UV-Vis del compuesto R1C con la adición progresiva de solución de acetato de cobre.	58
Figura 32. Espectro de absorción UV-Vis del compuesto R1C con la adición progresiva de solución de acetato de zinc.	59
Figura 33. Cristales conseguidos de R2L a temperatura de -20°C.	59
Figura 34. Espectro de RMN de ^1H de R2L en CDCl_3 , a 500 MHz, referencia CHCl_3 residual, completo.....	60
Figura 35. Espectro de absorción UV-Vis del compuesto R2L con la adición progresiva de solución de acetato de manganeso.	60
Figura 36. Espectro de absorción UV-Vis del compuesto R2L con la adición progresiva de solución de acetato de hierro.	61
Figura 37. Espectro de absorción UV-Vis del compuesto R2L con la adición progresiva de solución de acetato de cobalto.	61
Figura 38. Espectro de absorción UV-Vis del compuesto R2L con la adición progresiva de solución de acetato de níquel.	62
Figura 39. Espectro de absorción UV-Vis del compuesto R2L con la adición progresiva de solución de acetato de cobre.	62
Figura 40. Espectro de absorción UV-Vis del compuesto R2L con la adición progresiva de solución de acetato de zinc.	63

1. Introducción

La identificación de metales es un tema de suma importancia tanto para la salud como para el medio ambiente, ya que actúan como contaminantes de una gran variedad de productos naturales. Si bien existen métodos para su determinación hoy en día como lo es la espectroscopía de absorción atómica, espectroscopía de emisión óptica de plasma acoplado, voltamperometría de stripping, espectrometría de fluorescencia de rayos X y espectrometría de masa de plasma [1]. Los inconvenientes con este tipo de metodologías son su sensibilidad para la detección, el tiempo que se requiere para los procedimientos tanto para el tratamiento de la muestra, como del propio equipo y además el alto costo de los equipos y su mantenimiento [1]. Motivos por los cuales se busca implementar metodologías alternativas eficaces, eficientes, rápidas, de alta sensibilidad y asequibles.

1.1 Metales de transición de la primera serie de transición (Mn, Fe, Co, Ni, Cu y Zn)

Los metales del bloque d en la tabla periódica son de gran importancia en la química contemporánea por sus propiedades como: variedad en estados de oxidación, dureza (a excepción del cobre), ductilidad, maleabilidad, puntos de fusión muy altos (a excepción de Mn), densidades elevadas, capacidad refractante y que actúan como buenos conductores, motivo por el cual son esenciales en la industria y la investigación [2][3].

Una de las características de los compuestos metálicos del bloque d es su color específico, el cual se debe a las transiciones electrónicas $d-d$ cuando se encuentran en un estado de oxidación de d^I a d^9 . Durante la formación de un complejo con la participación de un ion metálico que generalmente conduce a un cambio en el color [2].

En este proyecto se evaluaron los metales Mn, Fe, Co, Ni, Cu e incluyendo el Zn en estados de oxidación divalentes pertenecientes a los elementos de la primera serie de transición del bloque d de la tabla periódica:

Manganeso (Mn): es un metal abundante, encontrándose principalmente en forma de diferentes óxidos, su principal uso en la industria es como aditivo en el acero, para darle una

mayor dureza y resistencia al desgaste, esencialmente para máquinas de compresión y excavación, además, puede llegar a utilizarse en algunas baterías [4][2]. El manganeso es el metal que tiene el mayor número de estados de oxidación entre los metales de la primera fila del bloque *d*, teniendo su forma más estable como el ion manganeso(II) en solución ácida [2]. La alta concentración de este metal provoca la corrosión en los sistemas de drenaje, además de generar contaminación en los alimentos como por ejemplo en el maíz, siendo esto un factor de riesgo para la salud ya que se ha demostrado que a nivel sistémico altera habilidades motoras y es capaz de provocar la enfermedad de Parkinson [5].

Hierro (Fe): es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre, aunque no es un elemento con gran uso industrial o de gran valor asociado al grado de pureza, es de importancia en muchos ámbitos de la industria para la producción de diferentes aleaciones [2]. En procesos y actividades biológicas, es indispensable para el transporte de oxígeno, proceso redox y es vital en procesos homeostáticos, sin embargo, el exceso de este elemento genera intoxicaciones con efectos cardiovasculares, daño a sistema nervioso, efectos sobre el metabolismo y lesiones hepáticas y gastrointestinales [6]. El hierro es uno de los elementos que pueden alcanzar un estado de oxidación de Fe(VI), dando lugar a un poderoso agente oxidante [3], sin embargo, su mayor uso en la química es en sus estados de oxidación (II y III).

Cobalto (Co): existen pocos compuestos conocidos en el estado de oxidación de Co(IV) y en el estado de Co(III) los compuestos son poco estables; sin embargo, presenta buena estabilidad al coordinarse con ligantes con átomos de nitrógeno donadores en un estado de oxidación Co(II) [4]. Aunque este elemento es esencial en el complejo de la vitamina B12, la intoxicación por este metal depende de la concentración en la que se encuentre a nivel sistémico generando síntomas de tipo neurológico, cardiovascular y endocrino [7]. A nivel industrial se produce para la elaboración de motores evitando la corrosión en los mismos, se trabaja principalmente acompañado del níquel, cobre y plata [2].

Níquel (Ni): al igual que el cobalto, el níquel es un metal poco reactivo, su estado de oxidación más común cuando forma compuestos de coordinación es Ni(II), adoptando estructuras estables [4][3]. En la industria es empleado especialmente en la producción de baterías de níquel, en aleaciones para recubrimiento de otros metales y como catalizador para

reacciones de hidrogenación [2]. La aplicación de este elemento representa un gran problema de contaminación al medio ambiente, ya que, en todas sus fases de manipulación, se liberan contaminantes de alto riesgo, ocasionando padecimientos como: fibrosis, alergias cutáneas, además de generar varios desechos mutagénicos [8].

Cobre (Cu): es un metal poco abundante, que logra obtenerse de manera sencilla en estado metálico, que a lo largo de la historia ha sido representativo para el desarrollo del hombre, junto con la plata y oro. En la vida diaria es utilizado para obtener diferentes aleaciones, recubrimientos de tubería de agua y de algunos edificios, debido a su capacidad para evitar la corrosión [2][3]. De los metales del bloque *d*, el cobre es el único metal capaz de tener el estado de oxidación de Cu(I), por lo que se le ha dado cierta relación con los metales alcalinos, sin embargo, su estado más estable es Cu(II), con el que se da la mayor formación de complejos [3][4]. El riesgo a la salud que puede ocasionar este metal se asocia a la formación de cáncer de pulmón, neumoconiosis y provoca la enfermedad de Wilson, un trastorno por toxicidad de cobre que puede provocar varias sintomatologías a nivel hepático, cardiovascular u otros tejidos [9].

Zinc (Zn): es un metal que forma cationes Zn(II), que está ampliamente difundido en la Tierra y químicamente su reactividad es semejante a los metales alcalinotérreos. Los usos que se le han dado al zinc van desde su importancia comercial hasta la elaboración de baterías de zinc-aire, es útil en la galvanización de acero y aplicado en las pantallas de televisión [2]. En comparación con los metales mencionados anteriormente, el zinc es uno de los elementos no tóxicos, sin embargo, a concentraciones elevadas en el organismo puede ocasionar náuseas, vómitos, dolor epigástrico y fatiga, en caso en los que la exposición prolongada con el metal provoca síntomas de anemia y neutropenia [10].

Estos metales presentan diferentes estados de oxidación, así como se muestra en la **Tabla 1**, sin embargo, se utilizaron en un estado de oxidación (II) ya que teóricamente pueden formar estructuras y estabilizarse de mejor manera en este estado, debido a las composición química de las bases de Schiff sintetizadas en este trabajo.

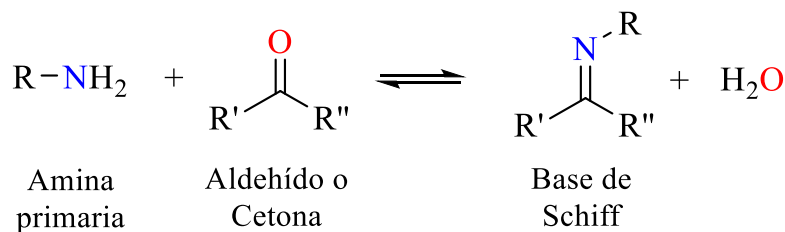
Tabla 1. Configuración electrónica para los diferentes estados de oxidación de los elementos utilizados.

<i>Metal</i>	M^{1+}	M^{2+}	M^{3+}	M^{4+}	M^{5+}	M^{6+}	M^{7+}
Mn		d^5	d^4	d^3	d^2	d^1	d^0
Fe		d^6	d^5	d^4		d^2	
Co		d^7	d^6	d^5	d^4		
Ni		d^8	d^7	d^6			
Cu	d^{10}	d^9	d^8				
Zn		d^{10}					

1.2 Bases de Schiff

Las bases de Schiff son compuestos orgánicos, que han tomado gran relevancia en la actualidad para la resolución a diversos problemas del área de la salud y el medio ambiente, debido a la flexibilidad en los procesos de síntesis para la obtención de moléculas simples y estructuras moleculares complejas, su alta solubilidad en disolventes comunes, la amplia variedad estructural molecular que pueden tener, por sus características eléctricas, las similitudes con moléculas biológicas funcionales y sobre todo por su coordinación hacia un centro metálico [11][12].

Las bases de Schiff llamadas así en honor al químico alemán Hugo Schiff quien las sintetizó por primera vez en 1864, también son conocidas como iminas o azometinas. Se caracterizan por la presencia de un enlace doble carbono nitrógeno ($R-C=N-R$) como se observa en la **Esquema 1**. Esquema 1. Reacción de condensación para la obtención de una base de Schiff., resultado de la reacción condensación entre una amina primaria ($R-NH_2$) y un aldehído ($R-COH$) o una cetona ($R-COC-R$) [1][11].



Esquema 1. Reacción de condensación para la obtención de una base de Schiff.

Los aldehídos y cetonas (**Figura 1**) son compuestos que tienen el grupo carbonilo, en el caso de la cetona presenta dos grupos alquilo unidos al carbono del grupo carbonilo y para los aldehídos solo se presenta un grupo alquilo, con un átomo de hidrógeno unido al carbono del grupo carbonilo [13].

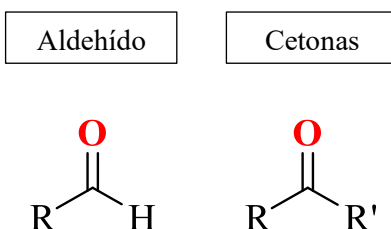


Figura 1. Estructura química de Aldehídos y Cetonas.

1.2.1 Mecanismo de reacción

El mecanismo de reacción para la síntesis de una imina, en medio ligeramente ácido, se muestra en la **Figura 2**. La reacción inicia con la protonación del carbonilo (1), seguida por un ataque nucleofílico de la amina por su par de electrones no enlazados del nitrógeno al átomo de carbono del carbonilo del aldehído o cetona (2), formando un intermediario tetraédrico dipolar (3), que procede a desprotonarse formando así un alcohol amino neutro o carbinolamina (4), siendo éste un intermediario inestable pero fundamental en la reacción para la eliminación del grupo hidroxilo, ya que si no se lleva a cabo en las condiciones adecuadas la reacción podría detenerse y volverse reversible. Tras la formación de la carbinolamina el oxígeno del grupo hidroxilo logra protonarse por el medio volviéndose un grupo saliente (5), debido a que los electrones no enlazados del nitrógeno atacan al carbonilo, liberando una molécula de agua (6). Con este mecanismo se obtiene al ion imino (catión) que se estabiliza por resonancia, el nitrógeno con carga positiva provoca la pérdida de un H^+ (7), dando como resultado final una imina neutra (8) [14][15].

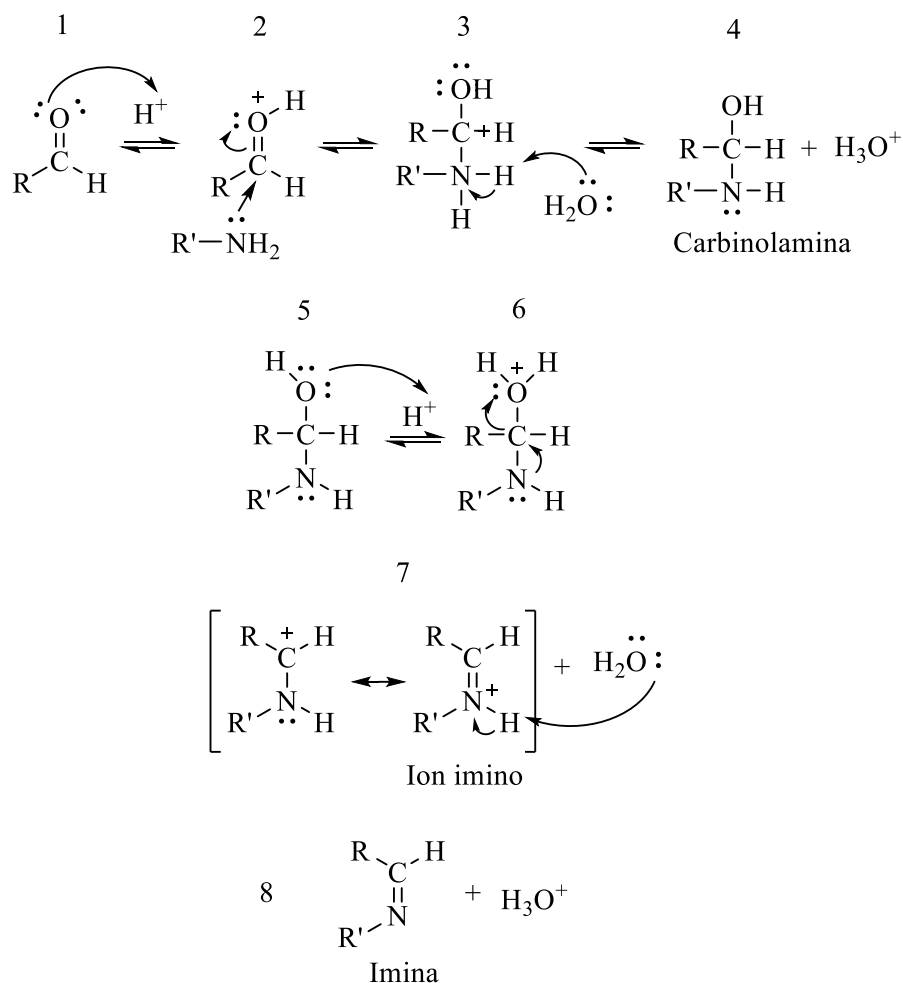


Figura 2. Mecanismo de reacción para la formación de Bases de Schiff

Estas reacciones presentan cierta sensibilidad a condiciones específicas como el pH de reacción que es punto clave para la obtención del enlace imina ya que a un pH muy alto o pH muy bajo la velocidad de reacción es muy lenta o hasta nula, debido a que la amina primaria logra protonarse, pasando a un estado no nucleofílico, deteniendo así el mecanismo de reacción y desplazado el equilibrio hacia la materia prima, es por esto que se requiere de un catalizador ácido, de manera que se requiere tener una disolución ligeramente ácida, teniendo como punto óptimo de reacción a pH de 4 a 5, así como se observa en la **Figura 3** [14][16]. De esta manera también se propicia a que el grupo hidroxilo de la carbinolamina se logra protonar para su posterior expulsión en forma de agua [14].

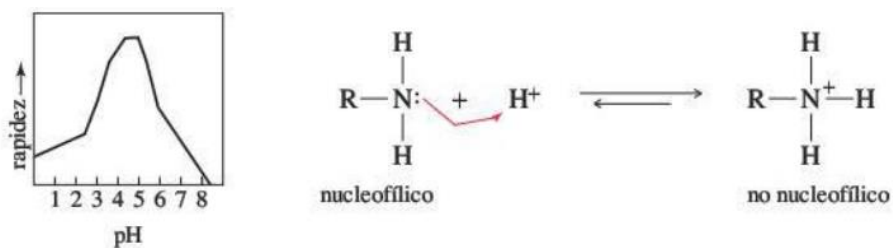


Figura 3. Influencia del pH en el mecanismo de reacción para la formación de imina [14].

1.3 Aplicaciones

En los organismos vivos las bases de Schiff se encuentran ampliamente relacionadas como productos intermediarios de reacción en proceso biológicos, encontrándolas incluidas en síntesis protéicas, pigmentos naturales, reacciones enzimáticas como aldolización y reacciones de descarboxilación además de persistir como pigmentos en ciertos organismos [13].

Forman parte de una especie innovadora al presentar ventajas especiales, con procesos sencillos de fabricación, debido a su gran maleabilidad y capacidad de adaptación dándole una alta eficiencia en diferentes campos, donde pequeños cambios estructurales generan cambios significativos en las propiedades de las bases de Schiff siendo esta la pauta para que presenten una variedad de principios activos con diversas actividades biológicas que ya han sido demostradas [12][17], entre ellas actuando como un antioxidante, antibacteriano, antifúngico, antipalúdicos, antiinflamatorio, antiviral, antipirético, antiproliferativo y el de mayor relevancia como un antitumoral en función de su capacidad coordinante hacia diferentes tipo de cáncer como lo es el cáncer de colon e hígado [16].

Otras aplicaciones se deben a sus propiedades ópticas como cromóforos orgánicos funcionales, ya que son candidatos para su aplicación como sensores químicos, térmicos y electroquímicos [11]. Haciendo que las bases de Schiff sean objeto de estudio en diferentes campos de investigación como la medicina, la química analítica, la química industrial, la química de polímeros y los estudios ambientales.

1.4 Ligante

Un ligante es una molécula o ion (generalmente aniónico) que actúa como base de Lewis, con la capacidad de interactuar con un ion metálico central formando un enlace covalente coordinado, donde el ion metálico central actúa como ácido de Lewis [3] [4]. Así, al producto de la unión del ligante con el ion central por medio de enlaces covalentes coordinados se denomina compuesto de coordinación [2].

Dentro de las propiedades de las bases de Schiff está su capacidad coordinante al actuar como ligantes de ciertos iones a través de su estructura, de manera que logra estabilizarlos a diferentes estados de oxidación. Esta interacción química posiciona a las bases de Schiff como sensores de especies metálicas, lo que indica que la molécula es capaz de dar una señal detectable por un cambio visible, que también puede ser detectable por un equipo (por ejemplo, técnicas espectrofotométricas). En este sentido se puede mencionar que, dependiendo de la naturaleza de la señal emitida, el sensor puede tratarse de tipo colorimétricos, fluorogénicos o electroquímicos [1] .

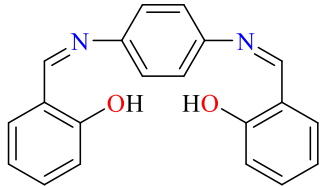
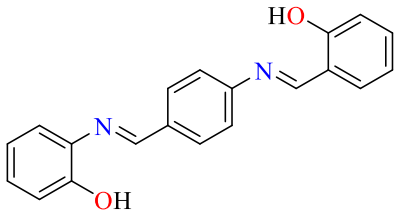
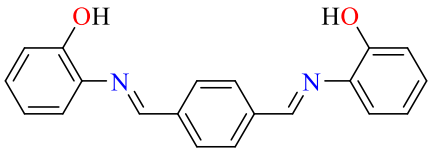
La capacidad coordinante de esta molécula conocida como ligante se da por su propia estructura, en el enlace imina, en donde la presencia de átomos donadores como el nitrógeno, que tiene electrones no enlazantes, dan un sitio de unión a iones metálicos con orbitales *d* desocupados, además se favorece la unión ligante-metal con la adición de heteroátomos (oxígeno o azufre) en la estructura del ligante, razón por la cual, las bases de Schiff llegan a ser únicas, ya que logran formar complejos de coordinación con la mayoría de metales del bloque *d* [18][19]. Dependiendo de la cantidad de átomos donadores disponibles en la estructura molecular del ligante será el número de sitios de unión para los iones, por lo que los compuestos monodentados tienen un solo sitio de unión, mientras que los bidentados son para dos sitios de unión, los tridentados para tres sitios de unión, etc [2][18].

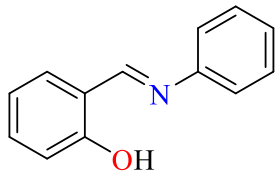
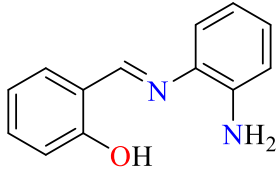
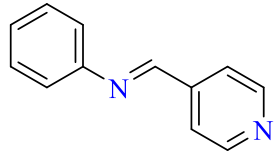
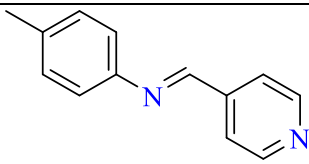
En el caso de la fluorescencia, la caracterización de estos compuestos se fundamenta en un cambio en el ambiente electroquímico al ocurrir la transferencia de carga provocando un estado de excitación en resonancia de fluorescencia, dando así señales fotoinducidas detectables. Similar a lo que ocurre con los sensores electroquímicos, donde la detección depende por la alteración en el potencial redox [1].

La determinación de un ion metálico por una base de Schiff puede ser detectable a simple vista; sin embargo, existen diferentes técnicas para cuantificar esta interacción, en donde se destacan los métodos espectroscópicos debido a su buena sensibilidad, además de que se permite la manipulación de la muestra bajo diferentes condiciones [20]. En este proyecto los resultados se exponen a través de la interpretación de espectros de absorción en la zona del visible en los que se observan bandas de absorción para los complejos, debido a que en el momento de la coordinación ocurre la transición de electrones en orbitales $d-d$, ocasionado por compartición de la carga positiva del ion metálico con los átomos donantes del ligante siendo en este caso la base de Schiff [15].

Como antecedente, las bases de Schiff que se resumen en la **Tabla 2**, son moléculas estructuralmente similares a las que se proponen en este trabajo, tomando en cuenta procesos sintéticos distintos al reflujo tradicional como la radiación por microondas, además, los productos obtenidos fueron coordinantes a iones metálicos específicos.

Tabla 2. Bases de Schiff similares reportadas en bibliografía.

Compuesto simulates	Tipo de síntesis	Ion metálico unido	Cambio de color	Excitación (nm)
 2-((4-(2-hidroxi benzilideneamino) fenilimino)metil)fenol [1]	Reflujo (4h)	Co(II)	Amarillo -naranja	298
 N, N'-bis(salicilideno)-1, 4-diaminobenceno [19]	Agitación (12h)	Al(III)	Naranja brillante - verde	365
 2,2'-((1E,1'E)-(1,4-fenilenebis(metanililideno)))bis(azanililiden))difenol [21]	Reflujo (6h)	Ni(II)	Marrón – Negro (verde)	350 y 428

 2-{(E)-[(2-hidroxipropil)imino]metil}fenol [14]	Radiación de microondas	N/A	N/A	N/A
 2-((Z)-[(2-aminofenil)imino]metil)fenol [22]	Reflujo (2h)	N/A	N/A	N/A
 Complejo L1 [23]	Método de molienda	Zn(II)	Amarillo - amarillo	N/A
 (E)-1-(piridin-4-il)-N-(p-tolil)metanimimina [24]	Molienda y agitación por 30 min	Cu(II)	Amarillo - verde	322
		Zn(II)		336

1.5 Procesos sintéticos

En la reacción de condensación para la obtención de una imina se tiene precedente de una variedad de metodologías diferentes, por lo que se tiene un proceso establecido, donde en su mayoría se utiliza largas horas síntesis para alcanzar buenos rendimientos, motivo por el cual, en este trabajo se propone una nueva metodología a través de un cambio drástico de temperatura (choque térmico) y como consecuencia se logran tiempos más cortos de reacción y con buenos rendimientos.

La metodología de choque térmico citada en este trabajo implica, someter un material o sistema a un cambio rápido, brusco o drástico de temperatura provocando así tensiones térmicas debido a la expansión o contracción del sistema. Este fenómeno puede afectar la estructura de los compuestos y materiales por la ruptura de enlaces y también provocar la alteración o la inducción de reacciones químicas [25][26].

La reacción de condensación está condicionada por la energía de activación necesaria para que los reactivos alcancen el estado de transición hacia los productos. Aplicado a las bases de Schiff lo que se busca con el choque térmico es alcanzar rápidamente (disminuir) la energía de activación de la reacción [27]. En general las bases de Schiff requieren una energía de activación moderada (60-80 KJ/mol), influenciada por la temperatura de reacción y la polaridad del disolvente, por lo que usualmente se requiere llegar a reflujo y el uso de disolventes polares en la síntesis, además del uso de catalizadores ácidos o básicos [27][28].

En este trabajo se presenta la comparación de los resultados de la síntesis por condensación en medio ácido y medio básico, en contraste con los obtenidos al implementar la síntesis por choque térmico en un medio ácido, que como ventaja podría brindar procesos sintéticos amigables con el medio ambiente, de manera que se diseñen productos y procedimientos que no afecten al ecosistema, ya sea con el uso de solventes y los residuos de reacción [13].

1.5.1 Amina primaria y aldehídos

En este proyecto para la formación de la Base de Schiff se utilizó como grupo amino el 2-aminofenol de la marca Aldrich.

El 2-aminofenol es un compuesto químico orgánico con fórmula molecular C_6H_7NO . Se observa en la **Figura 4** la molécula consta de un anillo de fenol, presentando un grupo funcional amino ($R-NH_2$) en la posición 2 en relación con el grupo hidroxilo ($R-OH$) ubicado en la posición 1.

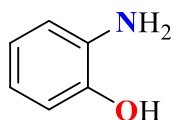


Figura 4. Estructura química del 2-aminofenol.

Físicamente es un sólido cristalino de color beige o blanco, con una densidad de 1.25 g/cm^3 , con punto fusión entre $172\text{-}177^\circ\text{C}$ soluble en disolventes orgánicos polares como etanol, metanol, propanol y acetona [29].

Con respecto a los aldehídos y cetonas, ambos grupos participan ampliamente en reacciones biológicas por lo que también son fáciles de encontrar en la naturaleza, además, de ser aplicados a gran escala dentro de la industria química en el uso de disolventes y su uso como materias primas tal como es el caso de este trabajo [15].

Los aldehídos de la marca Aldrich utilizados son siguientes:

- Isoftalaldehído (**Figura 5**): Físicamente es un polvo de color amarillo claro, con punto fusión entre $80\text{-}90^\circ\text{C}$, soluble en disolventes orgánicos polares como etanol, acetona, metanol, cloroformo, éter y tolueno. [30]

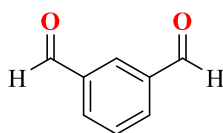


Figura 5. Estructura química del Isoftalaldehído.

- 4-isopropilbenzaldehído (**Figura 6**): también llamado cuminaldehído, físicamente es un líquido de color rojo oscuro, con una densidad de 0.977 g/cm^3 , con punto fusión de

50.5 °C y punto de ebullición de entre 235-236 °C, miscible en disolventes orgánicos polares como etanol, acetona, metanol, cloroformo, éter etílico y tolueno [31].

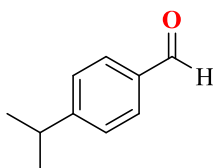


Figura 6. Estructura química del 4-isopropilbenzaldehído.

En este proyecto no se trabajaron con moléculas conteniendo grupos cetona debido a que durante la reacción de condensación se llegan a presentar efectos estéricos y electrónicos que logran reducir su capacidad de reacción frente a la amina primaria [1]. También que los aldehídos utilizados son sustituidos por un grupo arilo los cuales dan una mayor estabilidad a la base de Schiff, en comparación a los que presentan grupos sustituyentes alquilo [19].

2. Objetivos

Objetivo general

- Analizar las rutas de síntesis de bases de Schiff y evaluar su reactividad hacia algunos metales de transición de la primera serie del bloque *d* de la tabla periódica.

Objetivos particulares

- Diseñar e implementar diferentes rutas de síntesis para la obtención de 2 bases de Schiff en medio ácido y básico.
- Sintetizar bases de Schiff con el 2-aminofenol y utilizando como aldehídos el Isoftalaldehído y el 4-isopropilbenzalaldehído.
- Caracterizar los productos obtenidos de la reacción de condensación por técnicas espectroscópicas de IR, RMN y UV-Vis.
- Evaluar la capacidad de coordinación de las dos bases de Schiff sintetizadas por la formación de complejos con los metales Mn, Fe, Co, Ni, Cu y Zn, detectables a través de la técnica espectral UV-Vis.

3. Metodología

3.1 Equipos, Materiales, Reactivos y Disolventes

Equipos:

- a) Balanza analítica Joanlab FA2204N
- b) Espectrofotómetro Cary-50 Conc Varían
- c) Espectrofotómetro HACH DR 5000
- d) Celdas de cuarzo de 1 cm
- e) Espectrofotómetro Infrarrojo Medio FT-IR Digilab, modelo Scimitar FT
- f) Espectrómetro de Resonancia Magnética Nuclear Bruker 500 MHz
- g) Rotavapor VICHÍ México
- h) Equipo de punto de fusión AYSPEL aparatos, modelo PDF-A2.

Materiales:

- a) Material de vidrio
- b) Parrilla de calentamiento
- c) Tiras de pH Fermont
- d) Micropipetas
- e) Placas de sílice TLC Merck

Reactivos:

- a) 2-aminofenol
- b) Isoftalaldehído ALDRICH, CAS 626-19-7, 97% de pureza
- c) 4-isopropilbezalaldehído ALDRICH, CAS 122-03-2, 98% de pureza
- d) Bromuro de potasio (KBr) Fluka para IR espectroscopia
- e) Ácido acético glacial Golden Bele, grado reactivo
- f) Carbonato de potasio Golden Bele
- g) Sílica gel Fluka CAS 112926-00-8, tamaño de poro 60 Armstrong, tamaño de partícula 63-200 μm
- h) Acetato de manganeso (II) ALDRICH 98%, CAS 638-38-0
- i) Acetato de hierro (II) ALDRICH 95%, CAS 3094-87-9

- j) Acetato de cobalto (II) J. T. Baker 99.5%
- k) Acetato de níquel (II) Productos químicos Monterrey.
- l) Acetato de cobre (II) J. T. Baker 102%.
- m) Acetato de zinc (II) Productos químicos Monterrey.

Disolventes:

- a) Etanol absoluto
- b) Acetona 99.5%
- c) Acetato de etilo grado reactivo
- d) Hexano grado reactivo
- e) Metanol grado técnico
- f) Diclorometano 99.5%
- g) Cloroformo deuterado
- h) Agua destilada

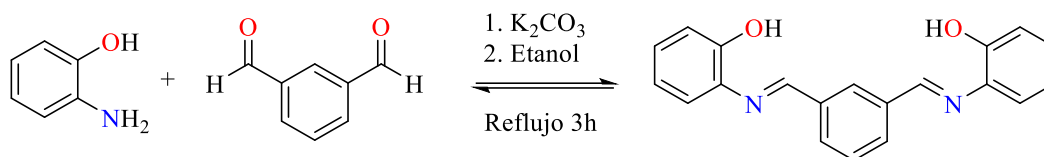
3.2 Síntesis de Bases de Schiff

La síntesis de las bases de Schiff de este trabajo se exploró utilizando tres metodologías diferentes. A continuación, se describen:

3.2.1 Síntesis de R1C (2,2'-((1,3-fenilenebis(metanoililideno))bis(azaneililideno))difenol)

- Ruta sintética por medio básico

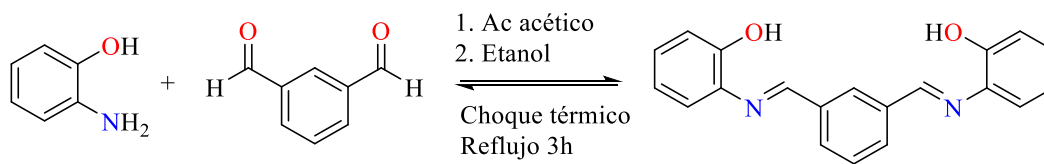
En un matraz de bola de 50 mL se colocan 0.05 g (4.58×10^{-4} mmol) de 2-aminofenol disueltos en 10 mL etanol y 0.1 g (7.24×10^{-4} mmol) de K_2CO_3 , seguidos de la adición de 0.03 g (2.24×10^{-4} mmol) de Isoftalaldehído disueltos en 10 mL de etanol, el crudo de reacción se coloca en agitación a reflujo durante 3 horas, obteniendo una disolución color naranja oscuro, finalmente se deja secar a temperatura ambiente y se recrystaliza con etanol. La ruta sintética se presenta en la **Esquema 2**.



Esquema 2. Reacción por ruta sintética por medio básico de **RIC**.

- Ruta sintética por choque térmico en medio ácido

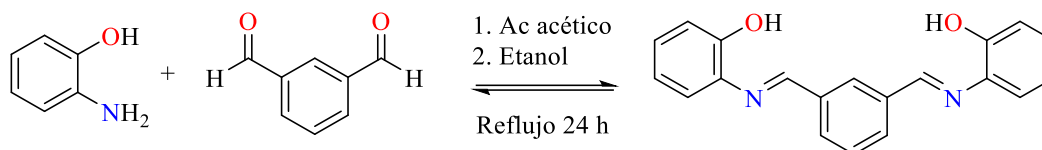
El ligante se sintetiza colocando en un vaso de precipitados de 100 mL 0.05 g del 2-aminofenol (4.58×10^{-4} mmol) y 0.03 g de Isoftalaldehído (2.24×10^{-4} mmol). El vaso se coloca en un baño de hielo y se adiciona por goteo ácido acético glacial hasta alcanzar un pH entre 4 y 5, la mezcla se agita con una varilla de vidrio por 10 minutos, después se deja reposar en baño de hielo por 30 minutos. Transcurrido el tiempo se adicionan 10 mL de etanol frío y nuevamente la reacción se mantiene en agitación por 30 minutos, posteriormente se adicionan otros 10 mL de etanol frío, mientras continua en baño de hielo. La disolución se transfiere a un matraz de bola de 50 mL previamente calentado en un baño de arena para realizar el choque térmico, la reacción se coloca a reflujo por 3 horas, momento en el que el crudo de reacción presenta coloración amarillo brillante, el disolvente se deja evaporar a temperatura ambiente y se recrystaliza con etanol. La ruta sintética se presenta en la **Esquema 3**.



Esquema 3. Reacción por ruta sintética por choque térmico de **RIC**.

- Ruta sintética larga en medio ácido

Colocar en un matraz de bola de dos bocas de 50 mL 0.05 g del 2-aminofenol (4.58×10^{-4} mmol) con 10 mL de etanol frío para disolver y unas gotas de ácido acético glacial para mantener el pH entre 4 y 5, la disolución se coloca a reflujo. Al iniciar el reflujo se comienza la adición de la disolución del Isoftalaldehído preparada con 0.03 g (2.24×10^{-4} mmol) en 10 mL etanol frío, adicionando cada 10 minutos 2 mL de aldehído. La síntesis se mantiene a reflujo por 24 horas obteniendo un producto color naranja y se recrystaliza en etanol. La ruta sintética se presenta en la **Esquema 4**.



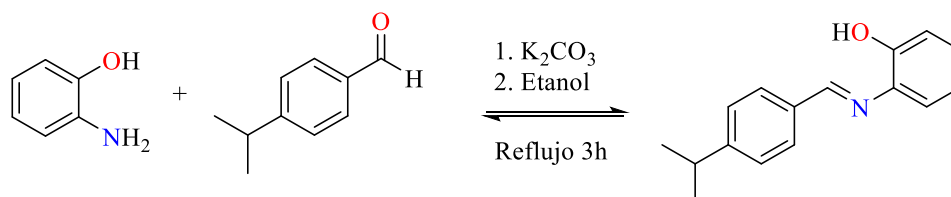
Esquema 4. Reacción por ruta sintética larga de **R1C**.

La reacción se monitoreó por TLC observando la formación de un producto. Del crudo de reacción se deja evaporar el disolvente obteniendo cristales del compuesto, que se retiran con ayuda de una espátula.

3.2.2 Síntesis de **R2L** (2-((4-isopropilbencilideno)amino)fenol)

- Ruta sintética por medio básico

En un matraz de bola de 50 mL se colocan 0.05 g (4.58×10^{-4} mmol) de 2-aminofenol disueltos en 10 mL etanol y 0.1 g (7.24×10^{-4} mmol) de K_2CO_3 , seguidos de la adición de 0.07 mL (4.62×10^{-4} mmol) de 4-isopropilbenzaldehído disueltos en 10 mL de etanol, el crudo de reacción se coloca en agitación a reflujo durante 3 horas, obteniendo una disolución color naranja oscuro, finalmente se deja secar a temperatura ambiente y se recrystaliza con etanol. La ruta sintética se presenta en la **Esquema 5**.

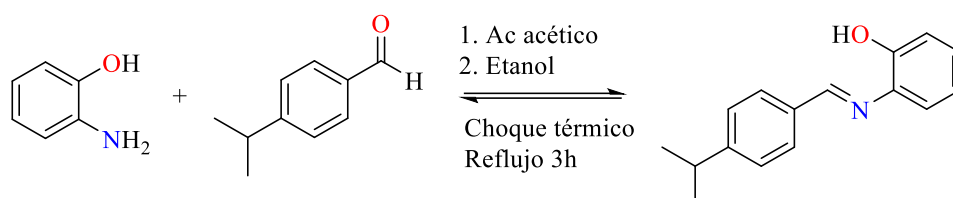


Esquema 5. Reacción por ruta sintética por medio básico de **R2L**.

- Ruta sintética por choque térmico en medio ácido

El ligante se sintetiza colocando en un vaso de precipitados de 100 mL 0.05 g del 2-aminofenol (4.58×10^{-4} mmol) con 0.07 mL de 4-isopropilbenzaldehído (4.62×10^{-4} mmol), el vaso se coloca en un baño de hielo y se adiciona por goteo ácido acético glacial hasta alcanzar un pH entre 4 y 5, la mezcla se agita con una varilla de vidrio por 10 minutos, después se deja reposar en baño de hielo por 30 minutos. Transcurrido el tiempo se adicionan 10 mL de etanol frío y nuevamente la reacción se mantiene en agitación por 30 minutos, posteriormente se adicionan otros 10 mL de etanol frío, mientras continua en baño de hielo. La disolución se

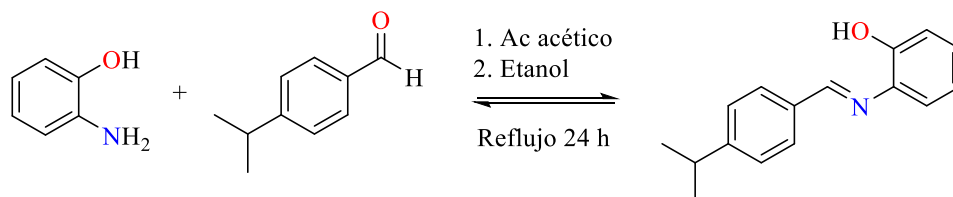
transfiere a un matraz de bola de 50 mL previamente calentado en un baño de arena para realizar el choque térmico, la reacción se coloca a reflujo por 3 horas, momento en el que el crudo de reacción presenta coloración amarilla brillante, el disolvente se deja evaporar a temperatura ambiente y se recrystaliza con etanol. La ruta sintética se presenta en la **Esquema 6**.



Esquema 6. Reacción por ruta sintética por choque térmico de **R2L**.

- Ruta sintética larga en medio ácido

Colocar en un matraz de bola de dos bocas de 50 mL 0.05 g del 2-aminofenol (4.58×10^{-4} mmol) con 10 mL de etanol frío para disolver y unas gotas de ácido acético glacial para mantener el pH entre 4 y 5, la disolución se coloca a reflujo. Al iniciar el reflujo se comienza la adición de la disolución del 4-isopropilbenzaldehído preparada con 0.07 mL (4.62×10^{-4} mmol) en 10 mL etanol frío, adicionando cada 10 minutos 2 mL de aldehído. La síntesis se mantiene a reflujo por 24 horas obteniendo un producto color naranja que se recrystaliza en etanol. La ruta sintética se presenta en la **Esquema 7**.



Esquema 7. Reacción por ruta sintética larga de **R2L**.

La reacción se monitoreó por TLC, donde se observó la presencia de una especie diferente a los reactivos, el crudo de reacción se llevó a evaporación del disolvente, obteniéndose un residuo líquido denso, que por TLC evidenció la presencia de la base de Schiff con remantes de materia prima e impurezas, realizándose una purificación por cromatografía en columna, utilizando como fase estacionaria sílica gel (16.5 cm) y como fase móvil una mezcla de hexano:acetato de etilo en proporción 9.5:1.5, recuperando así a **R2L**.

3.3 Caracterización

Se llevaron a cabo las pruebas de solubilidad y la determinación del punto de fusión por triplicado para los productos obtenidos, además, de la caracterización por las técnicas espectroscópicas de Ultravioleta-Visible, Infrarrojo y Resonancia Magnética Nuclear de ^1H .

3.4 Reactividad Base de Schiff-Metales de la primera serie de transición

Para comprobar la funcionalidad de las bases de Schiff como ligante se utilizaron metales de transición en el mismo estado de oxidación de $2+$. Se prepararon las siguientes soluciones madre a una concentración de 5×10^{-3} M, llevarlas a una dilución con concentración variable según la valoración para los diferentes ligantes. Las sales utilizadas fueron:

- Solución de Acetato de Manganeso (II)
- Solución de Acetato de Hierro (II)
- Solución de Acetato de Cobalto (II)
- Solución de Acetato de Níquel (II)
- Solución de Acetato de Cobre (II)
- Solución de Acetato de Zinc (II)

La capacidad coordinante de los ligantes sintetizados se evaluó a través de curvas de valoración fotométrica con las tres diferentes bases de Schiff frente a los metales mencionados.

Para la curva de valoración fotométrica se colocaron en una celda la disolución del ligante correspondiente en concentración de 2×10^{-3} M, obteniendo su espectro UV-Vis inicial y después se hicieron adiciones de 100 en 100 μL de la solución madre del metal hasta un volumen final de 1000 μL , obteniendo un espectro después de cada adición.

Únicamente para el caso de R1C-Mn debido a que no se lograba observar una banda bien definida a la concentración establecida en el espectro se realizó una dilución solución de acetato de manganeso a una concentración de 5×10^{-4} M, posteriormente se realizó el mismo procedimiento anterior colocando en una celda 2×10^{-3} M del ligante, obteniendo su espectro

UV-Vis inicial y después se hicieron adiciones de 100 en 100 μL de la disolución nueva del metal hasta un volumen final de 1000 μL , obteniendo un espectro después de cada adición. Se observaron cambios en el espectro, ya que aparecieron nuevas bandas en la zona visible confirmando la coordinación del ligante al metal.

4. Resultados y discusión

Los compuestos obtenidos se analizaron, describiéndolos y caracterizándolos como se presenta a continuación.

4.1 Base de Schiff R1C

El ligante **R1C** fue obtenido tanto por la metodología de síntesis clásica como por la de choque térmico como un sólido cristalino ámbar (**Figura 7**), con rendimientos de 57.44% y 42.96% respectivamente (**Tabla 3**), con base en lo anterior la metodología por choque térmico ofrece buenos rendimientos con tiempos cortos de síntesis, mientras que la ruta sintética en medio básico no resultó favorecida.

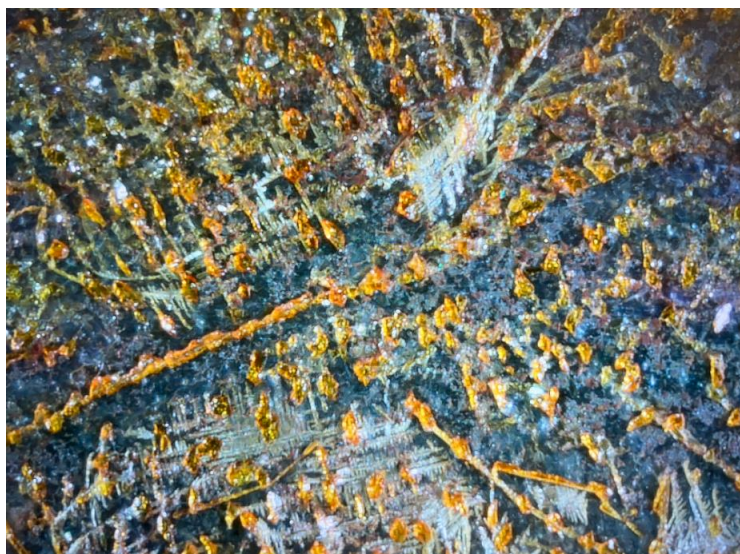


Figura 7. Cristales conseguidos de R1C.

Tabla 3. Comparación de tiempos de reacción y rendimientos entre las diferentes metodologías sintéticas para el ligante R1C.

Metodología	Tiempo de reacción	Rendimiento
Ruta sintética por medio básico	3 horas	0%
Ruta sintética por choque térmico	3 horas	42.96%
Ruta sintética por síntesis larga	24 horas	57.44%

El compuesto **R1C** es completamente soluble en acetona, etanol, metanol, cloroformo y acetato de etilo, parcialmente soluble en diclorometano e insoluble en agua destilada y hexano. El ligante en disolución después de 72 horas se logra observar su degradación en acetona, acetato de etilo y metanol como se observa en la **Figura 8**. Los cristales ámbar fueron obtenidos por recrystalización en etanol y el sólido cristalino presentó un punto de fusión de 121-127°C.

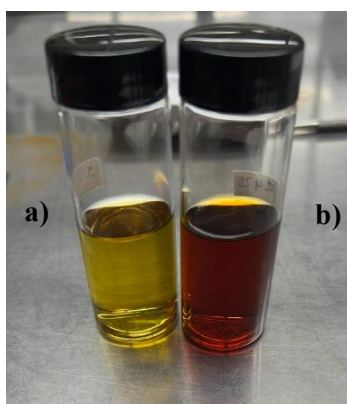


Figura 8. Ligante **R1C** en disolución, a) recién sintetizada y b) después de 72 horas.

4.1.1 Caracterización

Los cristales obtenidos se caracterizaron por espectroscopía infrarroja para comprobar la presencia de las transiciones vibracionales asociadas a los enlaces R-OH, R-C=N-R' y R-C-O para el producto esperado, cuya estructura se presenta en la **Figura 9**.

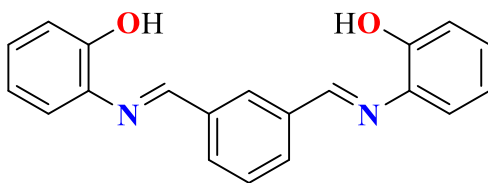


Figura 9. Compuesto **R1C**.

En la **Figura 10** se presenta el espectro de infrarrojo en la zona media (400-4000 cm^{-1}) para el compuesto **R1C**, destacando el número de onda 1516 cm^{-1} de intensidad media asociada a la transición vibracional de estiramiento del enlace imina C=N característica de la base de Schiff. Además, se identifica el número de onda del grupo C-O perteneciente al anillo fenólico en 1285 cm^{-1} se presenta como una banda de intensidad media y el número de onda

en 1416 cm^{-1} se presenta con una intensidad fuerte para el enlace C-N. En la **Tabla 4** se resumen el resto de asignaciones para las bandas asignadas en el espectro IR.

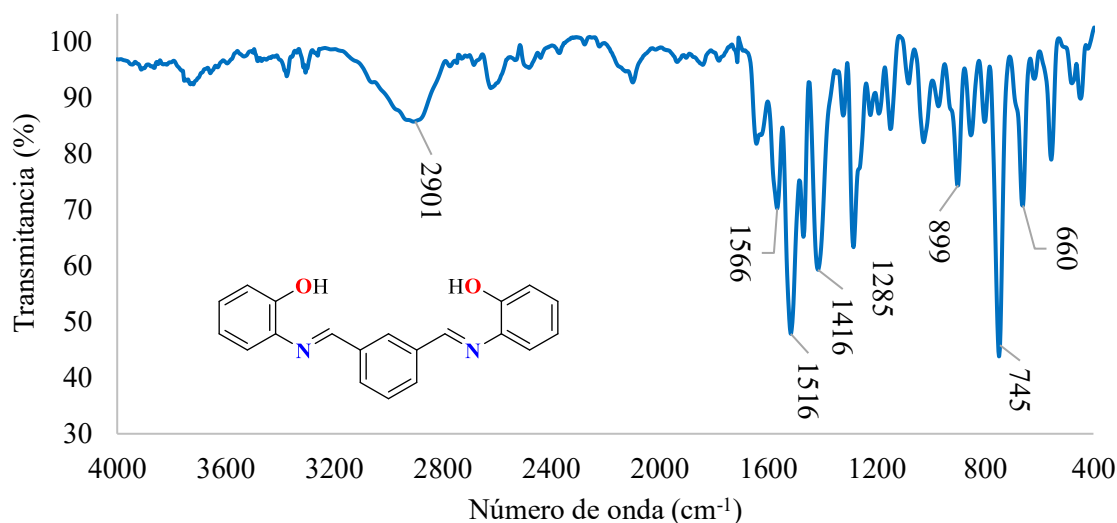


Figura 10. Espectro de infrarrojo del compuesto **RIC**, en pastilla de KBr.

Tabla 4. Asignación de bandas en el espectro IR del compuesto **RIC**.

Tipo de enlace	Número de onda (cm^{-1})	Intensidad
O-H	2901, 1285	Débil, Media
C=C	1643, 745	Débil, Fuerte
C-C	1566-899	Media
C=N	1516	Fuerte
C-N	1416	Media
C-O	1285	Media
C-H	660	Media

En la **Figura 11** se presenta el espectro de RMN ^1H en CDCl_3 del ligante **RIC** tomando como referencia la parte no deuterada del CDCl_3 en 7.26 ppm. Para el compuesto se esperan 8 señales por ser una molécula simétrica, de las cuales se observaron: 2 señales singuletes con desplazamientos químicos en 8.80 y 8.42 ppm e integrales relativas de 2:1, asignados a los hidrógenos marcados como D y A respectivamente; 3 señales dobletes con desplazamientos químicos en 8.08, 7.35 y 7.05 ppm, integrales relativas de 2:2:2 y constantes de acoplamiento de 7.61, 7.84 y 7.92 Hz, correspondientes a los hidrógenos marcados como C, E y H

respectivamente; 3 señales triplete con desplazamientos químicos en 7.63, 7.24 y 6.94 ppm, integrales relativas de 1:2:2 y constantes de acoplamiento de 7.66, 7.71 y 7.67 Hz, asignados a los hidrógenos marcados como B, G y F respectivamente. En la **Figura 12** se muestran las expansiones de las señales anteriormente descritas y el resumen de las mismas en la Tabla 5.

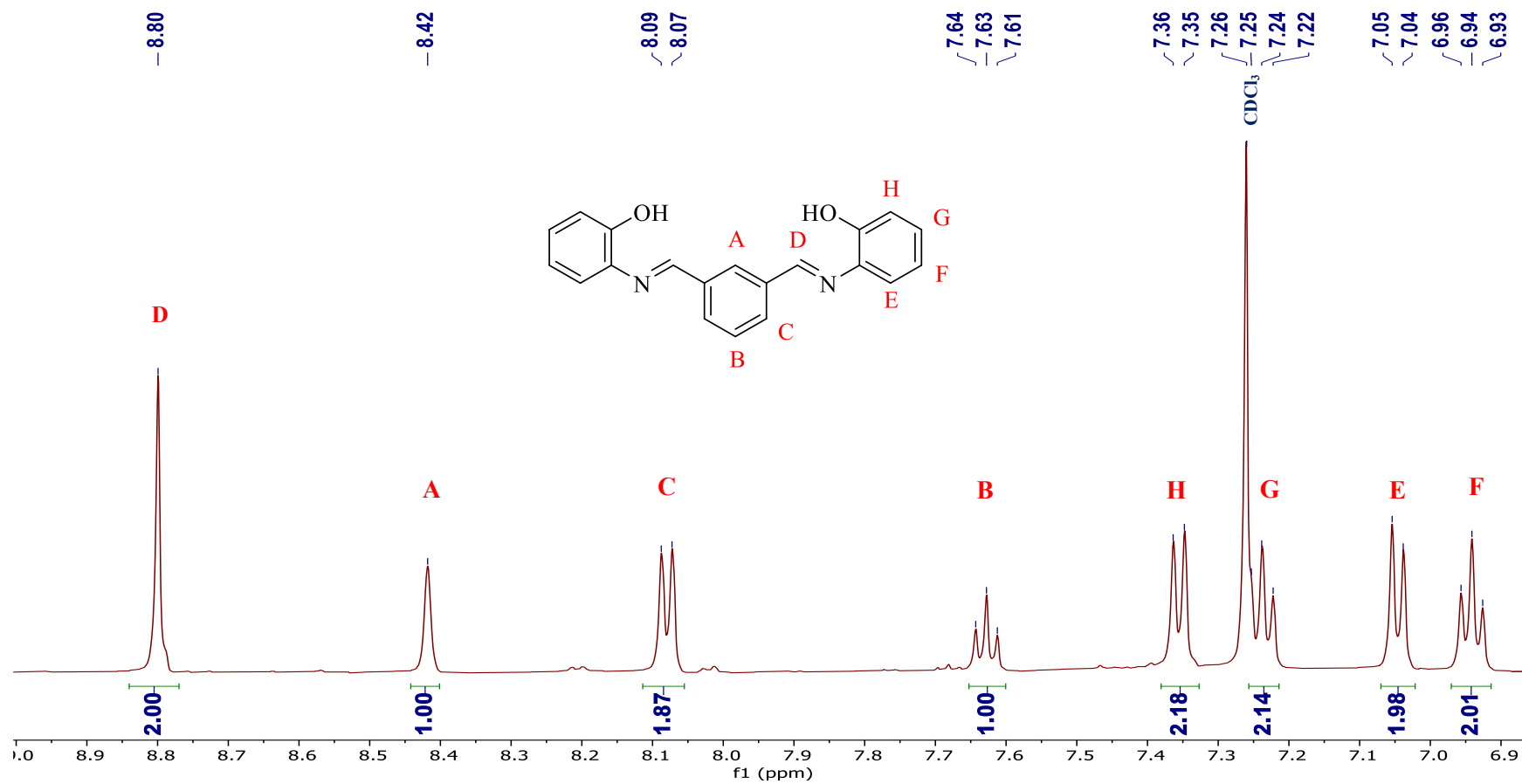


Figura 11. Espectro de RMN de ^1H del compuesto **RIC** en CDCl_3 , a 500 MHz, referencia CHCl_3 residual.

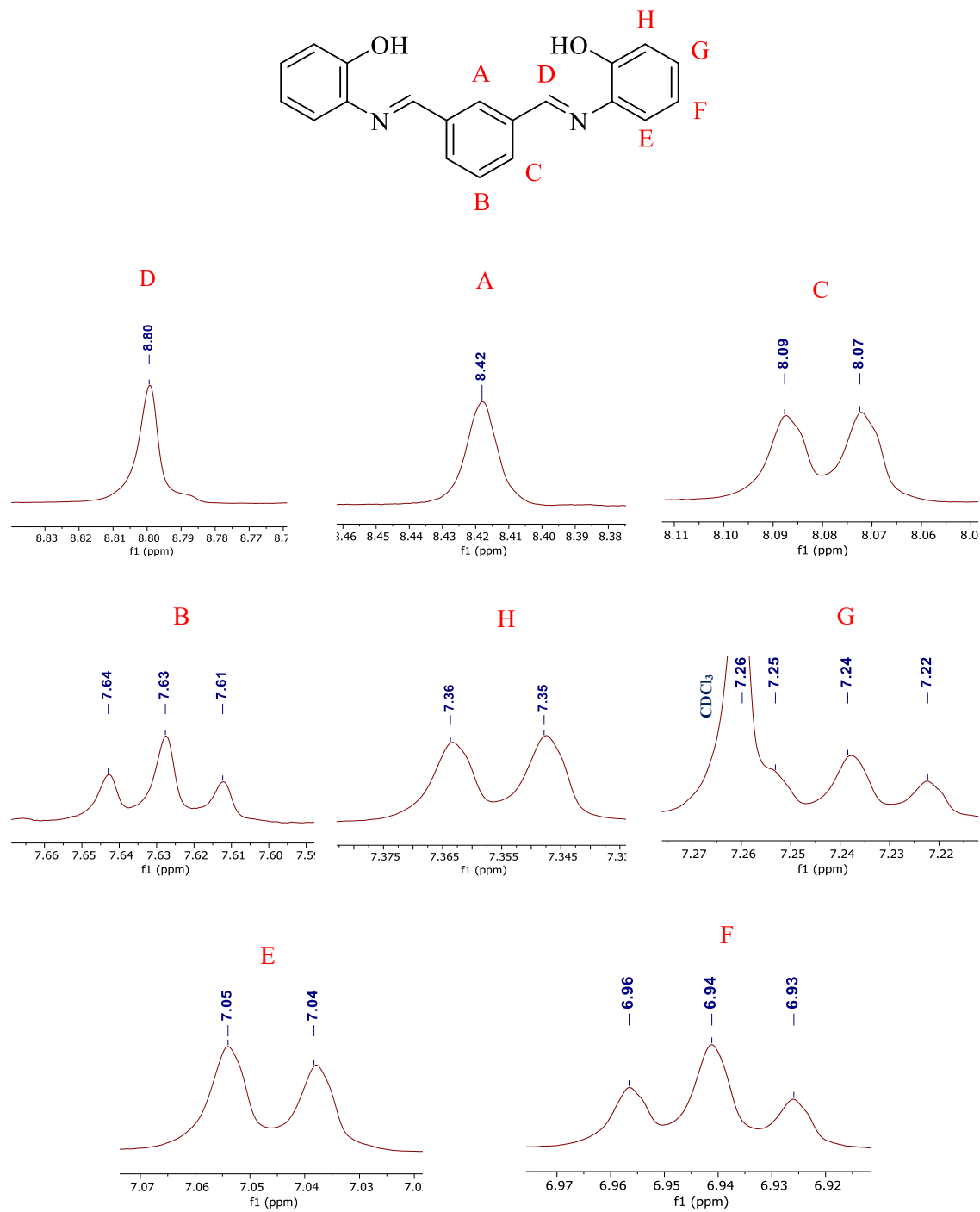


Figura 12. Expansiones de las señales de RMN de ^1H de **RIC** en CDCl_3 , a 500 MHz, referencia CHCl_3 residual.

Tabla 5. Resumen de desplazamientos químicos, integrales y multiplicidad de las señales del espectro de RMN H^1 de **R1C**.

Señal	Multiplicidad	Integral	Desplazamiento (ppm)	J (Hz)
A	d	1	8.42	
B	d	1	7.63	7.66
C	d	2	8.08	7.61
D	s	2	8.80	
E	d	2	7.05	7.84
F	t	2	6.94	7.67
G	t	2	7.24	7.71
H	d	2	7.35	7.92

En la **Figura 13** se presenta el espectro UV-Vis del ligante **R1C** en etanol, observándose tres bandas de absorción bien definidas en la región del ultravioleta (200-400 nm). La primera banda se asigna a la transición electrónica $\pi-\pi^*$ con una longitud de onda máxima en 206 nm, consecuencia de la conjugación de los grupos aromáticos de benceno dentro de la molécula. La segunda banda en 231 nm se asigna a la transición electrónica $\pi-\pi^*$ de los dobles enlaces del grupo fenilo. Finalmente, la tercera banda de absorción en 285 nm se asigna a la transición electrónica $\eta-\pi^*$ asociado a la presencia del grupo imina ($-N=CH-$) [17].

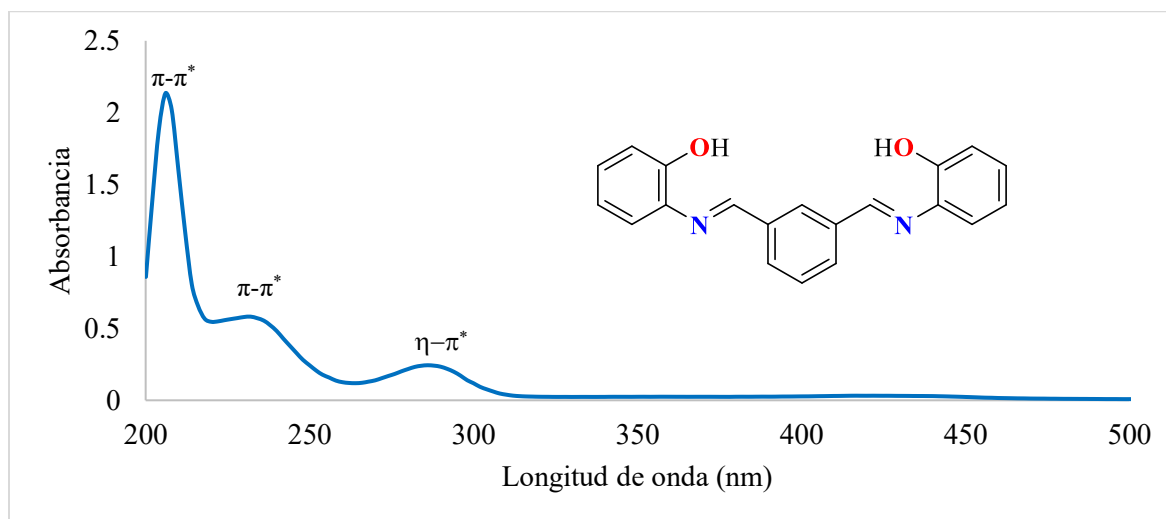


Figura 13. Espectro de absorción de UV-Vis del compuesto **R1C** con transiciones electrónicas.

4.1.2 Evaluación de la coordinación del Ligante R1C frente a Iones metálicos

La capacidad coordinante del ligante **R1C** frente a los iones metálicos: Mn(II), Fe(II), Co(II), Ni(II), Cu(II) y Zn(II) se siguió por la técnica de UV-Vis a través de valoraciones fotométricas. En la **Figura 14** se resumen los espectros de las valoraciones con los iones metálicos anteriormente mencionados, en los que se puede observar la presencia de una nueva banda de absorción (con respecto al espectro de R1C) para los compuestos con los iones metálicos Co(II) y Cu(II), donde se observan máximos en 413 nm (línea espectral azul oscuro) y 422 nm (línea espectral azul claro) respectivamente y teniendo para Mn(II) un aumento en la absorbancia por la posible formación de un complejo de coordinación (línea espectral amarilla), además se evidencia la formación de un compuesto de coordinación, sin embargo, para los iones Fe(II), Ni(II) y Zn(II) no se observó el mismo comportamiento coordinante.

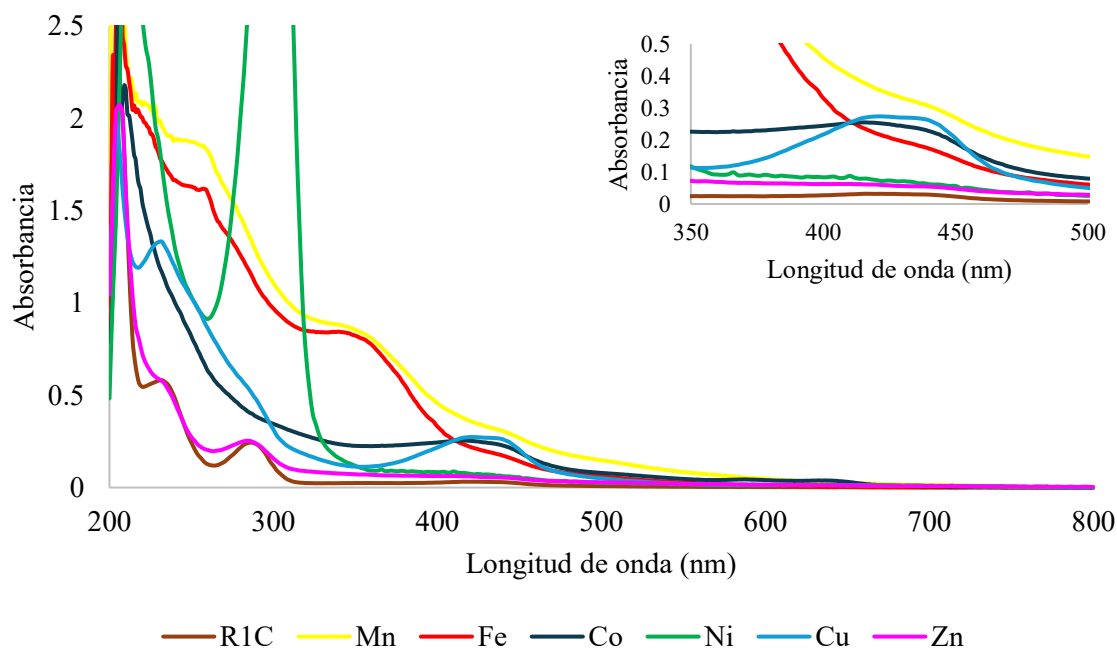


Figura 14. Espectro UV-Vis de **R1C** en etanol coordinado con diferentes iones metálicos. El recuadro muestra una expansión de 350 a 500 nm.

En el caso del complejo **R1C-Mn** con una geometría probable octaédrica, se observó una nueva banda de absorción que evidencia la formación del complejo definiéndose mejor al trabajar con concentraciones menores a 5×10^{-4} M, como se observa en la **Figura 15** donde se presenta la colección de los espectros UV-Vis al adicionar la sal metálica, observándose el

cambio en los espectros con un aumento en la absorbancia, teniendo una absorbancia final de 0.643.

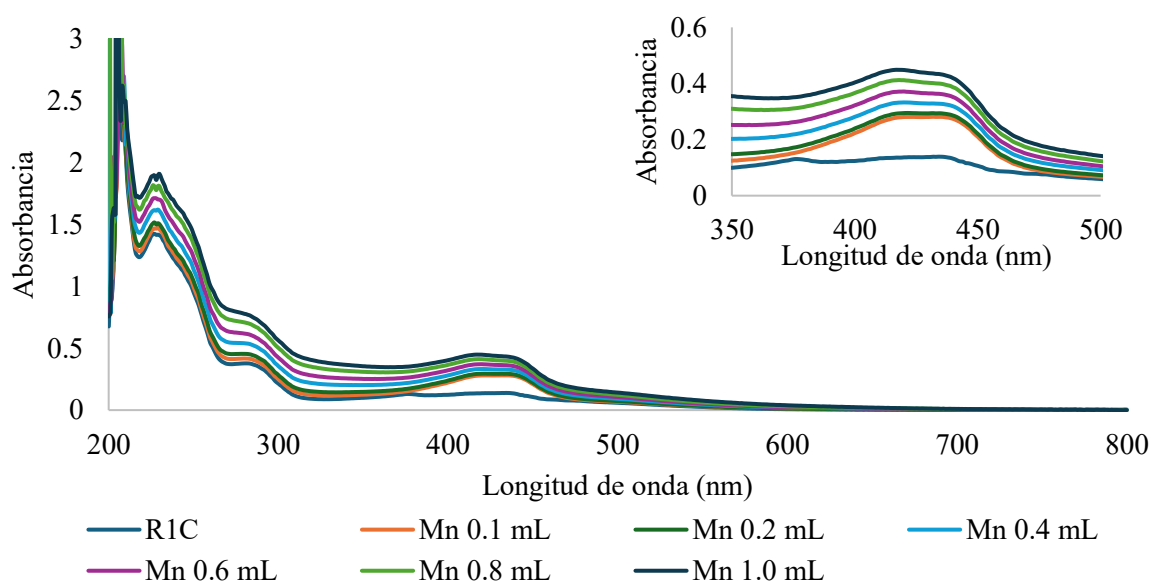


Figura 15. Espectro de UV-Vis de **R1C** con la adición progresiva de acetato de manganeso $5 \times 10^{-4} M$, para formar **R1C-Mn** con expansión en 350 a 500 nm.

Para el complejo **R1C-Co** con una geometría probable octaédrica, apreciándose en la **Figura 16** la nueva banda en 413 nm y absorbancia máxima de 0.290. Para la valoración no fue necesario trabajar a concentraciones más bajas, ya que el comportamiento es claro.

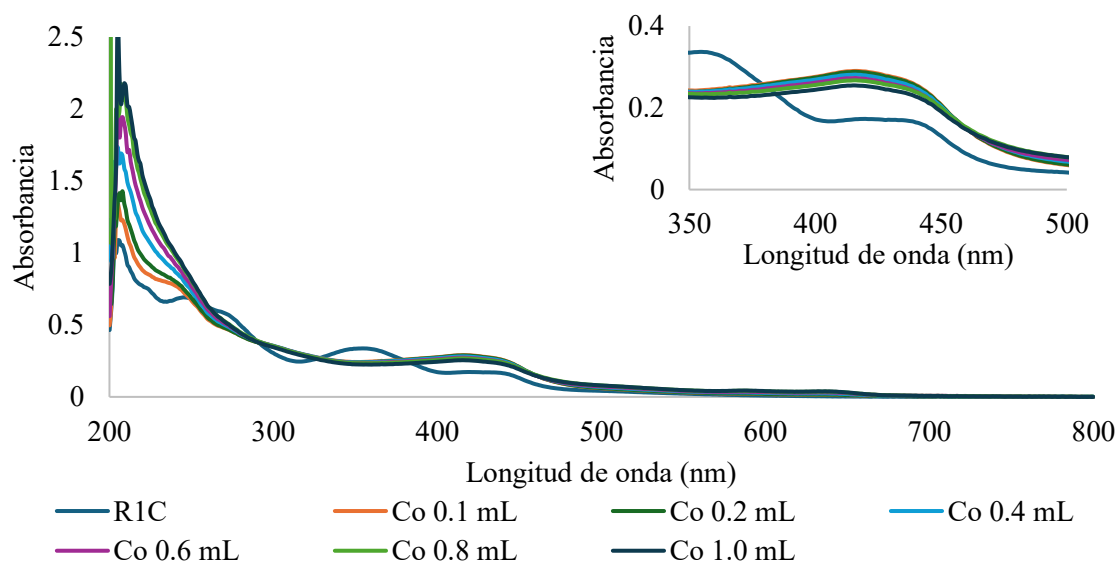


Figura 16. Espectro de UV-Vis de **R1C** con la adición de acetato de cobalto, para formar **R1C-Co** con expansión en 350 a 500 nm m.

El complejo **R1C-Cu** con una geometría probable plana cuadrada, se observó que a 422 nm la absorbancia máxima al llevar a cabo la valoración es de 0.273, como se aprecia en la **Figura 17**. Para esta valoración no fue necesario trabajar a concentraciones más bajas, ya que el comportamiento es semejante.

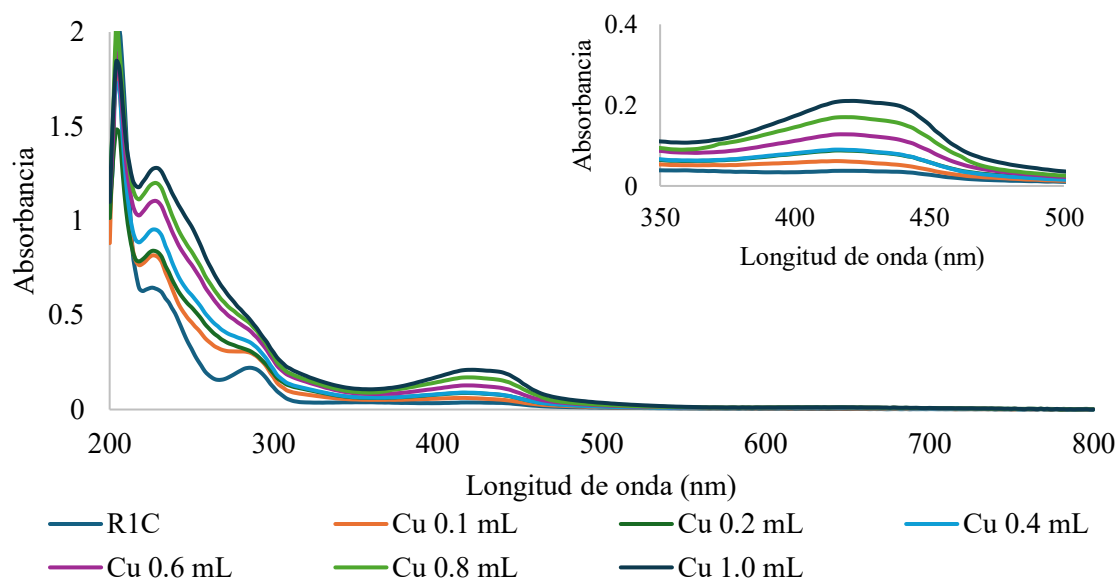


Figura 17. Espectro de UV-Vis de **R1C** con la adición de acetato de cobre, para formar **R1C-Cu** con expansión de 350 a 500 nm.

4.2 Base de Schiff R2L

El producto de la reacción se logró sintetizar a través de las tres rutas sintéticas propuestas, el seguimiento de la reacción por TLC mostró una especie diferente a los reactivos después de tres horas de reacción para las rutas en medio básico y choque térmico, mientras que en el caso de la ruta de síntesis larga se observó después de 24 horas. Independientemente de la ruta sintética el producto obtenido fue purificado por cromatografía en columna utilizando como fase estacionaria sílica gel (16.5 cm) y como fase móvil una mezcla de hexano: acetato de etilo en proporción 9.5:0.5, obteniendo así un compuesto líquido de color naranja oscuro, que mostró ser miscible en acetona, etanol, metanol, cloroformo, acetato de etilo y diclorometano e inmiscible en hexano y agua.

4.2.1 Caracterización

El producto obtenido se caracterizó primero por la técnica de espectroscopía infrarroja para verificar la presencia de las transiciones vibraciones asociadas a los enlaces R-OH, R-C-O y R-C=N-R', del producto esperado cuya estructura se muestra en la **Figura 18**.

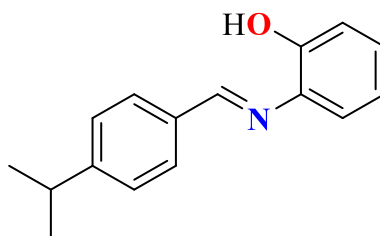


Figura 18. Compuesto **R2L**.

El espectro en la zona de infrarrojo medio mostrado en la **Figura 19**, corresponde al compuesto **R2L**, evidenciando la señal en 1285 cm^{-1} , asignada al enlace sencillo (-C-N-), la banda en 1485 cm^{-1} es asignada a un estiramiento bending del grupo fenol (-OH), para el grupo isopropilo (C-C) se asigna la señal en 2959 cm^{-1} y la señal en 1601 cm^{-1} corresponde al enlace imina (C=N) característico de la base de Schiff; sin embargo, se encuentran dos bandas de absorbancia al final del espectro que pueden ser asignadas a impurezas mostrándose en la longitud de onda de $3400\text{-}3095\text{ cm}^{-1}$, las cuales fueron removidas posteriormente en la columna cromatográfica.

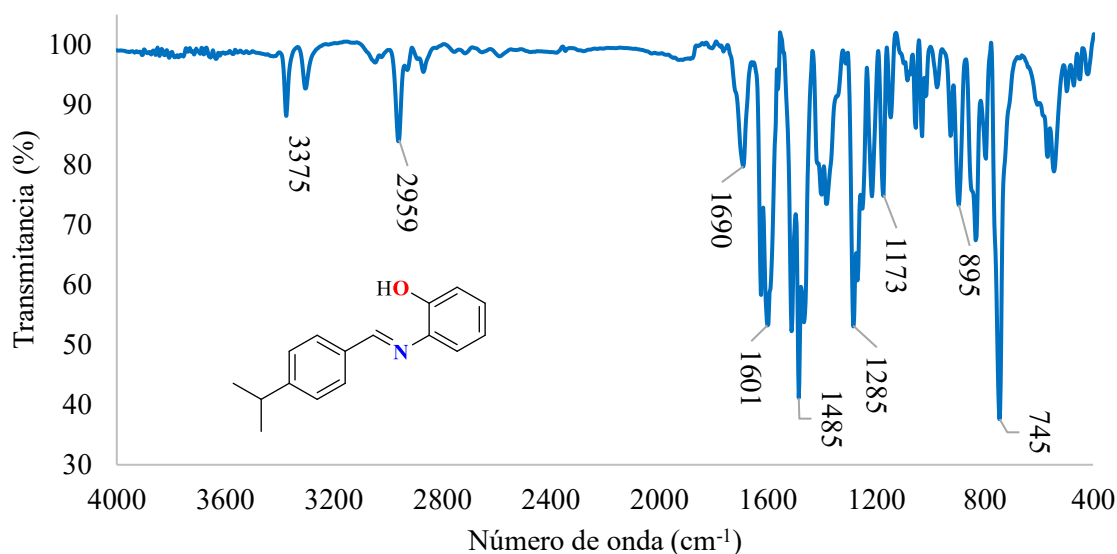


Figura 19. Espectro de infrarrojo del compuesto **R2L**, en pastilla de KBr.

Tabla 6. Asignación de frecuencias para cada tipo de enlace correspondiente a la molécula **R2L**.

Tipo de enlace	Número de onda (cm ⁻¹)	Intensidad
N-H	3375	Baja
C-C	2959	Baja
C=C	1690-745	Baja, Alta
C=N	1601	Alta
O-H	1485	Alta
C-N	1285	Alta
C-O	1173	Baja
C-H	895	Baja

En la **Figura 21** se presenta el espectro de RMN ¹H en CDCl₃ del ligante **R2L** tomando como referencia la parte no deuterada del CDCl₃ en 7.26 ppm. Para el compuesto se esperan 9 señales, de las cuales se observaron: 1 señal singulete con desplazamiento químico en 8.70 ppm e integral relativa de 1, asignada al hidrógeno marcado como E; en la zona de hidrógenos aromáticos se observaron 4 señales dobletes con desplazamientos químicos en 7.85, 7.34, 7.30 y 7.01 ppm, integrales relativas de 2:2:1:1 y constantes de acoplamiento de 7.85, 8.24, 7.93 y 7.93 Hz, correspondientes a los hidrógenos marcados como F, G, D y A respectivamente; 2 señales tripletes con desplazamientos químicos en 7.19 y 6.91 ppm,

integrales relativas de 1:1 y constantes de acoplamiento de 7.78 y 7.63 Hz, asignados a los hidrógenos marcados como B y C respectivamente; y a campo alto 1 señal séptuplete con desplazamiento químico en 1.22 ppm, integral relativa de 1 y constantes de acoplamiento de 1.22 Hz, asignado al hidrógeno marcado como H; 1 señal doble de dobles con desplazamiento químico en 1.30 ppm, integral aproximada a 6 y constantes de acoplamiento de aproximadamente 1.29 Hz, asignados al hidrógeno del grupo isopropilo marcado como I. En la **Figura 21** se muestran las expansiones de las señales anteriormente descritas y el resumen de las mismas en la **Tabla 7**.

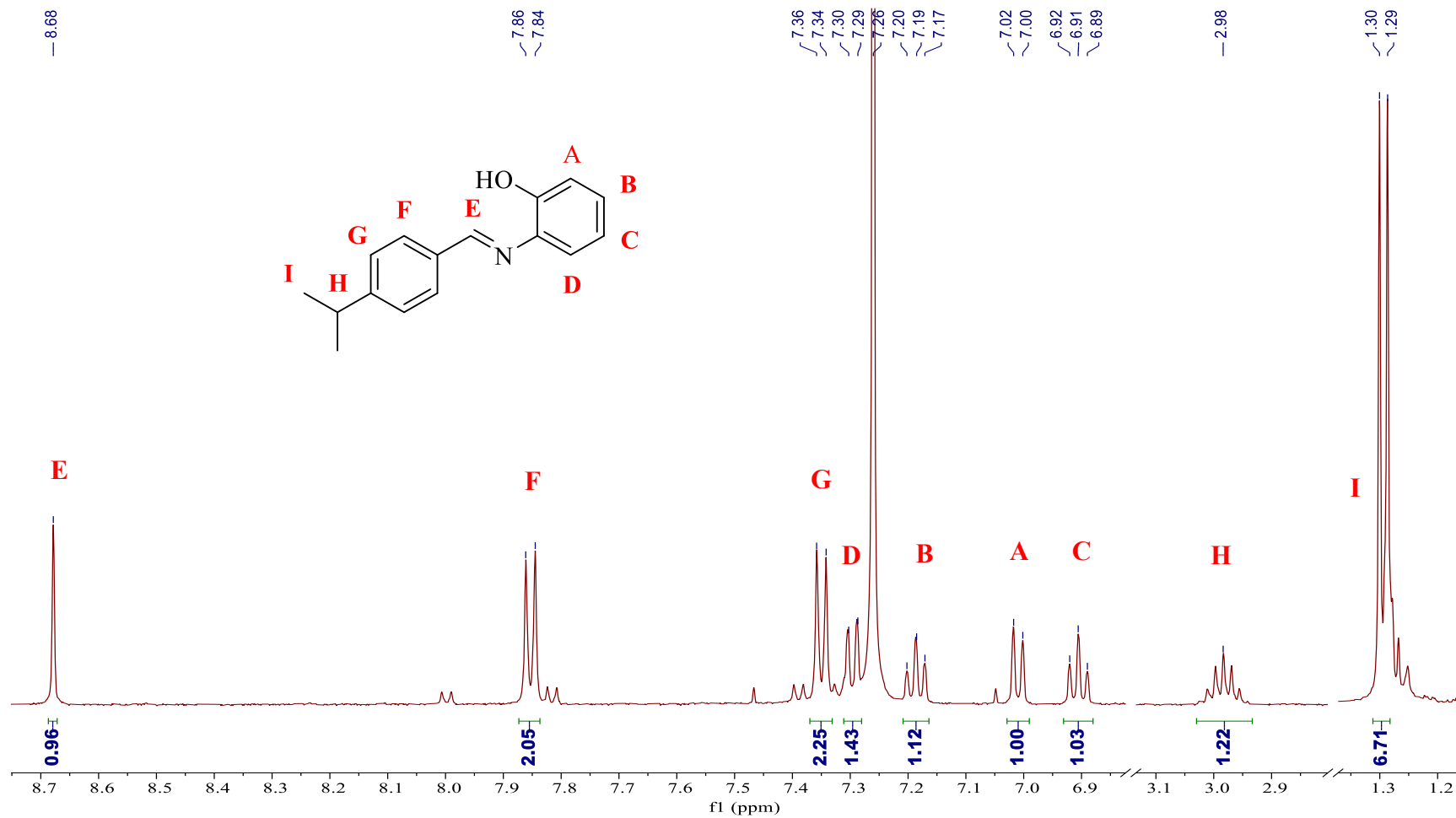


Figura 20. Espectro de RMN de ^1H de **R2L** en CDCl_3 , a 500 MHz, referencia CHCl_3 residual.

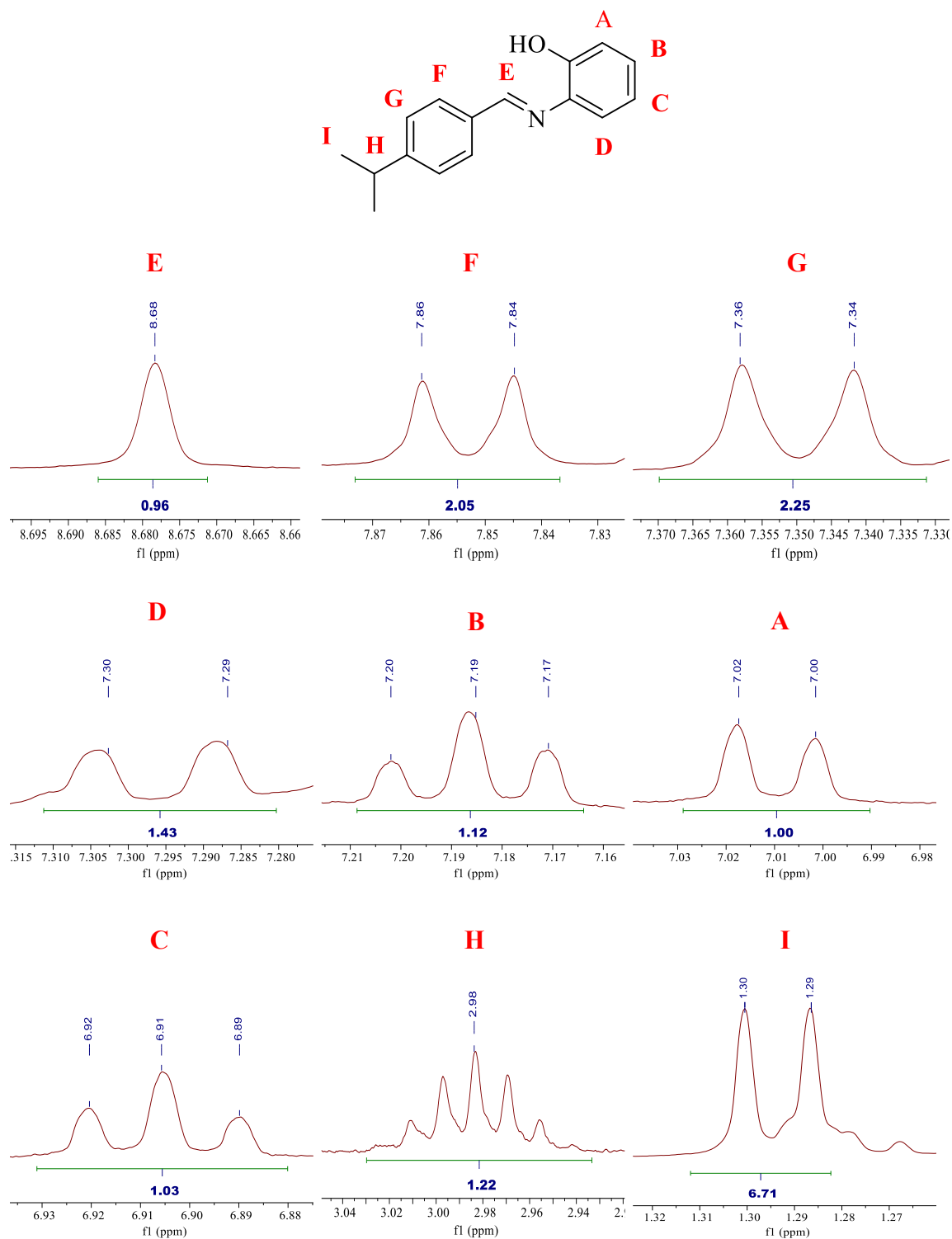


Figura 21. Expansiones de las señales de RMN de ^1H de **R2L** en CDCl_3 , a 500 MHz, referencia CHCl_3 residual.

Tabla 7. Resumen de desplazamientos químicos, integrales y multiplicidad de las señales del espectro de RMN H^1 de **R2L**.

Señal	Multiplicidad	Integral	Desplazamiento (ppm)	J (Hz)
A	d	1	7.01	7.93
B	t	1	7.19	7.78
C	t	1	6.91	7.63
D	d	1	7.30	7.93
E	s	1	8.70	
F	d	2	7.85	7.85
G	d	2	7.34	8.24
H	sept	1	3.00	1.22
I	d	$\cong 6$	1.30	1.29

Se realizó el espectro de UV-Vis del ligante **R2L** disuelto en etanol, que se presenta en la Figura 22, en el cual se observan cuatro bandas de absorción bien definidas en la región del Ultravioleta. La primera banda en los 209 nm se asigna a las transiciones electrónicas $\pi-\pi^*$ de los anillos aromáticos de los alquenos conjugados ($-C=C-$) de los anillos aromáticos de la molécula. La segunda banda en 234 nm asignada a una transición electrónica $\pi-\pi^*$ por la parte aromática del grupo fenilo. En el caso de la tercera banda en 258 nm, muy parecida a la anterior banda de absorbancia esta designada a las transición electrónica $\pi-\pi^*$ para la parte aromática al grupo isopropil. La cuarta banda en 344 nm se trata de la transición electrónica $\eta-\pi^*$ correspondiente al enlace imina ($-N=CH-$) de la base de Schiff [17].

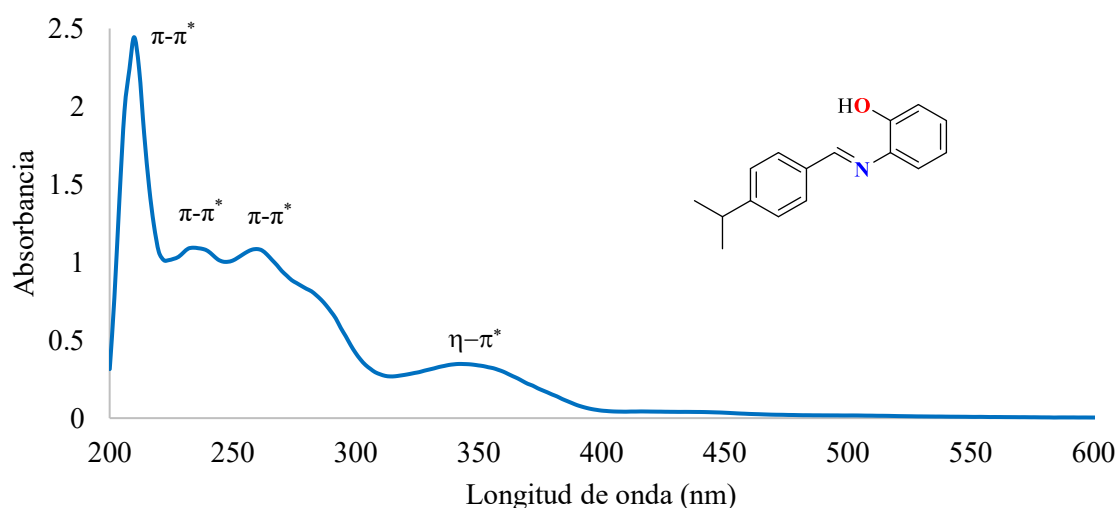


Figura 22. Espectro de absorción de UV-Vis del compuesto **R2L**.

4.2.2 Evaluación de la coordinación del Ligante R2L frente a Iones metálicos

Aplicando la técnica de UV-Vis se permite la detección de la capacidad coordinante del ligante **R2L** hacia los iones metálicos: Mn(II), Fe(II), Co(II), Ni(II), Cu(II) y Zn(II), esto por medio de una valoración fotométrica. El resultado de valoración se muestra en el espectro de la **Figura 23**, donde el único cambio significativo de absorbancia corresponde al ion Cu(II), con un máximo en 421 nm de la nueva banda de absorción (línea espectral azul claro), no obstante no se observó otro cambio en la absorbancia por parte de los iones Mn(II), Fe(II), Co(II), Ni(II) y Zn(II).

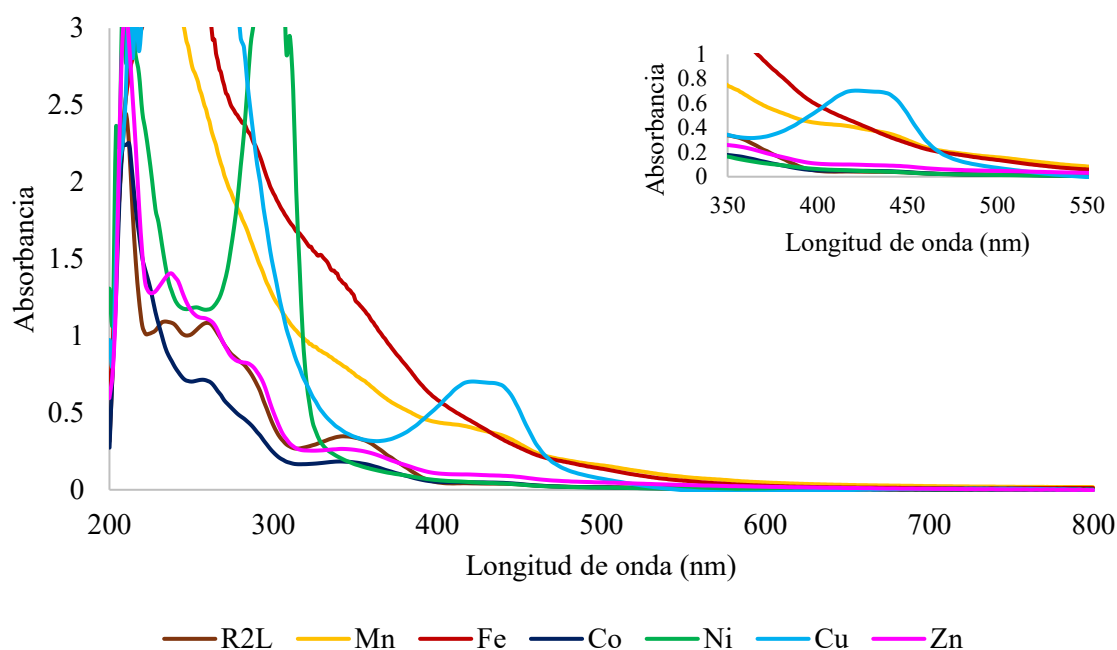


Figura 23. Espectro UV-Vis de **R2L** en etanol coordinado con diferentes iones metálicos. El recuadro muestra una expansión de 350 a 500 nm.

En el caso del complejo **R2L-Cu** con una geometría probable plana cuadrada, teniendo en la **Figura 24** la formación de una nueva banda con una absorbancia máxima es de 0.708 en una longitud de onda de 421 nm. Para esta valoración no fue necesario trabajar a concentraciones más bajas para apreciar mejor la banda asociada a la formación del complejo. La coloración de este complejo (**R2L-Cu**) fue similar a la del complejo **R1C-Cu**, comprobando que el ion cobre es afín a la coordinación para **R2L**.

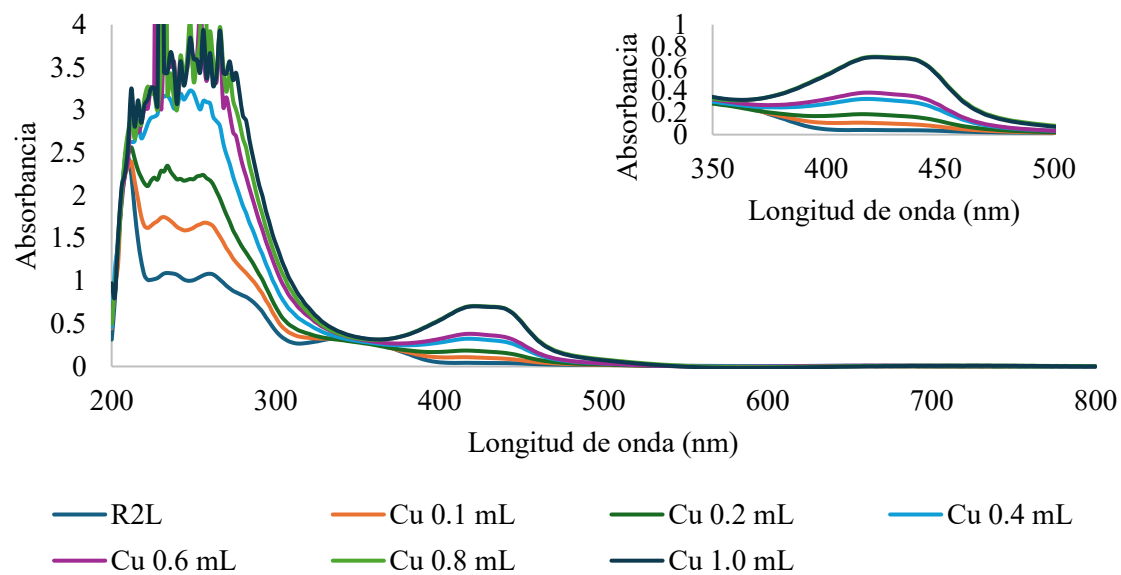


Figura 24. Espectro de UV-Vis de **R2L** con la adición de acetato de cobre, para formar **R2L-Cu** con expansión de 350 a 500 nm.

5. Conclusiones

La primera etapa de este trabajo desarrollada en tres metodologías de síntesis, formándose los productos deseados principalmente por la ruta sintética por choque térmico y por síntesis larga, siendo las más adecuadas para la formación de las bases de Schiff, en contraste la ruta sintética por medio básico no fue eficiente para la mayoría de los productos deseados.

El ligante **R1C** no se obtuvo por la ruta sintética en medio básico, tuvo un rendimiento del 42.96% por ruta sintética de choque térmico en 3 horas y en un rendimiento de 57.44% por la ruta sintética larga en 24 horas, por lo que se puede decir que el choque térmico es una excelente alternativa mostrando tiempos cortos de reacción con buenos rendimientos.

El ligante **R2L** al ser un líquido y al manejar una producción en baja cantidad se limita la obtención del rendimiento; sin embargo, a través de la caracterización por IR y la RMN de ^1H se presentó la correcta evidencia de la formación de la dicha base de Schiff.

La capacidad coordinante hacia los centros metálicos divalentes se resume en la **Tabla 8**, donde **R1C** forma los complejos de coordinación **R1C-Mn**, **R1C-Co** y **R1C-Cu**, para **R2L** muestra afinidad hacia Cu(II) formando el complejo **R2L-Cu**. La diferencia entre **R1C** y **R2L** en su capacidad de coordinarse a un mayor número de metales, se debe a su estructura, ya que presenta más átomos donores de electrones, permitiendo estabilizar de mejor manera el complejo de coordinación.

Tabla 8. Resumen de la formación de complejos ligante-metal.

	Mn(II)	Fe(II)	Co(II)	Ni(II)	Cu(II)	Zn(II)
R1C	Complejo	-	Complejo	-	Complejo	-
R2L	-	-	-	-	Complejo	-

6. Perspectivas

Los ligantes sintetizados únicamente se trataron con la primera serie metales de transición del bloque *d*, quedando pendientes varios iones metálicos de la tabla periódica a los cuales pueden comprobarles su coordinación con los ligantes.

Las bases de Schiff propuestas han demostrado tener la capacidad como agentes coordinantes de manera que puede proponerse como un método cuantitativo a través de curvas de calibración ya sea utilizando la misma metodología empleada o manejando diferentes técnicas de cuantificación espectrofotométrica, de manera que pueda ser utilizada por la industria, principalmente la especializada en el uso de componentes que generan desperdicios de esta índole.

La aplicación de estos ligantes puede enfocarse como un componente de tratamiento ambiental en aguas y suelos, al ser aplicada en muestras contaminadas, aprovechando su capacidad complejante, retirando contaminantes metálicos (manganeso, cobalto y cobre), empleando técnicas de precipitación, filtración o la eliminación del complejo con ayuda de diferentes disolventes.

Las moléculas propuestas pueden ser objeto de estudio para nuevos tratamientos alternativos a diferentes patologías, principalmente en las que pueda verse destacada su función como complejante, como es el caso de los agentes anticancerígenos.

7. Bibliografía

1. Berhanu, A. L., Gaurav, N., Mohiuddin, I., Malik, A. K., Aulakh, J. S., Kumar, V., & Kim, K. (2019). A review of the applications of Schiff bases as optical chemical sensors. *TrAC, Trends Anal. Chem.*, 116, 74-91. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.04.025>
2. Housecroft, C. E., & Sharpe, A. G. (2008). *Inorganic chemistry*. 2^a ed. Pearson Education.
3. Rayner-Canham, G., & Overton, T. (2014). *Descriptive inorganic chemistry*. Macmillan Higher Education.
4. Cotton, F. A., Wilkinson, G., & Gaus, P. L. (2000). *Basic inorganic chemistry*. 2^a ed. John Wiley & Sons.
5. Ayala, R. R. Y., & Azcona-Cruz, M. I. (2017). Efectos tóxicos del manganeso. *Rev. Esp. Med-Quir.*, 22 (2), 71-75. <https://www.medigraphic.com/pdfs/quirurgicas/rmq-2017/rmq172d.pdf>
6. Jover, F., Andreu, L., Robert, J., & Merino, J. (2001). Intoxicación aguda por hierro en un caso. *Rev Med Chile*, 129(6). <https://doi.org/10.4067/s0034-98872001000600010>
7. Leyssens, L., Vinck, B., Van Der Straeten, C., Wuyts, F., & Maes, L. (2017). Cobalt toxicity in humans—A review of the potential sources and systemic health effects. *Toxicology*, 387, 43-56. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2017.05.015>
8. Denkhaus, E., & Salnikow, K. (2002). Nickel essentiality, toxicity, and carcinogenicity. *CROH*, 42(1), 35-56. [https://doi.org/10.1016/s1040-8428\(01\)00214-1](https://doi.org/10.1016/s1040-8428(01)00214-1)
9. Vierling, J. M., & Sussman, N. L. (2018). Wilson Disease in Adults. En *Elsevier eBooks* (pp. 165-177). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-810532-0.00016-1>
10. Fosmire, G. (1990). Zinc toxicity. *AJCN*, 51(2), 225-227. <https://doi.org/10.1093/ajcn/51.2.225>
11. Tariq, S., Tahir, M., Shafiq, I., Saqib, M., Haq, S., Aftab, H., Imran, M., & Shafiq, Z. (2024). Exploration of Key Electronic Properties and Optical Nonlinearity of Diamine Based Schiff Bases: Spectroscopic Characterization and DFT Study. *J. Mol. Struct.* 1308, 138135. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2024.138135>
12. Vernekar, B. K., & Sawant, P. S. (2023). Interaction of metal ions with Schiff bases having N2O2 donor sites: Perspectives on synthesis, structural features, and applications. *Results In Chemistry*, 6, 101039. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2023.101039>
13. Wade, L. G., Jr. (2017). *Química orgánica*. (7.^a ed., Vol. 2). PEARSON.

14. Dechasa, T., Arasu, P. T., & Lealem, A. (2024). A review on the synthesis, characterization and application of Schiff bases containing resorcinol moieties and their first row transition metal complexes. *Results In Chemistry*, 9, 101596. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2024.101596>
15. McMurry, J. (2017). *Quimica organica*. (9.^a ed). CENGAGE
16. Hussain, S., & Berry, S. (2024). A review study on green synthesis of chitosan derived schiff bases and their applications. *Carbohydr. Res.*, 535, 109002. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2023.109002>
17. Ramkumar, S., Kaviarasi, R., Kavyasri, E., & Priyadarshini, G. S. (2023). A systematic investigation of luminescent schiff bases: Photophysical and DFT studies. *Chem. Phys. Impact*, 7, 100294. <https://doi.org/10.1016/j.chphi.2023.100294>
18. Podolski-Renić, A., Gašparović, A. Č., Valente, A., López, Ó., Nunes, J. H. B., Kowol, C. R., Heffeter, P., & Filipović, N. R. (2024). Schiff bases and their metal complexes to target and overcome (multidrug) resistance in cancer. *Eur. J. Med. Chem.*, 270, 116363. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2024.116363>
19. Wang, Q., Wen, X., & Fan, Z. (2018). A Schiff base fluorescent chemsensor for the double detection of Al³⁺ and PPi through aggregation induced emission in environmental physiology. *JPPA*, 358, 92-99. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2018.03.004>
20. Afkhami, A., Khajavi, F., & Khanmohammadi, H. (2009). Spectrophotometric Determination of Complex Formation Constants Between a New Schiff Base and Some Transition Metals by Rank Annihilation Factor Analysis. *JCED*, 54(3), 866-870. <https://doi.org/10.1021/je800663v>
21. Saranya, J., Kirubavathy, S. J., Chitra, S., Zarrouk, A., Kalpana, K., Lavanya, K., & Ravikiran, B. (2020b). Tetradentate Schiff Base Complexes of Transition Metals for Antimicrobial Activity. *AJSE*, 45(6), 4683-4695. <https://doi.org/10.1007/s13369-020-04416-7>
22. Rao, V. K., Reddy, S. S., Krishna, B. S., Naidu, K. R. M., Raju, C. N., & Ghosh, S. (2010). Synthesis of Schiff's bases in aqueous medium: a green alternative approach with effective mass yield and high reaction rates. *GCLR*, 3(3), 217-223. <https://doi.org/10.1080/17518251003716550>

23. Akintayo, D. C., Munzeiwa, W. A., Jonnalagadda, S. B., & Omondi, B. (2021). Ring-opening polymerization of cyclic esters by 3- and 4-pyridinyl Schiff base Zn(II) and Cu(II) paddlewheel complexes: kinetic, mechanistic and tacticity studies. *Arab. J. Chem.*, 14(10), 103313. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103313>
24. Akintayo, D. C., Munzeiwa, W. A., Jonnalagadda, S. B., & Omondi, B. (2021). Influence of nuclearity and coordination geometry on the catalytic activity of Zn(II) carboxylate complexes in ring-opening polymerization of ϵ -caprolactone and lactides. *Inorganica Chim. Acta*, 532, 120715. <https://doi.org/10.1016/j.ica.2021.120715>
25. Houston, P. L. (2001). *Chemical Kinetics and Reaction Dynamics*. McGraw-Hill.
26. Sundberg, R. J., & Carey, F. A. (2007). *Advanced Organic Chemistry: Part B: Reactions and Synthesis*. 5^a ed. Springer.
27. Sundberg, R. J., & Carey, F. A. (2005). *Advanced Organic Chemistry: Part A: Structure and Mechanisms*. Springer.
28. Steinfeld, J. I., Francisco, J. S., & Hase, W. L. (1989). *Chemical Kinetics and Dynamics*. Prentice Hall.
29. Sigma-Aldrich. (s.f.). *Ficha de datos de seguridad: 2-aminofenol* (A71301). De <https://www.sigmaaldrich.com/MX/es/product/aldrich/a71301>
30. Sigma-Aldrich. (s.f.). *Ficha de datos de seguridad: Isoftalaldehído* (Referencia: 115282). De <https://www.sigmaaldrich.com/MX/es/product/aldrich/115282>
31. Sigma-Aldrich. (s.f.). *Ficha de datos de seguridad: Cuminaldehído* (Referencia: 135178). De <https://www.sigmaaldrich.com/MX/es/product/aldrich/135178>
32. Sigma-Aldrich. (s.f.). *Ficha de datos de seguridad: Piridina* (Referencia: P62208). De <https://www.sigmaaldrich.com/MX/es/product/aldrich/p62208>
33. Atkins, P., Rourke, J., Overton, T., Armstrong, F., Weller, M., & Lancaster, S. (2010). *Shriver and Atkins' Inorganic Chemistry*. 5^a ed. Oxford University Press, USA.
34. Qin, W., Long, S., Panunzio, M., & Biondi, S. (2013). Schiff Bases: A Short Survey on an Evergreen Chemistry Tool. *Molecules/Molecules Online/Molecules Annual*, 18(10), 12264-12289. <https://doi.org/10.3390/molecules181012264>
35. Kemp, W. (2017). *Organic spectroscopy*, Bloomsbury Publishing.

8. Anexos

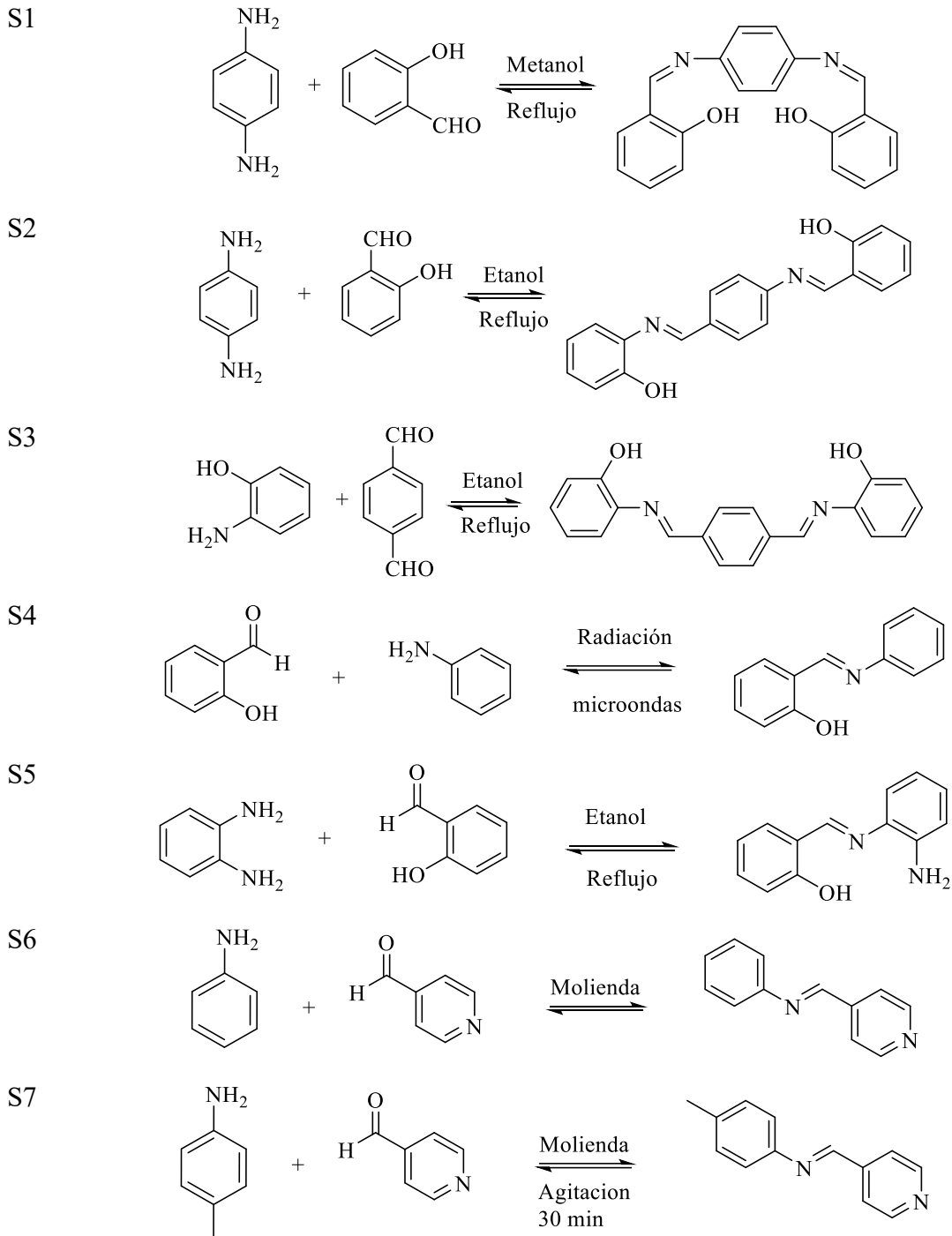


Figura 25. Bases de Schiff reportadas en la bibliografía S1 (*N,N'*-bis(salicilideno)-1, 4-diaminobenzeno), S2 (*2-((4-(2-hidroxibenzilideneamino) fenilimino)metil)fenol*), S3 (*2,2'-((1E,1'E)-(1,4-fenilenebis(metanililideno)))bis(azaniliden)difenol*), S4 *2-((Z)-(2-aminofenilimino)methyl)fenol*, S5 *2-((Z)-(2-aminofenilimino)methyl)fenol*, S6 Complejo L1 y S7 (*E*)-1-(piridin-4-il)-*N*-(*p*-tolil)metanimimina

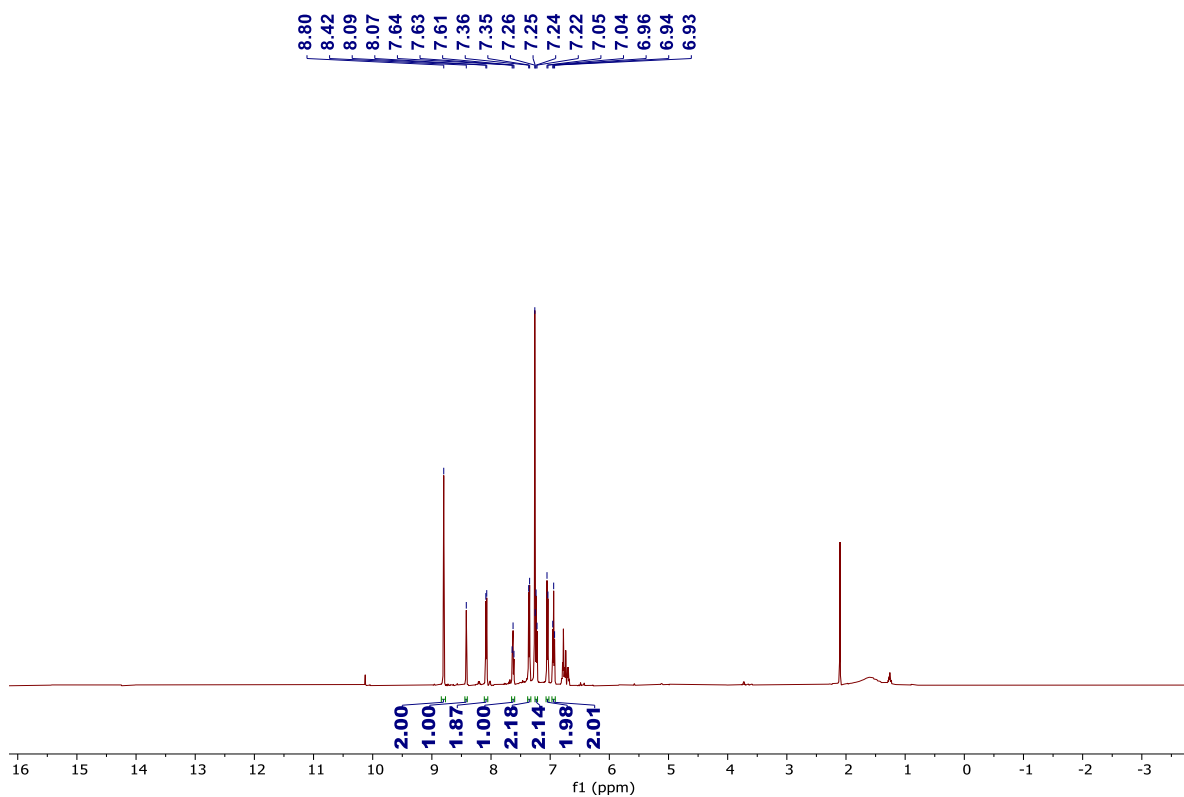


Figura 26. Espectro de RMN de ^1H de **RIC** en CDCl_3 , a 500 MHz, referencia CHCl_3 residual, completo.

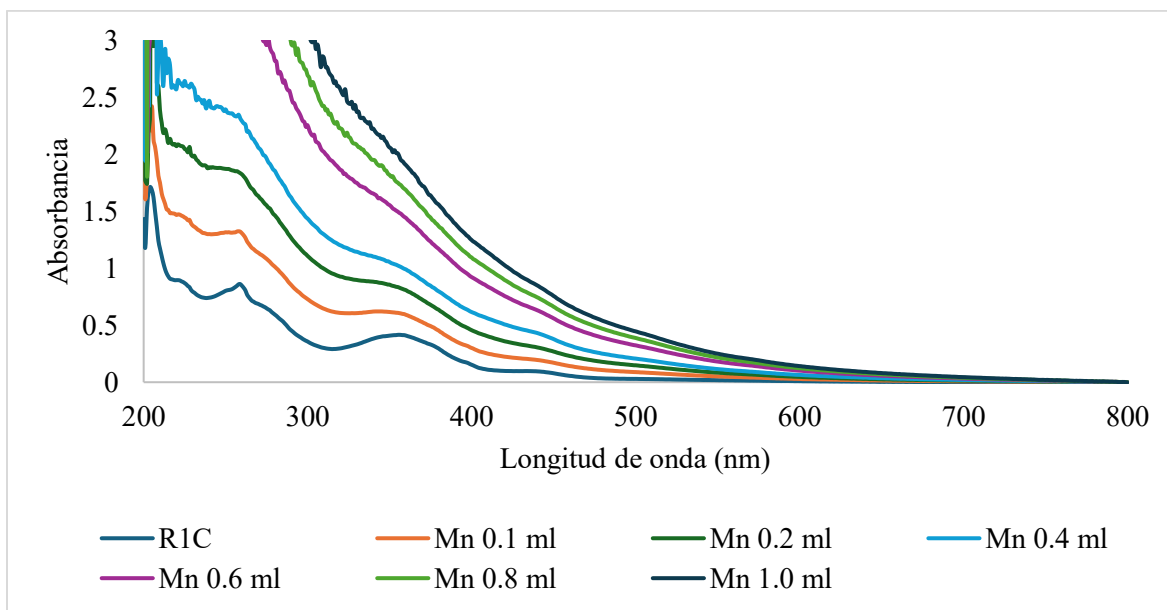


Figura 27. Espectro de absorción UV-Vis del compuesto **RIC** con la adición progresiva de solución de acetato de manganeso.

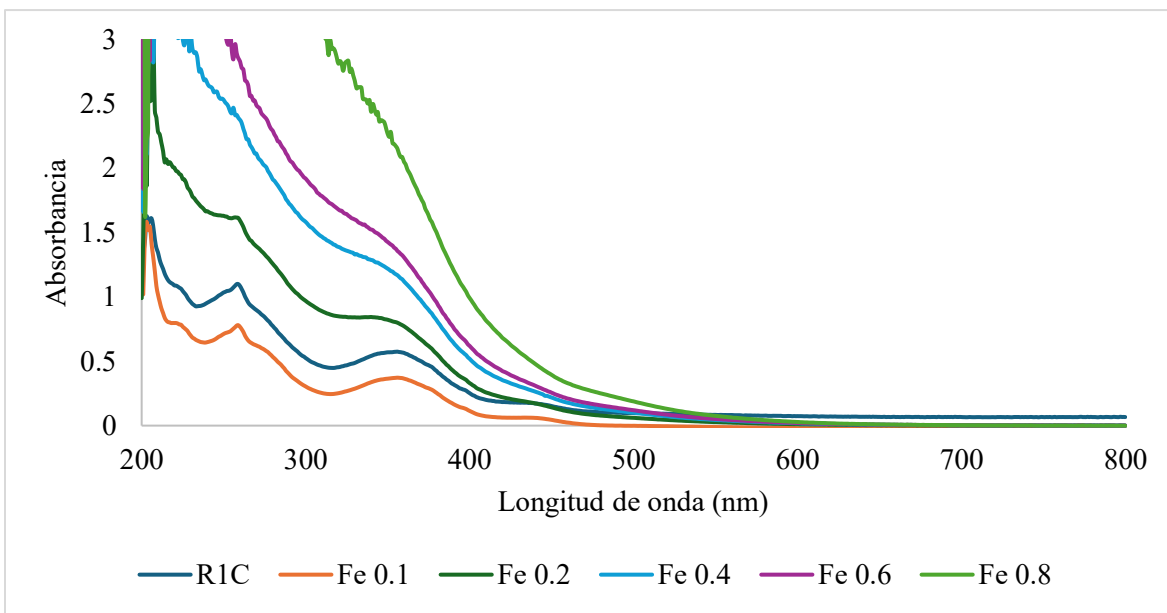


Figura 28. Espectro de absorción UV-Vis del compuesto **R1C** con la adición progresiva de solución de acetato de hierro.

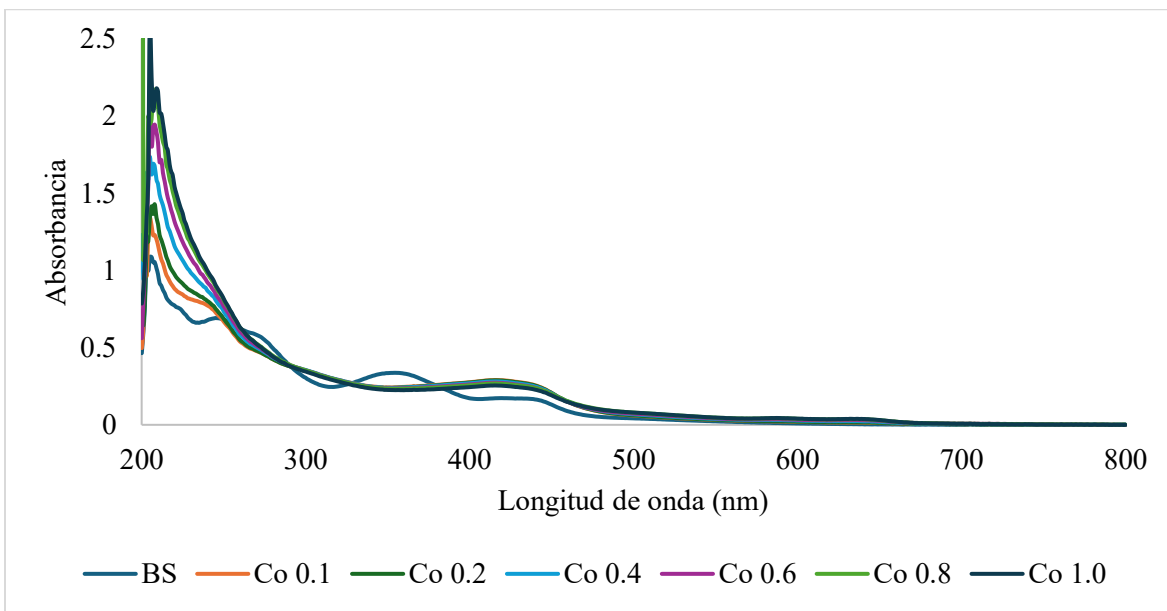


Figura 29. Espectro de absorción UV-Vis del compuesto **R1C** con la adición progresiva de solución de acetato de cobalto.

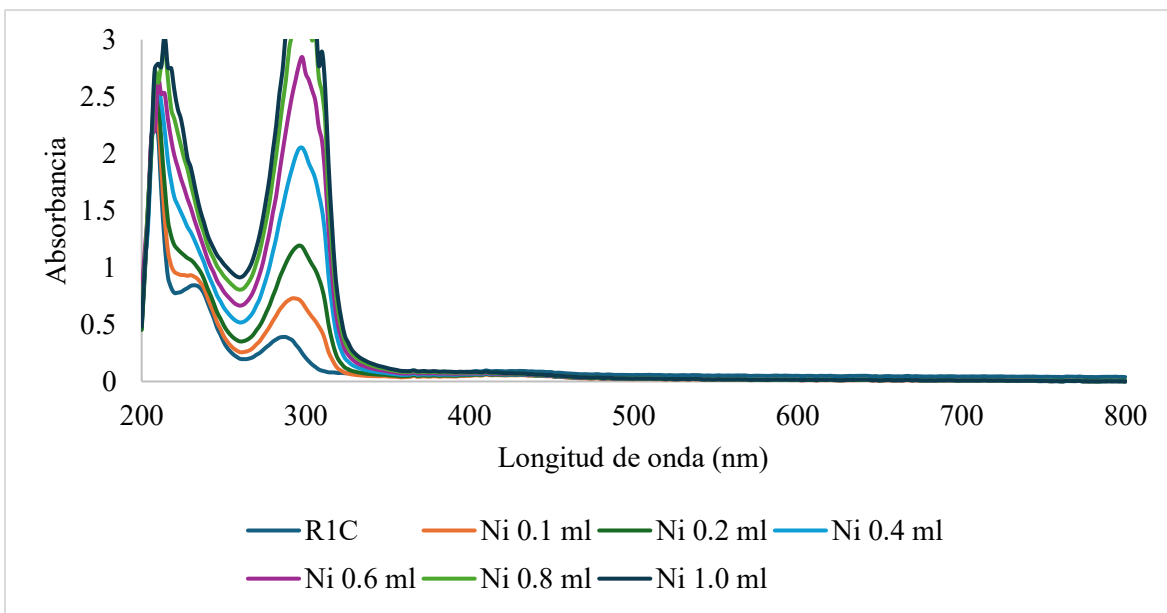


Figura 30. Espectro de absorción UV-Vis del compuesto **R1C** con la adición progresiva de solución de acetato de níquel.

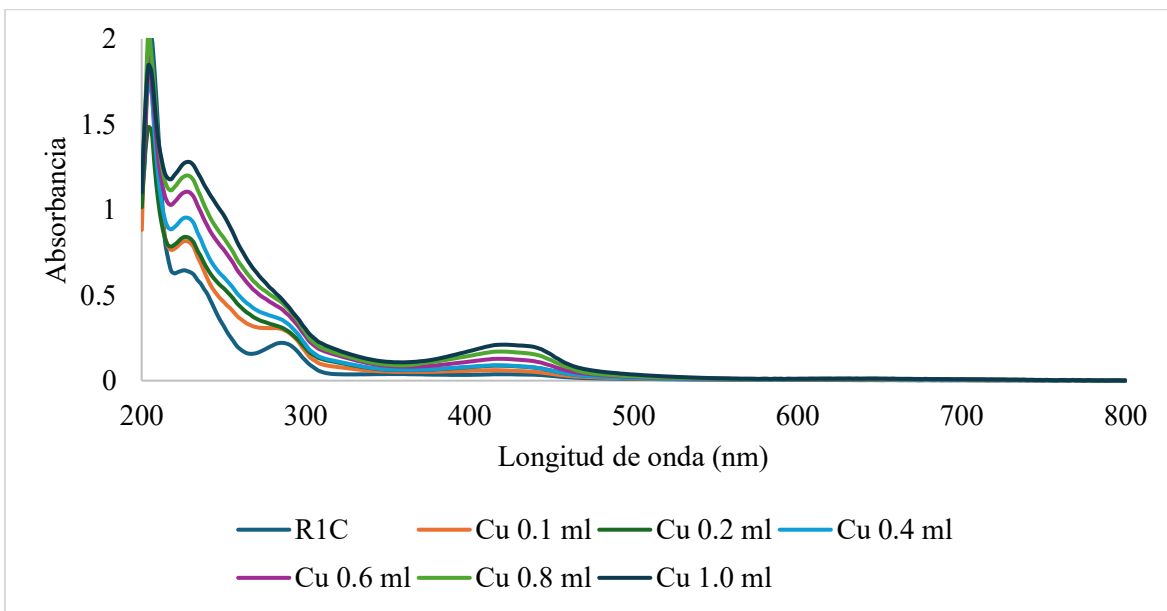


Figura 31. Espectro de absorción UV-Vis del compuesto **R1C** con la adición progresiva de solución de acetato de cobre.

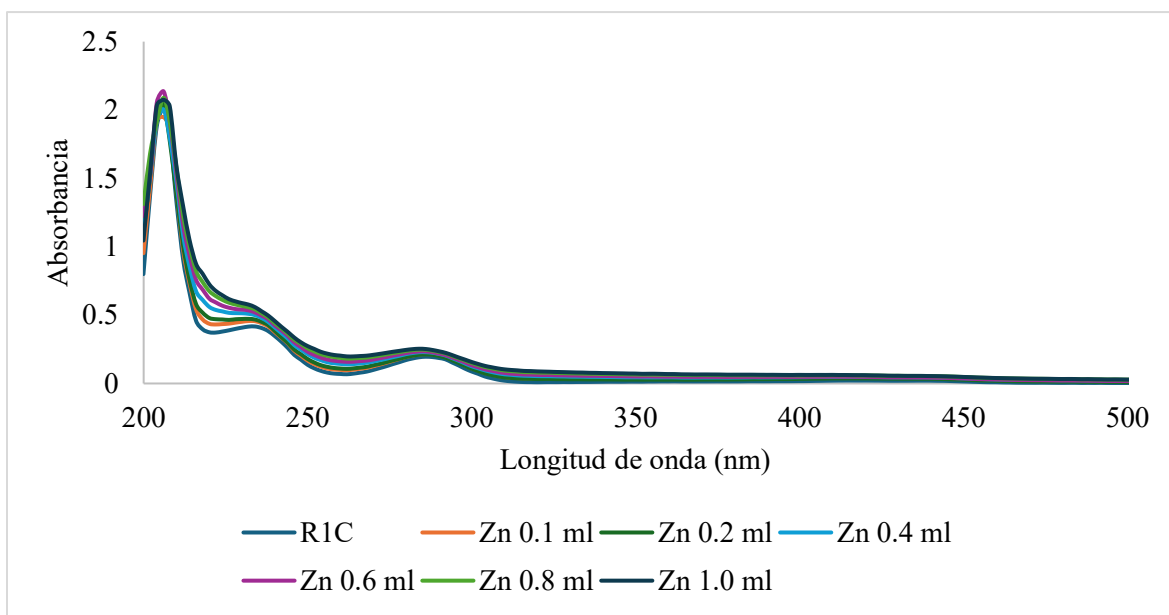


Figura 32. Espectro de absorción UV-Vis del compuesto **R1C** con la adición progresiva de solución de acetato de zinc.



Figura 33. Cristales conseguidos de **R2L** a temperatura de -20°C.

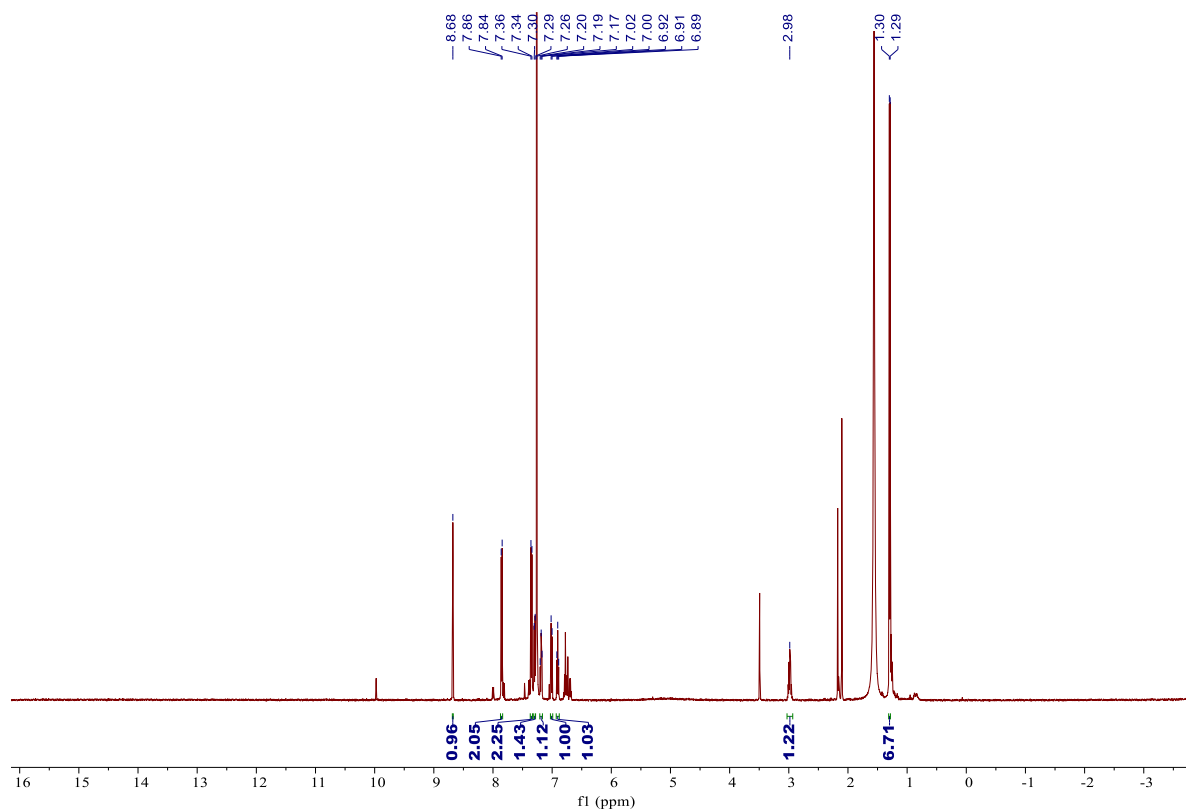


Figura 34. Espectro de RMN de ^1H de **R2L** en CDCl_3 , a 500 MHz, referencia CHCl_3 residual, completo.

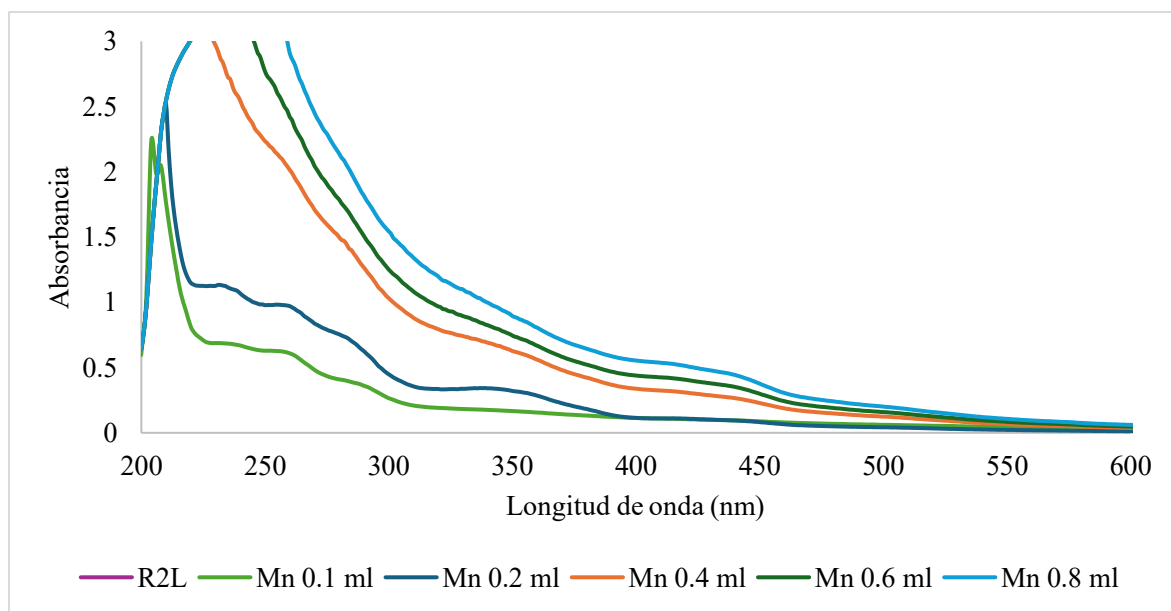


Figura 35. Espectro de absorción UV-Vis del compuesto **R2L** con la adición progresiva de solución de acetato de manganeso.

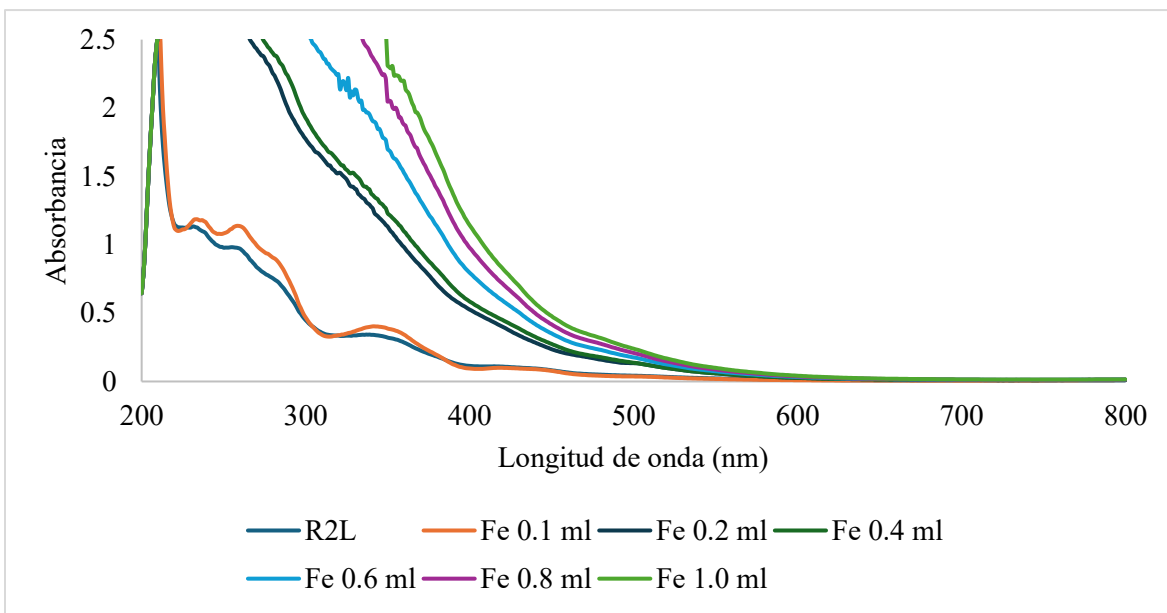


Figura 36. Espectro de absorción UV-Vis del compuesto **R2L** con la adición progresiva de solución de acetato de hierro.

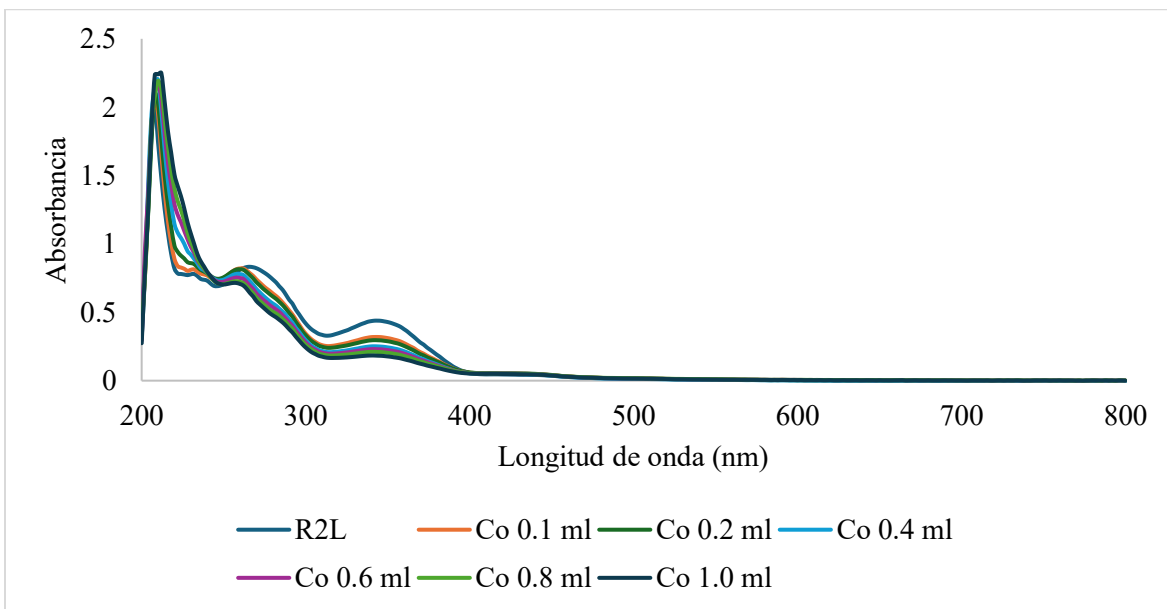


Figura 37. Espectro de absorción UV-Vis del compuesto **R2L** con la adición progresiva de solución de acetato de cobalto.

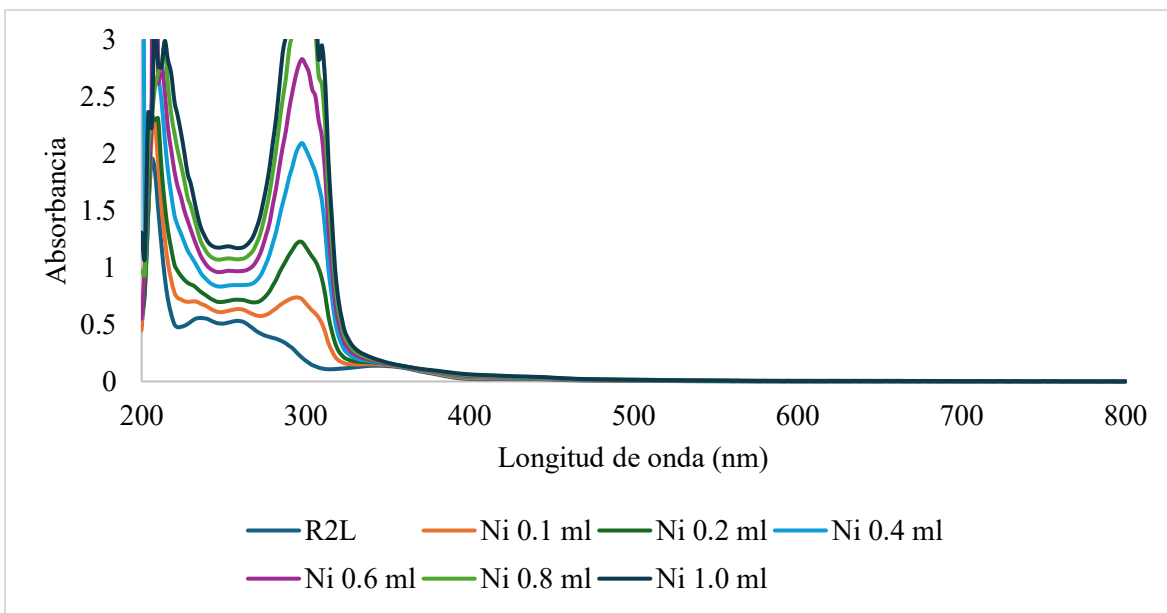


Figura 38. Espectro de absorción UV-Vis del compuesto **R2L** con la adición progresiva de solución de acetato de níquel.

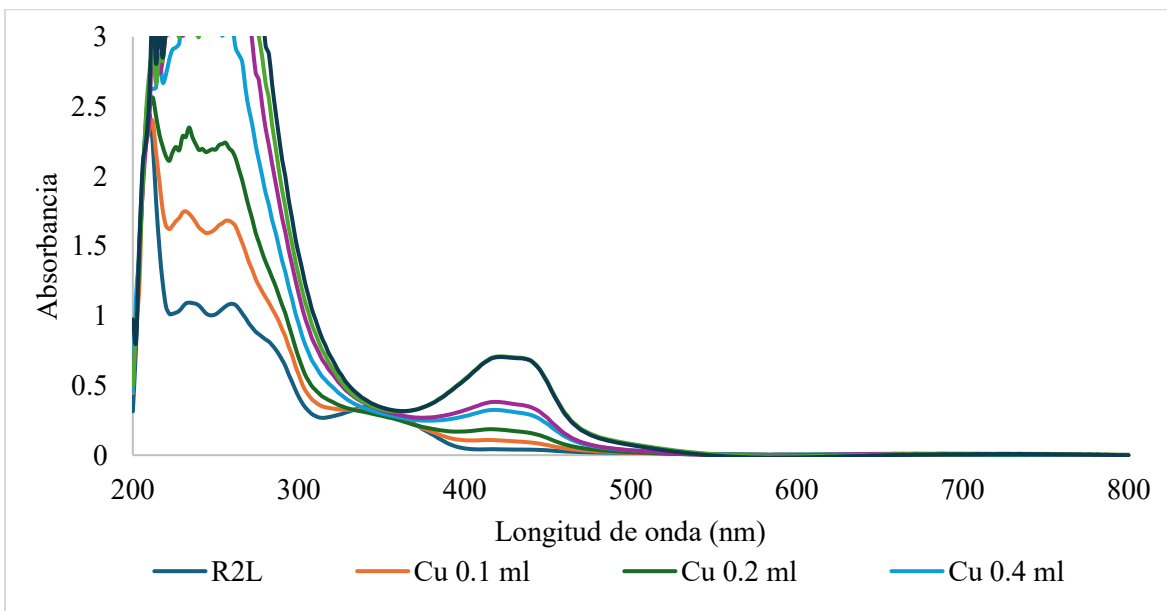


Figura 39. Espectro de absorción UV-Vis del compuesto **R2L** con la adición progresiva de solución de acetato de cobre.

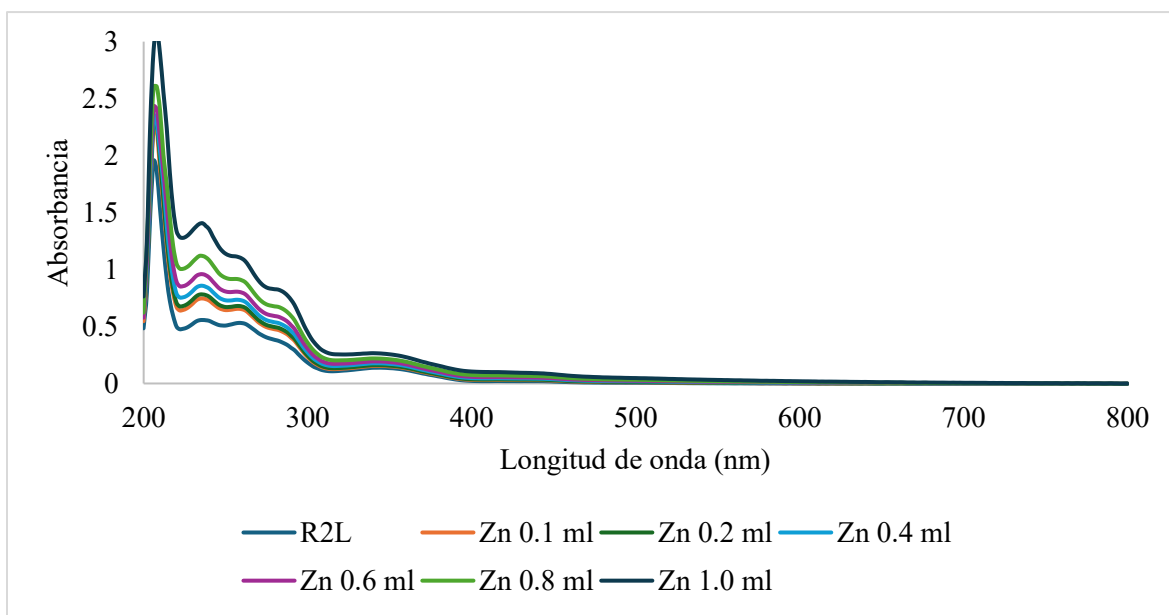


Figura 40. Espectro de absorción UV-Vis del compuesto **R2L** con la adición progresiva de solución de acetato de zinc.