

# CARACTERIZACIÓN DE (CLORONITROBENCIL) SULFONAS EN LA SUSTITUCIÓN NUCLEOFÍLICA DE VICARIUS

## CHARACTERIZATION OF (CHLORONITROBENZIL)SULFONES IN THE VICARIOUS NUCLEOPHILIC SUBSTITUTION

Alejandra Castellanos L.<sup>1</sup>, Lorena Meneses O.<sup>1</sup>

**Palabras clave:** clorometilfenilsulfona, cloronitrobenceno, síntesis, sustitución nucleofílica de Vicarius.

**Keywords:** chloromethylphenylsulfone, chloronitrobenzene, synthesis, Vicarious Nucleophilic Substitution.

### RESUMEN

Los productos de la reacción de síntesis de cloronitrobenceno con clorometilfenilsulfona fueron caracterizados mediante el uso de espectroscopía infrarroja (IR), cromatografía de capa fina (TLC) y puntos de fusión. Se llevó a cabo la reacción de cloronitrobenceno, en posiciones para, orto y meta, con la clorometilfenilsulfona, reacción que se conoce con el nombre de sustitución nucleofílica de Vicarius. Posterior a la síntesis, se purificaron y separaron los productos utilizando cromatografía en columna. En el caso de la reacción de p cloronitrobenceno se obtuvo un producto, con o cloronitrobenceno se obtuvieron dos

---

<sup>1</sup> Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Escuela de Ciencias Químicas, Quito, Ecuador, (alejis152008@gmail.com, lmmenesese@puce.edu.ec).

productos y con *m*-cloronitrobenzono, tres productos; los seis productos son isómeros estructurales. Los porcentajes de rendimiento van del 4,36 % para el producto 6 ((6-nitro-2-clorobencil)fenilsulfona), al 83,28 % para el producto 1 ((2-nitro-5-clorobencil)fenilsulfona). Se realizó un análisis de espectroscopía infrarroja para cada producto, los picos característicos se encontraron en el rango de frecuencia de  $2000\text{ cm}^{-1}$  a  $520\text{ cm}^{-1}$ , pero la intensidad de los picos varió. Los valores de  $R_f$  de las placas cromatográficas y los puntos de fusión de cada compuesto obtenido, permitieron la caracterización de los productos de síntesis.

#### ABSTRACT

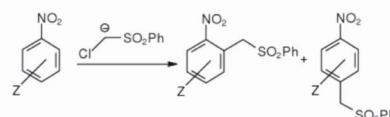
The products of the reaction of chloronitrobenzene with chloromethylphenylsulfone were characterized using Infrared Spectroscopy (IR), Thin Layer Chromatography (TLC) and melting points. The reaction was performed with chloronitrobenzene in positions *para*, *ortho* and *meta* with chloromethylphenylsulfone. This reaction is known as Vicarious Nucleophilic Substitution. After the synthesis, the products were purified and separated using Column Chromatography. In the case of the reaction of *p*-chloronitrobenzene, only one product was obtained, with *o*-chloronitrobenzene, two products were obtained, and with *m*-chloronitrobenzene, three products were obtained. The yield percentages ranging between 4.36 % for the product 6 ((6-nitro-2-chlorobenzyl)phenylsulfone) to 83.28 % for the product 1 ((2-nitro-5-chlorobenzyl)phenylsulfone). An analysis in Infrared Spectroscopy was conducted for each product, where the characteristic peaks were in the frequency range of  $2000\text{ cm}^{-1}$  to  $520\text{ cm}^{-1}$ , but the peak intensity varied.  $R_f$  obtained from TLC analysis and melting point values for each compound allowed their characterization.

## INTRODUCCIÓN

Los investigadores especializados en química orgánica, se encargan de definir la estructura y funciones de las moléculas, estudian sus reacciones y desarrollan medios para sintetizar compuestos esenciales para mejorar la calidad de vida de las personas.

En 1970, el polaco Mieczyslaw Makosza se centró en el estudio de la sustitución nucleofílica aromática, que se basa en una reacción química entre nucleófilos (especies que reaccionan cediendo un par de electrones libres a otras especies) y compuestos aromáticos deficientes en electrones. Este trabajo lo llevó al desarrollo de la sustitución nucleofílica directa del hidrógeno en arenos electrófilos, más tarde conocida como sustitución nucleofílica de Vicarius (SNV) (Okwakol & Grivas, 2011).

En la sustitución nucleofílica de Vicarius, los carbaniones de clorometilfenilsulfonas reaccionan con nitroarenos, sustituyendo el hidrógeno en posiciones orto y para, por un grupo fenilmetilsulfona (Makosza & Wojciechowski, 1986).



**Figura 1. Reacción SNV de nitroarenos con carbaniones de clorometilfenilsulfonas**

En la Figura 1, se observa la reacción de sustitución nucleofílica de Vicarius, donde un compuesto nitroaromático que presenta un grupo funcional (Z), reacciona con clorometilfenilsulfona, que está formada por un halógeno (Cl) y un grupo sulfona CH<sub>2</sub>SO<sub>2</sub>Ph. Al ser los compuestos nitroaromáticos pobres en electrones, no es posible realizar una sustitución electrofílica, por lo que se produce una sustitución nucleofílica. El compuesto nitroaromático reacciona con un carbanión que contiene un grupo saliente -Cl, dando como resultado la sustitución nucleofílica esperada (Makosza & Wojciechowski, 1986).

El mecanismo de reacción de la SNV es el de adición-eliminación. Este tipo de mecanismo es uno de los varios que comprende la sustitución

nucleofílica aromática (S<sub>N</sub>Ar), donde un nucleófilo se adiciona en la posición del grupo saliente, y este a continuación es eliminado, recuperándose la aromaticidad. Esta reacción

tiene lugar si existen grupos fuertemente atractores de electrones, típicamente grupos nitro -NO<sub>2</sub>, en las posiciones orto y para al grupo saliente (Makosza, 2014).

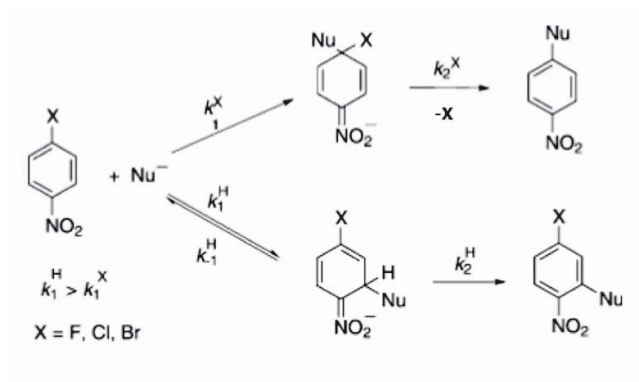


Figura 2. Mecanismo de reacción de S<sub>N</sub>V (Makosza, 2014)

Como se muestra en la Figura 2, la adición del nucleófilo en halonitroarenos procede más rápido en las posiciones ocupadas por átomos de hidrógeno, que en las posiciones ocupadas por átomos de halógeno, incluso por átomos de flúor.

Otro factor importante que se recalca es la reactividad del aducto σ<sub>H</sub> y el aducto σ<sub>X</sub>, debido a que este último no tiene la posibilidad de rearomatizarse a través de la salida espontánea

del anión hidruro, por lo general, las ganancias de desaromatización ocurren a través de la salida del nucleófilo. Esto significa que la adición rápida en las posiciones ocupadas por átomos de hidrógeno es reversible, debido a que los aductos σ<sub>H</sub> generalmente se disocian más lento. Asimismo, la formación de aductos σ<sub>X</sub> es irreversible, dando paso a la sustitución del átomo de halógeno.

Para que se produzca la formación

del aducto  $\sigma_H$ , es indispensable la eliminación del anión hidruro, lo cual se produce por oxidantes externos, como por ejemplo el hidróxido de potasio (Makosza, 2014).

### Propiedades de *o*-cloronitrobenzenceno

Nombre IUPAC: 1-cloro-2-nitrobenzenceno (Figura 3), se presenta en forma de cristales de color amarillo. Presenta un punto de ebullición de 245 °C, punto de fusión de 32 °C y densidad 1,4 g/cm<sup>3</sup>, entre sus propiedades físicas más importantes (INSHT, 2005).

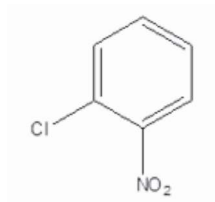


Figura 3. Estructura de *o*-cloronitrobenzenceno

### Propiedades de *m*-cloronitrobenzenceno

Nombre IUPAC: 1-cloro-3-nitrobenzenceno (Figura 4), son cristales de color violeta. Tiene un punto de ebullición de 236 °C, punto de fusión de 48 °C y densidad 1,534 g/cm<sup>3</sup> (INSHT, 2007).

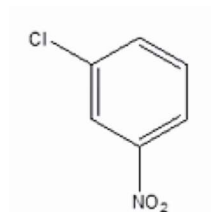


Figura 4. Estructura de *m*-cloronitrobenzenceno

### Propiedades de *p*-cloronitrobenzenceno

Nombre IUPAC: 1-cloro-4-nitrobenzenceno (Figura 5), son cristales de color amarillo pastel. El compuesto tiene un punto de ebullición de 239 °C, punto de fusión de 83 °C y densidad 1,3 g/cm<sup>3</sup>, como sus propiedades físicas más importantes (INSHT, 2007).

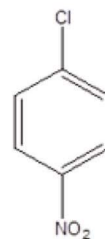


Figura 5. Estructura de *p*-cloronitrobenzenceno

### Propiedades de clorometilfenilsulfona

Nombre IUPAC: 1 (clorometilsulfo-  
nil)benceno (Figura. 6). Sus cristales  
son incoloros. Esta molécula es el nu-  
cleófilo en la SNV. La propiedad fí-  
sica más importante para la  
identificación es el punto de fusión,  
que va de 51-52,5 °C.

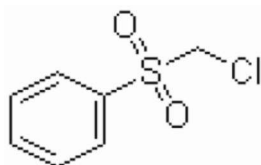


Figura 6. Estructura de  
clorometilfenilsulfona

Makosza y Wojciechowski iniciaron  
estos estudios en 1978. A partir de  
ese año, se han realizado varios estu-  
dios experimentales sobre la sustitu-  
ción nucleofílica de Vicarius. El  
objetivo de este estudio fue adaptar  
el trabajo realizado por estos cientí-  
ficos, bajo condiciones experimenta-  
les y de infraestructura de laboratorio  
de docencia, con el propósito de  
comparar la reactividad en los cloro-  
nitrobencenos, para que este trabajo  
sea una fuente de referencia para fu-  
turas investigaciones sobre el tema  
dentro del grupo de investigación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Síntesis de clorometilfenilsulfona (Makosza & Golixiski, 1983)

Para esta síntesis experimental se di-  
solvieron 16,40 g de bencensulfonato  
de sodio anhidro y 8 mL (15,50 g)  
clorobromometano, en 50 mL de di-  
metilsulfóxido (DMSO). Se calentó la  
solución en un baño de agua durante  
4 horas a 50 °C a reflujo. Una vez fría  
la mezcla se añadieron 50 mL de  
agua destilada, se extrajo el producto

con 50 mL de diclorometano, en dos  
ocasiones, posteriormente se mezcla-  
ron los extractos.

Los extractos combinados se lavaron  
con agua y se secaron con sulfato de  
magnesio. La evaporación del sol-  
vente y la recristalización del pro-  
ducto se realizaron en cloroformo,  
dando como resultado clorometilfe-  
nilsulfona.

### **Síntesis general de las (cloronitro- bencil)sulfonas (Makosza & Goli- xiski, 1983)**

Se tomaron 0,95 g (5 mmol) de clorometilfenilsulfona y 0,79 g (5 mmol) del cloronitrocompuesto, se disolvieron en 20 mL de dimetilsulfóxido. A la solución agitada, se añadieron 2 g (36 mmol) de hidróxido de potasio en polvo. La reacción se llevó a cabo a temperatura ambiente durante 30 minutos.

La mezcla se vertió en 50 mL de ácido clorhídrico al 2% y se extrajo con diclorometano, se realizaron dos extracciones, los extractos se combinaron y se secaron con sulfato de magnesio.

Los extractos combinados fueron purificados y separados mediante cromatografía en columna.

### **Identificación y caracterización**

Por medio de cromatografía de capa fina (TLC), se realizó la identificación

de las (cloronitrobencil)sulfonas. Se utilizaron placas cromatográficas de sílica gel con soporte de aluminio marca Dynamics Adsorbents, hexano-acetato de etilo 2:1 como eluyente, e hidróxido de potasio disuelto en etanol y dimetilsulfóxido como agente revelador.

Los productos de síntesis obtenidos se caracterizaron mediante la determinación de los puntos de fusión en el equipo VWR IA9000.

Finalmente se hizo el análisis por espectrofotometría de infrarrojos, en un Espectrofotómetro de infrarrojo con transformadas de Fourier marca Perkin Elmer, modelo BX.

Se obtuvieron los espectros IR, en las siguientes condiciones de lectura: rango entre 4000.0-520.0  $\text{cm}^{-1}$ , número de exploraciones: 10, resolución: 4.0  $\text{cm}^{-1}$ , intervalos: 2.0  $\text{cm}^{-1}$ , y unidad: % transmitancia.

## RESULTADOS

### Síntesis de clorometilfenilsulfona

Mediante la recristalización por cloroformo se obtuvieron cristales blanquecinos que corresponden a la clorometilfenilsulfona (Figura 7). El rendimiento total de la reacción fue de 44,69 %, con 8,5100 g de cristales sintetizados. El punto de fusión de estos cristales fue de 50 °C.



Figura 7. Cristales de clorometilfenilsulfona obtenidos experimentalmente

Una vez realizada la síntesis, se verificó el compuesto obtenido a través del espectro infrarrojo (Figura 8).

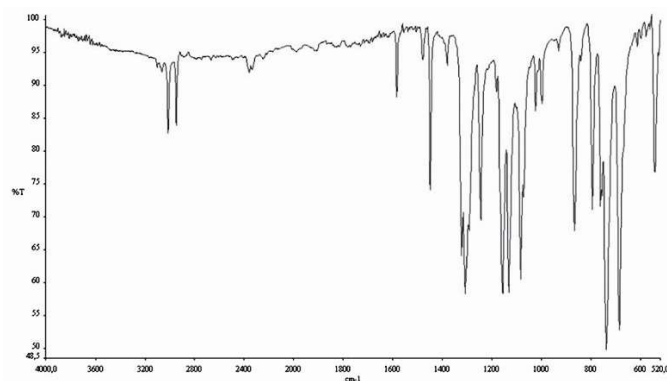


Figura 8. Espectro infrarrojo de clorometilfenilsulfona obtenido experimentalmente



### Síntesis general de las (cloronitro- bencil)sulfonas

Luego de la purificación por columna cromatográfica, se dejó evaporar el solvente, obteniendo como resultado cristales de color marrón para todas las (cloronitrobencil)sulfonas. Los cristales presentaron forma alargada (Figura 9).

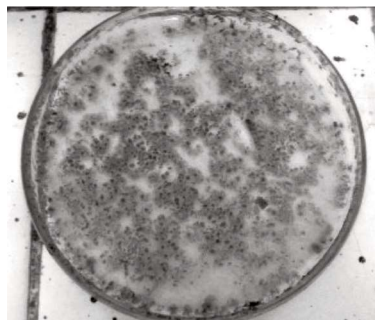


Figura 9. Cristales de la síntesis de (cloronitrobencil)sulfonas

En las Figuras 10 a 12 se presenta el esquema de síntesis de las (cloronitrobencil)sulfonas sintetizadas.

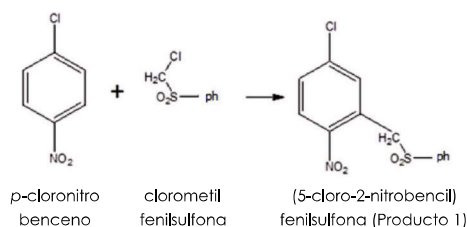


Figura 10. Reacción SNV de nitrobenceno con cloro en posición para

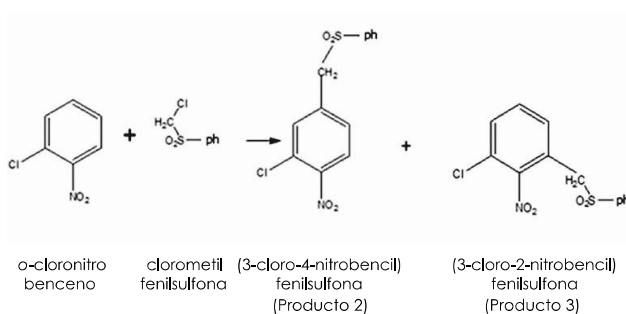


Figura 11. Reacción SNV de nitrobenceno con cloro en posición orto

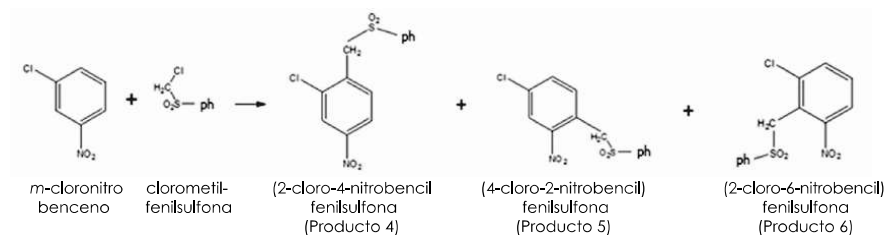


Figura 12. Reacción SNV de nitrobenzeno con cloro en posición meta

### Identificación y caracterización

En la Tabla 1 se presentan los valores de R<sub>f</sub> y puntos de fusión de las (cloronitrobenzyl)sulfonas obtenidas.

Tabla 1. Valores de R<sub>f</sub> y puntos de fusión de las (cloronitrobenzyl) sulfonas obtenidas

Solvente	Compuesto	R <sub>f</sub>	Punto de fusión (°C)
Hexano- acetato de etilo 2:1	Producto 1	0,36	170,5
	Producto 2	0,18	199,8
	Producto 3	0,46	145,7
	Producto 4	0,49	147,4
	Producto 5	0,66	153,5
	Producto 6	0,70	145,6

Los valores de R<sub>f</sub> van desde 0,18 para el producto 2 hasta 0,70 para el producto 6. Los productos 2 y 3 prove-

nientes de *o*-cloronitrobenzeno tienen valores de R<sub>f</sub> que claramente los diferencian. Lo mismo sucede con los tres productos provenientes del *m*-cloronitrobenzeno (4, 5 y 6) que presenten distintos valores de R<sub>f</sub>.

Los puntos de fusión de todos los productos de síntesis obtenidos son diferentes, lo que permite la caracterización.

En la Tabla 2 se presentan las principales bandas de absorción de los seis productos obtenidos de las reacciones de síntesis.

Todos los compuestos presentan bandas características de los grupos C=C, C-H y SO<sub>2</sub>, pero con intensidades diferentes.

**Tabla 2. Principales bandas absorción de los productos obtenidos**

Compuesto	Bandas de absorción	
<b>Producto 1</b>	1528,77 cm <sup>-1</sup>	C=C
	3051,23 cm <sup>-1</sup>	C-H
	1345,46 cm <sup>-1</sup>	-SO <sub>2</sub>
<b>Producto 2</b>	1582,45 cm <sup>-1</sup>	C=C
	3428,09 cm <sup>-1</sup>	C-H
	1312,37 cm <sup>-1</sup>	-SO <sub>2</sub>
<b>Producto 3</b>	1575,85 cm <sup>-1</sup>	C=C
	3038,95 cm <sup>-1</sup>	C-H
	1339,56 cm <sup>-1</sup>	-SO <sub>2</sub>
<b>Producto 4</b>	1575,18 cm <sup>-1</sup>	C=C
	3104,90 cm <sup>-1</sup>	C-H
	1307,02 cm <sup>-1</sup>	-SO <sub>2</sub>
<b>Producto 5</b>	1584,52 cm <sup>-1</sup>	C=C
	3012,50 cm <sup>-1</sup>	C-H
	1310,96 cm <sup>-1</sup>	-SO <sub>2</sub>
<b>Producto 6</b>	1525,29 cm <sup>-1</sup>	C=C
	3053,81 cm <sup>-1</sup>	C-H
	1351,93 cm <sup>-1</sup>	-SO <sub>2</sub>

## DISCUSIÓN

### Síntesis de clorometilfenilsulfona

La clorometilfenilsulfona es el agente nucleofílico para la reacción de sustitución nucleofílica de Vicarius, que reacciona con los electrófilos *p*-cloronitrobenzono, *o*-cloronitrobenzono y *m*-cloronitrobenzono.

El punto de fusión de los cristales de clorometilfenilsulfona fue de 50 °C, se comparó este dato con el dato de bibliografía aproximado (51–52,5 °C), lo que indica la pureza e identidad del compuesto sintetizado (SIGMA-ALDRICH, 2015).

### **Síntesis de las (cloronitrobenzil)sulfonas**

Para el producto 1, el porcentaje de rendimiento experimental (83,28 %) fue más alto que el bibliográfico (69 %), dando un error del 20,70 %. Debido a que se obtuvo un solo producto de síntesis, las pérdidas fueron mínimas y el procedimiento de la síntesis fue realizado con mayor cuidado. En cuanto al punto de fusión obtuvieron 170,5 °C, se comparó este valor con el de bibliografía (169 °C–171 °C), demostrando que el valor se encuentra dentro del rango establecido (Makosza & Golixiski, 1983).

El porcentaje de rendimiento del producto 2 fue 63,12 %, este valor se comparó con el valor bibliográfico (65 %), obteniéndose un error de 2,89 %. En el caso del producto 3, el rendimiento fue del 34,09 %, este valor se comparó con el valor bibliográfico (35 %), con un error de 2,60 %, aproximándose ambos valores al valor real de análisis. Se analizó el punto de fusión, y se obtuvo 199,8 °C para el producto 2 y 145,7 °C para el producto 3. Comparando estos valores con los valores bibliográficos, (198 °C–200 °C) y (144,5 °C – 147,5°C),

respectivamente, se observa que están dentro del rango de valores aceptados (Makosza & Golixiski, 1983).

El porcentaje de rendimiento del producto 4 fue de 63,43 %, este valor se comparó con el valor bibliográfico (70 %), con un error porcentual de 9,39 %. En el caso del producto 5, el porcentaje de rendimiento fue 23,06 %, este valor se comparó con el valor bibliográfico (25 %), se obtuvo un error de 7,76 %, finalmente para el producto 6 el porcentaje de rendimiento fue 4,36 %, este valor se comparó con el valor bibliográfico (5 %), con un error de 12,80 %, estableciendo que para las tres comparaciones, los valores experimentales son próximos a los valores bibliográficos.

En el análisis de punto de fusión, el producto 4 presentó un valor de 147,4 °C. Se comparó este valor con el valor del punto de fusión teórico (146,5 °C–148 °C), y se estableció que el valor obtenido se encuentra dentro del rango establecido. El punto de fusión del producto 5 fue de 153,5 °C. Se comparó este valor con el teórico (152 °C–154 °C) encontrando que el valor promedio obtenido está

dentro del rango esperado. En el caso del producto 6, el valor fue de 145,6 °C. Al comparar este valor con el punto de fusión teórico (144 °C – 146 °C) se determinó que el valor promedio obtenido se encuentra dentro del rango establecido. (Makosza & Golixiski, 1983).

Los valores de punto de fusión obtenidos para los seis productos sintetizados, permiten la caracterización de los compuestos. Todos los puntos de fusión son distintos entre sí, y los valores obtenidos experimentalmente son cercanos a los rangos de referencia, lo cual indica que se obtuvieron los productos esperados y con alta pureza.

La diferencia del porcentaje de rendimiento de los productos se debe al fenómeno conocido como impedimento estérico, que se produce cuando el volumen ocupado por parte de una molécula impide que otra parte de la misma reaccione. Por ejemplo, en la síntesis de (cloronitro-bencil)sulfonas derivadas del *m*-cloronitrobenzenceno, en el caso del producto 6, este fenómeno se observa notablemente, debido a que el sustituyente metilfenilsulfona se en-

cuentra entre dos sustituyentes, el cloro y el nitro, provocando una disminución de la reactividad en la reacción, lo cual conduce a un bajo rendimiento de la reacción. En el caso del producto 5, el sustituyente metilfenilsulfona se encuentra en posición orto con respecto al grupo nitro, y alejado del átomo de cloro, proporcionando un mejor porcentaje de rendimiento. El rendimiento más alto es el del producto 4, en este compuesto el sustituyente metilfenilsulfona se encuentra en posición *para* con respecto al grupo nitro, y cerca del átomo de cloro, es de esa manera que la disponibilidad de los sustituyentes, del producto 4, en el anillo bencénico permiten un aumento en el rendimiento de la reacción (Klages, 1969).

Los valores de R<sub>f</sub> obtenidos del análisis por TLC, permite identificar, de manera inequívoca a los seis productos de síntesis. Los distintos valores de R<sub>f</sub> dan cuenta de las diferentes interacciones entre los productos de síntesis y el solvente utilizado. Así, el producto 2 es el que tiene menor afinidad con el solvente, por lo que se queda retenido en la placa cromatográfica, resultando en un valor bajo

de Rf. En cambio el producto 6 presenta una alta afinidad con el solvente, esto hace que se mueva con facilidad a través de la placa cromatográfica, dando lugar a un valor alto de Rf.

En los espectros IR, los picos característicos se encuentran en un mismo rango de frecuencia ( $2000\text{ cm}^{-1}$  a  $520\text{ cm}^{-1}$ ), pero la intensidad de los picos varía, de un espectro a otro.

En la Tabla 2, se observan las principales bandas de absorción de los isó-

meros estudiados, los grupos funcionales analizados fueron: C=C, C-H (en los anillos aromáticos) y  $-\text{SO}_2$  (grupo sulfona). Los rangos de frecuencia de cada grupo funcional analizado son: C=C ( $1500\text{ cm}^{-1}$ - $1600\text{ cm}^{-1}$ ), C-H ( $3010\text{ cm}^{-1}$ - $3100\text{ cm}^{-1}$ ) y  $-\text{SO}_2$  ( $\sim 1300\text{ cm}^{-1}$  y  $\sim 1150\text{ cm}^{-1}$ ) (Skoog, 2008), al comparar estos rangos con las frecuencias vibracionales de la Tabla 2, se determinó que los valores obtenidos se encuentran dentro del rango establecido.

## CONCLUSIONES

Por medio del análisis por TLC se lograron identificar los productos de síntesis de (cloronitrobenzil)sulfonas. La determinación de los puntos de fusión y el uso de la técnica de espectroscopía infrarroja con transformadas de Fourier, permitieron caracterizar los derivados de los cloronitrobenzenos con clorometilfenilsulfona, estos compuestos son isómeros estructurales. Los picos característicos del IR se encuentran en un mismo rango de frecuencia ( $2000\text{ cm}^{-1}$  a  $520\text{ cm}^{-1}$ ), pero la intensidad

de los picos varió de un espectro a otro. Se obtuvieron los porcentajes de rendimiento de los seis productos sintetizados, los cuales fueron: 83,28 %; 63,12 %; 34,09 %; 63,43 %; 23,06 %; 4,36 %; para la reacción de los cloronitrobenzenos (en las posiciones para, orto y meta) con clorometilfenilsulfona, respectivamente.

El compuesto (2-nitro-5-clorobencil)fenilsulfona (producto 1) fue el producto con mayor porcentaje de rendimiento.

Bajo condiciones de laboratorio de docencia, fue posible adaptar el método de síntesis y obtener resultados reproducibles y productos de alta pu-

reza, lo cual fue comprobado por los valores de punto de fusión y espectros IR.

## BIBLIOGRAFÍA

- INSHT. (2005). Fichas Internacionales de Seguridad Química: 1-COLORO-2-NITROBENCENO, <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/0a100/nspn0028.pdf>, 15 de enero del 2016.
- INSHT. (2007). Fichas Internacionales de Seguridad Química: 1-COLORO-3-NITROBENCENO, <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/1605a1678/1633.pdf>, 17 de enero del 2016.
- INSHT. (2007). Fichas Internacionales de Seguridad Química: 1-COLORO-4-NITROBENCENO, <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/801a900/nspn0846.pdf>, 17 de enero del 2016.
- Klages, F. (1969). *Tratado de química orgánica*, 2ª edición, Editorial Reverté, Barcelona.
- Makosza, M. & Golixiski, J. (1983). Vicarious Nucleophilic Substitution of Hydrogen in Nitroarenes with Carbanions of Haloalkyl Phenyl Sulfones, *Journal of Organic Chemistry*, 49, 1488-1494.
- Makosza, M. & Wojciechowski, K. (1986). Vicarious Nucleophilic Substitution of Hydrogen, *Journal of Organic Chemistry*, 20, 282-289.
- Makosza, M. (2014). Reactions of Nucleophiles with Nitroarenes: Multifacial and Versatile Electrophiles, *Chemistry A European Journal Concept*, 20, 5536–5545.
- Okwakol, J. & Grivas, S. (2011). Synthesis of thienoindoles via the Vicarious Nucleophilic Substitution of nitrobenzo[b]thiopenes, *Heterocyclic Communications*, 12, 173-178.
- SIGMA-ALDRICH. (2015). Chloromethylphenylsulfone, <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/324604?lang=en&region=EC>, 17 de enero del 2016.
- Skoog, D. (2008). *Principios de análisis instrumental*, Edamsa Impresiones, México D.F. México : [s.n]