VOLUMEN 48
XXXI Verano De la Ciencia
ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

Derivados de anilina orto sustituidas: estudio sobre sus propiedades fotoluminiscentes y aplicación potencial en inhibición bacteriana

Orto substituted aniline derivatives: study on their photoluminiscent properties and potential application in bacterial inhibition

Celeste Guadalupe Escobar Páramo[1], Oracio Serrano Torres[1], Fernando Santos Escobar[1], J. Félix Gutiérrez Corona[1]
[1] Departamento de Biología Experimental, Universidad de Guanajuato, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato.
cg.escobarparamo@ugto.mx, macro_15@hotmail.com, felixg@ugto.mx

Resumen

Las anilinas sustituidas constituyen una familia de compuestos de interés debido a la versatilidad de su grupo amino aromático y a la influencia que ejercen los sustituyentes sobre sus propiedades estructurales, electrónicas y electroquímicas. En el presente trabajo se llevó a cabo la síntesis y caracterización de nuevos derivados de anilina, presentando extensión de la conjugación π, con sistemas aromáticos extendidos o dobles enlaces de olefinas, con el propósito de analizar sus propiedades fotoluminiscentes y su comportamiento electroquímico mediante voltamperometría cíclica. La estructura de las anilinas se basa en el análisis de RMN de 1 y 2D. En tanto, la caracterización electroquímica mediante voltamperometría cíclica nos permitió evaluar los procesos de oxidación y reducción. Por otro lado, las propiedades de luminiscencia fueron analizadas de manera cualitativa, dada su poca propiedad de emisión. Adicionalmente, se exploró su potencial aplicación como inhibidores del crecimiento bacteriano, considerando la importancia del desarrollo de nuevos compuestos con propiedades biológicas y funcionales. Los resultados obtenidos contribuyen al estudio de la relación estructura-propiedad en derivados de anilina y resaltan su potencial aplicación en áreas de la química medicinal, la electroquímica y el desarrollo de materiales funcionales.

Palabras clave: Anilinas sustituidas, Fotoluminiscencia; Voltamperometría cíclica; Propiedad redox; Actividad antibacteriana; Relación estructura-propiedad.

Introducción

Las anilinas sustituidas son precursores importantes precursores en la ruta de síntesis de estructuras líneales y heterocíclicas, ya que la posición y naturaleza de los sustituyentes pueden modificar su reactividad y dirigir diferentes procesos. Asimismo, el grupo amino de las anilinas puede condensarse con aldehídos y cetonas para formar iminas o bases de Schiff. En estos compuestos, la modificación del anillo aromático puede alterar la densidad electrónica del nitrógeno, afectando la reactividad, estabilidad y propiedades del producto obtenido. Además, las bases de Schiff derivadas de anilina también han sido estudiadas por sus aplicaciones en química de coordinación, catálisis y por su potencial actividad biológica (Pervaiz *et al*., 2024).

Por otro lado, la presencia del grupo amino aromático también resulta relevante en química medicinal, debido a que puede contribuir a modificar las propiedades electrónicas y fisicoquímicas de una molécula, permitiéndole participar en interacciones intermoleculares, como los enlaces de hidrógeno, que pueden influir en la interacción de un compuesto con su entorno biológico. Por esta razón, diversos derivados de anilina forman parte de estructuras de interés farmacológico. Un ejemplo común es el paracetamol, cuya estructura contiene un grupo fenólico y un grupo amino derivado del *p*-aminofenol. Sin embargo, la actividad farmacológica no depende exclusivamente de la presencia del grupo anilina, sino de la estructura completa de la molécula, su naturaleza y la posición de sus sustituyentes, los cuales pueden modificar sus propiedades y comportamiento biológico (Anjalin *et al*., 2020).

Además, la anilina constituye el monómero precursor de la polianilina (PANI), un polímero conductor de interés debido a su sistema π conjugado y a la posibilidad de presentar diferentes estados de oxidación y

propiedades electroquímicas. Así, la oxidación del monómero de anilina puede iniciar procesos de acoplamiento y crecimiento de la cadena polimérica, mientras que el estado de oxidación y el dopaje del material influyen en su conductividad. En este sentido, la química de oxidación de la unidad anilínica resulta fundamental para las propiedades de la PANI, relacionando directamente la estructura del monómero con la formación de materiales electroactivos (Shawky *et al*., 2025). En este contexto, la técnica de voltamperometría cíclica (VC) constituye una herramienta útil para estudiar el comportamiento electroquímico de las anilinas y sus derivados, ya que permite identificar procesos de Redox, permitiendo evaluar la influencia de las modificaciones estructurales sobre el comportamiento de dichas moléculas.

Por otro lado, las reacciones de acoplamiento C–C son de vital importancia en síntesis orgánica. Entre ellas, el acoplamiento de Suzuki–Miyaura destaca por su capacidad para unir dos fragmentos orgánicos mediante un ciclo catalítico mediado por paladio. En la primera etapa, el catalizador de Pd(0) se incorpora al sustrato orgánico mediante una adición oxidante. Posteriormente, el segundo fragmento orgánico es transferido al centro metálico durante la transmetalación. Finalmente, ambos grupos orgánicos se unen mediante una eliminación reductora, generando el nuevo enlace C–C y regenerando el catalizador de Pd(0). De esta manera, las tres etapas principales del ciclo catalítico corresponden a la adición oxidante, la transmetalación y la eliminación reductora (Figura 1).

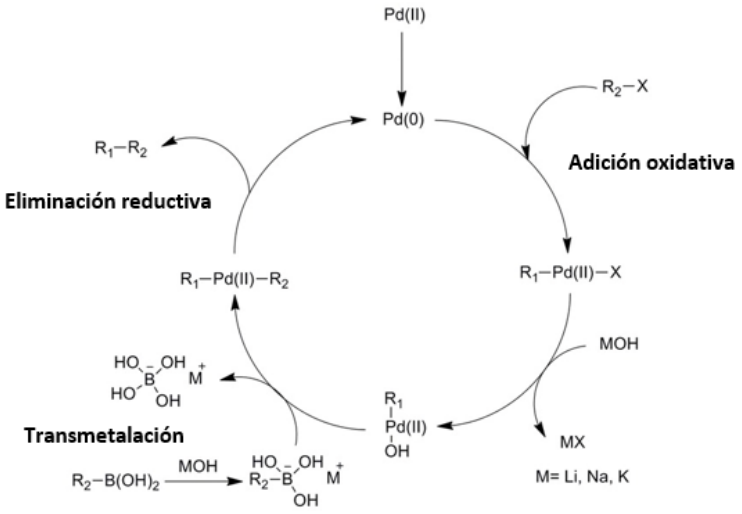


Figura 1. Ciclo catalítico de la reacción de Suzuki–Miyaura. Adaptado de Steeples (2016).

Teniendo en mente lo anterior, el presente proyecto de Verano de la Ciencia de la UG se enmarca en las líneas de investigación del grupo del Dr. Gutiérrez Corona, en colaboración con el grupo del Dr. Serrno Torres, teniendo por objetivo sintetizar y caracterizar nuevos derivados de anilina, con extensión de la conjugación π, a través de las reacciones de acoplamiento C-C mediante las condiciones de Suzuki-Miyuara y Mizoroki-Heck. Una vez obtenidos los compuestos, se realizó su caracterización inequívoca mediante experimentos de RMN de 1 y 2D. Además, se realizó su análisis de comportamiento Redox. De manera inesperada, las nuevas anilinas presentan poca emisión de fluorescencia, limitando su estudio con dichas condiciones. Finalmente, se recogen los resultados de sus estudios de inhibición celular de bacterias gram-positivas y negativas.

Sección experimental

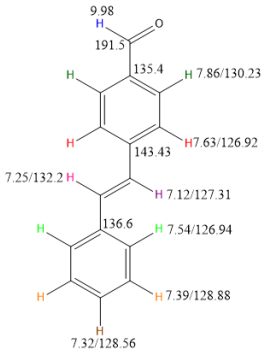
Metodología general para las reacciones de acoplamiento C-C. Se realizó la síntesis de diversos compuestos derivados de bromo-anilina, mediante las reacciones de acoplamiento RSM y RMH, respectivamente. Todas las reacciones se llevaron mediante la técnica Schlenk, bajo atmósfera de nitrógeno, empleando una mezcla de solventes de reacción de DMF/H_2O en relación 3:1, el complejo de $PdCl_2(PPh_3)$

VOLUMEN 48
XXXI Verano De la Ciencia
ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

como catalizador, además, se utilizó K_2CO_3 como base y calentamiento a 120 °C durante 24 h, con agitación constante. Al finalizar el tiempo de la reacción, las reacciones se dejaban enfriar a temperatura ambiente observando su fluorescencia por luz UV y posteriormente se les trataba dependiendo las características del producto obtenido, las técnicas empleadas variaron entre, extracción, lavados, recristalización o bien filtración por columna. Una fracción de los productos sintetizados fueron caracterizados por RMN con experimentos de: ^{1}H, ^{13}C, APT, COSY, HSQC y HMBC, utilizando $CDCl_3$ como disolvente. Una vez caracterizados nuestros compuestos se realizó el estudio electroquímico de los productos preparando un medio de CH_3CN, H_2SO_4 y H2O, utilizando grafito como electrodo de trabajo, este se llevó a cabo en condiciones atmosféricas evaluando así el comportamiento de oxido-reducción de los productos.

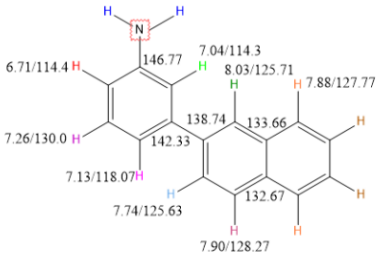
Procedimiento general para la síntesis de compuestos de tipo Br-anilina. Se añadió el precursore de bromo-anilina (1mmol) en posición *meta*-, reaccionando respectivamente con 3 diferentes precursores: **ácido borónico de naftilo, ácido borónico nitrofenil y estireno** con una relación molar de 1.5 equivalentes, en una ampolla J. Young de vidrio con válvula de cierre a alto vacío. Realizando el procedimiento general mencionado anteriormente. A continuación, se describe la estructura molecular de cada compuesto obtenido experimentalmente con sus respectivos datos de RMN.

Compuesto 4-estilbenocarboxaldehído, (VUG26-01).



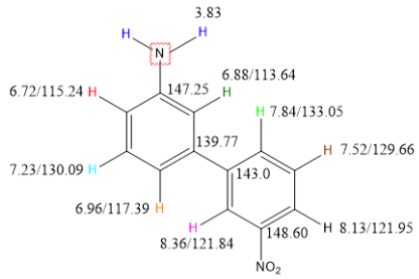
Datos selectos de caracterización. La síntesis siguió el procedimiento general descrito. De acuerdo con esto, se hizo reaccionar **4-bromoaldehído** (200 mg, 1 mmol) reaccionó con **estireno** (168 mg, 1.5 mmol), obteniendo precipitado color amarillo grisáceo. H^1: 9.98 (s,1H); 7.8 (d, 2H, $^{3}J_{HH}$= 8.2 Hz); 7.63 (d, 2H, $^{3}J_{HH}$= 8.2 Hz); 7.54 (d 2H, $^{3}J_{HH}$= 7.2); 7.39 (t, 2 H, $^{3}J_{HH}$= 7.7 Hz); 7.32 (t, 1H, $^{3}J_{HH}$= 7.4 Hz); 7.25 (d, 1H, $^{3}J_{HH}$= 16.2 Hz); 7.12 (d, 1H, $^{3}J_{HH}$= 16.2 Hz). $^{13}C\{^{1}H\}$: 191.59; 132.18; 130.22; 128.85; 128.53; 143.43; 136.60; 135.35; 127.32; 126.94; 126.92.

Compuesto 3-fenilnaftalen-1-amina, (VUG-02).



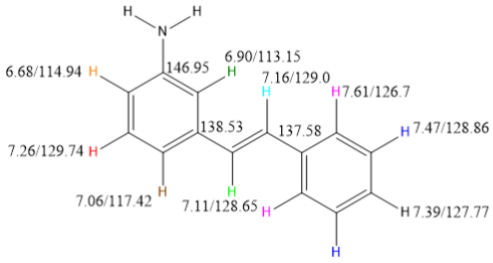
Datos selectos de caracterización: Precipitado café grisáceo. RMN de **^{1}H ($CDCl_3$)** : 7.04 (s, 1H); 8.03 (s, 1H); 7.88 (d, 1H); 7.90 (d, 1H); 7.74 (d, 1H); 7.13 (d, 1H); 7.16 (t, 1H); 6.71 (d, 1H). **$^{13}C\{^{1}H\}$:** 114.3; 125.71; 127.78; 133.66 (Cq); 132.67 (Cq); 128.27; 125.63; 138.74 (Cq); 142.33 (Cq); 146.77 (Cq); 118.0; 130.0; 114.4.

Compuesto 3-amino-3´-nitrobifenilo, (VUG-07).



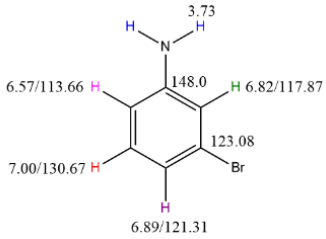
Datos selectos de caracterización: Producto oleoso café oscuro. RMN de **^{1}H (CDCl$_3$)** : 8.36 (s,1H); 8.13 (d, 1H, $^{3}J_{HH}$=8.0 Hz); 7.84 (d, 1H); 7.52 (t, 1H); 7.23 (t, 1H); 6.96 (d, 1H); 6.88 (s, 1H); 6.72 (d, 1H); 3.83 (s.a.; 2H, NH2). **APT vs ^{13}C {^{1}H} Cq's:** 148.60, 147.25; 143.07; 139.77. **CH's**: 133.64; 130.09; 129.66; 121.95; 121.84; 117.39; 115.24; 133.05.

Compuesto 3-aminoestilbeno, (VUG26-08).



Datos selectos de caracterización: Precipitado café oscuro. RMN de **^{1}H (CDCl$_3$)**: 6.90 (s, 1H); 7.16(d, 1H); 7.61 (d, 2H); 7.47 (t, 2H); 7.39 (t, 1H); 7.11 (d,1H); 7.06 (d,1H); 7.26 (t,1H); 6.68 (d,1H). **^{13}C{^{1}H}:** 146.95 (Cq); 113.15; 138.53 (Cq); 129.0; 137.58 (Cq); 126.7; 127.77; 128.86; 128.65; 117.42; 129.74; 114.94.

Compuesto 3-Br Anilina, (VUG26-08).



Datos selectos de caracterización del meta-derivado. Precipitado café. RMN de ^{1}H: 3.73 (sa, NH_2); 6.82 (s,1H); 6.89 (d, 1H); 7.00 (t, 1H); 6.57 (d, 1H) ^{13}C{^{1}H}:148.0(Cq); 117.87; 123.08 (Cq); 121.31; 130.67; 113.66.

Evaluación de la actividad antimicrobiana. Para determinar el efecto antimicrobiano de los compuestos derivados de anilinas sustituidos en posición *meta*-, fueron evaluadas en dos cepas bacterianas de referencia, *Escherichia coli* MG1655 y *Bacillus cereus* ATCC14574 mediante el método de difusión en disco de acuerdo con lo descrito por el Instituto de Normas Clínicas y de Laboratorio (por sus siglas en inglés, CLSI;1). Brevemente, las cepas bacterianas de referencia fueron crecidas en medio Luria-Bertani a 37°C/250 rpm durante toda la noche. Posteriormente, los cultivos bacterianos fueron crecidos hasta la fase logarítmica de crecimiento (aprox, a una D.O.600 de 0.5-0.6) y fue ajustada la suspensión celular a un estándar de turbidez de 0,5 McFarland para lograr una turbidez equivalente de 1 a 2 x 10^8 UFC/mL. A continuación, 200 µL del cultivo ajustado a 0.5 McFarland fue inoculado en una placa de agar Mueller Hinton (MH) con la ayuda de un hisopo estéril. Después, se colocaron discos de papel Whatman No. 1 (aprox. de 7 mm de diámetro) conteniendo 10 mM de los compuestos sintetizados a evaluar. Las placas fueron incubadas por 16 a 18 horas a 37 °C. Los experimentos fueron realizados por triplicado, tomando como referencia un control positivo (nifuroxacida; 10 mM). Después de la incubación, fue medido el diámetro de la zona de inhibición que rodea a cada disco descritos por el Comité Europeo de Pruebas de Susceptibilidad a los Antimicrobianos (por sus siglas en inglés, EUCAST; 2).

Resultados y discusión

Obtención de los derivados de aldehído con extensión de la conjugación π

Nuestro primer paso fue dirigido a obtener el derivado **VUG26-01**, a través de la reacción MH, el cual contiene el grupo aldehído como modelo de reacción, que nos permitiese proceder con los derivados de anilina (Figura 2a, línea roja). El análisis del crudo de reacción mediante el espectro de RMN de ^{1}H permite sugerir la formación del producto deseado. Esto es, en la región de los protones aromáticos podemos observar doce protones. La asignación inequívoca se realiza a través del análisis de la espectroscopía completa de experimentos de 1 y 2D.

Motivados por el buen resultado decidimos probar las condiciones de S-M que nos permitiesen obtener el derivado de naftilo VUG26-23 (Figura 2d, línea azul). Para nuestro deleite el análisis del espectro de RMN de ^{1}H del crudo de la reacción pone de manifiesto la formación del producto deseado, esto es, se observaban 9 señales no equivalentes de protones aromáticos que integran para los 11 protones esperados, además de observar la señal del aldehído a 10.09 ppm. De manera interesante, al introducir el grupo naftilo comparando con el fragmento de estilbeno, podemos observar una desprotección de las señales de los protones del fragmento aromático y el aldehído. En particular, la señal del protón *meta*- en el fragmento del aldehído sufre el cambio de 0.23 ppm.

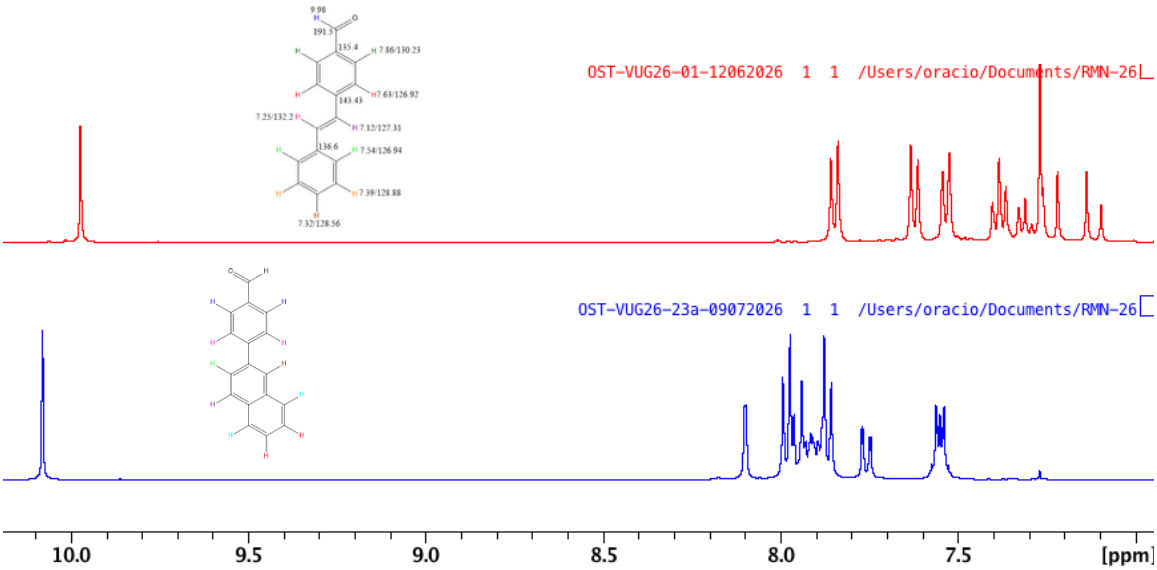


*Figura 2. Comparativo de los espectros de RMN de ^{1}H de los compuestos **VUG26-01** y **VUG26-23**.*

Conviene mencionar que dichos aldehídos nos permitirán utilizarlos como materias de partida de compuestos tipo base de Schiff.

3.2 Síntesis y caracterización de los derivados de anilina sustituidos en posición *meta*-. Nuestro primer objetivo fue encaminado a obtener el derivado de naftilo, a través de la reacción de S-M con **VUG26-02** como se muestra en la estructura de la figura 3, línea de color azul. El análisis del crudo de reacción sugiere la formación del producto deseado en forma mayoritaria. Esto es en la región de los protones aromáticos se pueden observar ocho señales no equivalentes que integran para once protones esperados. Además, al comparar con el espectro de protón del material de partida, la *meta*-Br-Anilina (**Br-Ani**), confirma su consumo al término de la reacción (Figura 3, línea roja). De manera interesante podemos observar que los protones correspondientes al grupo -NH_2 (sa., observado a 3.73 ppm) en el producto, sufren un ensanchamiento con respecto al material de partida

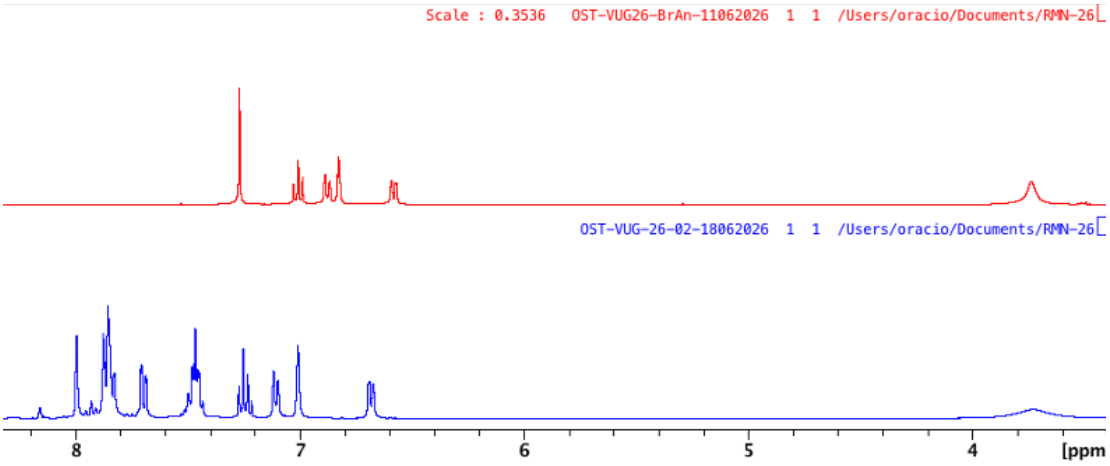


*Figura 3. Comparativo de los espectros de RMN de ^{1}H de la **Br-Ani** y el compuesto **VUG26-02.***

Digno de mencionar una vez llevado a cabo el acoplamiento podemos observar que la extensión de la conjugación π, comparada con la naturaleza del átomo del Br, conduce a un cambio marcado en la señal de su correspondiente Csp_2. Esto es en el material de partida se observa a 123.08 ppm, en tanto en el producto aparece a 142.3 ppm, conduciendo a un Δ de 19 ppm.

Dado el éxito obtenido en la reacción de S-M, nos enfocamos en obtener el derivado de la anilina conteniendo el grupo estilbeno a través de la reacción M-H, **VUG26-08**. Así, el análisis del crudo de reacción pone de manifiesto la formación del producto deseado en forma mayoritaria. Debe mencionarse que la naturaleza de la molécula conduce de manera inesperada a un solapamiento de las señales de los protones asignados al fragmento de la olefina que presentan un desplazamiento químico de 7.16 y 7.11 ppm.

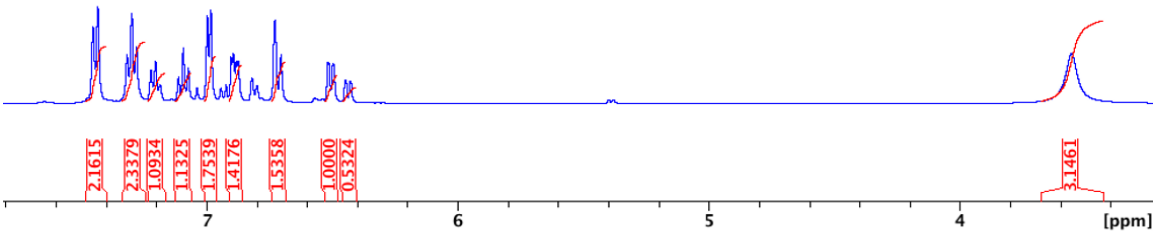


*Figura 4. Espectro de RMN de ^{1}H del compuesto **VUG26-08.***

Al comparar los valores de los desplazamientos químicos observados en el producto VUG26-08 y la Br-Ani, con valores de 138.53 y 123.08 ppm con un delta de 15 ppm, evidencia que la extensión de la conjugación del fragmento del naftilo observado en VUG26-02, tiene un mayor efecto des protector comparado con el grupo de estilbeno y el átomo de Br.

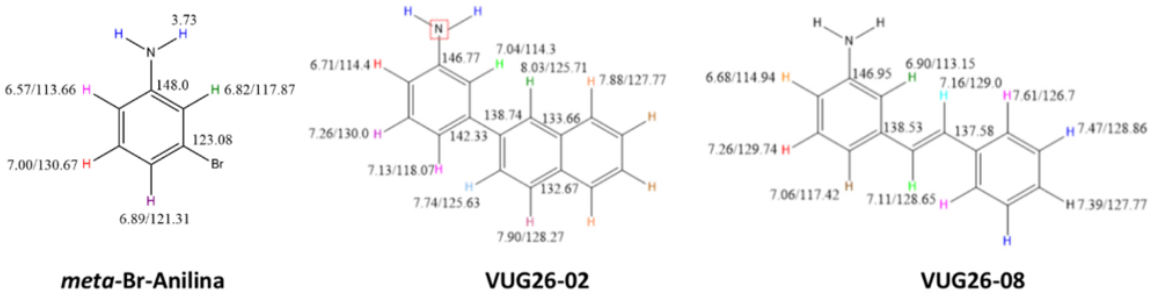


*Figura 5. Estructuras de los compuestos **Br-Ani, VUG26-02** y **08** con sus asignaciones de los datos de RMN ^{1}H y ^{13}C, asignados de manera inequívoca mediante experimentos 1 y 2D.*

En este punto decidimos introducir un grupo desactivador en la estructura final de nuestra molécula de interés, de tal manera que sintetizamos el producto VUG26-07, a través de la reacción del correspondiente ácido borónico nitrado y la Br-Ani, en condiciones de S-M. El análisis del crudo de la reacción, en analogía a los resultados observados en los experimentos anteriores, pone de manifiesto la formación de un producto mayoritario. De manera particular las señales de los protones aromáticos se pueden dividir en dos regiones, esto es: i) a campo alto el fragmento del anillo de nitrobenceno, con señales desde 8.36 a 7.52 ppm y ii) el fragmento del anillo de la anilina en el rango de 7.23 a 6.72 ppm.

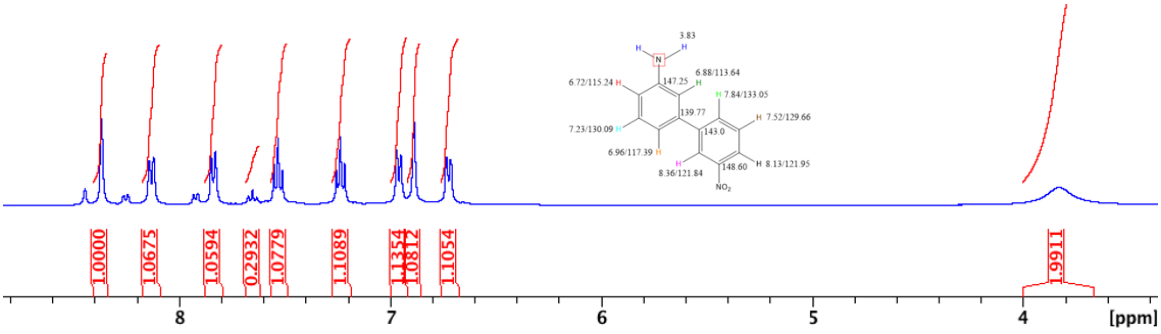


*Figura 6. Espectro de RMN ^{1}H del compuesto **VUG26-07.***

Por otro lado, al comparar los datos obtenidos para el espectro de 13C {1H} permiten deducir que la señal de carbono en meta- del fragmento de anilina presenta un valor de 139.7 ppm, análogo al encontrado en el derivado de estilbeno, evidenciando que el grupo naftilo es el que causa una mayor desprotección.

3. 3 Estudios preliminares para la obtención de las bases de Schiff súper conjugada π. Dado el éxito obtenido en nuestras reacciones de acoplamiento tanto para la obtención de lo compuestos de tipo aldehído y anilina, evidenciado por el análisis de los crudos de reacción, nuestro siguiente objetivo fue preparar dos derivados de base de Schiff a través de la reacción de condensación de reacciones independientes sin purificación previa. De manera esperada, el análisis del crudo de la reacción VUG26-21, demuestra la formación del producto deseado en forma mayoritaria (Figura 7, línea azul). A manera comparativa podemos observar el consumo de la señal del aldehído del material de partida (señal a 9.97 ppm, figura 7, línea roja). Además, podemos observar una señal como singulete a 8.52 ppm, que es asignada a la base de Schiff encontrándose, en el rango esperado para dicho grupo funcional.

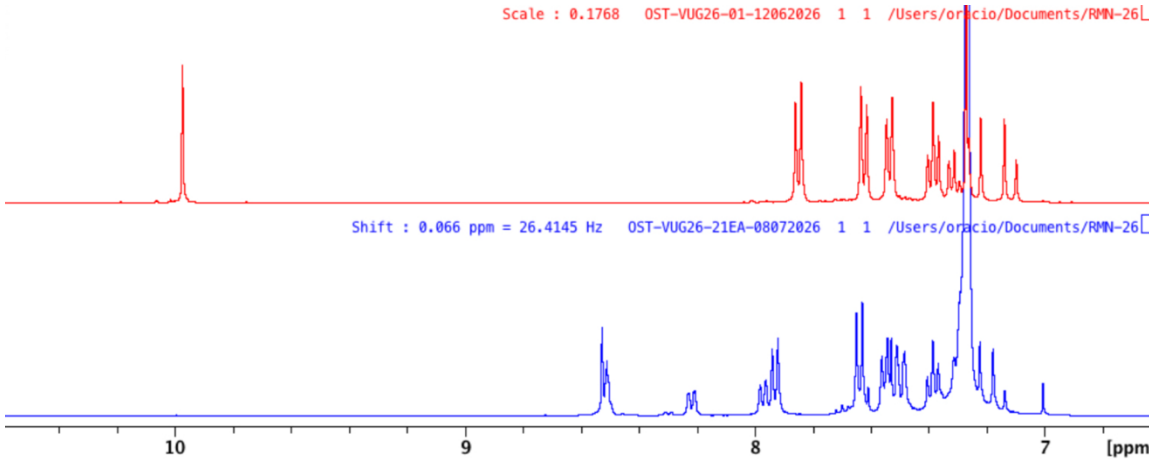


*Figura 7. Comparativo de los espectros de RMN de ^{1}H del aldehído **VUG26-01** y la base de Schiff **VUG26-21.***

Conviene mencionar que la caracterización inequívoca de la molécula quedo pendiente de realizarse por razones ajenas a nuestro alcance. Además, resulta de interés intentar realizar la reacción de reducción que permita transformar la base de Schiff en una amina secundaria, quedando como una perspectiva para una etapa futura (Figura 8a). Resultados alentadores han sido encontrados para la base análoga derivada de la reacción **VUG26-25**, de manera que lograríamos "invertir" la naturaleza de los sustituyentes de la súper extensión de la conjugación pi y el efecto en las propiedades de la amina final (Figura 8b).

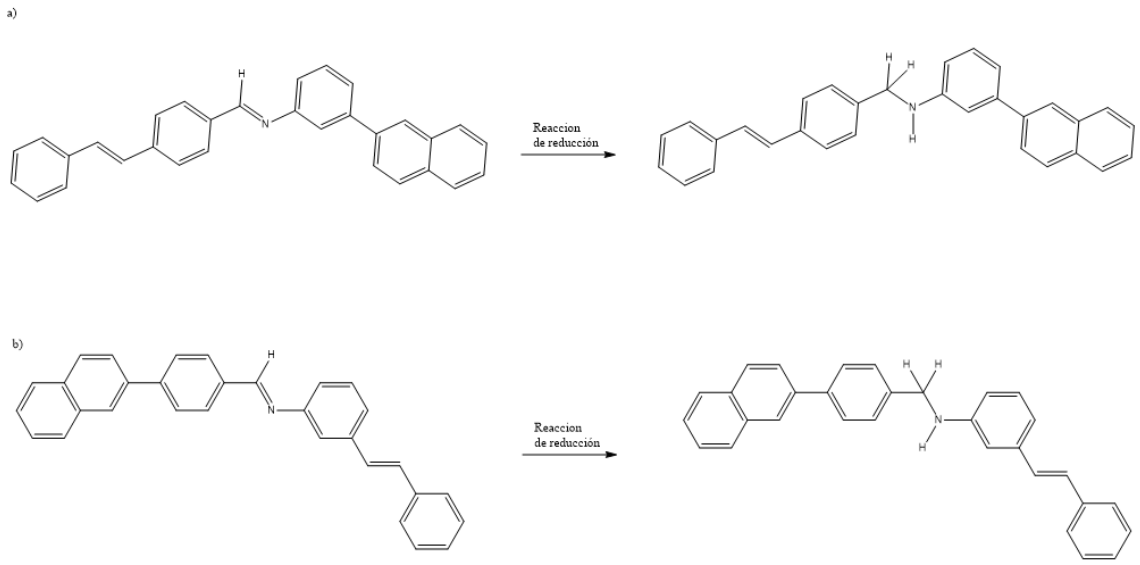


Figura 8. Estructura de las bases de Schiff con súper extensión de la conjugación π, sus productos de reducción.

3.4 Estudio de la respuesta electroquímica de las anilinas *meta*- sustituidas. Como se mencionó en párrafos anteriores parte de nuestras investigaciones se han dirigido a comprender el efecto de lo sustituyentes y las condiciones del medio de la reacción, sobre la respuesta electroquímica de compuestos de anilina, derivados de nitrobenceno y tiofeno. De manera que nuestro siguiente objetivo fue estudiar el comportamiento electroquímico de nuestras anilinas **VUG26-02**, **07** y **08**. En la figura 8, se recogen los resultados de los experimentos de voltamperometría cíclica donde podemos observar, una repuesta para todas las moléculas, esto es, se observa un pico de 0.496 V y un pico de reducción entre 0.5 y 0.32 V. Sin embargo, la intensidad de corriente se mantiene con los mismos valores sugiriendo que la formación de posibles polímeros u oligómeros es nula comparado con nuestros resultados obtenidos en la polimerización

ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

de anilina (Sevillano-2024). Sin embargo, el derivado de **VUG26-07**, el cual posee el grupo NO_2 en su estructura presenta la señal de reducción característica, en analogía a lo observado en nuestros análisis previos, de manera puntual con un valor de -0.625 V. En este punto tendríamos la opción de buscar condiciones alternas que permitan obtener los polímeros conductores, quedando como una perspectiva de trabajo.

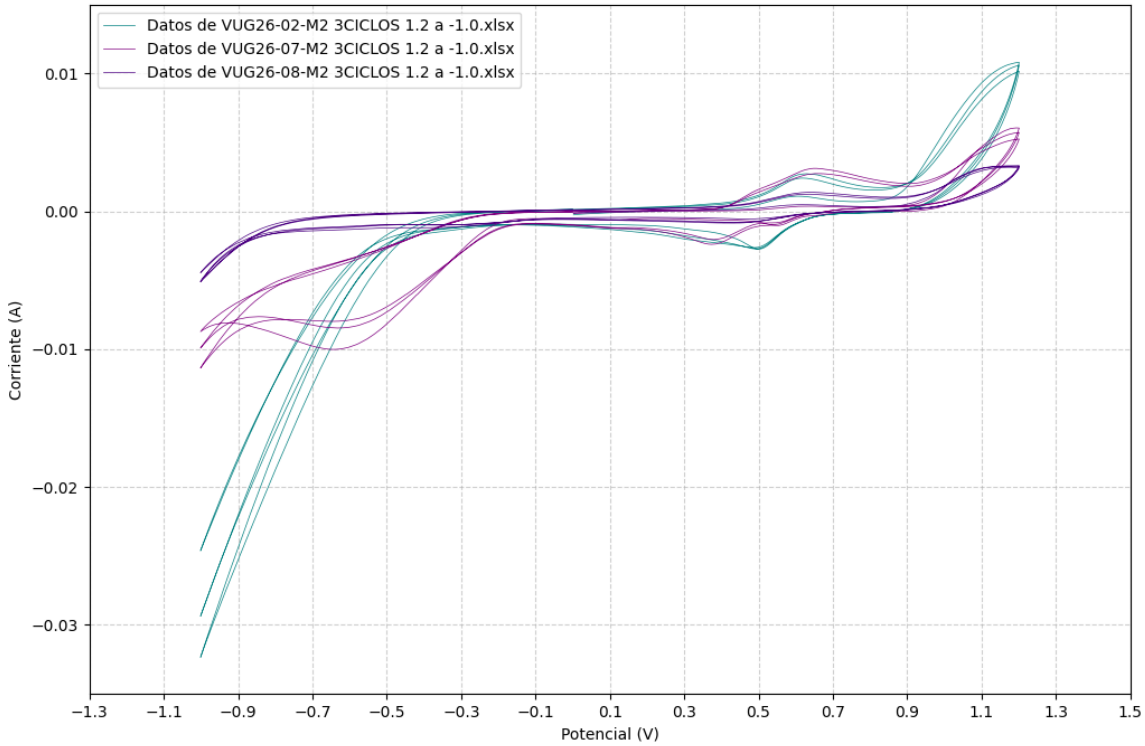


*Figura 9. Compendio de las voltamperogramas de los compuestos **VUG26-02, 07 y 08**. Empleando alambre de platino como electrodo de trabajo y contraelectrodo; además de electrodo de Ag/AgCl como electrodo de referencia.*

3.5 Evaluación cualitativa de las propiedades fotoluminiscentes. Dado el objetivo inicial del presente proyecto de verano nuestro siguiente objetivo fue estudiar de manera cualitativa las propiedades fotoluminiscentes de nuestros derivados de anilina bajo irradiación de UV con una longitud de 366 nm. Conviene mencionar que de manera desafortunada el acceso al equipo del fluorómetro no se pudo realizar por razones ajenas a nuestros planes. Así, a simple vista, se observó emisión de fluorescencia para los compuestos **VUG26-02** y **VUG26-08** (Figura 10). En tanto, el compuesto **VUG26-07** carece de la propiedad de emisión de fluorescencia, lo anterior puede encontrar una explicación en la naturaleza desactivadora del grupo NO_2, buen acuerdo con lo observado para derivados análogos con el fragmento de nitrobenceno. Por todo lo anterior, podemos reiterar que la diferencia observada en nuestras moléculas está relacionada con la estructura electrónica y el grado de conjugación de cada una de ellas, dichos factores influyen en la absorción y emisión de la radiación electromagnética. Finalmente, la falta de disponibilidad del equipo fluorómetro fue nuestra mayor limitante para determinar cuantitativamente las longitudes de onda de excitación y emisión, así como su intensidad, quedando como una perspectiva de trabajo a realizar a la brevedad.

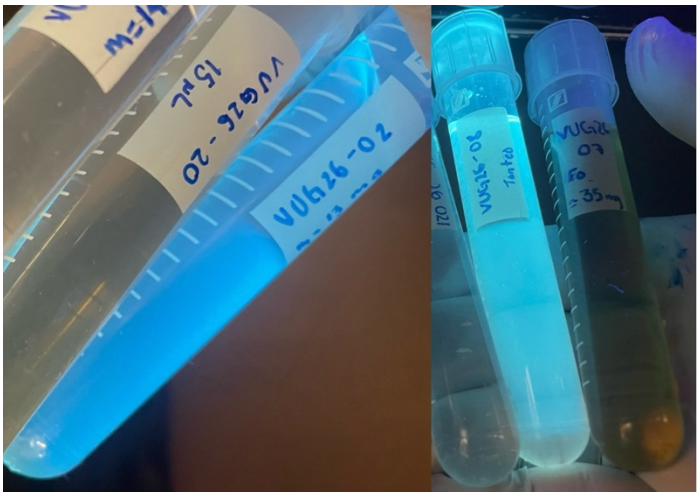


*Figura 10. Imágenes de las muestras **VUG26-02, 07** y **08** en soluciones de DMSO con una concentración de 10 mM, bajo UV a 366 nm.*

3.6 Estudio de potencial de inhibición de crecimiento bacteriano. Una vez obtenidos nuestros compuestos de anilina nuestro siguiente objetivo fue realizar los estudios para su posible aplicación como inhibidores de crecimiento celular en bacterias Gram positivas (*B. cereus* ATCC 141579) y negativas (*E. coli* MG1655) respectivamente. Así, se prepararon soluciones de 10 mM en DMSO, del cual se tomaron 10 µL y se depositaron en el papel filtro. Además, como controles se utilizaron el tetracloruro de platino, el DMSO y el medicamento Akabar (nifuroxazida), con las mismas concentraciones. Después de incubar 24 horas el análisis de las placas permite observar que el único compuesto que inhibe el crecimiento es el medicamento, con un halo de inhibición de 14 mm. De manera inesperada, incluso el control con la solución de platino (DMSO/agua) carece de efecto de inhibición. Las imágenes de los cultivos bacterianos de las cajas Petri se muestran en la figura 11.

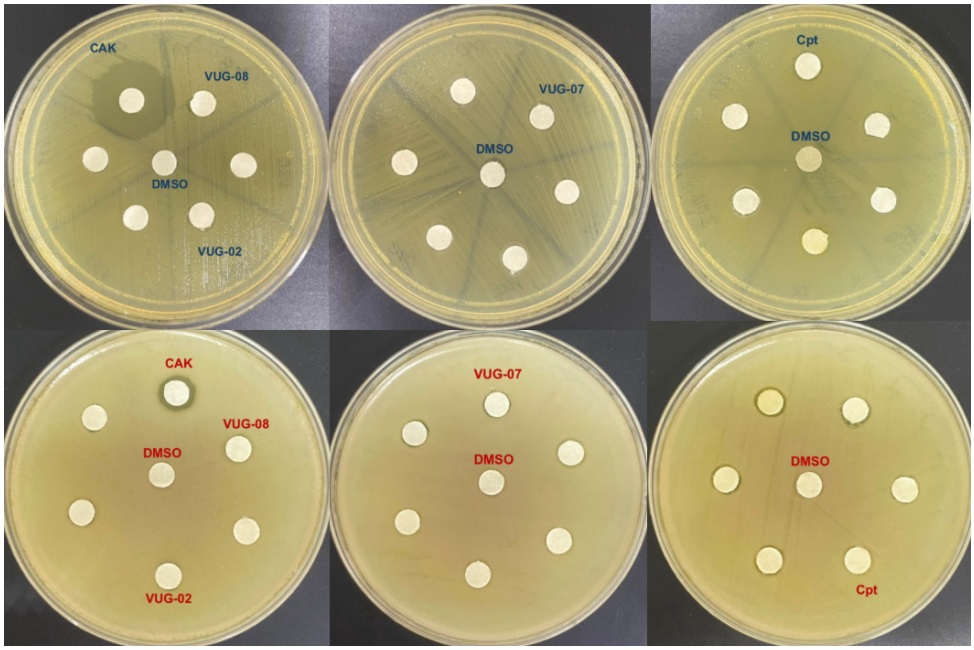


Figura 11. Imágenes de los cultivos bacterianos de las líneas B. cereus ATCC 141579 y E. coli MG1655.

Conclusión

La presente contribución de este verano de investigación es la obtención y caracterización de anilinas sustituidas en posición *meta-*. Los resultados preliminares para la obtención de compuestos base de Schiff con súper extensión de la conjugación pi sin purificación previa resultan prometedores dada la evidencia obtenida mediante el análisis del crudo de reacción por RMN. De manera inesperada, mediante los experimentos de VC podemos observar que nuestras anilinas poseen comportamiento redox, sin conducir a la formación de polímeros u oligómeros conductores. Además, se logró observar que nuestros derivados de anilinas poseen la propiedad de fluorescencia con una emisión a color azul, después de ser excitados a 366 nm, quedando pendiente el análisis cuantitativo mediante el uso del fluorómetro. Además, se logró observar que nuestros derivados de anilinas poseen la propiedad de fluorescencia con una emisión a color azul, después de ser excitados a 366 nm, quedando pendiente el análisis cuantitativo mediante el uso del fluorómetro. Los estudios sobre la potencial aplicación de nuestros compuestos como inhibidores de las líneas de bacterias *B. cereus* ATCC 14579 y *E. coli* MG1655, demostraron que carecen de dicha actividad.

Agradecimientos

Los autores agradecemos la colaboración de las estudiantes Estefania Arroyo Arellano, Johana Ivonne Cardoso Becerra, la MC Dulce Marlene Vargas Zamarripa. Además, al Laboratorio Nacional de la UG-CONACYT (ahora SECIHTI) y al laboratorio de la Dr. Silvia Gutiérrez Granados. Finalmente, se agradece a la UG y a la DAIP por la oportunidad y el apoyo recibido para apoyar el siguiente verano.

Referencias

Abdallah, S. M., Sorour, M. H., Awad Abouelata, A. M., & Abdel-Fatah, M. A. (2025). Electrochemical polymerization of polyaniline: A comprehensive review of synthesis conditions, nanocomposites, and industrial applications. *Cureus Journal of Engineering, 2*, e44388-025. https://doi.org/10.7759/s44388-025-04726-2

Anjalin, M., Kanagathara, N., & Suganthi, A. R. B. (2020). A brief review on aniline and its derivatives. *Materials Today: Proceedings, 33*(7), 4751–4755. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.358

Cihaner, A., & Önal, A. M. (2002). Electrochemical behaviour and electrochemical polymerization of fluoro-substituted anilines. Polymer International, 51(8), 680–686. https://doi.org/10.1002/pi.956https://doi.org/10.1002/pi.956

Pervaiz, M., Shahin, M., Ejaz, A., Quratulain, R., Saeed, Z., Khan, R. R. M., Bukhari, S. M., Ullah, S., & Younas, U. (2024). An overview of aniline-based Schiff base metal complexes: Synthesis, characterization and biological activities—A review. *Inorganic Chemistry Communications, 159*, 111851.

https://doi.org/10.1016/j.inoche.2023.111851

Ramírez-Zuñiga, R., Tafolla-Rangel, V. H., Hernández, S., Ibarra-Chávez, R. A., Ascencio-Delgado, J. G., Gutiérrez-Granados, S., Peralta-Hernández, J. M., Cristobal, C., Sevillano-Arredondo, R. M., & Serrano, O. (2026). Quinolin-, pyridin- and thiophene-nitrobenzene compounds: A comprehensive structural and electrochemical analysis. *Journal Of Molecular Structure*, 146781. https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2026.146781

Sevillano-Arredondo, R. M., Pacheco-Alvarez, M. O., Pichardo, J. L., Ramírez-García, G., & Serrano, O. (2024). Eco-friendly electrosynthesis of Cu-PANI-pencil composite: Enhanced their current value, acid sensing, click chemistry and turn on-off sunlight photo-catalytical H_2O_2 activation. *ChemSusChem*, 17, e202400942. https://doi.org/10.1002/cssc.202400942

Shawky, N. A., Abdallah, S. M., Sorour, M. H., Awad Abouelata, A. M., & Abdel-Fatah, M. A. (2025). Electrochemical polymerization of polyaniline: A comprehensive review of synthesis conditions, nanocomposites, and industrial applications. *Cureus Journal of Engineering, 2*, e44388-025. https://doi.org/10.7759/s44388-025-04726-2

Steeples, E. (2016). Amino acid-derived imidazolium salts: Platform molecules for N-heterocyclic carbene metal complexes and organosilica materials [Doctoral dissertation, University of Postdam]. University of Postdam Institutional Repository.