



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE SUCRE
ESCUELA DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

EVALUACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE LAS ANTOCIANINAS EN LA FLOR DE
Delonix regia (Bojer ex Hook) Raf. POR UN HIDROGEL COMERCIAL Y SU
POSIBLE USO COMO INDICADOR DE pH

ROSELYS DE LOS ANGELES BRITO RODRÍGUEZ

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADO EN QUÍMICA

CUMANÁ, 2024



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE SUCRE
ESCUELA DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

EVALUACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE LAS ANTOCIANINAS EN LA FLOR DE
Delonix regia (Bojer ex Hook) Raf. POR UN HIDROGEL COMERCIAL Y SU
POSIBLE USO COMO INDICADOR DE pH

ROSELYS DE LOS ANGELES BRITO RODRÍGUEZ

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADO EN QUÍMICA

CUMANÁ, 2024

EVALUACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE LAS ANTOCIANINAS EN LA FLOR DE
Delonix regia (Bojer ex Hook) Raf. POR UN HIDROGEL COMERCIAL Y SU
POSIBLE USO COMO INDICADOR DE pH

APROBADO POR:



Dra. Rita Tenia
Asesora



Dr. José Benítez
Coasesor



Jurado principal



Jurado principal

DEDICATORIA

A:

DIOS, por siempre estar en mi vida, en cada momento de alegría y de angustia durante el curso de mis estudios en la universidad, así como en la realización de este trabajo de investigación, al darme la sabiduría y la constancia para continuar a pesar de las adversidades.

Mis abuelos Roselis Reyes y Felix Brito por el amor que me brindan, el apoyo incondicional y por siempre creer en mí. Les agradezco por estar en mi vida, por motivarme en mis peores días y aplaudirme en mis mayores logros. ¡Los amo mucho!

Mi amado padre Felix Brito por sus sabios consejos, el impulso para no rendirme nunca, el amor incondicional y la confianza de creer en mí. Espero hacerte sentir orgulloso con la culminación de esta meta.

Mi buen amor Pedro Noriega por ser la historia más bonita, la compañía, el amor y la protección. Por todas las veces que me ayudo en la recolección de flores para experimentos, la paciencia y apoyo en momentos de angustia. Pido a Dios que nuestra historia perdure por muchos años más. También agradezco a su abuela Ana Romero por abrirme las puertas de su casa y hacerme sentir parte de su familia.

A mis amigas Nathaly Marcano, Yennifer Veliz y Maria Angélica Mata, quienes desde el comienzo fueron mis compañeras de aventuras, y con quienes viví los mejores momentos de mi etapa universitaria. Les agradezco por la amistad, el apoyo y cariño brindado, nunca las olvidaré.

AGRADECIMIENTOS

A:

La Universidad de Oriente Núcleo de Sucre y al Departamento de Química por brindarme educación y formación profesional.

Mis asesores, Dra. Rita Tenía y Dr. José Benítez, mil gracias por darme la oportunidad de realizar este trabajo bajo sus conocimientos y enseñanzas, por la paciencia, dedicación y apoyo durante el largo camino de la realización de esta investigación.

El Instituto de Investigaciones en Biomédicina y Ciencias Aplicadas “Dra. Susan Tai” (IIBCA-UDO), en especial a la Dra. Blanca Rojas de Gascue y el Dr. Arnaldo Ramírez, por la realización de los análisis de espectroscopia de infrarrojo.

El profesor William Henríquez por su apoyo en la realización de las pruebas antibacterianas.

Los profesores y estudiantes que conformaban al Laboratorio de Productos Naturales del Departamento de Química, en especial a la profesora Shailili Moreno.

Los profesores que formaron parte de mis aprendizajes en la Universidad, por sus conocimientos que fueron la base de mi formación profesional. En especial al profesor Fernando Mago, a quién aprecio y respeto mucho, agradezco su ayuda, consejos y enseñanzas desde los inicios de la carrera.

ÍNDICE

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
LISTA DE TABLAS	VII
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE ABREVIATURAS	X
RESUMEN	XI
INTRODUCCIÓN	1
METODOLOGÍA	12
Recolección e identificación del material vegetal	12
Obtención de los extractos	12
Soxhlet	12
Maceración.....	13
Determinación de metabolitos secundarios	13
Saponinas	13
Flavonoides	13
Polifenoles	14
Taninos.....	14
Glicósidos cardiotónicos.....	14
Glicósidos cianogénicos	14
Esteroles insaturados y triterpenos pentacíclicos.....	14
Metilencetonas	15
Fenilpropanoides.....	15
Cumarinas	15
Alcaloides	16
Antraquinonas.....	16
Valoración colorimétrica y potenciométrica de los extractos.....	16
Valoración colorimétrica	16
Valoración potenciométrica.....	16
Grado de hinchamiento y cinética de absorción de los hidrogeles comerciales en agua y extracto de las flores de <i>delonix regia</i> (bojer ex hook) raf.	17
Determinación del índice de hinchamiento de los hidrogeles	17
Cinetica de hinchamiento de los hidrogeles	17
Mecanismo de difusión del agua o soluciones del extracto en el hidrogel.....	18
Interacción del hidrogel/extracto con soluciones ácidas y básicas	20

Caracterización por espectroscopía infrarroja de los extractos e hidrogeles empleados	21
Desorción del extracto de las flores de <i>delonix regia</i> (bojer ex hook) raf. en agua	21
Prueba antibacteriana de los hidrogeles cargados con extratos de las flores de <i>d. regia</i> (bojer ex hook) raf.	22
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
Rendimiento porcentual de los extractos obtenidos	23
Análisis fitoquímico.....	24
Valoración colorimétrica y potenciométrica de los extractos.....	28
Grado de hinchamiento y cinética de absorción de los hidrogeles comerciales en agua y extracto de <i>d. regia</i> (bojer ex hook) raf.	33
Cinética de hinchamiento de los hidrogeles	35
Mecanismo de difusión del agua o soluciones del extracto en el hidrogel.....	37
Caracterización del hidrogel comercial	38
Interacción del hidrogel/extracto con soluciones ácidas y básicas	43
Caracterización FTIR-ATR	46
Desorción del extracto de las flores de <i>d. regia</i> en agua	49
Antibiograma de los hidrogeles cargados con extratos de las flores de <i>d. regia</i> (bojer ex hook) raf.	53
CONCLUSIONES	57
BIBLIOGRAFÍA	59
APÉNDICE.....	68
METADATOS.....	86

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valores del exponente n de la ecuación de difusión de fluido para hidrogeles esféricos (Sandoval y cols., 2008).	19
Tabla 2. Rendimiento porcentual en la obtención de extractos de las flores de <i>Delonix regia</i> (Bojer ex Hook) Raf.	23
Tabla 3. Análisis químico preliminar de extractos de las flores de <i>D. regia</i> (Bojer ex Hook) Raf.	24
Tabla 4. Datos y resultados obtenidos de la titulación volumétrica.	29
Tabla 5. Cambios de color y pH del extracto de las flores de <i>D. regia</i> (Bojer ex Hook) Raf.; antes, durante y después del punto final en la valoración potenciométrica.	32
Tabla 6. Valores de k_h y W_∞ obtenidos de la cinetica de hinchamiento de segundo orden para los sistemas HG-Agua y HG- <i>D. regia</i>	37
Tabla 7. Valores de los parámetros n y k_d obtenidos mediante el uso de la ecuación de la ley de potencia y la definición de Crank, para los sistemas HG-Agua y HG- <i>D. regia</i> . ..	38
Tabla 8. Valores de las frecuencias observadas en los espectros FTIR-ATR del HG-comercial y HG- <i>D. regia</i>	42
Tabla 9. Valores de las frecuencias observadas en los espectros FTIR-ATR del HG- <i>D. regia</i> y el HG- <i>D. regia</i> /NaOH.	49
Tabla 10. Resultados del antibiograma realizado a los hidrogeles cargados con la solución de extractos de las flores de <i>D. regia</i>	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ion flavilio (2-fenilbenzopirilo) (Rabanal y Medina, 2021).....	2
Figura 2. Cambios estructurales de las antocianidinas en función del pH (Guimarães y cols., 2012).....	3
Figura 3. Representación del árbol <i>D. regia</i> (Bojer ex Hook) Raf, y sus partes (Duno, 2012).	5
Figura 4. Estructuras de las antocianinas presentes en las flores de <i>D. regia</i> (Bojer ex Hook) Raf. (Abje y cols., 2008).....	6
Figura 5. Representación gráfica del hinchamiento de un hidrogel (Ramírez, 2017).	9
Figura 7. Representación gráfica de los mecanismos de difusión de fluidos para hidrogeles esféricos: (a) Difusión Fickiana, (b) Transporte Anómalo y (c) Transporte Caso-II (Bajpai y cols., 2008).	20
Figura 8. Estructura química de los flavonoides identificados en el extracto de <i>D. regia</i> (Adjé y cols., 2012).....	26
Figura 9. Espectros FTIR de los extractos obtenidos por soxhlet y maceración de las flores de <i>D. regia</i> (Bojer ex Hook) Raf.	28
Figura 10. Curva de (a) la valoración potenciométrica de NaOH con HCl 0,1 mol/l y (b) la primera derivada.	30
Figura 11 . Variación del color del extracto de las flores <i>D. regia</i> (Bojer ex Hook) Raf. durante la titulación volumétrica con NaOH (0,1 mol/l).	31
Figura 12. Curva de hinchamiento del hidrogel en agua y en la solución acuosa (20,4 % m/v) de los extractos de las flores de <i>D. regia</i> (Bojer ex Hook) Raf.....	34
Figura 13. Regresión lineal de las isotermas de hinchamiento, de acuerdo con la cinética de segundo orden para los sistemas HG-Agua y HG- <i>D. regia</i>	36
Figura 14. Región lineal para las curvas de $\ln(F)$ vs $\ln(t)$ obtenidas de los datos de hinchamiento de los sistemas HG-Agua y HG- <i>D. regia</i>	37
Figura 15. Equilibrio de ionización del poliacrilato de sodio.....	39
Figura 16. Espectro FTIR-ATR del hidrogel comercial.	40

Figura 17. Espectros FTIR-ATR del hidrogel comercial y el xerogel cargado con solución de <i>D. regia</i> (Bojer ex Hook) Raf al 20,4 % m/v.	41
Figura 18. Representación estructural de la posible interacción entre el hidrogel (poliacrilato) y el extracto de las flores de <i>D. regia</i>	42
Figura 19. Curvas de interacción del HG- <i>D. regia</i> con soluciones de CH ₃ COOH y NaOH (0,1 mol/l).	43
Figura 20. Representación esquemática del efecto que tiene el pH sobre un hidrogel y la desorción y/o retención de una sustancia contenida en su interior.	45
Figura 21. Cambios estructurales de la forma carbinol al catión flavilio.	45
Figura 22. Ionización del catión flavilio por el aumento del pH.	46
Figura 23. Espectros FTIR-ATR del HG- <i>D. regia</i> y el HG- <i>D. regia</i> /NaOH.	47
Figura 24. Representación estructural de la posible interacción entre el hidrogel (poliacrilato) y el extracto (Chalcona) en la solución de NaOH.	49
Figura 25. Fotografías del HG- <i>D. regia</i> sumergido en agua antes y después de 48 horas.	50
Figura 26. Comparación de los espectros FTIR-ATR HG-comercial, HG- <i>D. regia</i> y HG- <i>D. regia</i> /Desorción.	51
Figura 27. Fotografía del antibiograma realizado a los a) HG-Agua, b) xerogel, c) HG- <i>D. regia</i> /Maceración y d) HG- <i>D. regia</i> /Soxhlet, frente a la bacteria <i>Staphylococcus aureus</i>	55

LISTA DE ABREVIATURAS

D. regia: *Delonix regia* (Bojer ex Hook) Raf.

FTIR-ATR: Infrarrojo por Transformada de Fourier con Reflectancia Total Atenuada

HG-comercial: Xerogel de uso comercial

HG-Agua: Xerogel cargado con agua destilada

HG-*D. regia*: Xerogel cargado con el extracto de las flores de *D. regia*

HG-*D. regia*/CH₃COOH: Hidrogel cargado con *D. regia* en medio ácido

HG-*D. regia*/Desorción: Desorción de la solución de *D. regia* por el hidrogel

HG-*D. regia*/NaOH: Hidrogel cargado con *D. regia* en medio básico

HG-*D. regia*/Maceración: Hidrogel cargado con extracto de *D. regia* obtenido mediante maceración

HG-*D. regia*/Soxhlet: Hidrogel cargado con extracto de *D. regia* obtenido mediante soxhlet

UV-visible: Ultravioleta-visible

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar la absorción del extracto de la flor de *Delonix regia* (Bojer ex Hook) Raf. por un hidrogel comercial y su posible utilización como indicador de *pH* colorimétrico. El análisis químico preliminar realizado a los extractos etanólicos, obtenidos por los métodos soxhlet y maceración, de las flores de *D. regia* reveló la posible presencia de metabolitos como flavonoides, polifenoles y taninos. En la caracterización por espectroscopia FTIR de los extractos se pudo observar señales correspondientes a grupos funcionales característicos de los metabolitos señalados. Las valoraciones colorimétricas y potenciométricas demostraron la efectividad del extracto como indicador de *pH* ya que los volúmenes de equivalencia obtenidos por ambos métodos fueron similares y se observó un cambio rápido de color en el punto final de cada valoración. Al analizar el hidrogel comercial por FTIR-ATR, se comprobó que el mismo está constituido por poliacrilato de sodio, ya que las bandas que aparecen en los rangos de 1546 cm^{-1} a 1659 cm^{-1} y 1449 cm^{-1} a 1322 cm^{-1} corresponden a vibraciones de estiramiento de C-O de grupos COO^- . El estudio de hinchamiento permitió comprobar la interacción de los grupos funcionales del extracto con el hidrogel, al obtener una disminución en el porcentaje de hinchamiento en comparación con el hidrogel sumergido en agua, además en la caracterización por espectroscopia FTIR-ATR del HG-*D. regia* se observó la aparición de nuevas señales en 2855 cm^{-1} y 1059 cm^{-1} y la sustitución de la señal que aparece en 856 cm^{-1} por 818 cm^{-1} , la cual corresponde a la flexión C-H fuera del plano de un anillo aromático *p*-disustituido, señales que indican la presencia del extracto en el hidrogel. Con el estudio cinético de absorción de los hidrogeles se determinó que el mecanismo de difusión del agua y el extracto es de tipo no Fickiano o anómalo, ya que los valores obtenidos para las constantes de difusión (*n*), en ambos casos, se encuentran en el rango $0,43 < n < 0,85$. En la interacción del HG-*D. regia* con soluciones ácidas y básicas se evidenciaron cambios en el proceso de hinchamiento de los hidrogeles, así como también la aparición de diversos colores en el polímero según el *pH* del medio. Por otra parte, se observó la desorción del extracto cuando el HG-*D. regia* fue sumergido en agua durante 48 horas; posteriormente mediante el estudio FTIR-ATR se corroboró que la desorción fue de solo una fracción del extracto debido a la aparición de señales correspondientes a grupos funcionales tanto del extracto como de la estructura del hidrogel. También, los HG-*D. regia* revelaron una posible actividad antibacteriana frente al microorganismo *S. aureus*, con la aparición de halos de inhibición, efecto asignado a los compuestos polifenólicos presentes en el extracto de las flores de *D. regia*.

INTRODUCCIÓN

Las plantas producen diversos tipos de compuestos que se han clasificado en dos grandes grupos. Siendo, los metabolitos primarios, encargados de los procesos de fotosíntesis, respiración y asimilación de nutrientes; a este grupo pertenecen la clorofila, los aminoácidos, nucleótidos, carbohidratos simples y lípidos de membrana. Mientras que en el siguiente grupo están los metabolitos secundarios, los cuales no parecen tener una función directa en el crecimiento y desarrollo de la planta y presentan una distribución restringida en el reino vegetal; a este grupo pertenecen los terpenos, compuestos fenólicos y compuestos nitrogenados (González y Sabana, 2015).

Entre los compuestos fenólicos de las plantas están las antocianinas, de la familia de los flavonoides; son pigmentos hidrosolubles que se encuentra en las vacuolas de las células vegetales y son responsables de los colores rojos, azules o púrpura que se encuentran en plantas, especialmente hojas, flores, frutos y tubérculos (Khoo y cols., 2017). Las antocianinas son solubles tanto en agua como en la mayoría de los disolventes orgánicos y esta propiedad facilita su incorporación en numerosos sistemas alimentarios acuosos. Por el contrario, estos pigmentos son insolubles en disolventes apolares, además de ser inestables en medios alcalinos o soluciones neutras (Heras y cols., 2013).

Químicamente las antocianinas son glucósidos de las antocianidinas. Están constituidas por una molécula de antocianidina, la aglicona, a la que se le une un azúcar por medio de un enlace β -glucosídico. La estructura básica de estas agliconas es el ion flavilio (Figura 1), llamado también 2-fenilbenzopirilo. El nivel de hidroxilación y metilación en el anillo “B” de la molécula determina el tipo de antocianidina (Rabanal y Medina, 2021). Aunque se han descrito doce diferentes antocianidinas, las más comunes en plantas son: pelargonidina, cianidina, delphinidina, peonidina, petunidina y malvidina. El azúcar presente en la molécula les confiere una gran solubilidad y estabilidad, generalmente se une a la antocianidina en la posición 3 del grupo fenólico en el anillo “B”, pero también puede hacerlo en las posiciones 5 y 7 del anillo “A” (Aguilera y cols., 2011).

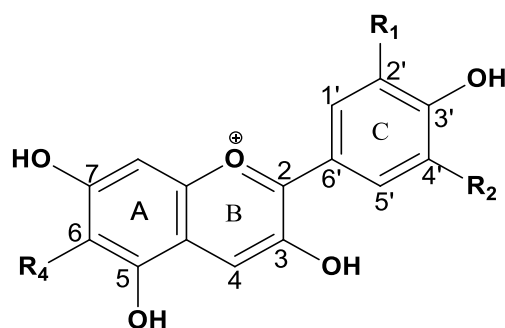


Figura 1. Ion flavilio (2-fenilbenzopirilo) (Rabanal y Medina, 2021).

El color de las antocianinas depende de varios factores, como son los sustituyentes químicos que contenga y la posición que ocupan en el grupo flavilio, esto es, si aumentan los hidroxilos del anillo fenólico se intensifica el color azul, mientras que la introducción de metoxilos provoca la formación del color rojizo. Dentro de los factores que afectan el color de las antocianinas se encuentra el *pH* que tiene una influencia significativa (Solano y cols., 2016).

El cambio de coloración en función de la variación del *pH* de la solución que contiene antocianinas está asociado a cambios estructurales de estos compuestos, como se muestra en la

Figura 2. Cuando el *pH* se encuentra entre 1 y 2 unidades, la solución indicadora presentará coloración generalmente roja, debido a la elevada concentración de la forma estructural del catión flavilio. En $2 < \text{pH} < 6$ la antocianina se encuentra en forma de carbinol y la coloración roja disminuye de intensidad. A medida que el *pH* aumenta, la intensidad de la coloración roja disminuye hasta que la solución se vuelve incolora. Entre *pH* 6,5 y 8, la solución asume una coloración que varía del violeta al azul, debido a la presencia de la forma estructural anhidrobase. Con la elevación del *pH*, la anhidrobase producida va sufriendo la ionización y, a medida que esta ionización aumenta, la solución primero asume una coloración azul-verdoso entre *pH* 9 y 10, después pasa del verde al verde-amarillento entre *pH* 11 y 12. Por encima de *pH* 12, la solución se vuelve amarilla debido a que se produce la apertura del anillo benzopirilio, dando origen a las estructuras llamadas chalconas (Guimarães y cols., 2012).

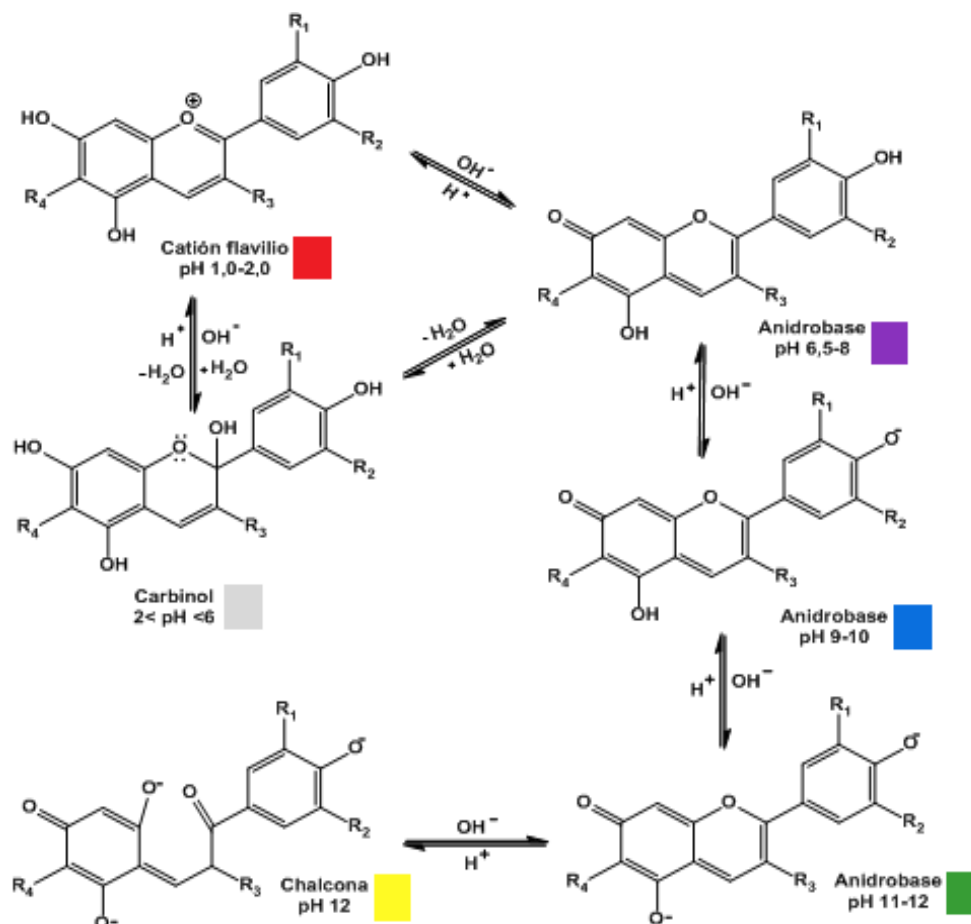


Figura 2. Cambios estructurales de las antocianidinas en función del pH (Guimarães y cols., 2012).

La propiedad de las antocianinas de cambiar de color es lo que hace posible su utilización como indicador natural de pH en determinaciones analíticas y cuantitativas (Freitas, 2019). El pH es un índice que indica la acidez, neutralidad o alcalinidad de un medio cualquiera. El pH es una característica de las sustancias, determinado por la concentración de iones hidrógeno (H^+). Cuanto menor es el pH de una sustancia, mayor es la concentración de iones H^+ y menor es la concentración de iones OH^- . Los valores de pH varían de 0 a 14 y pueden ser medidos por medio de un aparato llamado pH metro, pero también se pueden observar cambios en el pH (con menor precisión) con el uso de indicadores (Dias y cols., 2018).

Los indicadores ácido-base o indicadores de pH son sustancias orgánicas débilmente ácidas (indicadores ácidos) o débilmente básicas (indicadores básicos) que cambian de color en diferentes rangos de pH , esto significa que presentan colores diferentes para sus formas protonadas y desprotonadas (Huarote, 2018). Entre los indicadores de pH comúnmente utilizados se encuentran: naranja de metilo, fenolftaleína, verde de bromocresol y rojo fenol; éstos son productos químicos peligrosos que contaminan el medio ambiente, el agua y el suelo, por lo que son perjudiciales para la salud. Además, los indicadores químicos comerciales son costosos y algunos de ellos tienen efectos tóxicos en las personas que los manipulan. Por estas razones, ha surgido un interés creciente en la búsqueda de fuentes alternativas de indicadores de origen natural (Jain y cols., 2013).

Algunas de las ventajas en la utilización de indicadores naturales, en sustitución de los indicadores convencionales, incluyen que éstos se encuentran disponibles en tejidos vegetales de varias especies de plantas y causan un menor impacto ambiental. Químicamente, esto se debe a que los indicadores naturales son solubles en agua lo que acelera su descomposición en el medio ambiente cuando son descartados. Además, su solubilidad facilita la preparación del indicador en forma de solución para ser empleados en ámbitos experimentales (Costa y cols., 2015).

Un ejemplo de un indicador natural, es el extracto obtenido de las flores del árbol de *Delonix regia* (Bojer ex Hook) Raf., también conocido como Royal Poinciana, Flamboyant o el árbol de fuego; es una especie de planta con flores. Perteneció al género *Delonix* (familia Leguminosae, subfamilia Caesalpinioideae, tribu Caesalpinieae, grupo Peltophorum), incluye 11 especies, nueve endémicas de Madagascar, una restringida a África oriental y la última ubicada también en el continente africano; su distribución se extiende hasta el Medio Oriente y la India (Duno, 2012). Se han reportado árboles con flores de varios colores (amarillas, blancas, moradas), además de las rojas. Así como muchos usos medicinales que incluyen efectos antiulcerosos, antihelmínticos,

hepatoprotectores, actividades antimicrobianas, antirreumáticas y antiinflamatorias; los cuales se clasifican de acuerdo a la parte del árbol *D. regia* empleada, por ejemplo se dice que su corteza resulta útil para los tratamientos reumáticos, que sus flores sirven para tratar problemas respiratorios y las raíces se emplean para aliviar dolores abdominales (Modi y cols., 2016).

Delonix regia (Bojer ex Hook) Raf. es un árbol que tiene flores grandes, con cuatro pétalos que miden hasta 8 cm de longitud y un quinto pétalo llamado estandarte, que es más largo y manchado de amarillo y blanco. Las vainas maduras son leñosas, de color castaño oscuro, de 60 cm de longitud y 5 cm de ancho. Las semillas son pequeñas y pesan alrededor de 0,4 g. Las hojas miden de 30 cm a 50 cm de largo, cada una tiene de 20 a 40 pares de folíolos primarios compuestos, también llamados pinnados y cada uno de éstos está dividido a su vez en 10 a 20 pares de folíolos secundarios (Figura 3) (Jahan y cols., 2010).



Figura 3. Representación del árbol *D. regia* (Bojer ex Hook) Raf. y sus partes (Duno, 2012).

El color rojo de las flores de *D. regia* (Bojer ex Hook) Raf. es una consecuencia de su contenido de antocianinas. Sólo unos pocos artículos han informado sobre la presencia

de estas sustancias químicas en extractos de las flores de *D. regia* y sus posibles usos como indicadores de pH. Así, Nabel y colaboradores en 1976, mediante sus estudios, hallaron la presencia de dos antocianinas identificadas como cianidina 3-*O*-glucósido y cianidina 3-*O*-gentiobiósido, sin ninguna cuantificación. Por su parte, Abje y colaboradores (2008) confirmaron la presencia de la primera de estas antocianinas y por primera vez identificaron la cianidina 3-*O*-rutinosida y la pelargonidina 3-*O*-rutinosida. Todas las estructuras señaladas están representadas en la Figura 4. Por otra parte, Vaischali y colaboradores en el 2011 en su estudio sobre la actividad antiinflamatoria de *D. regia* (Bojer ex Hook) Raf. encontraron que los extractos etanólicos de las flores de dicho árbol contenían proteínas, taninos, compuestos fenólicos, glicósidos, esteroides y triterpenoides.

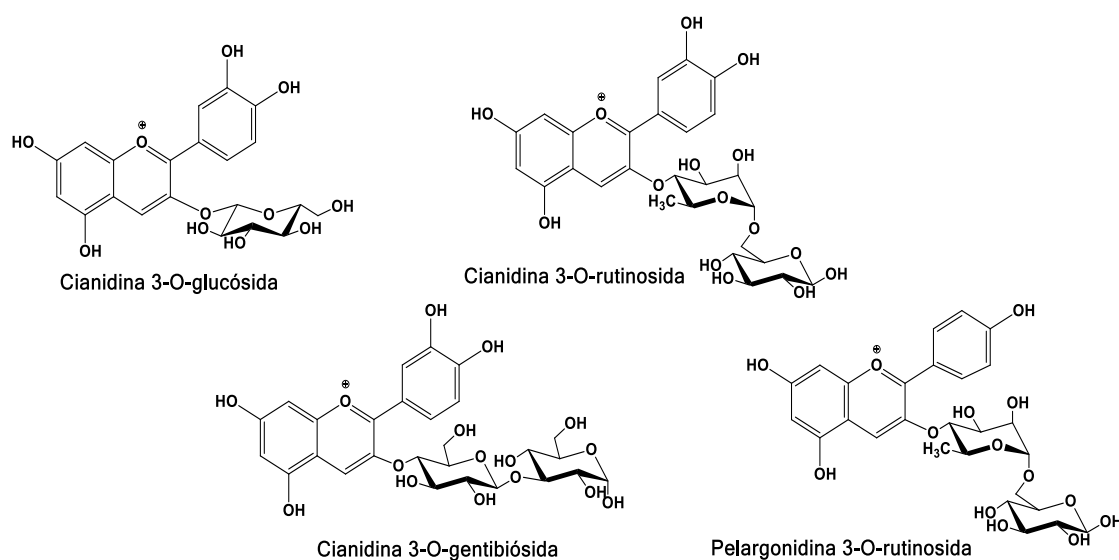


Figura 4. Estructuras de las antocianinas presentes en las flores de *D. regia* (Bojer ex Hook) Raf. (Abje y cols., 2008).

En un estudio más reciente realizado por Veigas y colaboradores en 2012, se confirmó nuevamente la presencia de las antocianinas cianidina 3-*O*-glucósido y cianidina 3-*O*-rutinósido en los extractos de las flores de *D. regia*, mediante análisis de HPLC-MS. Además se hallaron otros compuestos antociánicos siendo: petunidina 3-*O*-glucósido, peonidina-3-*O*-glucósido y petunidina-3-*O*-acetyl glucósido. El contenido de

antocianinas en las flores de *D. regia* es de gran interés debido a sus diversas funciones medicinales, pero también convierte a dicho extracto en un potencial indicador natural de pH , gracias a la propiedad que poseen las antocianinas de cambiar de color en función del pH del medio en el que se encuentran.

Dentro de los antecedentes que reportan el uso de los extractos de las flores de *D. regia* como indicador natural de pH se encuentra el estudio realizado por Singh y colaboradores en 2011, en el cual los resultados indicaron que los extractos de flores de estas plantas se pueden utilizar como indicador ácido-base en la titulación de ácidos fuertes con bases fuertes porque se obtuvieron resultados similares con fenolftaleína y rojo de metilo. En el caso de la titulación de ácido débil y base débil, los resultados obtenidos por el extracto de flores de *D. regia* también coincidieron con los resultados obtenidos por el indicador convencional.

Además, es importante mencionar el estudio realizado por Torres en 2015, donde se empleó el extracto de las flores de *D. regia* como indicador en valoraciones ácido-base (volumétricas y potenciométricas) en medio acuoso. De acuerdo a los resultados obtenidos el extracto puede ser utilizado como indicador ácido-base ya que mostró un viraje de color en el punto final de la titulación volumétrica producto de un cambio químico. Conforme a las titulaciones potenciométricas el comportamiento del extracto en una escala de pH de soluciones buffer de 1 a 14, se definió que el viraje de color del extracto de las flores de *D. regia* fue de 3 a 4, por lo que puede utilizarse en este rango de pH . Cabe destacar que la razón detrás del uso de estos indicadores naturales en preferencia a los indicadores sintéticos es su disponibilidad, facilidad de preparación y rentabilidad.

Por otro lado, los polímeros representan uno de los materiales más importantes en la vida cotidiana, debido a que han desplazado, en muchos casos, al metal, madera, vidrio, concreto, entre otros. Los polímeros son macromoléculas constituidas de un gran número de moléculas, enlazadas covalentemente, mediante reacciones de

polimerización. Dentro de la enorme variedad de polímeros existentes hay que destacar a los geles poliméricos, los cuales forman parte de los sólidos porosos, gracias a la flexibilidad de sus cadenas que hacen posible la entrada de moléculas de disolvente dentro de la estructura tridimensional, experimentando macroscópicamente un proceso de expansión o hinchamiento de la misma. Si el hinchamiento de la red polimérica se lleva a cabo por la absorción y retención de agua en los intersticios de la malla se tiene como resultado a los denominados hidrogeles (Contreras, 2012).

Los hidrogeles son polímeros hidrófilos que poseen una red tridimensional que los hace insolubles en agua. La capacidad de absorción de los hidrogeles se manifiesta visualmente como un “hinchamiento” del material y que ocurre cuando se ponen en contacto con un disolvente compatible termodinámicamente, debido a la presencia en su estructura molecular de grupos afines al agua (-OH, -COOH, -CONH₂, -CONH-, -SO₃H) (Benítez y cols., 2015). Son insolubles en agua debido a la existencia de una red polimérica tridimensional o entrecruzamientos en su estructura, no solo por uniones covalentes (enlaces sigma), típicas de cualquier material entrecruzado sino también por fuerzas intermoleculares de van der Waals y a los enlaces de hidrógeno, además de otros tipos de interacciones como son las fuerzas electrostáticas, tanto atractivas como repulsivas (Pinzon, 2002).

En su estado hidratado, los hidrogeles son blandos, elásticos, suaves al tacto y presentan una determinada resistencia mecánica. Pueden sufrir un cambio de su volumen debido a la variación en las condiciones del medio, tales como: temperatura, pH, composición del solvente y fuerza iónica; conservando siempre su forma hasta alcanzar su equilibrio físico y químico, el cual engloba el equilibrio que alcanza la expansión de la red tridimensional en la medida que moléculas de agua entran en ella, frente a las fuerzas cohesivas de la misma que se oponen a su expansión excesiva (equilibrio físico); y el equilibrio químico que se logra por las interacciones entre la macromolécula y las moléculas del solvente (Bennour y Louzri, 2014). No obstante, en estado deshidratado los hidrogeles se denominan xerogeles, en este caso se comportan como sistemas rígidos

y amorfos, es decir; son polímeros que combinan el comportamiento vítreo (en su estado seco) con elasticidad (cuando absorbe suficiente solvente), convirtiéndolos en interesantes materiales de estudio (Zerpa, 2017).

El xerogel es un material sólido y duro, pero cuando entra en contacto con una solución acuosa, ésta se difunde hacia el interior y el gel se hincha hasta alcanzar un equilibrio fisicoquímico (Ramírez y cols., 2016). A medida que ocurre el proceso de difusión de agua dentro de dicha red, la respuesta de las cadenas no es inmediata. El hinchamiento implica el movimiento de grandes segmentos de las cadenas del polímero para permitir la incorporación de las moléculas de agua, lo que genera una separación macromolecular (Karadag y Saraydin, 2002; Katime y Mendizábal, 2010) (Figura 5). El hinchamiento puede definirse en términos de la rapidez de hidratación y del estado hinchado de equilibrio, siendo de importancia fundamental en la caracterización del material como sistema de liberación de sustancias, entre las que se encuentran los fármacos, iones, y otros compuestos (Escobar y cols., 2000).

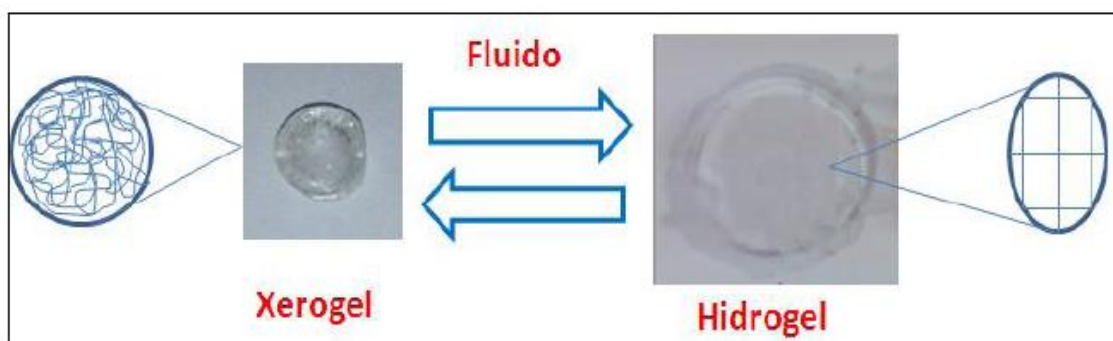


Figura 5. Representación gráfica del hinchamiento de un hidrogel (Ramírez, 2017).

En este sentido, se define a un hidrogel comercial como un polímero superabsorbente de origen orgánico, compuesto comúnmente por poliacrilato de sodio, ácido acrílico, o un copolímero de acrilamida; que se venden en forma de pequeñas esferas en floristerías y bazares (Gómez y Cañamero, 2011).

La difusión de moléculas de agua a través de los hidrogeles tiene una importancia significativa en diferentes campos de la ciencia y la ingeniería, tales como la medicina, el medio ambiente, la agricultura, entre otros (Rojas de Gáscue y cols., 2010). Se han reportado muchos estudios sobre el uso de hidrogeles para la absorción o liberación de sustancias (medicamentos, colorantes, insecticidas, entre otros). Todos éstos con diversos objetivos, ya sea la descontaminación de aguas, tratamiento de heridas, eliminación de plagas en plantas e incluso usos más prácticos en laboratorios científicos tales como la liberación de indicadores en titulaciones químicas. Siendo la capacidad de hinchamiento que poseen los hidrogeles, la principal característica que ha permitido incluir dicho material polimérico y darle diversos usos en la vida cotidiana.

Entre los estudios que se basan en la liberación de fármacos a través de hidrogeles se encuentra el realizado por Borges (2021), quién evaluó el comportamiento de hidrogeles de poli(ácido-gamma-glutámico) en la liberación controlada de sulfato de neomicina a diferentes valores de pH y temperatura. Las técnicas de Espectroscopía Infrarroja (FT-IR), Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) y Análisis Termogravimétrico (TGA) permitieron corroborar la presencia del fármaco en la matriz polimérica. Además, los ensayos *in vitro* realizados demostraron que la liberación del fármaco aumento tanto con el incremento de la temperatura y como del pH .

Por otro lado, el estudio de García en 2021 sirve de introducción a la combinación de hidrogeles y colorantes; ya que sintetizó hidrogeles híbridos a partir de acrilamida, ácido maleico y dióxido de titanio para evaluar la capacidad de remoción de colorantes en soluciones. En este estudio se determinó la capacidad de hinchamiento de los hidrogeles híbridos en la solución del colorante (azul de metileno) y se obtuvo como resultado que el nivel de hinchamiento se redujo en comparación al hinchamiento máximo que se alcanzó en agua, hecho que se atribuyó a la interacción entre el hidrogel y el azul de metileno, confirmando así la capacidad de remoción de colorantes por parte de los hidrogeles sintetizados. Se realizaron otros estudios como MEB, espectroscopia FTIR y difracción de rayos X para caracterizar los hidrogeles. Además se empleó la técnica de

fotocatálisis para provocar la degradación del colorante a través de la utilización de radiación ultravioleta y la fotoactividad de la especie química TiO_2 presente en la estructura del hidrogel empleado.

Finalmente, un antecedente de gran importancia es el estudio realizado por Nuñez en 2018, quien empleó hidrogeles comerciales en pruebas colorimétricas para la absorción de extractos naturales con características de indicadores ácido-base, debido a la presencia de antocianinas, obteniendo como resultado cambios de tamaño y color en el hidrogel y la solución a diferentes valores de pH . Núñez afirmó que a simple vista los hidrogeles interaccionaban con las soluciones de los extractos porque adquirieron su color, pero el estudio del grado de hinchamiento le permitió confirmar este hecho cuando los hidrogeles cargados con los extractos presentaron menores porcentajes de hinchamiento en comparación con los hidrogeles cargados con agua.

Teniendo en cuenta las propiedades ácido-base de los compuestos presentes en la especie *D. regia* (Bojer ex Hook) Raf. y la utilidad de los hidrogeles de uso comercial, en este trabajo de investigación se llevará a cabo la absorción de extractos de las flores de *D. regia* (Bojer ex Hook) Raf. por hidrogeles comerciales para ser empleados en la valoración colorimétrica de soluciones acuosas.

METODOLOGÍA

Recolección e identificación del material vegetal

Las flores del árbol *Delonix regia* (Bojer ex Hook) Raf. (Figura 6) fueron recolectadas en el patio central de la Universidad de Oriente Núcleo de Sucre y en la localidad de Boca de Sabana del municipio Sucre de la ciudad de Cumaná, Estado Sucre. El material vegetal de dicha planta fue identificado por el Lcdo. Jesús Bello, perteneciente al Departamento de Biología de la institución.



Figura 6. Flor del árbol *Delonix regia* (Bojer ex Hook) Raf. (Veigas y cols. 2007)

Obtención de los extractos

Soxhlet

Los pétalos frescos de las flores de *D. regia* (Bojer ex Hook) Raf., fueron cortados en trozos pequeños e introducidos dentro del cartucho de alúmina y del equipo soxhlet. Una vez encendida la cocinilla eléctrica y alcanzada la temperatura correspondiente inició la ebullición (78 °C) y posteriormente la condensación del etanol, el mismo cubrió al cartucho hasta que se produjo el reflujo, dicho proceso se llevó a cabo durante 1 hora. Finalmente, se dejó reposar el balón con el solvente, el cual se introdujo en un rotaevaporador marca Heindolph a 50 °C para obtener el extracto crudo.

Maceración

Se agregó etanol a los pétalos frescos de las flores de *D. regia* (Bojer ex Hook) Raf. almacenados en envases de vidrio y se dejó que ocurriera el proceso de extracción durante 7 días. Al transcurrir este tiempo se filtró y trasvasó la mezcla a un envase, luego se agregó etanol nuevamente; este proceso se repitió hasta observar la muestra completamente decolorada. Al culminar dicho proceso se rotaevaporó el solvente a 50 °C en un equipo marca Heindolph y de esta forma se obtuvo el extracto crudo que luego fue utilizado en la realización de las pruebas químicas preliminares y demás estudios.

Determinación de metabolitos secundarios

Fueron realizadas diversas pruebas fitoquímicas a todos los extractos obtenidos de las flores de *D. regia* (Bojer ex Hook) Raf. con la finalidad de identificar los metabolitos secundarios y al mismo tiempo las posibles familias de compuestos presentes. Los tipos de metabolitos estudiados y los procedimientos realizados se especifican a continuación:

Saponinas

En un tubo de ensayo se colocaron 0,5 g del extracto crudo y se le adicionaron 2 ml de agua destilada; posteriormente, se agitó vigorosamente durante 30 segundos. Fue confirmada la presencia de saponinas, al observar la formación de una espuma persistente durante 30 minutos, en una zona de 3 cm a 15 cm por encima de la superficie del líquido.

Flavonoides

Una porción del extracto crudo se colocó en un tubo de ensayo y se le agregaron 2 ml de HCl concentrado y virutas de magnesio. Se consideró el resultado positivo para flavonoides al producirse una coloración roja cuando se dejó reposar la reacción por unos 15 minutos.

Una gota del extracto crudo se colocó sobre un papel de filtro y se roció con una

solución de NH_4Cl al 1 % m/v en etanol. La aparición de una mancha fluorescente amarilla bajo luz UV indicó la presencia de flavonoides.

Polifenoles

Una porción del extracto fue disuelta con agua destilada, y se agregaron 4 gotas de una solución de FeCl_3 al 1 % m/v. De tal manera que al observarse una coloración marrón oscuro o negro en la muestra se consideró como un resultado positivo.

Taninos

Los taninos fueron identificados al tratar el extracto con una solución al 1 % m/v de gelatina en NaCl al 1 % m/v, donde la formación de un precipitado blanco fue considerado como un resultado positivo para la presencia de estos compuestos.

Glicósidos cardiotónicos

En un tubo de ensayo se disolvieron 0,5 g del extracto crudo en cloroformo y, luego se hizo reaccionar con una mezcla 50-50 recién preparada de $\text{C}_6\text{H}_3(\text{NO}_2)_2\text{COOH}$ (2 %m/v) y KOH (0,5 mol/l). Considerando el resultado de esta prueba como positivo al aparecer una coloración azul o violeta.

Glicósidos cianogénicos

Se añadieron unas gotas de cloroformo al extracto crudo y se calentó entre 50 °C y 70 °C en un tubo de ensayo. Los vapores estuvieron en contacto con un papel de filtro, colocado en la parte superior del tubo, el cual se encontraba impregnado con una solución al 1 % m/v de $\text{C}_6\text{H}_2\text{OH}(\text{NO}_2)_3$ en Na_2CO_3 al 10 % m/v. Los compuestos cianogénicos se manifestaron como una mancha roja sobre el papel.

Esteroles insaturados y triterpenos pentacíclicos

Se pesaron 0,5 g del extracto crudo y se disolvieron en cloroformo, luego se hizo reaccionar con unas pocas gotas del reactivo Liebermann-Burchard (solución de anhídrido acético y cloroformo 1:1 a 0 °C, más dos gotas de ácido sulfúrico

concentrado), recién preparado. Un cambio en la coloración azul a verde, indicó la presencia de esteroides insaturados; sin embargo, al producirse una coloración violeta se consideró positiva para triterpenos pentacíclicos.

Metilencetonas

Se disolvieron 0,5 g del extracto crudo en etanol y posteriormente se trató con el reactivo de Baljet (mezcla de 1 g de ácido pícrico con 100 ml de etanol y 10 g de hidróxido de sodio con 100 ml de agua). Una coloración roja en la solución indicó la presencia de metilencetonas.

Fenilpropanoides

Para la determinación de fenilpropanoides se utilizaron tres tubos de ensayo. El primer tubo fue rotulado como testigo, en el cual se añadió una pequeña porción del extracto disuelto en etanol; en el segundo tubo de ensayo se agregó la misma porción del extracto disolviéndolo en etanol y adicionando luego HCl 0,5 mol/l, solución acuosa de NaNO_2 al 10 % m/v y finalmente 3 gotas de una solución acuosa de NaOH 2 mol/l. El tercer tubo también fue preparado como testigo, con todos los reactivos sin el extracto crudo. Una solución rosada o púrpura fue indicativa de la presencia de fenilpropanoides.

Cumarinas

Se pesaron aproximadamente 0,5 g del extracto crudo y se disolvieron en etanol, luego se agregó una solución de NaOH (0,5 mol/l). La prueba fue considerada positiva al observar un cambio en la coloración a amarillo.

Se añadieron 0,5 g del extracto crudo en un tubo de ensayo y se disolvieron en etanol. En la parte superior de dicho recipiente se colocó un papel de filtro impregnado con una solución diluida de NaOH. Luego, se calentó el tubo en baño de María a 100 °C por varios minutos. El papel fue removido y examinado bajo luz UV, y una fluorescencia amarilla fue indicativa de cumarinas.

Alcaloides

En un tubo de ensayo se colocaron 0,5 g del extracto crudo, se disolvieron en HCl (10 % v/v) y la solución se agitó en un embudo de separación con cloroformo. La fase orgánica se conservó, mientras que la fase acuosa fue alcalinizada con NaOH al 10 % m/v y extraída con cloroformo. Las tres fases fueron analizadas para alcaloides, por separado, utilizando el reactivo de Dragendorff, un precipitado naranja rojizo dió indicio de la presencia de alcaloides.

Antraquinonas

Se pesaron 0,5 g del extracto crudo y se extrajeron con una solución de KOH (0,5 mol/l), se filtró, luego se acidificó con CH₃COOH concentrado y se agitó con C₆H₆. Una coloración roja en la capa orgánica al alcalinizarla con NH₄OH concentrado, fue considerada como un resultado positivo para antraquinonas.

Valoración colorimétrica y potenciométrica de los extractos

Valoración colorimétrica

Se tomaron 10 ml de una solución de HCl 0,1 mol/l y se diluyeron a 50 ml con agua destilada. Se añadieron 6 gotas del extracto. Posteriormente, se tituló con una solución, previamente estandarizada con biftalato de potasio (KC₈H₅O₄), de NaOH 0,1 mol/l bajo constante agitación, hasta que se observó el cambio de color. El mismo procedimiento se realizó utilizando 3 gotas del indicador fenolftaleína (C₂₀H₁₄O₄). Las titulaciones se realizaron por triplicado para cada indicador.

Valoración potenciométrica

Se tomaron 20 ml de una solución de HCl 0,1 mol/l y se diluyeron a 100 ml con agua destilada. Se añadieron 6 gotas de la solución del extracto y bajo agitación se realizó la titulación con NaOH 0,1 mol/l. Se tomaron notas del pH del sistema después de cada adición del titulante. Se realizó el mismo procedimiento utilizando 3 gotas del indicador convencional fenolftaleína. Las titulaciones se realizaron por triplicado para cada

indicador.

Grado de hinchamiento y cinética de absorción de los hidrogeles comerciales en agua y extracto de las flores de *delonix regia* (bojer ex hook) raf.

Determinación del índice de hinchamiento de los hidrogeles

Para determinar el índice de hinchamiento de los hidrogeles se empleó la técnica de gravimetría a temperatura ambiente (Villarreal, 2009). Para esto se sumergió un xerogel en forma de esfera en un beacker con 25 ml de agua destilada o las respectivas soluciones acuosas de los extractos. A intervalos fijos de tiempo, se extrajo el hidrogel, se secó cuidadosamente su superficie con un papel de filtro, luego se registró su masa y se colocó nuevamente en el beacker. Este procedimiento se repitió hasta no observar variación de la masa con respecto al tiempo. El porcentaje de hidratación o índice de hinchamiento (%H) se determinó aplicando la ecuación (1):

$$\%H = \left(\frac{m_t - m_0}{m_0} \right) \times 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

donde %H es el grado de hinchamiento, m_0 y m_t son las masas del hidrogel seco y del hidrogel hinchado en el tiempo (t), respectivamente (Katime y cols., 2004). Al graficar los porcentajes de hinchamiento calculados en función del tiempo, se construyeron curvas de hinchamiento a temperatura ambiente.

Cinetica de hinchamiento de los hidrogeles

Los datos registrados durante la determinación del índice de hinchamiento, se emplearon para calcular los parámetros correspondientes a la cinética de hinchamiento de los hidrogeles. La capacidad de hinchamiento del hidrogel también puede ser expresada como el porcentaje de agua absorbida (W), descrito por la ecuación (2) (Katime y cols., 2004).

$$W = \left(\frac{m_t - m_0}{m_t} \right) \times 100 \quad (\text{Ec. 2})$$

El comportamiento cinético de los hidrogeles puede describirse de acuerdo a una ecuación de segundo orden. Debido a que el índice de hinchamiento es determinado mediante un experimento cuya data de absorción obedece a largos periodos de tiempo y elevados porcentajes de hidratación; la capacidad de hinchamiento de los hidrogeles se ajusta a la siguiente ecuación diferencial (Katime y cols., 2004; Schott, 1992)

$$\frac{dW}{dt} = k_h(W_\infty - W)^2 \quad (\text{Ec. 3})$$

integrando esta ecuación en el intervalo $t = 0$ (xerogel) y $t = \infty$ (hidrogel completamente hinchado) se obtiene que:

$$W = \left(\frac{k_h t W_\infty^2}{1 + k_h t W_\infty^2} \right) \quad (\text{Ec. 4})$$

donde t es el tiempo registrado durante el hinchamiento del hidrogel; W_∞ es el porcentaje de agua cuando se alcanza el equilibrio ($t = \infty$) y k es la constante de rapidez de absorción (Katime y cols., 2004).

Reordenando la ecuación (4), se obtiene la siguiente ecuación:

$$\frac{t}{W} = \frac{1}{W_\infty} t + \frac{1}{k_h W_\infty^2} \quad (\text{Ec. 5})$$

donde el cociente t/W en función de t , permite obtener una recta cuya ordenada en el origen es igual a $1/k(W_\infty)^2$ y la pendiente es equivalente a $1/W_\infty$. Los parámetros cinéticos k_h y W_∞ , fueron calculados mediante simples despejes de variable (Katime y cols., 2004).

Mecanismo de difusión del agua o soluciones del extracto en el hidrogel

La difusión de pequeñas moléculas depende de las propiedades físicas de la red del polímero y las interacciones entre los segmentos de polímero y las moléculas pequeñas. De acuerdo con la segunda ley de Fick, la ecuación de la ley de potencia se puede usar para determinar el tipo de difusión del agua en el hidrogel (Buckley y Berger, 1962).

$$F = k_d t^n \quad (\text{Ec. 6})$$

donde, F se expresa como una fracción relacionada con la cantidad de agua acumulada por el hidrogel en un momento dado, k_d es una constante relacionada con el sistema de red y el medio de hinchamiento y n es el exponente difusional, que rige el modo de transporte del agua.

Se han reportado varias definiciones para F , entre las que más habitualmente son empleadas se encuentra la definición de Crank (1975). En la cual, F está representada por la siguiente ecuación:

$$F = \left(\frac{m_t - m_0}{m_\infty} \right) = \frac{m_w}{m_\infty} \quad (\text{Ec. 7})$$

donde, m_w indica la cantidad de agua que se difunde en el hidrogel en el tiempo t , y m_∞ la cantidad de agua que se difunde después de un tiempo infinito.

Bajo esta perspectiva, y de acuerdo con la rapidez de difusión de fluidos con respecto a la rapidez de relajación de la matriz del polímero, el hinchamiento del sistema se analiza para establecer qué factores físicos determinan el mecanismo de difusión del agua en el hidrogel. De tal manera, que para pastillas esféricas un valor de n cercano a 0,43 es indicativo de un mecanismo de transporte controlado por la difusión de Fick o caso I, donde la rapidez de difusión es mucho menor que la de relajación (Tabla 1).

Tabla 1. Valores del exponente n de la ecuación de difusión de fluido para hidrogeles esféricos (Sandoval y cols., 2008).

Exponente (n)	
Esfera	Mecanismo de difusión
0,43	Difusión Fickiana
$0,43 < n < 0,85$	Transporte anómalo
0,85	Transporte Caso-II

Cuando $n = 0,85$, el mecanismo de transporte es controlado por una difusión caso II, aquí la difusión es muy rápida en comparación con los procesos de relajación de las cadenas poliméricas. Sin embargo, un valor de n entre 0,43 y 0,85 implica que el mecanismo de transporte presenta un comportamiento no Fickiano o anómalo, que surge de la contribución de los dos procesos concomitantes: el fenómeno de difusión simultáneamente acompañado por la relajación viscoelástica de las cadenas del polímero (Figura 7) (Sandoval y cols., 2008).

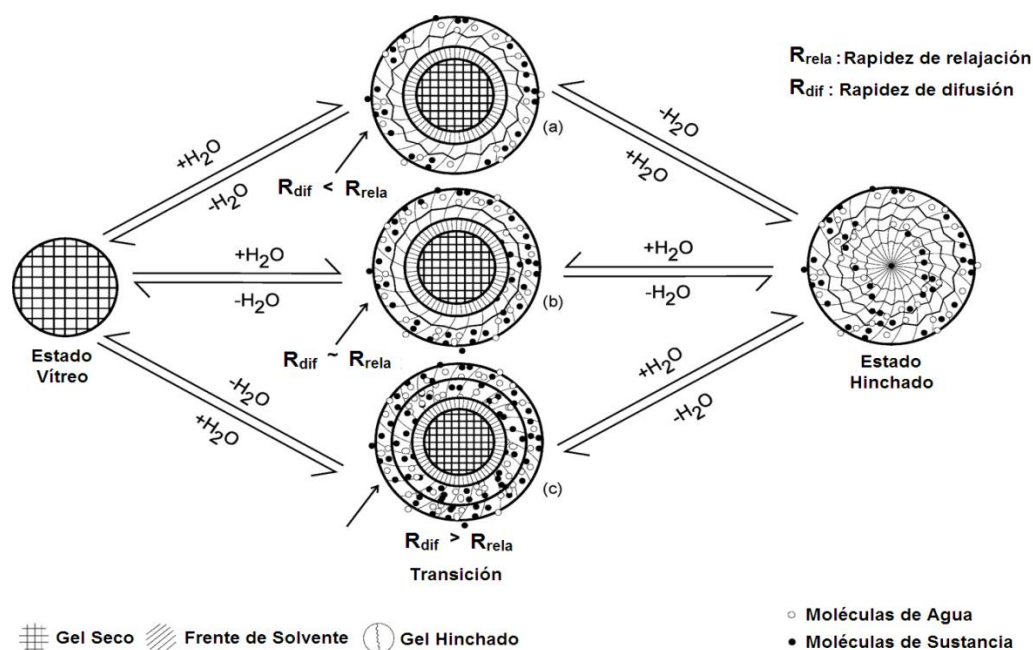


Figura 7. Representación gráfica de los mecanismos de difusión de fluidos para hidrogeles esféricos: (a) Difusión Fickiana, (b) Transporte Anómalo y (c) Transporte Caso-II (Bajpai y cols., 2008).

Interacción del hidrogel/extracto con soluciones ácidas y básicas

Para estudiar el comportamiento de los HG-*D. regia* en soluciones ácidas y básicas se preparó una solución acuosa de los extractos de las flores de *D. regia* (Bojrex Hook) Raf., luego se colocaron los hidrogeles en 25 ml de la misma por 5 horas. Posteriormente, las esferas poliméricas fueron sumergidas, por separado, en 25 ml de las soluciones de CH₃COOH y NaOH todas a una concentración de 0,1 mol/l. A intervalos fijos de tiempo, se extrajeron los hidrogeles, se secaron, se registraron sus masas y se

colocaron nuevamente en los beakers. Este procedimiento se repitió hasta no observar variación en la masa con respecto al tiempo, además se realizó por triplicado tanto para la solución ácida como para la solución básica. Al transcurrir del tiempo se observaron los cambios presentados en el hidrogel y en el color de la solución contenida en el vaso de precipitado.

Para determinar el porcentaje de hinchamiento se empleó la ecuación (1) especificada anteriormente, y se construyeron las curvas de hinchamiento a temperatura ambiente al graficar los %*H* calculados en función del tiempo.

Caracterización por espectroscopía infrarroja de los extractos e hidrogeles empleados

Las muestras de los extractos se analizaron por el método tradicional en un espectrofotómetro FTIR marca Perkin Elmer, modelo Frontier Óptica, para ello se mezcló aproximadamente 150 mg del material con 450 mg de KBr, se comprimió en forma de pastilla y se procedió a realizar el análisis por transmisión mediante el uso de un porta muestra. Mientras que para el análisis de los hidrogeles secados a temperatura ambiente (xerogel), cada muestra fue analizada directamente en el espectrofotómetro empleando un accesorio universal de Reflectancia Total Atenuada, por sus siglas en inglés, ATR (Attenuated Total Reflectance).

Desorción del extracto de las flores de *delonix regia* (bojer ex hook) raf. en agua

La desorción en agua del extracto de las flores de *D. regia*, se llevó a cabo mediante la utilización de hidrogeles cargados con la solución del extracto, que luego fueron sumergidos por separado en beakers con 25 ml de agua destilada. Dichas esferas poliméricas permanecieron en estos recipientes durante 48 horas. Una vez transcurrido el tiempo los hidrogeles fueron retirados, pesados y secados a temperatura ambiente para posteriormente ser estudiados mediante Espectroscopia FTIR-ATR.

Prueba antibacteriana de los hidrogeles cargados con extractos de las flores de *D. regia* (bojer ex hook) raf.

Para la evaluación de la capacidad antimicrobiana de los hidrogeles, se llevó a cabo la realización de antibiogramas siguiendo la técnica de difusión en agar. Donde se tomaron los hidrogeles cargados con los extractos de las flores de *D. regia*, un hidrogel cargado con agua y un hidrogel comercial sin utilizar, todos en estado de xerogel; y fueron posicionados en las placas de Petri servidas con agar Müller-Hinton, previamente inoculadas con la cepa clínica ATCC 25923 de la especie *Staphylococcus aureus*, clasificada como una bacteria *Gram positiva* según la coloración de Gram. Posteriormente, las placas se preincubaron a 5 °C por 12 horas y luego se incubaron a 37 °C por 24 horas (Bauer y cols., 1966). La acción antibacteriana se determinó al observar y medir el diámetro (mm) del halo de inhibición del crecimiento bacteriano alrededor de los hidrogeles.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento porcentual de los extractos obtenidos

Una vez realizadas las extracciones sucesivas con etanol a las flores de *D. regia*, se determinó el rendimiento porcentual de los procesos de obtención. En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos de las extracciones mediante los métodos: soxhlet y maceración. Se aprecia que el rendimiento más alto se obtuvo en la extracción soxhlet con un rendimiento de 11,09 % m/m.

Tabla 2. Rendimiento porcentual en la obtención de extractos de las flores de *Delonix regia* (Bojer ex Hook) Raf.

Método de extracción	Flores húmedas (g)	Extracto crudo (g)	Rendimiento (% m/m)
Soxhlet	200,1281	22,1861	11,09
Maceración	282,7109	17,1994	6,08

De acuerdo a Luque y Priego (2010), la extracción soxhlet permite que la muestra este en contacto repetidas veces con porciones puras de disolvente, lo que facilita el desplazamiento del equilibrio de transferencia; además el proceso se realiza con el disolvente caliente y esto favorece la solubilidad de los analitos presentes en la muestra sólida. Dicha aseveración permite explicar los resultados obtenidos, de un mayor porcentaje de rendimiento para el método soxhlet y menor para el método de maceración.

Además, se observa que los rendimientos porcentuales fueron inferiores al 15 %, valores que son comunes en el campo de los productos naturales, ya que las fuentes vivas tienen un alto contenido de agua. De acuerdo a lo experimentado se puede decir que muchos de los compuestos que sintetiza la especie estudiada son de naturaleza polar y poseen una excelente afinidad por el etanol (Sepúlveda y cols., 2003).

Análisis fitoquímico

La evaluación química preliminar de los extractos provenientes de las flores de *D. regia* (Bojer ex Hook) Raf. permitió, de manera rápida y sencilla, identificar la posible presencia de algunos compuestos químicos, realizando pruebas cualitativas específicas de una familia o grupo de metabolitos. Las familias de compuestos orgánicos detectados fueron: flavonoides, polifenoles y taninos; los cuales se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Análisis químico preliminar de extractos de las flores de *D. regia* (Bojer ex Hook) Raf.

Metabolitos Secundarios	Soxhlet	Maceración
Saponinas	-	-
Flavonoides	+	+
Glicósidos cardiotónicos	ND	-
Glicósidoscianogénicos	ND	-
Polifenoles	+	+
Taninos	+	+
Antraquinonas	-	-
Alcaloides	-	-
Esteroles insaturados	ND	-
Triterpenospentacíclicos	ND	-
Cumarinas	-	-
Metilencetonas	-	-
Fenilpropanoides	-	-

ND: no determinado.

Los flavonoides, sin ser metabolitos primarios, están ampliamente distribuidos en el reino vegetal y se encuentran en las plantas en forma de glucósidos (Marcano y cols., 2002). Son compuestos muy importantes para el desarrollo y buen funcionamiento de las plantas, ya que actúan como agentes antimicrobiales, fotoreceptores y protectores contra la luz UV; además, presentan propiedades relacionadas con la salud humana, lo cual se

basa en la actividad antioxidante y eliminación de radicales libres (Cartaya y Reynaldo, 2001). Su esqueleto carbonado contiene 15 carbonos ordenados en dos anillos aromáticos unidos por un puente de tres carbonos y se clasifican en función del grado de oxidación del puente de tres carbonos (Yonekura y cols., 2019). *D. regia* se destaca por ser una planta que está constituida por una gran variedad de flavonoides como antocianinas, antocianidinas, flavanonas, flavonas, catequinas y chalconas (Adjé y cols., 2010), lo que concuerda totalmente con la prueba positiva obtenida en este estudio. Así, Adjé y colaboradores (2012) en estudios realizados lograron caracterizar mediante cromatografía líquida (HPLC-DAD) siete nuevos flavonoles en los extractos acuosos de las flores de *D. regia* (Bojer ex Hook) Raf., siendo estos compuestos: 5-quercetina 3-O-rutinosido, 7-quercetina 3-O-glucosido, 6-quercetina 3-O-robinobiosido, 8-quercetina 3-O-galactosida, 9-aglicona de kaempferolrhannosil-hexosida, 10-aglicona de isorhametolrhannosil-hexosida y 11-aglicona de quercetina, representados en la Figura 8.

Igualmente, los fenoles fueron detectados en todos los extractos evaluados. En este sentido, se sabe que las plantas sintetizan una gran variedad de productos secundarios que contienen al menos un grupo fenol. Desde el punto de vista de su estructura química, son un grupo muy diverso que comprende desde moléculas sencillas como los ácidos fenólicos hasta polímeros complejos como los taninos y la lignina (Torres, 2018). Estudios realizados a extractos de *D. regia* coinciden con la presencia de estos metabolitos en la planta. Entre dichos estudios se encuentra el realizado por Shabir y colaboradores en 2011, quienes analizaron mediante HPLC el extracto de diferentes órganos del árbol *D. regia* e identificaron quince compuestos fenólicos en general; siendo los principales: ácido protocatechico, ácido trans-cinámico, ácido salicílico, ácido clorogénico y ácido gálico.

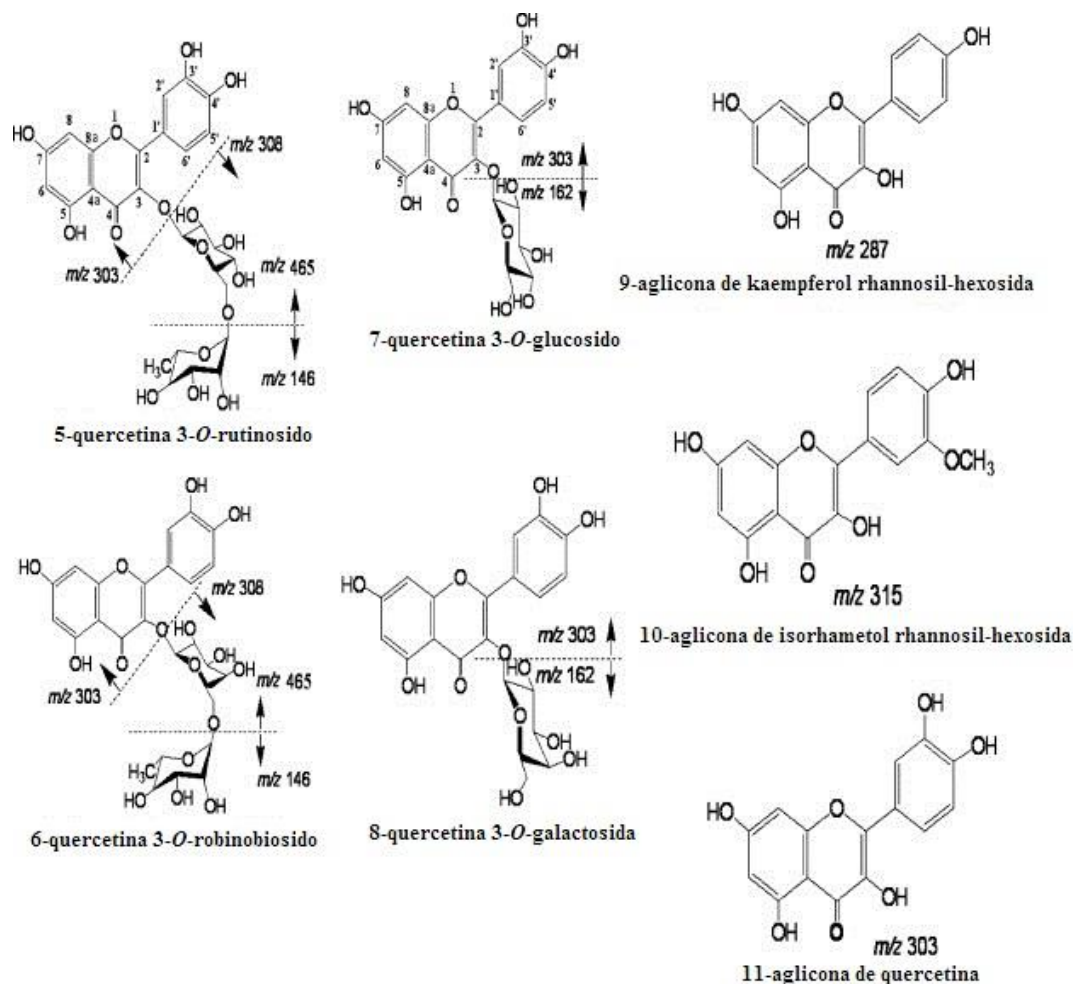


Figura 8. Estructura química de los flavonoides identificados en el extracto de *D. regia* (Adjé y cols., 2012).

Los taninos son sustancias fenólicas extraídas de plantas y algas, que resultan de la combinación de una molécula de azúcar, generalmente glucosa, con un número variable de moléculas de ácidos fenólicos, ácido gálico o ácido elágico, y que tienen la habilidad de formar complejos con proteínas, polisacáridos, ácidos nucleídos y esteroides. Estos metabolitos poseen propiedades antioxidantes, quimio-terapéuticas, anti-inflamatorias y antimicrobianas (Olivas y cols., 2015). El resultado positivo de la presencia de taninos en los extractos de las flores de *D. regia* es consistente con el trabajo realizado por Chai y colaboradores (2012), quienes analizaron los taninos condensados en extractos de diversos órganos del árbol *D. regia* y encontraron los siguientes compuestos: propelargonidina (PP), procianidina (PC) y prodelfinidina (PD).

Es importante mencionar que las pruebas indicadas anteriormente son de carácter general, y que posiblemente algunas generen falsos positivos debido a interferencias ocasionadas por la complejidad de los extractos analizados, ya que contienen una gran variedad de compuestos (Marcano y cols. 2002). Además, el hecho de no haber detectado la presencia de algunas familias de metabolitos, no implica necesariamente la ausencia de los mismos, pues, es posible que estos se encuentren en concentraciones muy bajas o inferiores a los límites de detección de las pruebas realizadas.

Para confirmar la presencia de las familias de los diversos metabolitos secundarios detectados, se realizaron análisis de FTIR a los extractos. Los resultados de estos análisis están representados en la Figura 9, en la cual se observan señales que confirman la presencia de grupos funcionales correspondientes a los compuestos antes mencionados.

La banda ancha e intensa que aparece entre 3400 cm^{-1} y 3100 cm^{-1} corresponde al estiramiento O-H de alcoholes y fenoles; y está relacionada con la señal ubicada aproximadamente a 1400 cm^{-1} que puede atribuirse a la flexión del enlace O-H del tipo R-OH y de fenoles. Además la banda entre 620 cm^{-1} y 600 cm^{-1} tiene que ver con la flexión fuera del plano del enlace C-OH de alcoholes, indicando la presencia de compuestos como flavonoides y taninos. Cabe destacar, que de acuerdo al estudio realizado por Abdel y colaboradores (2016) las amplias absorciones alrededor de 2500 cm^{-1} y 3500 cm^{-1} centradas en aproximadamente 3343 cm^{-1} confirman la existencia de grupos O-H carboxílicos y grupos COOH libres, información que permite ratificar la asignación de señales hechas en la investigación en curso.

Por otro lado, a 2927 cm^{-1} se encuentra la señal correspondiente al estiramiento C-H, características de carbono con hibridación sp^3 . También, se observa una banda pronunciada a 1629 cm^{-1} atribuible al estiramiento C=C; y la banda a 864 cm^{-1} está relacionada con la flexión C-H fuera del plano correspondiente a un anillo aromático *p*-disustituido, estructura característica de los flavonoides y taninos.

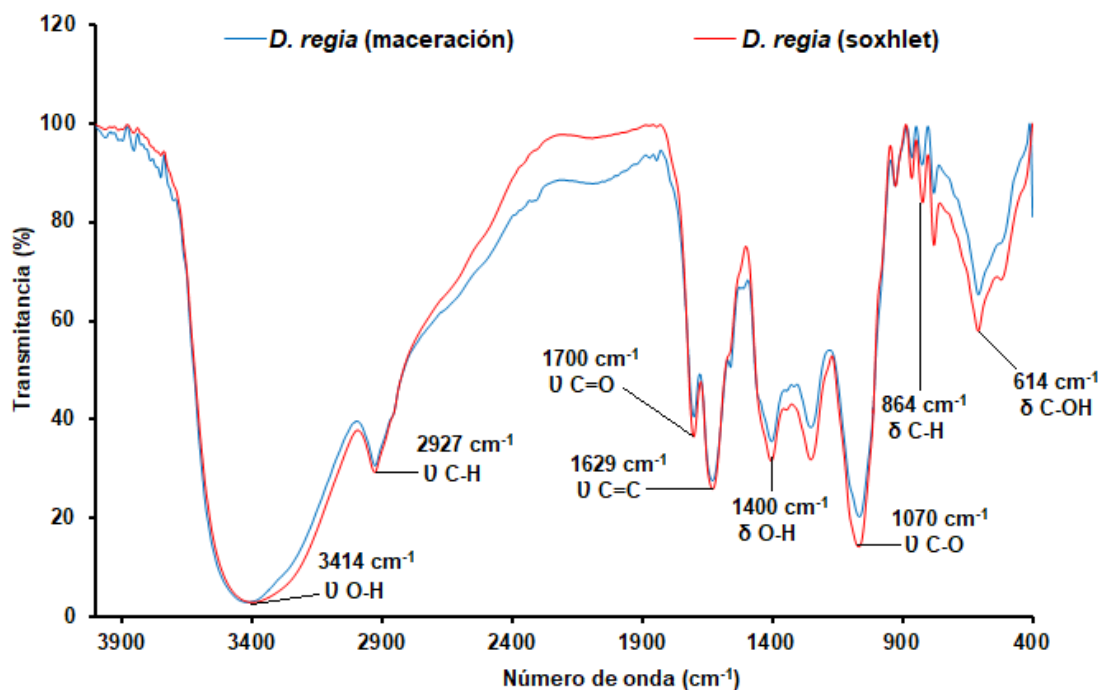


Figura 9. Espectros FTIR de los extractos obtenidos por soxhlet y maceración de las flores de *D. regia* (Bojer ex Hook) Raf.

Además, la señal observada en 1700 cm^{-1} corresponde al estiramiento $\text{C}=\text{O}$ de compuestos carbonílicos que se relacionan con la familia de compuestos polifenólicos como los flavonoides. Esta señal también es descrita por Goldson y colaboradores (2016) en su estudio sobre la caracterización del *D. regia*, cuya señal a una longitud de onda de $1742,63\text{ cm}^{-1}$ la atribuyen al estiramiento $\text{C}=\text{O}$ del carbonilo.

Valoración colorimétrica y potenciométrica de los extractos

Las valoraciones ácido-base se utilizan de manera sistemática en casi todos los campos de la química y tienen muchas áreas de aplicación. El método de detección más utilizado es con indicadores químicos, que deben mostrar su cambio de color dentro de un intervalo de respuesta de $p\text{H}$ que abarque el punto de equivalencia. Por otro lado, cuando se registra con un potenciómetro, la variación de $p\text{H}$ de una disolución al ir añadiendo el agente titulante se obtiene la curva de valoración, al representar los datos de $p\text{H}$ frente al volumen, la cual permite una estimación más precisa del punto de equivalencia

(Martínez, 2017).

En la Tabla 4 se muestran los datos y resultados obtenidos durante la titulación volumétrica de HCl con NaOH empleando el extracto como indicador de pH, para la que se obtuvo un volumen de equivalencia promedio de $\pm 9,9250$ ml y al que le corresponde una concentración de $0,1012$ mol/l. Es importante mencionar que con el uso del extracto de *D. regia* como indicador, se observó un cambio rápido de color con la adición de titulante en el punto final, característica fundamental de un indicador de pH convencional.

Tabla 4. Datos y resultados obtenidos de la titulación volumétrica.

V_{HCl} (ml)	V_{NaOH} (ml)	C_{HCl} (mol/l)
10	9,8	0,0999
	10	0,1019
	10	0,1019
	9,9	0,1009
$(V_{NaOH} \pm \text{Error})$ ml		$(C_{HCl} \pm \text{Error})$ mol/l
(9,9250 $\pm$ 0,0957)		(0,1012 $\pm$ 0,0010)

En la Figura 10 se representan las gráficas obtenidas de la valoración potenciométrica, empleando la misma solución e indicador. Para este método el volumen de equivalencia hallado, a través del punto de inflexión de la curva, es 9,9 ml de NaOH. De forma general, se puede decir que los volúmenes de equivalencia obtenidos en las valoraciones volumétricas y potenciométricas son similares. Por lo tanto, se confirma la efectividad del extracto de las flores de *D. regia* como indicador de pH.

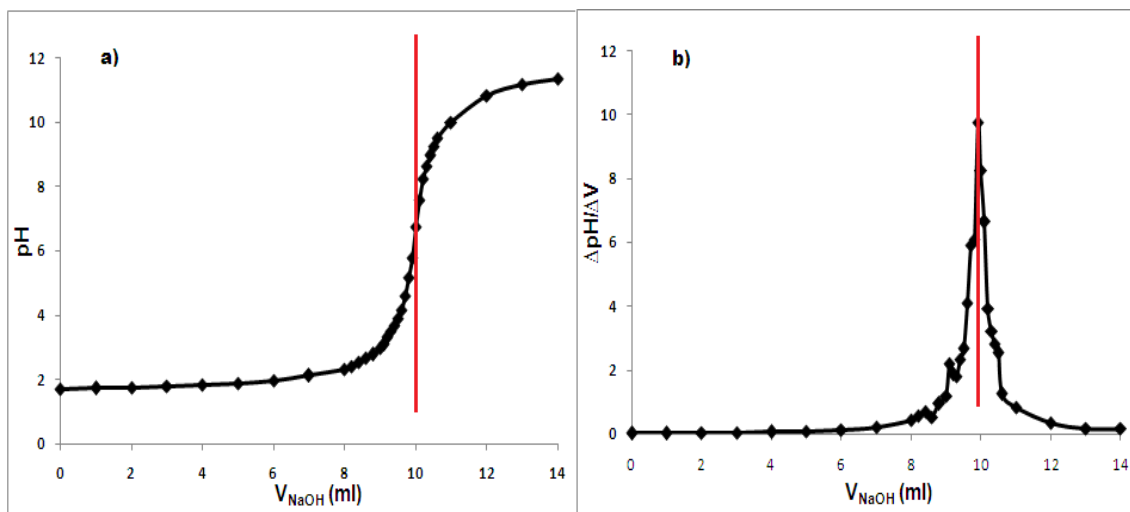


Figura 10. Curva de (a) la valoración potenciométrica de NaOH con HCl 0,1 mol/l y (b) la primera derivada.

Durante las titulaciones volumétricas y potenciométricas realizadas empleando el extracto de las flores *D. regia* como indicador de pH natural, se observó que las soluciones presentaron una disminución de la intensidad de la coloración inicial a medida que el pH del medio se acercaba al punto final de la reacción entre el ácido y la base (Figura 11), pasando de un color rojo a un color naranja claro. A continuación, con la adición de sólo una pequeña fracción de volumen de solución de NaOH el sistema asumía la tonalidad verde claro, sugiriendo exceso de la forma alcalina en relación con la forma ácida del indicador. Después de alcanzado el punto final de la titulación, la adición de solución básica causaba que la coloración del sistema se volviera más intensa, pasando del verde claro a verde y del verde al verde amarillento.

Según Guimarães y colaboradores (2012), el cambio de coloración en función de la variación del pH de la solución que contiene antocianinas está asociado a cambios estructurales de estos compuestos, lo que permite explicar los diferentes colores exhibidos por las soluciones durante las titulaciones volumétricas y potenciométricas empleando el extracto como indicador, representados en la Figura 11.

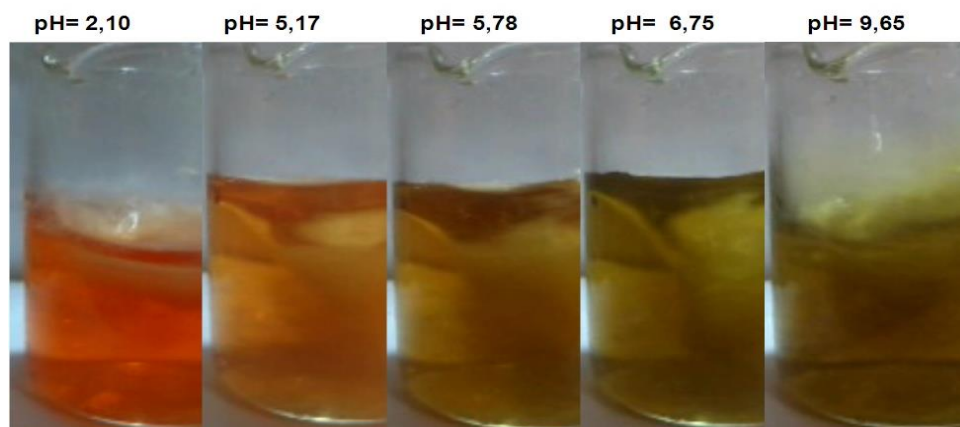


Figura 11 . Variación del color del extracto de las flores *D. regia* (Bojer ex Hook) Raf. durante la titulación volumétrica con NaOH (0,1 mol/l).

Por otro lado, el tipo de volumetría ácido-base en el que puede utilizarse un indicador está relacionado con el rango de pH en el que se ubica el cambio de color del mismo. Cuando un indicador tiene rango de pH para el cambio de coloración situado en la región ligeramente ácida de la escala de pH ($5 < pH < 7$), el uso de este indicador se recomienda en las titulaciones de base débil-ácido fuerte, pues el punto final en ese tipo de titulación ocurre a pH ligeramente ácido; cuando el indicador tiene el rango de pH para el cambio de coloración localizado en la región ligeramente básica ($7 < pH < 9$), el uso de este indicador se recomienda en las titulaciones de ácido débil-base fuerte, pues en este caso, el punto final de la titulación se produce en un pH ligeramente alcalino (Guimarães y cols., 2012).

En la Tabla 5 se observan los colores y valores de pH obtenidos para antes, durante y después del punto final de la titulación potenciométrica con el extracto de las flores de *D. regia* como indicador. De donde se puede inferir que el intervalo de pH para la transición de color de este indicador se localiza en un rango ligeramente ácido ($5,17 < pH < 6,75$), de este modo, el extracto que puede sustituir algunos indicadores convencionales, como púrpura de bromocresol ($5,2 < pH < 6,8$) y rojo de clorofenol ($5,0 < pH < 6,6$).

Tabla 5. Cambios de color y pH del extracto de las flores de *D. regia* (Bojer ex Hook) Raf.; antes, durante y después del punto final en la valoración potenciométrica.

	Antes del Punto Final	Punto Final	Después del Punto Final
Volumen de NaOH (ml)	9,8	9,9	10
pH	5,17	5,78	6,75
Color	Rojo claro	Verde claro	Verde

No obstante, Guimarães y colaboradores (2012) en sus estudios sobre antocianinas en extractos vegetales, exponen que el extracto de las flores de *D. regia* tiene un rango de pH para el cambio de coloración que inicia en pH ácido y termina en pH básico ($5,80 < pH < 8,11$), lo que le confiere la habilidad de poder sustituir a algunos indicadores convencionales, como el ácido rosólico ($6,8 < pH < 8,2$), azul de bromotimol ($6,0 < pH < 7,6$), metanitrofenol ($6,8 < pH < 8,4$), pinacromo ($5,8 < pH < 7,8$) y rojo neutro ($6,8 < pH < 8,0$).

En el estudio realizado por Guimarães y colaboradores (2012) los colores descritos, para la adición del titulante NaOH, son iguales a los exhibidos por el extracto de las flores de *D. regia* como indicador en este trabajo de investigación. Sin embargo, las diferencias entre el rango de pH obtenido en este estudio y el expuesto por los autores antes mencionados, para el cambio de color del indicador, pueden atribuirse a que se trata de un producto natural, que las flores empleadas provienen de plantas ubicadas en zonas geográficas diferentes y la presencia o concentración de los metabolitos (flavonoides) se ven afectadas de acuerdo a las condiciones del medio en el que se desarrollan dichas plantas.

En este sentido, muchos investigadores indican que los compuestos químicos encontrados en las plantas cambian en función de la región donde éstas se encuentran, pues se ha demostrado que la síntesis de metabolitos secundarios depende de la etapa de desarrollo de la planta y sus niveles constitutivos solo se incrementan como parte de la respuesta al estrés abiótico o biótico; esto se relaciona directamente a efectos

ambientales ya que, la presencia y/o ausencia de ciertas condiciones pueden afectar la formación y la génesis de los productos en las plantas. Los factores ambientales como el clima, el riego, el suelo, la temporada de recolección, el rango de temperatura, el método de secado, las condiciones de almacenamiento e incluso la parte del tejido vegetal evaluada son todos parámetros que deben considerarse al momento de realizar un estudio fitoquímico acerca de los metabolitos esperados o no y la concentración de los mismos, en la planta de interés (Qader y cols., 2017).

Grado de hinchamiento y cinética de absorción de los hidrogeles comerciales en agua y extracto de *D. regia* (bojer ex hook) raf.

En la Figura 12 se muestran las curvas de hinchamiento del xerogel en agua (HG-Agua) y en la solución acuosa del extracto de *D. regia* al 20,4 % m/v (HG-*D. regia*). Se observa que el hidrogel en agua alcanzó un porcentaje de hinchamiento del 8000 %, mientras que el hidrogel sumergido en la solución de extracto absorbió el fluido hasta alcanzar 2400 % de hinchamiento.

Este comportamiento del HG-Agua se debe a la composición del hidrogel comercial, que generalmente es de poliácido acrílico o poliacrilato de sodio, por lo que contiene un gran número de grupos carboxilos (-COOH) ionizables, los cuales son capaces de establecer una mayor cantidad de interacciones de tipo enlace de hidrógeno con el agua provocando fuerzas repulsivas intramoleculares en las cadenas poliméricas al entrar en contacto con dicho solvente, esto conlleva al estiramiento de la red polimérica y por consiguiente al hinchamiento del material (Bejarano y cols., 2008).

Por otro lado, el menor porcentaje de hinchamiento obtenido en el sistema HG-*D. regia* está relacionado con que la capacidad de hinchamiento de algunos hidrogeles se ve afectada significativamente por la presencia de ciertas sustancias (iones o compuestos) en el medio donde se encuentran (Contreras, 2012); lo cual indica que los componentes del extracto de *D. regia* ya sean metabolitos u otros compuestos, interaccionan con los grupos ionizables (-COOH) presentes en el hidrogel, ocupando los espacios de

interacción en las cadenas del polímero y limitando así la entrada de moléculas de agua.

Para Kim y colaboradores (2005), la capacidad de hinchamiento de hidrogeles iónicos en soluciones salinas decrece significativamente comparado con el hinchamiento en agua desionizada, esto es atribuido a que decrece la diferencia de la presión osmótica entre la red del hidrogel y la solución externa.

En el 2013, Ramírez y colaboradores evaluaron el comportamiento de hinchamiento de hidrogeles de poli(AAm-co-AI) en diferentes medios acuosos, observando una disminución del %H cuando el hidrogel se sumergió en una solución de Ca^{2+} , en comparación con el obtenido en agua desionizada. Para los autores, cuando este ion divalente está en el interior del hidrogel interacciona con las unidades ionizadas (principalmente COO^-) presentes en la estructura, generando enlaces iónicos que restringen la entrada del fluido

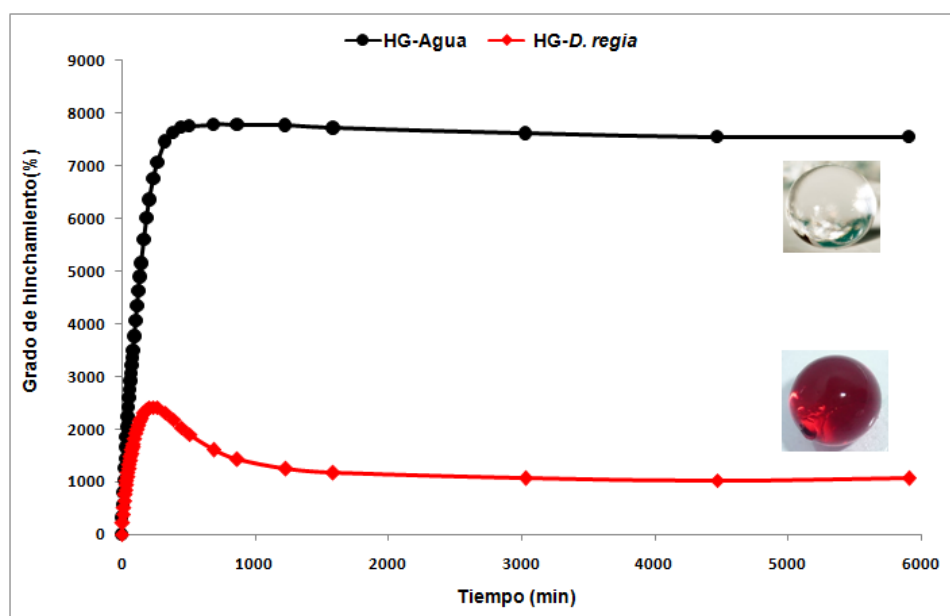


Figura 12. Curva de hinchamiento del hidrogel en agua y en la solución acuosa (20,4 % m/v) de los extractos de las flores de *D. regia* (Bojer ex Hook) Raf.

En la curva de hinchamiento del hidrogel en la solución del extracto de las flores de *D.*

regia representada en la Figura 12 se observa un incremento del grado de hinchamiento hasta un punto máximo y posteriormente la curva decae hasta alcanzar el equilibrio de hinchamiento. De acuerdo a diversos estudios realizados (Franson y Peppas, 1983; Valencia y Piérola, 2001) este comportamiento se debe a un proceso de sobrehinchamiento. Sin embargo, Katime y colaboradores (2005) describen que el fenómeno consiste en un sobrehinchamiento inicial seguido de una disminución del mismo hasta alcanzar el hinchamiento de equilibrio del hidrogel y que este comportamiento lo han intentado explicar otros autores empleando diversos modelos matemáticos, pero dichos modelos tienen puntos fuertes y débiles, lo que significa que ninguno de ellos es totalmente satisfactorio y capaz de explicar todos los resultados experimentales observados hasta el momento.

Por otro lado, Becerra y colaboradores (2009) en su estudio sobre el efecto del pH y la concentración de fosfato en el hinchamiento de hidrogeles de quitosano, atribuyen el sobrehinchamiento a efectos del pH del medio, la formación de nuevos enlaces de hidrogeno y enlaces intramoleculares entre las cadenas del hidrogel. Además, detallan el proceso de sobrehinchamiento en tres etapas. En la primera etapa todos los hidrogeles se hinchan hasta un tiempo determinado. Mientras que la segunda etapa consiste en el establecimiento de entrecruzamientos físicos en el hidrogel debido a la formación de enlaces de hidrógeno entre los grupos aniónicos que componen al hidrogel, lo que provoca la expulsión de una parte del agua absorbida y disminuye el hinchamiento debido al aumento de la densidad de entrecruzamiento en el hidrogel. Finalmente, en la tercera etapa se obtienen las condiciones de equilibrio en el hinchamiento.

Cinética de hinchamiento de los hidrogeles

La cinética de hinchamiento de los hidrogeles estudiados sigue una cinética de segundo orden descrita por la ecuación de Schott (Schott, 1992). Las gráficas obtenidas mediante la aplicación de la ecuación 4, a los datos experimentales, se representan en la Figura 13. En ellas se aprecia una excelente correlación lineal de los datos, ya que R^2 en todos los

casos está por encima de 0,99. Además mediante las ecuaciones de las rectas obtenidas se determinaron los parámetros k_h y $\%W_\infty$.

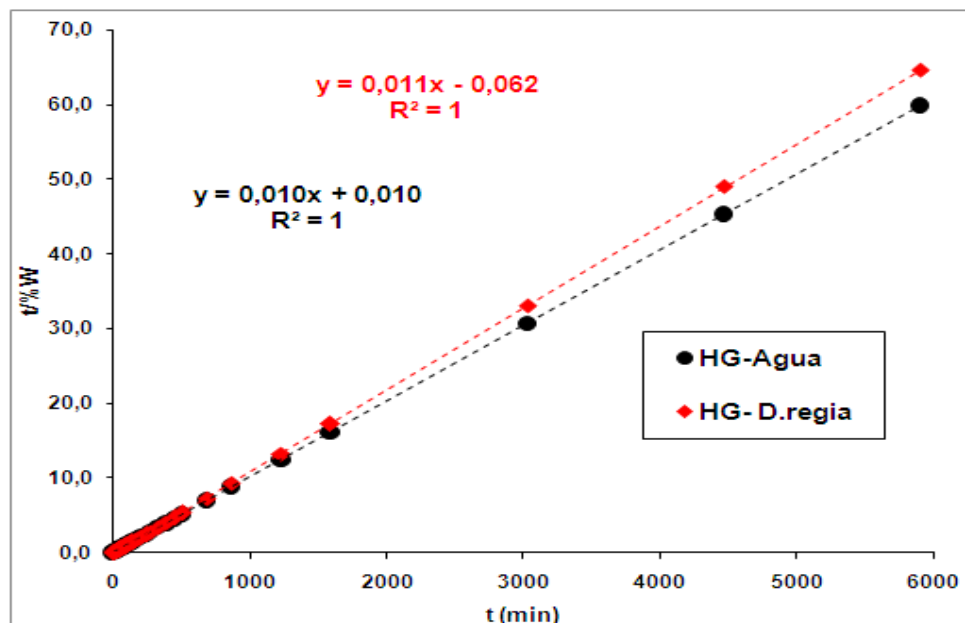


Figura 13. Regresión lineal de las isothermas de hinchamiento, de acuerdo con la cinética de segundo orden para los sistemas HG-Agua y HG-D. regia.

Las constantes cinéticas calculadas a partir de la ecuación de Schott k_h y W_∞ se presentan para HG-Agua y HG-D. regia en la Tabla 6. Donde se observa que la constante de rapidez de hinchamiento k_h disminuyó significativamente su magnitud para el hidrogel sumergido en la solución del extracto en comparación con la obtenida para el hidrogel en agua, esto evidenció que los componentes del extracto interaccionan con los grupos COO- y C=O presentes en la estructura del polímero y sustituyen los enlaces de hidrógeno que los mismos forman con el agua. Ramírez y colaboradores (2011), obtuvieron resultados similares cuando evaluaron la cinética de hinchamiento de hidrogeles de poli(AAm) y poli(AAm-co-AI) en agua y en solución acuosa de iones Ca^{2+} y en todos los copolímeros obtenidos observaron que k_h fue más alta cuando los hidrogeles se sumergieron en agua.

Tabla 6. Valores de k_h y W_∞ obtenidos de la cinetica de hinchamiento de segundo orden para los sistemas HG-Agua y HG-D. *regia*.

	W_∞ (%)	k_h (min^{-1})	R^2
HG-Agua	100,00	0,0100	1
HG-D. <i>regia</i>	90,91	0,0019	1

Mecanismo de difusión del agua o soluciones del extracto en el hidrogel

A partir de los datos registrados del grado de hinchamiento y tomando en cuenta la definición de Crank (1975) (Ec. 7) para el parámetro F , se obtuvieron las curvas mostradas en la Figura 14 para los sistemas HG-Agua y HG-D. *regia*. Estas gráficas obtenidas muestran una excelente correlación lineal para valores menores al 60 % de aumento en la masa del hidrogel.

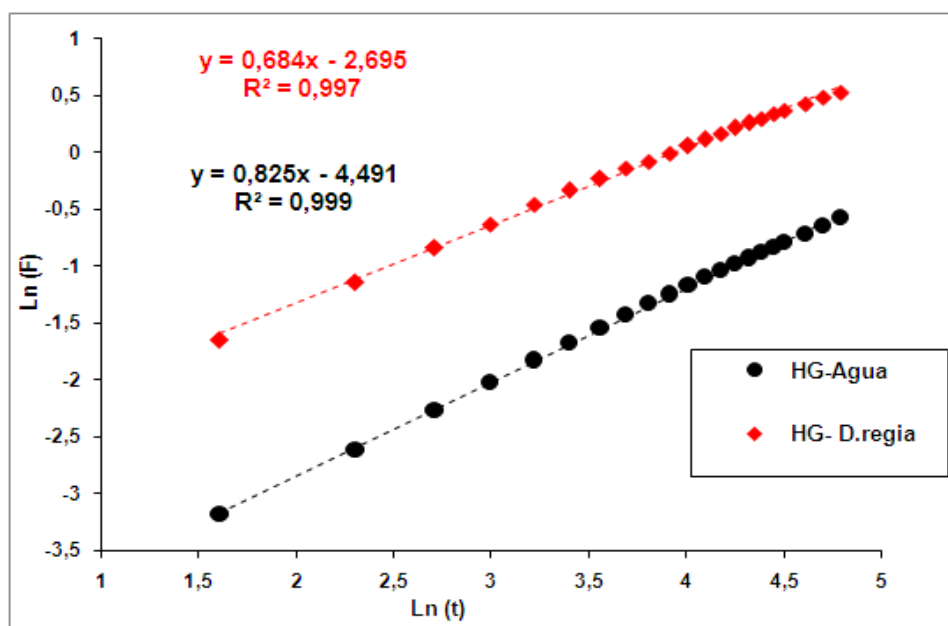


Figura 14. Región lineal para las curvas de $\text{Ln}(F)$ vs $\text{Ln}(t)$ obtenidas de los datos de hinchamiento de los sistemas HG-Agua y HG-D. *regia*.

La 7 describe los parámetros cinéticos n y k_d para los sistemas HG-Agua y HG-D. *regia*, donde los valores obtenidos para n en ambos casos se encuentran en el rango $0,43 < n < 0,85$; lo que indica que el mecanismo de difusión del agua y el extracto es del

tipo no Fickiano o anómalo. Esto quiere decir que los procesos de difusión y relajación de tensiones de las cadenas ocurren simultáneamente, de forma tal que el predominio de un proceso sobre el otro está relacionado cuanto mayor sea la desviación con respecto al comportamiento Fickiano (Brazel y Peppas, 2000; García y cols., 2003).

Tabla 7. Valores de los parámetros n y k_d obtenidos mediante el uso de la ecuación de la ley de potencia y la definición de Crank, para los sistemas HG-Agua y HG-D. *regia*.

	n	K_d (min^{-1})	R^2
HG-Agua	0,825	0,0112	0,999
HG-D. <i>regia</i>	0,684	0,0675	0,997

A pesar de que el mecanismo de difusión de las sustancias es de tipo anómalo, se observa que los valores de n obtenidos difieren significativamente y puede decirse que existe el predominio de un proceso (relajación o difusión) sobre el otro. El valor de n para el HG-Agua (0,825) presenta una desviación hacia el mecanismo de transporte caso II, donde la difusión es muy rápida en comparación con los procesos de relajación de las cadenas poliméricas, lo que quiere decir que el hidrogel se hincha más rápido y las moléculas de agua interaccionan fácilmente con las cadenas del hidrogel. Mientras que el valor de n para el HG-D. *regia* (0,684) se acerca al mecanismo de transporte controlado por la difusión de Fick, donde la velocidad de difusión es mucho menor que la de relajación, indicando que el proceso de difusión está siendo afectado por las especies o compuestos presentes en el extracto y que interaccionan de manera importante con los grupos COOH, lo que a su vez afecta la relajación de la cadena macromolecular (Taşdelen y cols., 2004). Además, posiblemente las moléculas presentes en el extracto son grandes en comparación con la del agua, por lo que las cadenas poliméricas tienden a relajarse para permitir la entrada del extracto a la red.

Caracterización del hidrogel comercial

Como se destaca en el estudio realizado por Gómez y Cañamero (2011), los hidrogeles

comerciales están constituidos en su mayoría por poliacrilato de sodio, el cual es un polímero formado por monómeros de acrilato de sodio y tiene una gran afinidad por moléculas orgánicas polares, como lo es el agua.

El poliacrilato de sodio es considerado un compuesto ionizable porque al entrar en contacto con el agua desprende iones de sodio y se liberan los iones negativos de carboxilato (Figura 15) que se repelen entre sí. Para recuperar la estabilización del compuesto los iones tienen que captar las moléculas de agua del medio, produciéndose un efecto de estiramiento de la cadena principal y provocando un aumento en su volumen (Evangelista y cols., 2019).

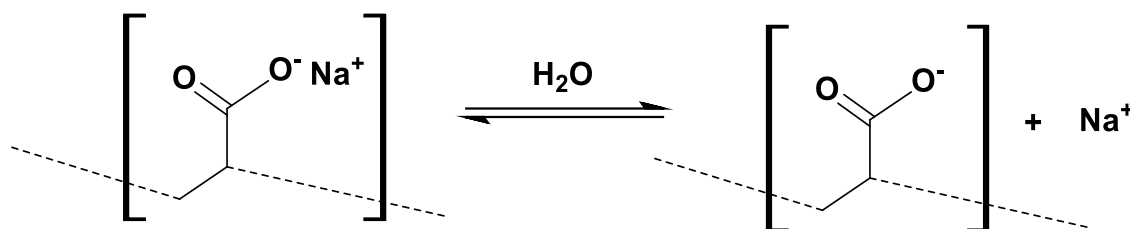


Figura 15. Equilibrio de ionización del poliacrilato de sodio.

En la Figura 16 se muestra el espectro FTIR-ATR del hidrogel comercial, observando señales que podrían asignarse al polímero poliacrilato de sodio, debido a la presencia de las señales: C-H, C=O, COO⁻, O-H y C-O, características de dicho material (Espectro FTIR teórico de poliacrilato de sodio en Apéndice J). La banda ancha entre 3600 cm⁻¹ y 3100 cm⁻¹ corresponde a las vibraciones de estiramiento del enlace O-H, que puede atribuirse a la protonación, mediante enlaces de hidrógeno con moléculas de agua del medio, del ion carboxilato representado en el equilibrio de la Figura 15 .

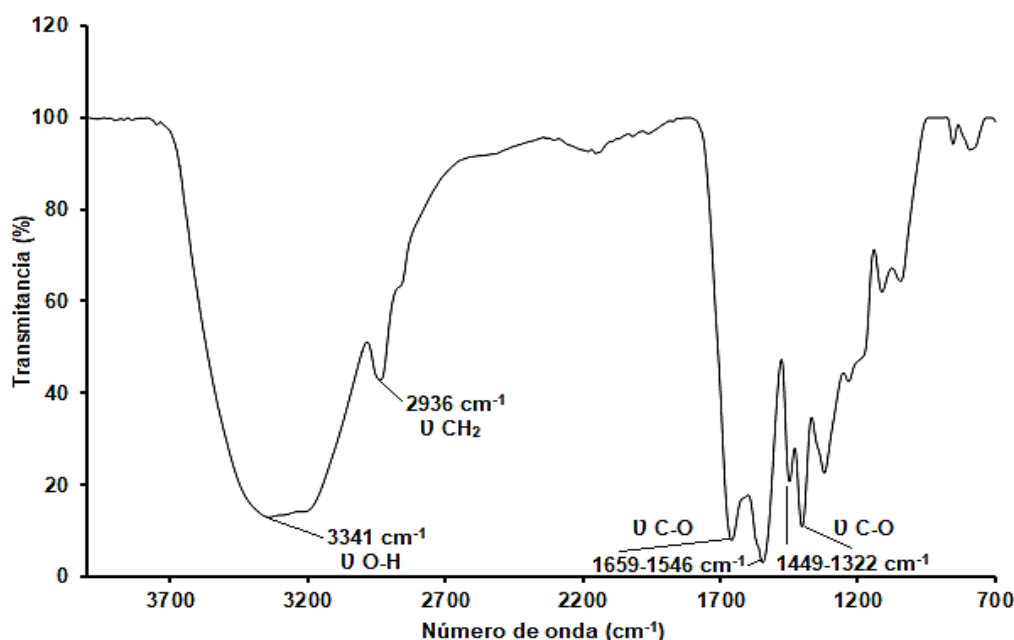


Figura 16. Espectro FTIR-ATR del hidrogel comercial.

Se observa una señal en 2936 cm^{-1} característica del estiramiento del enlace C-H alifático. Por otro lado, la vibración de estiramiento C=O para un grupo carboxilato, que generalmente aparece entre 1690 cm^{-1} y 1760 cm^{-1} , es desplazada mediante enlaces de hidrógeno (García, 2002). Debido a que ocurre la ionización del poliacrilato de sodio, se generan iones COO^- y es posible el equilibrio de resonancia entre los dos átomos de oxígeno unidos al átomo de carbono en dichos iones. En consecuencia, la banda de absorción característica del carbonilo asociada con una especie de carboxilato protonado desaparece y es reemplazada por dos bandas de absorción (Lee y cols. 1996) que se observan en las regiones de 1546 cm^{-1} a 1659 cm^{-1} y 1449 cm^{-1} a 1322 cm^{-1} , y corresponden a las vibraciones de estiramiento de C-O asimétrico y simétrico, respectivamente. De acuerdo a los estudios realizados por Lee (1996) y Bejarano (2008) las señales comprendidas en el rango 1552 cm^{-1} y 1572 cm^{-1} para el poliacrilato de sodio se relacionan con los modos de estiramiento asimétricos de los grupos C-O, mientras que modo de estiramiento simétrico del grupo carboxilato aparece entre 1416 cm^{-1} y 1419 cm^{-1} , señales que se encuentran en concordancia con los resultados encontrados en esta investigación.

En la Figura 17 se muestran los espectros FTIR-ATR del hidrogel comercial y del hidrogel cargado con solución de *D. regia* (Bojer ex Hook) Raf. al 20,4 % m/v. Se confirma la interacción del hidrogel con el extracto de *D. regia*, ya que se observa el desplazamiento y aparición de algunas señales. Se aprecia el desplazamiento de las señales a 3341 cm^{-1} , 2936 cm^{-1} , 1659 cm^{-1} y 1546 cm^{-1} en el hidrogel comercial hacia 3277 cm^{-1} , 2924 cm^{-1} , 1652 cm^{-1} y 1550 cm^{-1} en el HG-*D. regia*, respectivamente (Tabla 8).

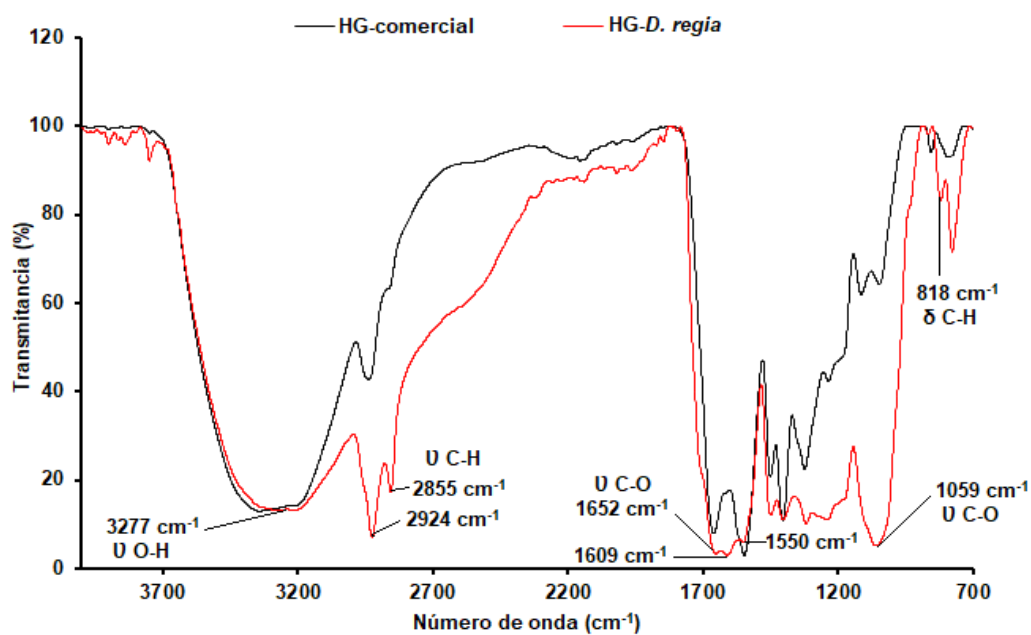


Figura 17. Espectros FTIR-ATR del hidrogel comercial y el xerogel cargado con solución de *D. regia* (Bojer ex Hook) Raf al 20,4 % m/v.

Las señales a 1659 cm^{-1} y 1546 cm^{-1} inicialmente asignadas al grupo C=O en el hidrogel comercial, ahora se observan solapadas en una especie de banda ancha y desplazadas en el HG-*D. regia* hacia 1652 cm^{-1} y 1550 cm^{-1} , mostrando que ocurren interacciones de tipo enlace de hidrógeno (Alvelázquez y Rojas, 2018), lo cual indica que la interacción con el extracto por el ion carboxilato posiblemente ocurre como se muestra en la Figura 18. Además, los desplazamientos de las señales en 1449 cm^{-1} y 1322 cm^{-1} correspondientes a la vibración de estiramiento de C-O simétrico corroboran que la interacción ocurre por

el ion COO^- . Por otra parte, la aparición de nuevas señales en 2855 cm^{-1} , 1059 cm^{-1} y 818 cm^{-1} indican la presencia del extracto, ya que están relacionadas con los estiramientos C-H de alcanos y estiramientos C-O de fenoles y alcoholes primarios.

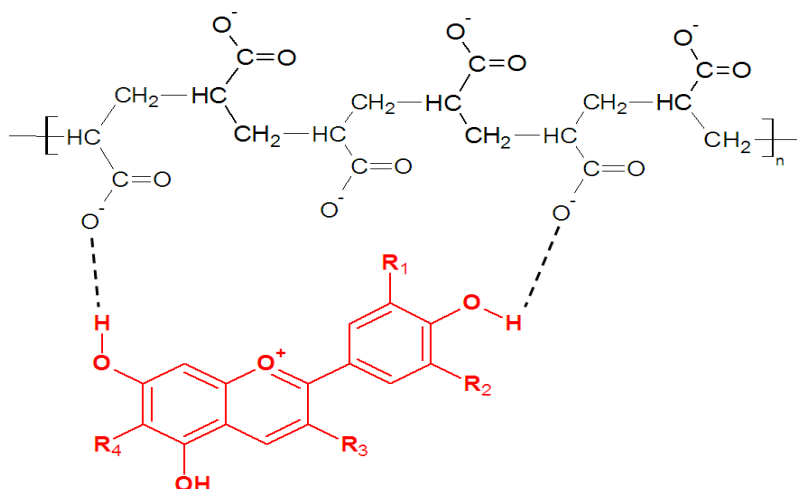


Figura 18. Representación estructural de la posible interacción entre el hidrogel (poliacrilato) y el extracto de las flores de *D. regia*.

Tabla 8. Valores de las frecuencias observadas en los espectros FTIR-ATR del HG-comercial y HG-*D. regia*.

HG-Comercial (cm^{-1})	HG- <i>D. regia</i> (cm^{-1})
3341	3277
2936	2924
ND	2855
1659	1652
1546	1550
1322	1317
ND	1059
792	775

ND: no determinado.

Interacción del hidrogel/extracto con soluciones ácidas y básicas

Una de las propiedades que caracteriza a las antocianinas presentes en el extracto de las flores de *D. regia* (Bojer ex Hook) Raf. es el cambio de color cuando están en contacto con soluciones ácidas o básicas, la cual está relacionada con la capacidad que poseen los flavonoides de exhibir colores diferentes dependiendo del *pH* del medio en que se encuentran, y a su vez este cambio de coloración está asociado a cambios estructurales de dichos compuestos (Guimarães y cols. 2012). En la Figura 19 se muestra la propiedad que presentan los HG-*D. regia* de cambiar de color y tamaño al estar en contacto con soluciones de CH_3COOH ($\text{pH} = 2,80$) y NaOH ($\text{pH} = 9,79$), ambas a una concentración de 0,1 mol/l.

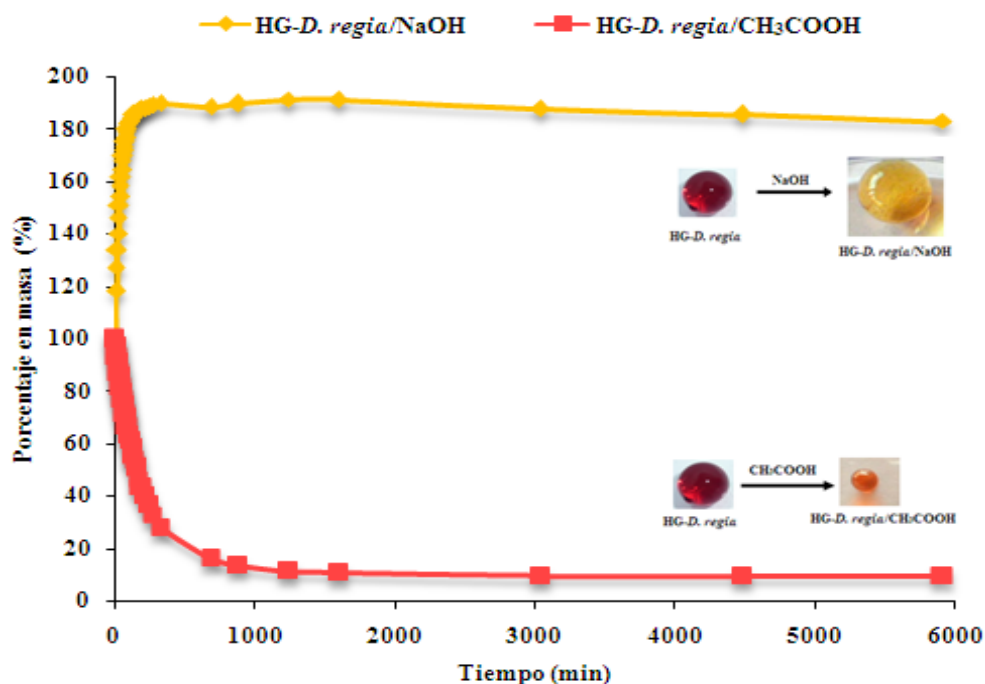


Figura 19. Curvas de interacción del HG-*D. regia* con soluciones de CH_3COOH y NaOH (0,1 mol/l).

En la Figura 19 se aprecia una disminución de la masa cuando el HG-*D. regia* estuvo en contacto con la solución de CH_3COOH , cuya gráfica está representada con una curva descendente. Así mismo, es notorio un aumento de la masa del HG-*D. regia* en contacto

con la solución de NaOH, mostrando una curva ascendente hasta alcanzar el equilibrio.

El poliacrilato de sodio, material con el cual están constituidos los hidrogeles comerciales en su mayoría, puede ionizarse y generar un polielectrolito, el cual es una macromolécula que se disocia para dar iones poliméricos al disolverse en agua u otro solvente ionizante. Debido a la repulsión entre cargas en la cadena polimérica, la cadena se expande cuando se ioniza en un disolvente adecuado. Sin embargo, si el solvente previene la ionización del polielectrolito, la cadena permanece en un estado compacto y plegado (Bajpai y cols., 2008). Las redes poliméricas que contienen grupos ionizables experimentan un cambio brusco o gradual en el comportamiento del hinchamiento como resultado del cambio de pH del medio (Becerra y cols., 2009).

En este sentido, algunos hidrogeles están compuestos por polímeros que contienen en su cadena macromolecular grupos ácidos (ácido carboxílico o sulfónico) capaces de aceptar o liberar protones en presencia de las variaciones del pH del medio circundante. La ionización de estos grupos deja redes poliméricas cargadas, generándose interacciones electrostáticas que producen un hinchamiento o deshinchamiento en el hidrogel. Así, los grupos carboxílicos ($COOH$) aceptan protones a bajos valores de pH y los liberan a altos valores del mismo, por lo que con el incremento del pH se producen repulsiones electrostáticas de los grupos aniónicos carboxílicos (COO^-) provocándose el hinchamiento del hidrogel y a bajos valores de pH los polímeros que contienen este grupo casi no se hinchan, reteniendo la sustancia bioactiva en su interior (Figura 20) (Agüero, 2016).

Cuando los grupos $COOH$ se ionizan se genera una presión osmótica de hinchamiento dentro del hidrogel, pero cuando los grupos ionizados se desprotonan la presión osmótica de hinchamiento desaparece y el hidrogel colapsa (Sundaram y col., 2006). Esto permite explicar lo ocurrido en los HG-*D. regia* cuando estuvieron en contacto con las soluciones de CH_3COOH y NaOH, sabiendo que de acuerdo a caracterizaciones mencionadas anteriormente, el hidrogel empleado contiene grupos ácidos porque es de

poliacrilato de sodio.

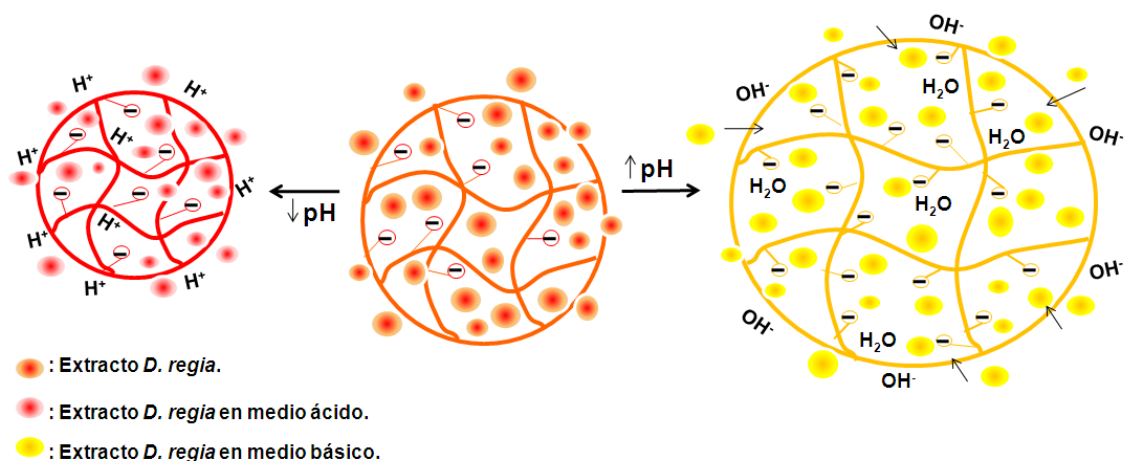


Figura 20. Representación esquemática del efecto que tiene el pH sobre un hidrogel y la desorción y/o retención de una sustancia contenida en su interior.

En cuanto a los cambios de color, se puede decir que cuando el hidrogel fue sumergido en la solución ácida (CH_3COOH de $pH = 2,80$) mantuvo la coloración roja propia del extracto *D. regia* ($pH_{\text{extracto}} = 3,92$), lo cual se debe a la elevada concentración de la forma estructural del catión flavilio. De acuerdo con esto, el equilibrio de la reacción está desplazado hacia la forma estructural del ion flavilio, como se representa en la

Figura 21.

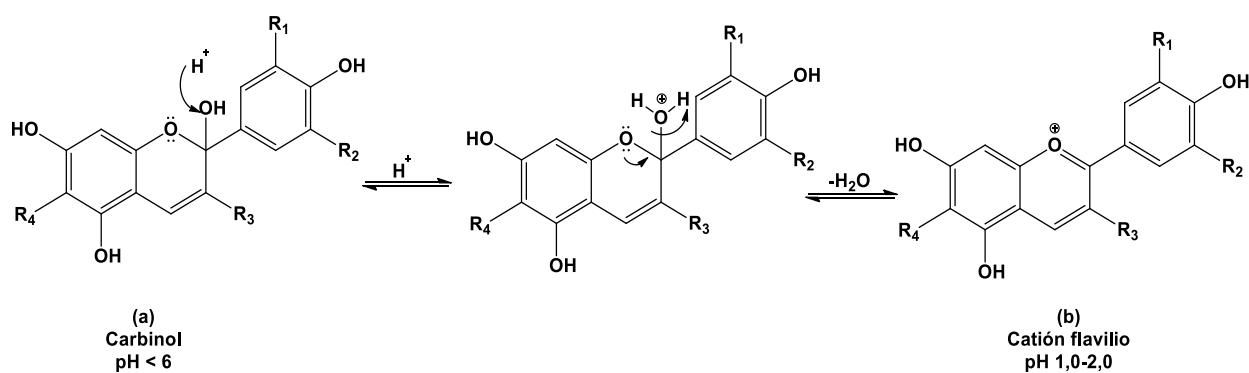


Figura 21. Cambios estructurales de la forma carbinol al catión flavilio.

Sin embargo, al hidrogel estar en contacto con la solución básica (NaOH de $pH = 9,79$) tomó inicialmente una coloración verde amarillenta y posteriormente pasó al amarillo. Este comportamiento se debe a que cuando el pH de la solución aumenta se produce la anhidrobase, la cual va sufriendo ionización a medida que se eleva el pH y cuando el mismo se encuentra entre 8 y 10 unidades la anhidrobase asume una coloración azul-verdosa, después pasa del verde al verde-amarillento entre pH 10 y 12. Mientras que por encima de pH 12, la solución se vuelve amarilla debido a que se produce la apertura del anillo benzopirilio, dando origen a las estructuras llamadas chalconas (Figura 22) (Guimarães y cols. 2012).

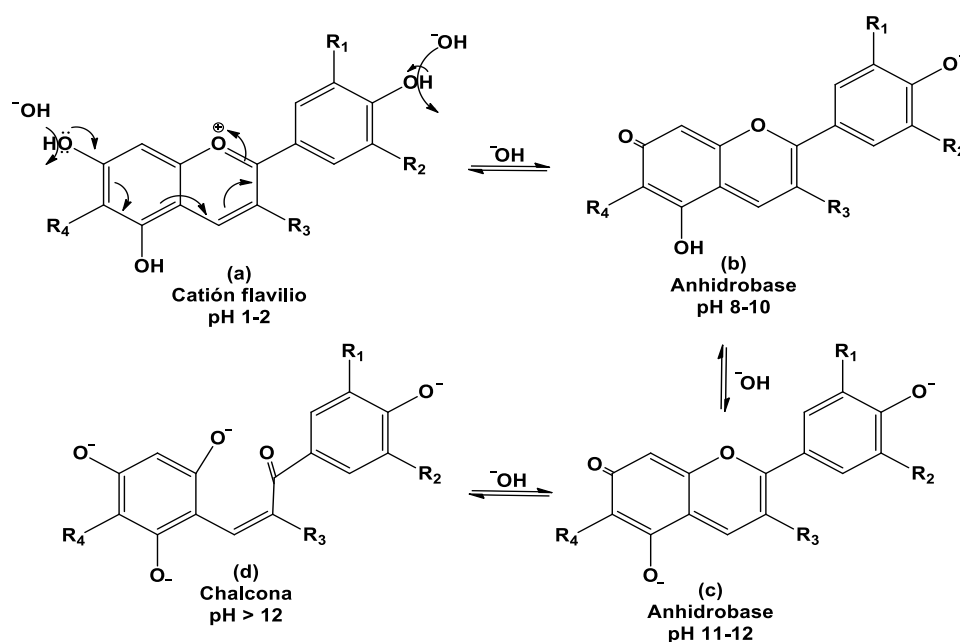


Figura 22. Ionización del catión flavilio por el aumento del pH .

Caracterización FTIR-ATR

Luego de evaluar la interacción del HG-*D. regia* con las soluciones ácidas y básicas, todos los hidrogeles se dejaron secar a temperatura ambiente para su posterior análisis por FTIR-ATR.

Como se mencionó anteriormente el hinchamiento de los hidrogeles se ve afectado por el pH del medio en el que se encuentran, debido a la presencia de grupos ionizables de la red tridimensional, los cuales pueden protonarse o desprotonarse dependiendo del valor del pH del medio. Por esta razón se observó una reducción en el tamaño del hidrogel HG-*D. regia* en contacto con la solución de CH_3COOH y luego de dejarlo secar a temperatura ambiente el resultado fue un xerogel en forma de esfera muy rígida. Al ser analizado el HG-*D. regia*/ CH_3COOH por el espectrofotómetro FTIR-ATR se obtuvo un espectro con mucho ruido, en el cual no se distinguen señales claras que puedan ser asignadas con certeza a grupos funcionales, por lo que dicho espectro se muestra en el Apéndice I. Sin embargo, en la Figura 23 se exponen los espectros FTIR-ATR del HG-*D. regia* y el HG-*D. regia* después de estar en contacto con la solución de NaOH.

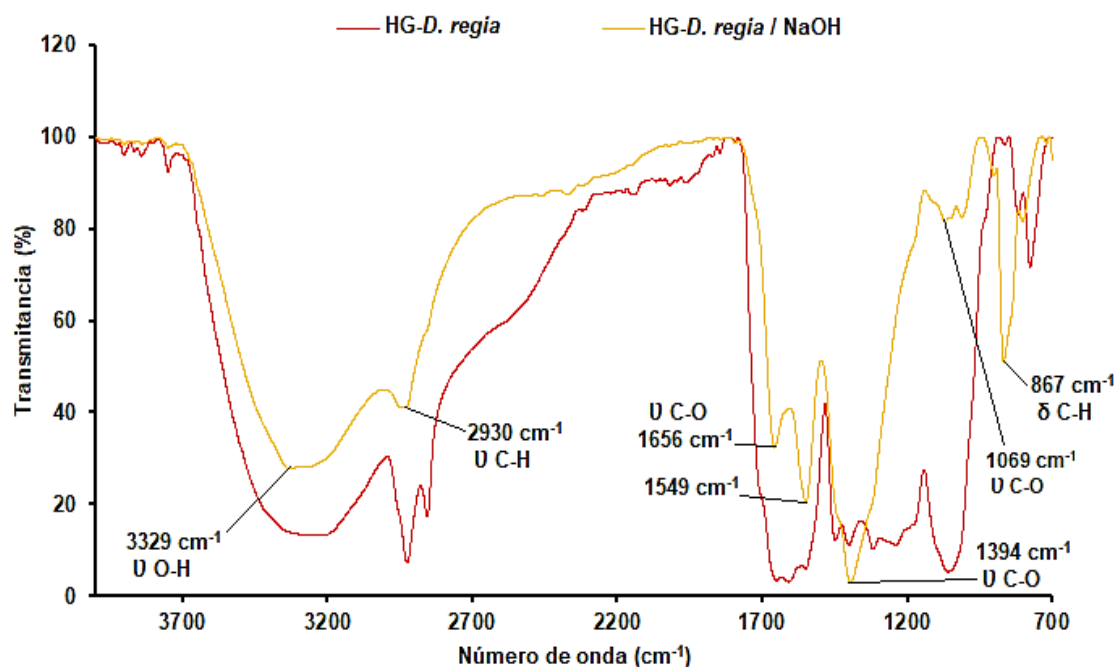


Figura 23. Espectros FTIR-ATR del HG-*D. regia* y el HG-*D. regia*/NaOH.

Se confirma la interacción de la base tanto con el extracto de las flores de *D. regia* como con el hidrogel, debido a la desaparición y desplazamiento de diversas señales en el espectro HG-*D. regia*/NaOH. Iniciando con el desplazamiento a un mayor número de

onda de la señal a 3277 cm^{-1} por la banda ancha en 3329 cm^{-1} indicando que un aumento en el pH provoca que los enlaces de hidrógeno se formen solo mediante la participación de grupos hidroxilo (He y cols, 2007). Además del desplazamiento de la banda de 2924 cm^{-1} a 2930 cm^{-1} y de la desaparición de la señal a 2854 cm^{-1} que estuvo presente en el espectro de HG-*D. regia*, variaciones que se encuentran representadas en la Tabla 9. La desaparición de la señal (C=O) en el rango de 1750 cm^{-1} a 1700 cm^{-1} y la presencia de dos bandas a 1656 cm^{-1} y 1549 cm^{-1} para HG-*D. regia*/NaOH indica que no ocurre la interacción que se generaba por los iones COO^- , debido a su equilibrio de resonancia. Además se observa desplazada y con mayor pronunciación la banda a 1394 cm^{-1} , asignable al enlace C-O de la estructura del hidrogel en interacción con la base NaOH.

El desplazamiento hacia un número de onda mayor de la señal a 1069 cm^{-1} , la cual representa el enlace C-O-H o C-O-C y es menos pronunciada que la señal que aparece a 1058 cm^{-1} en el HG-*D. regia*, corrobora que el estiramiento C-O de fenoles y alcoholes primarios ha sido modificado y probablemente se daba a la deslocalización de electrones y el equilibrio tautomérico que presenta la estructura de base quinodoidal o anhidrobase a un pH de 8,85. La estructura formada por las antocianinas en el extracto de las flores *D. regia* a un pH superior a 12 es una chalcona (Figura 24), de tal manera que la desaparición de la señal a 1723 cm^{-1} y la presencia de las dos bandas a 1656 cm^{-1} y 1549 cm^{-1} se puede deber a la formación de enlace de hidrógeno intramolecular entre el hidrógeno del grupo hidroxilo unido al carbono-9 y el grupo carbonilo del polímero.

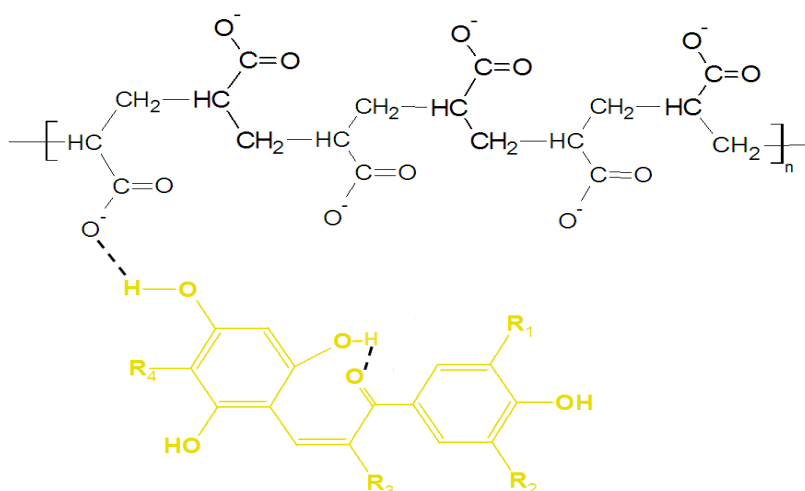


Figura 24. Representación estructural de la posible interacción entre el hidrogel (poliacrilato) y el extracto (Chalcona) en la solución de NaOH.

Tabla 9. Valores de las frecuencias observadas en los espectros FTIR-ATR del HG-*D. regia* y el HG-*D. regia*/NaOH.

HG- <i>D. regia</i> (cm ⁻¹)	HG- <i>D. regia</i> / NaOH (cm ⁻¹)
3277	3329
2924	2930
2854	ND
1651	1656
1550	1549
1317	1394
1058	1069
818	867
775	ND

ND: no determinado.

Desorción del extracto de las flores de *d. regia* en agua

Los hidrogeles representan un importante grupo de biomateriales y son considerados sistemas inteligentes, ya que tienen una respuesta de hinchamiento selectiva dependiendo de las condiciones del medio, tales como: pH, temperatura, fuerza iónica, campo eléctrico y magnético, entre otras (Elliott, J. y cols., 2004; García, D. y cols.,

2004). Por lo que también es posible emplearlos para la desorción de diferentes sustancias o principios activos en soluciones o medios específicos, además se caracterizan por realizar una liberación de forma controlada en periodos de tiempo prolongados (Muñoz y Zuluaga, 2009).

En este sentido, se presenta la capacidad que pueden tener los hidrogeles comerciales de absorber (durante 5 horas) el extracto de las flores de *D. regia* (20,4 % m/v) y su liberación (después de 48 horas) en agua destilada. La Figura 25 es una representación fotográfica del HG-*D. regia* sumergido en agua en el tiempo cero y luego de haber transcurrido 48 horas en el medio. Se observa un incremento en el volumen del hidrogel, lo que se traduce como un hinchamiento, además de un cambio en la tonalidad de la solución acuosa del exterior, dejando en evidencia que se produjo la desorción de una fracción del extracto. Cabe destacar que luego de 48 horas todavía se percibe una coloración rojiza en el hidrogel lo que permite visualizarlo en la solución acuosa e inferir que aún puede haber presencia del extracto en la estructura del material polimérico estudiado.

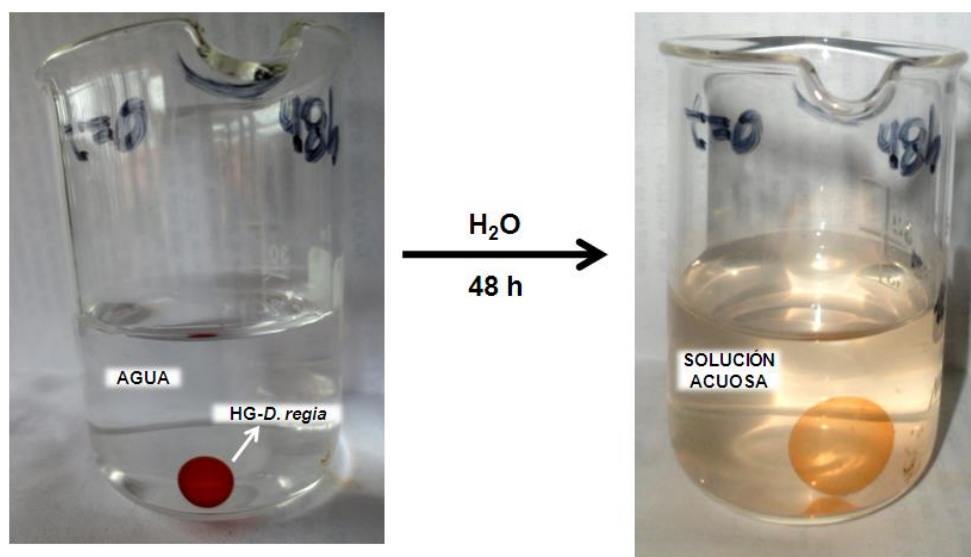


Figura 25. Fotografías del HG-*D. regia* sumergido en agua antes y después de 48 horas.

Estos cambios en el HG-*D. regia*/desorción pueden explicarse a través del concepto de

sistemas osmóticos; los cuales están compuestos por una matriz cargada con una sustancia, que a su vez se encuentra rodeada por una membrana polimérica selectiva al agua. Dicha membrana permite el paso del agua hacia el interior del hidrogel debido a la presión osmótica, pero también presenta una pequeña apertura provocada por la fuerza hidrostática, a través de la cual se libera la sustancia fuera de la matriz antes mencionada (Sáez y cols., 2004).

Culminado el estudio de la liberación del extracto en agua destilada, todos los hidrogeles se dejaron secar a temperatura ambiente para posteriormente ser analizados empleando la espectroscopia FTIR-ATR. En la Figura 26 se presentan los espectros FTIR-ATR del HG-comercial, HG-*D. regia* y HG-*D. regia*/desorción para establecer una comparación e identificar grupos funcionales característicos que permitan certificar o no la liberación completa del extracto, por parte del hidrogel, al medio externo.

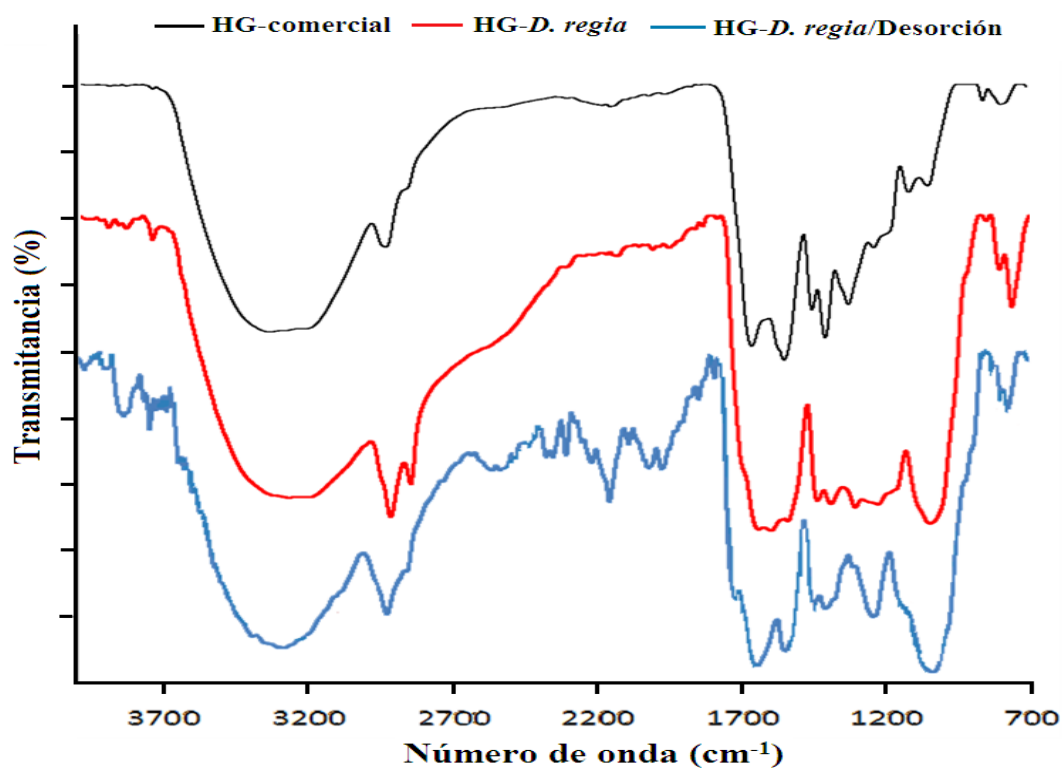


Figura 26. Comparación de los espectros FTIR-ATR HG-comercial, HG-*D. regia* y HG-*D. regia*/Desorción.

En la Figura 26 se observa que el espectro FTIR-ATR del hidrogel utilizado en la liberación del extracto de las flores de *D. regia*, en líneas generales es bastante similar al espectro del HG-*D. regia*, por lo que se puede decir que aun después del proceso de desorción, el hidrogel conserva parte del extracto en su estructura.

Estableciendo una comparación entre los espectros FTIR-ATR del HG-*D. regia* y el HG-*D. regia*/liberación se puede apreciar, en este último, la desaparición de la banda a 2854 cm^{-1} y la sustitución del conjunto de señales entre 1600 cm^{-1} y 1500 cm^{-1} por solo dos nuevas señales a 1661 cm^{-1} y 1553 cm^{-1} que son características de la vibración de estiramiento C=O del poliacrilato de sodio en el HG-comercial. Además en el espectro HG-*D. regia*/desorción se mantienen las bandas a 1058 cm^{-1} y 818 cm^{-1} que corresponden a los estiramientos C-O de fenoles y alcoholes primarios, y la flexión C-H fuera del plano asignado a un anillo aromático *p*-disustituido, respectivamente; siendo estas señales indicativas de que existen moléculas de los metabolitos presentes en los extractos, que no fueron liberadas por el hidrogel en medio acuoso.

La desorción de una sustancia depende de las propiedades físicas de la misma, especialmente de su masa molecular y de su solubilidad en agua y en el hidrogel (Perez, 2006), además del área superficial, la geometría y la densidad de la membrana del hidrogel (Katime y cols., 2004). Como es de esperarse, en el proceso de desorción de sustancias disueltas o encapsuladas en una matriz polimérica hacia el medio externo, éstas deben atravesar la barrera que supone la superficie del hidrogel, por lo cual las condiciones de estructura y forma de la superficie son un factor importante. Dicho factor puede ser controlado desde la síntesis de la red polimérica al igual que el tamaño de los poros (Arredondo y Londoño 2009).

Dentro de los sistemas de liberación controlada se encuentran los sistemas activados por un disolvente, en los cuales la sustancia en estudio se encuentra disuelta o dispersa en un soporte de polímero hidrófilo, entrecruzado o no, el cual se hincha sin disolverse cuando

se pone en contacto con un medio acuoso y la liberación de dicha sustancia es controlada vía osmosis. En estos sistemas el grado de hinchamiento (y por tanto la cantidad de sustancia liberada) depende del balance hidrófilo/hidrófobo de la matriz polimérica y del grado de entrecruzamiento. La migración de la sustancia al medio acuoso desde un sistema de esta naturaleza implica un proceso de absorción de agua y otro simultáneo de desorción del soluto por un mecanismo de difusión controlado por el hinchamiento que sufre el polímero. Cuando el agua penetra en la matriz hidrófila, el polímero, que presenta inicialmente un estado vítreo se hincha pasando con ello a un estado tipo elastomérico. En estas condiciones, el soluto difunde desde las regiones hinchadas al medio externo hasta que el equilibrio entre la presión osmótica y la presión hidrostática detenga la entrada y salida de sustancias dentro del gel, por lo que se alcanza en este punto un equilibrio que iguala las concentraciones de soluto, tanto en el interior del hidrogel, como en la solución externa, llamado equilibrio isotónico (Saez y cols., 2004). Estos factores permiten explicar el hecho de que el hidrogel, luego de las 48 horas de inmersión en agua destilada, aun pueda contener una porción del extracto, como se evidencia en los resultados obtenidos.

Antibiograma de los hidrogeles cargados con extratos de las flores de *d. regia* (bojer ex hook) raf.

El estudio de la sensibilidad de los microorganismos a los antimicrobianos es una de las funciones más importantes de los laboratorios de microbiología clínica. Su realización se desarrolla mediante las pruebas de sensibilidad o antibiograma, cuyo principal objetivo es evaluar en el laboratorio la respuesta de un microorganismo a uno o varios antimicrobianos, traduciendo, en una primera aproximación, su resultado como factor predictivo de la eficacia clínica (Ramírez y Marín, 2012). El antibiograma define la actividad in vitro de un antibiótico frente a un microorganismo determinado y refleja su capacidad para inhibir el crecimiento de una bacteria o población bacteriana mediante un halo de inhibición, el cual se define como la zona alrededor de un disco de antibiótico donde no se produce crecimiento bacteriano en una placa de agar (Rolón, 2018).

Las bacterias son organismos unicelulares que pertenecen al grupo de los procariontes; esto quiere decir que carecen de un núcleo celular y de orgánulos como las mitocondrias, los cloroplastos o el aparato de Golgi, por lo que su material genético (ADN) se encuentra libre en el citoplasma. Estos microorganismos cuentan con una pared que envuelve a la célula y le proporciona solidez y protección contra el ambiente externo (Sánchez y cols., 2017). De acuerdo a la tinción de gram las bacterias pueden clasificarse en dos categorías principales, siendo grampositivas y gramnegativas, dicha clasificación está relacionada con la reacción del microorganismo ante la tinción de gram que es de color purpura (Rodríguez y Arenas, 2018).

Por su parte, la *Staphylococcus aureus* es una bacteria anaerobia facultativa, grampositiva, productora de coagulasa, catalasa, inmóvil y no esporulada que contiene 32 especies, de las cuales 16 de ellas se localizan en los humanos, algunas forman parte de la microbiota de piel y mucosas en humanos, y otras se encuentran sólo entre la flora de otros mamíferos y aves. Con frecuencia, los estafilococos ocasionan infecciones de la piel, como forúnculos, pero la mayoría de estas infecciones no son graves. Además, pueden provocar infecciones en la sangre, los huesos y los pulmones (neumonía) (Cervantes y cols. 2014).

Las infecciones bacterianas es uno de los problemas emergentes en el mundo, especialmente en los países en desarrollo. Los antibióticos de buena reputación están disponibles en los mercados y muestran su acción antibacteriana por diversos mecanismos como la inhibición de la síntesis de proteínas, la inhibición de la síntesis de la pared e inhibición de la síntesis de ADN. Casi todos los microbios han desarrollado resistencia contra todos los antibióticos alopáticos introducidos. Además de la resistencia, los antibióticos están asociados con graves efectos adversos en el huésped, incluida la hipersensibilidad, genotoxicidad, trastornos reproductivos, respuesta alérgica, nefrotoxicidad, inmunosupresión y agotamiento de la flora intestinal normal (Hussain y cols., 2014).

En cambio, los antimicrobianos naturales son una serie de compuestos naturales que tienen propiedades antibacterianas y se pueden obtener de diversas fuentes, desde plantas a animales, pasando por bacterias, algas y hongos (Gyawali y Ibrahim, 2014). Algunos ejemplos de antimicrobianos naturales son las saponinas y flavonoides, provenientes de hierbas y especias. Muchas de estas sustancias son utilizadas por las plantas para su propia defensa (Tiwari et al., 2009). Por su parte los flavonoides demuestran la actividad antimicrobiana a través de diversos mecanismos como daño celular al destruir la pared celular, la membrana y la matriz (Guardiola, 2020).

En este trabajo de investigación se evaluó la actividad antibacteriana del hidrogel cargado en las soluciones de extracto de *D. regia* obtenido por maceración y extracción soxhlet frente a la bacteria *Staphylococcus aureus*. En la Figura 27 se aprecia que el crecimiento de este microorganismo fue inhibido tanto por el HG-*D. regia*/Soxhlet como por HG-*D. regia*/Maceración, presentando en ambos casos halos de inhibición (Tabla 10).

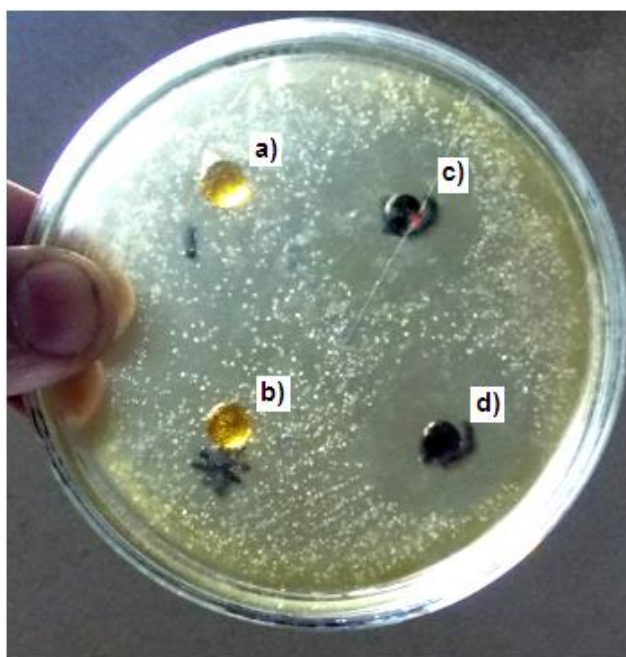


Figura 27. Fotografía del antibiograma realizado a los a) HG-Agua, b) xerogel, c) HG-*D. regia*/Maceración y d) HG-*D. regia*/Soxhlet, frente a la bacteria *Staphylococcus aureus*.

Los resultados nos indican una posible actividad antibacteriana por parte del extracto dentro de la estructura de los HG-*D. regia*. Ya que se observó que el xerogel y el HG-Agua, no mostraron efecto inhibitorio ante la bacteria empleada.

Tabla 10. Resultados del antibiograma realizado a los hidrogeles cargados con la solución de extractos de las flores de *D. regia*.

HG- <i>D. regia</i>	Diámetro de la zona de inhibición (mm)
	Microorganismo: <i>Staphylococcus aureus</i>
Extracción Soxhlet	30
Extracción Maceración	25

Diversos reportes concuerdan con el efecto antibacteriano del extracto de las flores de *D. regia* (Bojer ex Hook) Raf. En un estudio antibacteriano realizado por Vivek y colaboradores (2013) determinaron que los extractos de las hojas y flores de *D. regia* presentan una eficacia inhibitoria contra diversas bacterias dentro de las que se destaca el microorganismo *Staphylococcus aureus*.

En el estudio realizado por Shabir y colaboradores (2011) sobre el efecto antioxidante y antimicrobiano de extractos de hojas, flores y corteza del árbol *D. regia*, determinaron que el extracto de dichas flores motró una actividad antimicrobiana apreciable contra las bacterias grampositivas y gramnegativas empleadas. Además, la actividad antibacteriana de los extractos fue comparable a la de los fármacos estándar (Amoxicilina y Flumequina). Así, estos autores atribuyen la actividad antimicrobiana de los extractos de las flores de *D. regia* a la presencia de ácidos fenólicos como los ácidos gálico, protocatequico, 3-hidroxibenzoico, clorogénico y flavonoides.

Por otra parte, Aquil y Ahmad (2003) en su estudio sobre las propiedades antifúngicas y antibacterianas de ciertas plantas medicinales, informaron de una actividad antimicrobiana de amplio espectro para el extracto etanólico de las flores de *D. regia*, ya que el mismo presento un poder inhibitorio contra bacterias grampositivas,

gramnegativas, levaduras y hongos filamentosos. Además atribuyen la sensibilidad de los microorganismos de prueba tanto de bacterias y hongos a la naturaleza y combinaciones de fitocompuestos presentes en el extracto crudo. Sabiendo que los fitoconstituyentes comunes como taninos, fenoles, glucósidos y flavonoides también fueron detectados en los extractos de las flores de *D. regia* y que son los responsables de la actividad antimicrobiana.

CONCLUSIONES

El análisis fitoquímico preliminar realizado a los extractos etanólicos provenientes de los pétalos de las flores de *D. regia* (Bojer ex Hook) Raf., obtenidos por los métodos de extracción soxhlet y maceración evidenció la posible presencia de metabolitos como flavonoides, polifenoles y taninos. Confirmando la presencia de los grupos funcionales de estos metabolitos en el extracto a través de la espectroscopia FTIR-ATR.

En las valoraciones volumétricas y potenciométricas se obtuvieron volúmenes de equivalencia similares, lo que permitió confirmar la efectividad del extracto de las flores de *D. regia* como indicador de pH.

En el estudio del grado de hinchamiento se obtuvo un mayor porcentaje de hinchamiento para el hidrogel sumergido en agua, mientras que para el hidrogel sumergido en la solución de *D. regia* el porcentaje de hinchamiento fue menor, debido a que se ve afectado por los componentes presentes en el extracto.

Mediante la cinética de absorción se obtuvieron los parámetros cinéticos n y k para los sistemas HG-Agua y HG-*D. regia*, donde los valores obtenidos para el exponente difusional en ambos casos indican que el mecanismo de penetración del agua y el extracto es de tipo no Fickiano o anómalo.

Por espectroscopia FTIR-ATR se identificaron los grupos funcionales presentes en el hidrogel comercial, confirmando que el hidrogel estaba compuesto de poliacrilato de sodio.

En la caracterización por espectroscopia FTIR-ATR del HG-*D. regia* se observó el desplazamiento de las señales asignadas al grupo C=O en el hidrogel comercial, mostrando que ocurren interacciones de tipo enlace de hidrógeno, lo cual indica que la interacción con el extracto ocurre por el ion carboxilato.

El estudio colorimétrico del hidrogel/extracto en soluciones ácidas y básicas, reveló cambios de color, debido a las estructuras de las antocianinas presentes en el extracto, visualizándose en diferentes colores según la variación del pH.

La caracterización por espectroscopia FTIR-ATR del HG-*D. regia*/NaOH confirma la interacción de la base tanto con el extracto como con el hidrogel, ya que se observó la desaparición y desplazamiento de algunas señales en el espectro.

El estudio de la actividad antibacteriana de los hidrogeles cargados en las soluciones de los extractos de *D. regia*, reveló un posible efecto antibacteriano con la aparición de halos de inhibición frente al crecimiento de la bacteria *Staphylococcus aureus*.

BIBLIOGRAFÍA

Abdel, L.; Al, B.; Abu, A. y Megalea, M. 2016. Removal of toxic Pb(II) ions from aqueous solution by nano sized flamboyant pod (*Delonix regia*). *Archives in Chemical Research*, 1: 1-10.

Adjé, F.; Lozano, Y.; Gernevé, C.; Lozano, P.; Meudec, E.; Adima, A. y Gaydou, E. 2012. Phenolic acid and flavonol water extracts of *Delonix regia* red flowers. *Industrial Crops and Products*, 37: 303– 310

Adjé, F.; Lozano, Y.; Lozano, P.; Adima, A.; Chemat, F. y Gaydou, E. 2010. Optimization of anthocyanin, flavonol and phenolic acid extractions from *Delonix regia* tree flowers using ultrasound-assisted water extraction. *Industrial Crops and Products*, 32: 439-444

Adjé, F.; Lozano, Y.; Meudec, E.; Lozano, P.; Adima, A.; Agbo, G. y Gaydou, E. 2008. Anthocyanin characterization of pilot plant water extracts of *Delonix regia* flowers. *Molecules*, 13: 1238-1245.

Agüero, L. 2016. Hidrogeles sensibles al pH como alternativa al mejoramiento del tratamiento de las enfermedades inflamatorias intestinales. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 35(3): 284,293.

Aguilera, M.; Reza, M.; Chew, R. y Meza, J. 2011. Propiedades funcionales de las antocianinas. *Revista Biotecnica*, 13(2): 16-22.

Arredondo, A. y Londoño, M. 2009. Hidrogeles, Potenciales biomateriales para la liberación controlada de medicamentos. *Revista Ingeniería Biomédica*, 3(5): 83-94.

Alveláez, A. y Rojas, B. 2018. Evaluación de la degradación de mezclas poliméricas sometidas a un cultivo orgánico mediante espectroscopía infrarroja y calorimetría diferencial de barrido. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 22(87): 10-17.

Aqil, F. y Ahmad, I. 2003. Broad-spectrum antibacterial and antifungal properties of certain traditionally used indian medicinal plants. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 19: 653–657.

Bajpai, A.; Shukla, S.; Bhanu, S. y Kankane, S. 2008. Responsive polymers in controlled drug delivery. *Progress in Polymer Science*, 33: 1088–1118,

Bauer, A.; Kirby, W.; Sherris, J. y Turck, M. 1966. Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disk method. *American Journal of Clinical Pathology*, 45(4): 493-496.

Becerra, F; Sánchez, J.; Arellano, J.; González, A. y Martínez, A. 2009. Efecto del pH y la concentración del fosfato dibásico de sodio en las propiedades de hinchamiento de hidrogeles de quitosana. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 8: 121-126.

Bejarano, L.; Rojas de Gáscue, B.; Prin, J.L.; Moshin, M.; García, A.; Mostue, M.B.; Rojas, L.; Ramírez, M. y Katime, I. 2008. Síntesis y estudio de hidrogeles obtenidos a partir de acrilamida, poli(ácido acrílico) y ácido maléico como potenciales remediadores de contaminantes metálicos en aguas residuales. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 4: 307-312.

Benitez, J.; Velásquez, C. y Rojas, B. 2015. Cinética de absorción y transporte del agua en hidrogeles sintetizados a partir de acrilamida y anhídrido maleico. *Rev. Latin Am. Metal. Mat*, 35(2): 242-253.

Bennour, S. y Lourzi, F. 2014. Study of swelling properties and thermal behavior of poly(N,N-dimethylacrylamide-co-maleic acid) based hydrogels. *Advances in Chemistry*, (2014): 1- 10.

Borges, E. 2021. *Estudio del comportamiento de hidrogeles de poli(ácido-gammaglutámico) en la liberación controlada de fármacos*. Trabajo de grado. Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales, Universidad de Sonora, Hermosillo.

Brazel, C. y Peppas, N. 2000. Modeling of drug release from swellable polymers. *Eur. J. Pharm. Biopharm.*, 49: 47-58.

Buckley, D. y Berger, M. 1962. The swelling of polymer systems in solvents. II. Mathematics of Diffusion. *J. Polym. Sci.*, 56(163): 175-188.

Carataya, O. y Reynaldo, I. 2001. Flavonoides: características químicas y aplicaciones. *Cultivos Tropicales*, 22(2): 5-14.

Cervantes, E.; García, R. y Salazar, P. 2014. Características generales del *Staphylococcus aureus*. *Revista Latinoamericana de Patología Clínica y Medicina de Laboratorio*, 61(1): 28-40.

Chai, W.; Shi, Y.; Feng, H.; Qiu, L.; Zhou, H.; Deng, Z.; Yan, C. y Chen, Q. 2012. NMR, HPLC-ESI-MS, and MALDI-TOF MS analysis of condensed tannins from *Delonix regia* (Bojer ex Hook.) Raf. and their bioactivities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60: 5013-5022.

Crank J. The Mathematics of diffusion. Segunda Edición, Clarendon Press – Oxford. 1975, 411.

Contreras, D. 2012. *Evaluación de la capacidad de absorción y liberación de calcio, fósforo y fertilizante (NPK) en hidrogeles de poli(acrilamida) y poli(acrilamida-co-*

ácido itáconico) en suelos ácidos. Trabajo de grado. Departamento de Química, Universidad de Oriente, Cumaná.

Costa, V.; Gramacho, R.; Santos, A. y Amorim, F. 2015. Aplicação do extrato de amêndoa de cacau (*Theobroma Cacao. L*) como um novo indicador em titulações ácido-base. *Revista Virtual de Química*, 7(4): 1496-1507.

Dias, J.; Virginio, C. y Rossi, P. 2018. Uso de indicador natural de pH como alternativa para o ensino de química na comunidade indígena do trovão, na região do alto rio negro. *Revista de Educação, Ciência e Tecnologia do IFAM*, 12(1): 12-21.

Duno, R. 2012. El flamboyán (*Delonix Regia*) una embajadora de madagascar para el mundo. *Herbario CICY*, 4: 55-57.

Elliott, J.; Macdonald, M.; Nie, J.; Bowman, C. 2004. Structure and swelling of poly (acrylic acid) hydrogels: effect of pH, ionic strength, and dilution on the cross linked polymer structure. *Polymer*, 45: 1503-1510.

Escobar, J.; Agüero, L.; Zaldivar, D. y Ramírez, E. 2000. Estudio del hinchamiento in vitro y evaluación preliminar de biocompatibilidad de hidrogeles de poli(acrilamida-co-ácido metacrílico). *Biomecánica*, 8: 54-57.

Evangelista, N.; López, P.; Lozano, C. y Ortega, U. 2019. Solución del poliacrilato de sodio en H₂O. *Revista de Estructura de Materiales II*, 9: 33-37.

Franson, N. y Peppas, N. 1983. Influence of copolymer composition on non-fickian water transport through glassy copolymers. *Journal of Applied Polymer Science*, 28: 1299-1310.

Freitas, V. 2019. O mundo colorido das antocianinas. *Revista de Ciencia Elemental*, 7(02): 017.

García, A. 2021. *Síntesis y caracterización de Hidrogeles Híbridos obtenidos a partir de Acrilamida, Ácido Maleico y Dióxido de Titanio y su aplicación en la remoción de colorantes*. Trabajo de grado. Departamento de Química, Universidad de Oriente, Cumaná.

García, D.; Escobar, J.; Bada, N.; Casquero, J.; Hernández, E.; Katime, I. 2004. Synthesis and characterization of poly (methacrylic acid) hydrogels for metoclopramide delivery. *Eur. Polym. J.*, 40: 1637-1643.

García, D.; Escobar, J.; Bocourt, M.; Bada, N.; Zaldiviar, D. y Katime, I. 2003. Influencia del agente entrecruzante y composición de geles de poli(ácido itáconico-co-ácido metacrílico). *Rev. Iber. Pol.*, 4(1): 93-105.

García, M. 2002. *Manual de prácticas de química orgánica I*. Unidad Iztapalapa. Universidad Autónoma Metropolitana, México.

Goldson, A.; Reid, R.; Rattray, V.; Williams, R. y Denny, M. 2016. Characterization of Jamaican *Delonix regia* and *Cassia fistula* Seed Extracts. *Biochemistry Research International*, 1: 1-8.

Gómez, M. y Cañamero, A. 2011. Juguetes y polímeros superabsorbentes. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 8: 460-465.

González, A. y Sabana, C. 2015. Identificación de fitoconstituyentes y caracterización de flavonoides en las inflorescencias de *Brassicaoleracea L. var. Botrytis*“coliflor” por Cromatografía líquida de alta resolución-Espectrometría de masas. *Revista Farmaciencia*, 3(1): 04-10.

Guardiola, T. 2020. *Antimicrobianos naturales presentes en colorantes alimentarios*. Departamento de Biotecnología, Universidad Politécnica de València, España.

Guimarães, W.; Ribeiro, M. y Antoniosi, N. 2012. Antocianinas em extratos vegetais: Aplicação em titulação ácido-base e identificação via Cromatografia Líquida/Espectrometria de massas. *Quim Nova*, 35(8): 1673-1679.

Gyawali, R. y Ibrahim, S. 2014. Natural products as antimicrobial agents. *In Food Control*, 5: 1-89.

He, J.; Rodriguez, L. y Giutsi, M. 2007. Midinfrared spectroscopy from juice authentication - rapid differentiation of commercial juices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55: 4443-4452.

Heras, I.; Alvis, A. y Arrazola G. 2013. Optimización del proceso de extracción de antocianinas y evaluación de la capacidad antioxidante de berenjena (*Solana melonera L.*). *Informacion Tecnológica*, 24(5): 93-102.

Huarote, E. 2018. *Obtención de un indicador natural ácido-base a partir del fruto Punica Granatum L.: un aporte para la sustitución de los indicadores sintéticos*. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias Naturales Y Matemática, Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima.

Hussain, M.; Masood, S.; Hussain, K.; Ullah, M.; Aziz, A. y Majeed, A. 2014. In vitro comparative study of antimicrobial activity of whole plant and root's bark of *Delonix regia* (Bojer Ex. Hook). *International Journal of Pharma Sciences*, 4(5): 736-741.

Jahan, I.; Rahman, M.; Rahman, M.; Kaisar, M.; Islam, M.; Wahab, A. y Rashid, M. 2010. Chemical and biological investigations of *Delonix regia* (Bojer ex Hook.) Raf. *Acta Pharm*, 60: 207-215.

Jain, K.; Jain, P. y Jain, P. 2013. Green chemistry: Petal sap of *Delonix regia* as a substitute for hazardous internal indicators in volumetric analysis. *Bioscience. Biotechnology Research Communications*, 6(2): 186-189.

Karadag E. y Saraydin D. 2002. Swelling of superabsorbent acrylamide/sodium acrylate hydrogels prepared using multifunctional crosslinkers. *Turkish Journal of Chemistry*, 26: 863-875.

Katime, I.; Katime, O, y Katime, D. 2004. *Los materiales inteligentes de este milenio: Los hidrogeles macromoleculares. Síntesis, propiedades y aplicaciones*. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco, Bilbao.

Katime, I.; Katime, O, y Katime, D. 2005. Materiales inteligentes: hidrogeles macromoleculares, algunas aplicaciones biomédicas. *Anuales de la Real Sociedad Española de Química*, 2: 32-50.

Katime I. y Mendizábal E. 2010. Swelling properties of new hydrogels based on the dimethyl amino ethyl acrylate methyl chloride quaternary salt with acrylic acid and 2-methylene butane-1,4-dioic acid monomers in aqueous solutions. *Materials Sciences and Applications*, 1: 162-167.

Khoo, H.; Azlan, A.; Tang, S. y Lim, S. 2017. Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food & Nutrition Research*, 61: 1361779.

Kim S. J., Yoon S. G., Kim I. Y., Kim N. G. y Kim S. I. 2005b. Swelling characterizations of the interpenetrating polymer network hydrogels composed of polymethacrylic acid and alginate. *Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry*, 42(6): 811-820.

Lee, D.; Condrate, R. y Reed, J. 1996. Infrared spectral investigation of polyacrylate adsorption on alumina. *Journal of Material Science*, 31: 471-478.

Luque, M. y Priego, F. 2010. Soxhlet extraction: Past and present panacea. *Journal of Chromatography A*, 1217: 2383–2389.

Marcano, D. y Hasegawa, M. 2002. *Fitoquímica orgánica*. Segunda edición. U.C.V, Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. Caracas.

Martínez, P. 2017. *Análisis volumétrico de interés farmacéutico: Valoradores automáticos*. Trabajo de grado. Departamento de Química Analítica, Universidad de Sevilla, Sevilla.

McMurry, J. 2008. *Química Orgánica*. Séptima Edición. Cornell University, Mexico.

Mihăilescu, C.; Dumitrescu, A.; Simionescu, B. y Bulacouschi, V. 2007. Synthesis of Polyacrylamide-based hydrogels by simultaneous polymerization crosslinking. *Romanian Journal of Chemistry*, 5(11): 1071-1076.

Modi, A.; Mishra, V.; Bhatt, A.; Jain, A.; Mansoori, M.; Gurnany, E. y Kumar, V. 2016. Delonix regia: historic perspectives and modern phytochemical and pharmacological researches. *Chinese Journal of Natural Medicines*, 14(1): 31-39.

Muñoz, G. y Zuluaga, F. 2009. Síntesis de hidrogeles a partir de acrilamida y ácido alilmalónico y su utilización en la liberación controlada de fármacos. *Revista Academia Colombiana de la Ciencia*, 33(129): 539-548.

Nabiel, S. y Moheb, I. 1976. Anthocyanins of some leguminosae flowers And their effect on colour variation. *Phytochemistry*, 15: 835-836.

Núñez, C. 2018. *Estudio de la absorción de extractos naturales, con características de indicadores ácido-base, por un hidrogel de uso comercial*. Trabajo de grado. Departamento de Química, Universidad de Oriente, Cumaná.

Nwosu, F.; Adekola, F. y Ihedioha, K. 2004. Simple titrimetric colour indicators from some natural flower petals. *Centrepont (Science etidion)*, 12(1): 74-89.

Olivas, F.; Wall, A.; González, G.; López, J.; Álvarez, E.; De La Rosa, L. y Ramos, A. 2015. Taninos hidrolizables; bioquímica, aspectos nutricionales y analíticos y efectos en la salud. *Nutrición Hospitalaria*, 31(1): 55-66.

Osada, Y.; Ping, J. y Tanaka, Y. 2004. Polymer gels. *Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews*, 44(1): 87-112.

Pérez I.P. 2006. Sistemas poliméricos inteligentes con entrecruzamiento biodegradable. Tesis de grado, Instituto de ciencia y tecnología de polímeros, Universidad Complutense de Madrid.

Pinzón, N.; Espinosa, A.; Perilla, J.; Hernáez, E. y Katime, I. 2002. Modelamiento del hinchamiento y difusión de solutos en hidrogeles. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 3(2): 38-54.

Qader, K.; Malik, S. y Al-Saadi, T. 2017. Chemical composition of *Myrtus communis* L. (Myrtaceae) fruits. *Journal of Applied Life Sciences International*, 12(3): 1-8.

Rabanal, M. y Medina, A. 2021. Análisis de antocianinas en el maíz morado (Zeamays L.) del Perú y sus propiedades antioxidantes. *Terra Latinoamericana*, 39: 1-12.

Ramirez, A.; Benítez, J.; Astudillo, L. y Rojas, B. 2016. Materiales polímeros de tipo hidrogeles: revisión sobre su caracterización mediante FTIR, DSC, MEB y MET. *Rev.*

LatinAm. Metal. Mat, 36(2): 108-130.

Ramírez A., Benítez J., Contreras D., Guzmán P. y Rojas de Gáscue B. 2011. Interacciones de hidrogeles de poli(acrilamida-co-ácido itacónico) estudiadas en soluciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 12(6): 308-316.

Ramírez, A. 2017. *Síntesis de hidrogeles híbridos obtenidos mediante la incorporación de materiales arcillosos provenientes de la industria minera en una matriz orgánica basada en acrilamida y ácidos*. Tesis de Doctorado. Departamento de Ciencias de los Materiales, Universidad de Oriente, Cumaná.

Ramírez A., Contreras D., Prin J. L. y Rojas de Gáscue B. 2013. Entrecruzamientos iónicos en hidrogeles de poli (acrilamida-co-ácido itacónico) postulados a partir del análisis de su morfología y de su cinética de absorción. *Acta Microscópica*, 22(2): 205-209.

Ramírez, L. y Marín, D. 2012. Evaluación de la actividad antibacteriana de aceites esenciales y extractos etanólicos utilizando métodos de difusión en agar y dilución en pozo. *Scientiaet Technica*, 50: 152-157.

Rodríguez, P. y Arenas, R. 2018. Hans christian gram y su tinción. *Dermatología Cosmética, Médica y Quirúrgica*, 16(2): 166-167.

Rojas, B.; Ramírez, M.; Prin, J.; Torres, C.; Bejarano, L.; Villarroel, H.; Rojas, L.; Murillo, M. y Katime, Issa. 2010. Hidrogeles de acrilamida/ácido acrílico y de acrilamida/poli(ácido acrílico): estudio de su capacidad de remediación en efluentes industriales. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 30(1): 28-39

Rolón, N. 2018. *Colorante natural con capacidad antimicrobiana a partir de Morus nigra*. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Nacional de Itapúa, Paraguay.

Sáez, V.; Hernáez, E. y Sanz, L. 2004. Mecanismos de liberación de fármacos desde materiales polímeros. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 5(1): 55-70.

Sáez, V.; Hernáez, E. y Sanz A. 2003. Liberación controlada de fármacos, hidrogeles. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 4(1): 21-91.

Sánchez, M.; González, T.; Ayora, T.; Evangelista, Z. y Pacheco, N. 2017. ¿Qué son los microbios?. *Ciencia*, 68(2): 10-17.

Schott, H. 1992. Kinetics of swelling of polymers and their gels. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 81(5):467-470.

Sepúlveda, G.; Porta, H. y Rocha, M. 2003. La participación de los metabolitos

secundarios en la defensa de las plantas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21(3):355-363.

Shabir, G.; Anwar, F.; Sultana, B.; Kalid, Z.; Afzal, M.; Khan, Q. y Ashrafuzzaman, M. 2011. Antioxidant and antimicrobial attributes and phenolics of different solvent extracts from leaves, flowers and bark of gold mohar [*Delonix regia* (Bojer ex Hook.) Raf.]. *Molecules*, 16: 7302-7319.

Singh, S.; Bothara, S.; Singh, S.; Patel, R. y Ughreja, R. 2011. Preliminary pharmaceutical characterization of some flowers as natural indicator: ácid-base titration. *Pharmacognosy Journal*, 3: 39-43,

Solano, L.; Alamilla, L. y Jiménez, C. 2016. Col morada (*Brassicaoleracea* VAR. *CAPITATA* F. *RUBRA*) como indicador de pH. *Innovacion Tecnológica para la Seguridad Alimentaria*, 1: 406-409.

Sundaram, G.; Wang, T. y Chai, C. 2006. Swelling of pH-sensitive chitosan-poly(vinyl alcohol) hydrogels. *Journal of Applied Polymer Science*, 102: 4665-4671.

Taşdelen B., Kayaman-Apohan N., Güven O. y Baysal B. M. 2004a. pH-thermoreversible hydrogels. I. Synthesis and characterization of poly(N-isopropylacrylamide/maleic acid) copolymeric hydrogels). *Radiation Physics and Chemistry*, 69: 303–310.

Torres, A. 2015. *Propuesta de una solución extraída de los pétalos de las flores de Delonix regia (árbol de fuego) para ser aplicado como indicador en valoración ácido-base en medio acuoso*. Trabajo de grado. Facultad de Química y Farmacia, Universidad de el Salvador, San Salvador.

Torres, G.; Sarmiento, O.; Ramírez, R. y Guevara, O. 2018. Estimación del contenido de fenoles totales en aceite esencial de caléndula (*Calendula officinalis* L) obtenido mediante OAHD. *Revista Ion*, 31(1):7-12.

Tiwari, B.; Valdramidis, V.; O'Donnell, C.; Muthukumarappan, K.; Bourke, P. y Cullen, P. 2009. Application of natural antimicrobials for food preservation. In *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(12): 2198-2202.

Vaishali, S.; Tushar, D.; Liladhar, P. y Vijay, P. 2011. Anti-inflammatory activity of *Delonix regia* (Boj. Ex. Hook). *Advances in Pharmacological Sciences*, 1: 1-4.

Valencia, J. y Piérola, I. 2001. Equilibrium swelling properties of poly(N-vinylimidazole-co-sodium styrenesulfonate) hydrogels. *European Polymer Journal*, 37: 2345-2352.

Veigas, J.; Divya, P. y Neelwarne, B. 2012. Identification of previously unreported

pigments among carotenoids and anthocyanins in floral petals of *Delonix regia*(Hook.)Raf. *Food Research International*, 47: 116–123

Veigas, J.; Narayan, M.; Chidambaramurthy, K. y Neelwarne, B. 2007. Antioxidative efficacies of floral petal extracts of *Delonix Regia* Rafin. *International Journal of Biomedical and Pharmaceutical Sciences*, 1(1):73-82.

Villarroel, H. 2009. *Estudio de los polimeros hidrogeles sintetizados a partir de acrilamida con el biopolimeropoli(3-hidroxibutirato) y el ácido acrílico*. Trabajo de grado. Departamento de Química, Universidad de Oriente, Cumaná.

Vivek, M.; Sachidananda, S.; Manasa, M.; Pallavi, S.; Yashoda, K.; Asha, M.; Chaithra, M.; Prashith, K.; Mallikarjun, N. y Onkarappa, R. 2013. Antimicrobial and antioxidant activity of leaf and flower extract of *Caesalpinia pulcherrima*, *Delonix regia* and *Peltaphorum ferrugineum*. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 3(08): 64-17.

Yonekura, K.; Higashi, Y. y Nakabayashi, R. 2019. The origin and evolution of plant flavonoid metabolism. *Frontiers in Plant Science*, 10: 943.

Zerpa, M. 2017. *Estudio del efecto estructural del comonomero ácido en hidrogeles copolimeros a base de acrilamida sobre la capacidad absorbente de iones Mg^{2+} , Co^{2+} y Ni^{2+}* . Trabajo de grado. Departamento de Química, Universidad de Oriente, Cumaná.

APÉNDICE

APÉNDICE A. Preparación de soluciones de NaOH y HCl (0,1 mol/l)

✓ HCl (0,1 mol/l) de 500 ml

$$C_c = \frac{1,19 \text{ g}}{1 \text{ ml}} \times \frac{37 \text{ g}}{100 \text{ g}} \times \frac{1 \text{ mol HCl}}{36,5 \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ l}} = 12,0630 \text{ mol/l}$$

$$C_c \times V_c = C_D \times V_D \rightarrow V_c = \frac{C_D \times V_D}{C_c}$$

$$V_{HCl} = \frac{0,1 \text{ mol/l} \times 500 \text{ ml}}{12,0630 \text{ mol/l}} = 4,145 \text{ ml} \rightarrow V_{HCl-exp} = 4,2 \text{ ml}$$

✓ NaOH (0,1 mol/l) de 500 ml

$$m_{NaOH} = \frac{0,1 \text{ mol}}{1 \text{ l}} \times \frac{40 \text{ g}}{1 \text{ mol}} \times 500 \text{ ml} \times \frac{1 \text{ l}}{1000 \text{ ml}} = 2$$

$$m_{NaOH-exp} = 2,0411 \text{ g}$$

APÉNDICE B. Estandarización de NaOH (0,1 mol/l) con $C_8H_5KO_4$ y fenolftaleína como indicador:

$$C_{NaOH} = \frac{m_{C_8H_5KO_4}}{M_{r_{C_8H_5KO_4}} \times V_{NaOH}}$$

$$\rightarrow m_{C_8H_5KO_4} = C_{NaOH} \times M_{r_{C_8H_5KO_4}} \times V_{NaOH}$$

$$m_{C_8H_5KO_4} = 0,1 \text{ mol/l} \times 204,22 \text{ g/mol} \times 0,01 \text{ l} = 0,2042 \text{ g}$$

Tabla B-1. Datos y resultados obtenidos en la estandarización de la solución de NaOH con biftalato de potasio ($C_8H_5KO_4$).

$m_{C_8H_5KO_4}$ (g)	V_{NaOH} (ml)	C_{NaOH} (mol/l)	$V_{NaOH-prom}$ (mol/l)
0,2063	9,9	0,1020	0,1019
0,2069	10	0,1013	
0,2092	10	0,1029	

APÉNDICE C. Estandarización de HCl (0,1 mol/l) con NaOH (0,1 mol/l) y fenolftaleína como indicador:

$$n_{NaOH} = n_{HCl} \rightarrow V_{NaOH} \times C_{NaOH} = C_{HCl} \times V_{HCl}$$

$$V_{NaOH} = \frac{C_{HCl} \times V_{HCl}}{C_{NaOH}} = \frac{0,1 \text{ mol/l} \times 10 \text{ ml}}{0,1 \text{ mol/l}} = 10 \text{ ml}$$

Tabla C-1. Datos y resultados obtenidos en la estandarización de la solución de HCl con NaOH.

V_{HCl} (ml)	V_{NaOH} (ml)	C_{HCl} (mol/l)	$C_{HCl-prom}$ (mol/l)
10	9,6	0,0978	0,0978
	9,5	0,0968	
	9,7	0,0988	

APÉNDICE D. Valoración potenciométrica y cálculo de la primera derivada.

Tabla D-1. Valores de pH obtenidos en la titulación potenciométrica de NaOH con HCl (0,1 mol/l) y resultados de la primera derivada de la curva de valoración.

Vol. NaOH (ml)	pH 1	pH 2	pH 3	pH prom.	ΔV HCl (ml)	ΔpH	$\Delta pH/\Delta V$
0	1,630	1,730	1,720	1,693	1,000	0,027	0,027
1	1,670	1,760	1,730	1,720	1,000	0,020	0,020
2	1,710	1,770	1,740	1,740	1,000	0,037	0,037
3	1,760	1,800	1,770	1,777	1,000	0,047	0,047
4	1,820	1,840	1,810	1,823	1,000	0,063	0,063
5	1,890	1,900	1,870	1,887	1,000	0,090	0,090
6	1,980	1,990	1,960	1,977	1,000	0,137	0,137
7	2,110	2,130	2,100	2,113	1,000	0,213	0,213
8	2,330	2,350	2,300	2,327	0,200	0,087	0,433
8,2	2,410	2,430	2,400	2,413	0,200	0,117	0,583
8,4	2,550	2,540	2,500	2,530	0,200	0,140	0,700
8,6	2,680	2,690	2,640	2,670	0,200	0,103	0,517
8,8	2,750	2,810	2,760	2,773	0,200	0,190	0,950
9	2,920	3,000	2,970	2,963	0,100	0,120	1,200
9,1	3,040	3,130	3,080	3,083	0,100	0,220	2,200
9,2	3,260	3,340	3,310	3,303	0,100	0,187	1,867
9,3	3,390	3,560	3,520	3,490	0,100	0,180	1,800
9,4	3,550	3,820	3,640	3,670	0,100	0,233	2,333
9,5	3,770	4,060	3,880	3,903	0,100	0,267	2,667
9,6	3,980	4,430	4,100	4,170	0,100	0,410	4,100
9,7	4,410	4,830	4,500	4,580	0,100	0,590	5,900
9,8	5,200	5,300	5,010	5,170	0,100	0,610	6,100
9,9	5,780	5,970	5,590	5,780	0,100	0,977	9,767
10	6,910	6,760	6,600	6,757	0,100	0,823	8,233
10,1	7,790	7,800	7,150	7,580	0,100	0,663	6,633
10,2	8,280	8,230	8,220	8,243	0,100	0,393	3,933
10,3	8,620	8,650	8,640	8,637	0,100	0,323	3,233
10,4	8,980	8,980	8,920	8,960	0,100	0,283	2,833
10,5	9,240	9,280	9,210	9,243	0,100	0,253	2,533
10,6	9,500	9,580	9,410	9,497	0,400	0,500	1,250
11	9,980	10,040	9,970	9,997	1,000	0,837	0,837
12	10,840	10,850	10,810	10,833	1,000	0,350	0,350
13	11,170	11,200	11,180	11,183	1,000	0,170	0,170
14	11,340	11,360	11,360	11,353			

APÉNDICE E. Porcentaje de hinchamiento en los hidrogeles estudiados

El proceso de hinchamiento de los hidrogeles, mediante gravimetría, fue seguido, de acuerdo a la ecuación (1):

$$\%H = \left(\frac{m_t - m_0}{m_t} \right) \times 100$$

Por lo tanto, para un tiempo de 5 minutos, el porcentaje de hinchamiento sería:

$$\%H = \left(\frac{0,0816 - 0,0195}{0,0195} \right) \times 100 = 318,5$$

El cálculo fue realizado del mismo modo para todos los casos.

Tabla E-1. Valores de las masas y porcentajes de hinchamiento de hidrogeles en agua destilada.

Tiempo (min)	Masa 1 (g)	Masa 2 (g)	Masa 3 (g)	H1	H2	H3	Hprom
0	0,0195	0,0194	0,0197	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0816	0,0808	0,0837	318,5	316,5	324,9	319,9
10	0,1310	0,1271	0,1314	571,8	555,2	567,0	564,7
15	0,1764	0,1723	0,1777	804,6	788,1	802,0	798,3
20	0,2185	0,2145	0,2233	1020,5	1005,7	1033,5	1019,9
25	0,2636	0,2584	0,2673	1251,8	1232,0	1256,9	1246,9
30	0,3025	0,2956	0,3061	1451,3	1423,7	1453,8	1442,9
35	0,3433	0,3349	0,3484	1660,5	1626,3	1668,5	1651,8
40	0,3831	0,3733	0,3882	1864,6	1824,2	1870,6	1853,1
45	0,4208	0,4089	0,4256	2057,9	2007,7	2060,4	2042,0
50	0,4574	0,4431	0,4616	2245,6	2184,0	2243,1	2224,3
55	0,4896	0,4770	0,5007	2410,8	2358,8	2441,6	2403,7
60	0,5296	0,5128	0,5350	2615,9	2543,3	2615,7	2591,6
65	0,5602	0,5405	0,5685	2772,8	2686,1	2785,8	2748,2
70	0,5875	0,5748	0,6021	2912,8	2862,9	2956,3	2910,7
75	0,6168	0,6028	0,6320	3063,1	3007,2	3108,1	3059,5
80	0,6455	0,6289	0,6601	3210,3	3141,8	3250,8	3200,9
85	0,6749	0,6552	0,6923	3361,0	3277,3	3414,2	3350,9
90	0,7010	0,6820	0,7197	3494,9	3415,5	3553,3	3487,9
100	0,7552	0,7391	0,7705	3772,8	3709,8	3811,2	3764,6
110	0,8124	0,7960	0,8304	4066,2	4003,1	4115,2	4061,5
120	0,8663	0,8477	0,8889	4342,6	4269,6	4412,2	4341,4
130	0,9194	0,9055	0,9441	4614,9	4567,5	4692,4	4624,9
140	0,9763	0,9525	0,9969	4906,7	4809,8	4960,4	4892,3
150	1,0213	1,0040	1,0501	5137,4	5075,3	5230,5	5147,7
170	1,1137	1,0872	1,1395	5611,3	5504,1	5684,3	5599,9
190	1,1909	1,1678	1,2230	6007,2	5919,6	6108,1	6011,6
210	1,2580	1,2307	1,2948	6351,3	6243,8	6472,6	6355,9
240	1,3388	1,3100	1,3731	6765,6	6652,6	6870,1	6762,8
270	1,3978	1,3677	1,4368	7068,2	6950,0	7193,4	7070,5
330	1,4725	1,4403	1,5162	7451,3	7324,2	7596,4	7457,3
390	1,5060	1,4719	1,5532	7623,1	7487,1	7784,3	7631,5
450	1,5220	1,4933	1,5757	7705,1	7597,4	7898,5	7733,7
510	1,5302	1,4979	1,5795	7747,2	7621,1	7917,8	7762,0
690	1,5409	1,5006	1,5821	7802,1	7635,1	7931,0	7789,4
870	1,5378	1,4993	1,5803	7786,2	7628,4	7921,8	7778,8
1230	1,5397	1,4920	1,5788	7795,9	7590,7	7914,2	7766,9
1590	1,5374	1,4848	1,5621	7784,1	7553,6	7829,4	7722,4
3030	1,5077	1,4674	1,5488	7631,8	7463,9	7761,9	7619,2
4470	1,4903	1,4612	1,5357	7542,6	7432,0	7695,4	7556,7
5910	1,4875	1,4580	1,5353	7528,2	7415,5	7693,4	7545,7

Tabla E-2. Valores de las masas y porcentajes de hinchamiento de hidrogeles en solución de *D. regia* 20,4 % m/v.

Tiempo (min)	Masa 1 (g)	Masa 2 (g)	Masa 3 (g)	H1	H2	H3	Hprom
0	0,0193	0,0191	0,0195	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0620	0,0620	0,0653	221,2	224,6	234,9	226,9
10	0,0916	0,0907	0,0934	374,6	374,9	379,0	376,2
15	0,1157	0,1178	0,1200	499,5	516,8	515,4	510,5
20	0,1384	0,1399	0,1448	617,1	632,5	642,6	630,7
25	0,1604	0,1661	0,1677	731,1	769,6	760,0	753,6
30	0,1779	0,1828	0,1877	821,8	857,1	862,6	847,1
35	0,1958	0,1993	0,2070	914,5	943,5	961,5	939,8
40	0,2110	0,2182	0,2249	993,3	1042,4	1053,3	1029,7
45	0,2232	0,2312	0,2399	1056,5	1110,5	1130,3	1099,1
50	0,2393	0,2480	0,2543	1139,9	1198,4	1204,1	1180,8
55	0,2541	0,2624	0,2694	1216,6	1273,8	1281,5	1257,3
60	0,2678	0,2770	0,2838	1287,6	1350,3	1355,4	1331,1
65	0,2814	0,2889	0,2973	1358,0	1412,6	1424,6	1398,4
70	0,2945	0,3031	0,3138	1425,9	1486,9	1509,2	1474,0
75	0,3081	0,3152	0,3252	1496,4	1550,3	1567,7	1538,1
80	0,3192	0,3275	0,3377	1553,9	1614,7	1631,8	1600,1
85	0,3310	0,3397	0,3486	1615,0	1678,5	1687,7	1660,4
90	0,3422	0,3518	0,3603	1673,1	1741,9	1747,7	1720,9
100	0,3623	0,3709	0,3806	1777,2	1841,9	1851,8	1823,6
110	0,3843	0,3906	0,4016	1891,2	1945,0	1959,5	1931,9
120	0,3976	0,4058	0,4174	1960,1	2024,6	2040,5	2008,4
130	0,4118	0,4186	0,4334	2033,7	2091,6	2122,6	2082,6
140	0,4244	0,4328	0,4470	2099,0	2166,0	2192,3	2152,4
150	0,4357	0,4432	0,4584	2157,5	2220,4	2250,8	2209,6
170	0,4518	0,4605	0,4778	2240,9	2311,0	2350,3	2300,7
190	0,4607	0,4723	0,4891	2287,0	2372,8	2408,2	2356,0
210	0,4718	0,4855	0,4982	2344,6	2441,9	2454,9	2413,8
240	0,4710	0,4848	0,5032	2340,4	2438,2	2480,5	2419,7
270	0,4644	0,4849	0,5077	2306,2	2438,7	2503,6	2416,2
330	0,4450	0,4654	0,4846	2205,7	2336,6	2385,1	2309,2
390	0,4145	0,4428	0,4682	2047,7	2218,3	2301,0	2189,0
450	0,3878	0,4125	0,4346	1909,3	2059,7	2128,7	2032,6
510	0,3574	0,3934	0,4075	1751,8	1959,7	1989,7	1900,4
690	0,3106	0,3334	0,3471	1509,3	1645,5	1680,0	1611,6
870	0,2750	0,3018	0,3072	1324,9	1480,1	1475,4	1426,8
1230	0,2405	0,2702	0,2674	1146,1	1314,7	1271,3	1244,0
1590	0,2268	0,2564	0,2550	1075,1	1242,4	1207,7	1175,1
3030	0,2077	0,2331	0,2370	976,2	1120,4	1115,4	1070,7
4470	0,2034	0,2244	0,2243	953,9	1074,9	1050,3	1026,3
5910	0,2077	0,2335	0,2361	976,2	1122,5	1110,8	1069,8

APÉNDICE F. Porcentaje en masa de los HG-*D regia* sumergidos en soluciones de HCl (0,1 mol/l) y NaOH (0,1 mol/l).

Tabla F-1. Valores de los porcentajes en masa de hidrogeles en solución de *D. regia* y posteriormente sumergidos en NaOH (0,1 mol/l).

Tiempo (min)	Masa 1 (g)	Masa 2 (g)	Masa 3 (g)	% Masa 1	% Masa 2	% Masa 3	%Masa prom
0	0,4861	0,4950	0,5216	100,00	100,00	100,00	100,00
5	0,5758	0,5812	0,6245	118,45	117,41	119,73	118,53
10	0,6258	0,6235	0,6649	128,74	125,96	127,47	127,39
15	0,6613	0,6565	0,6978	136,04	132,63	133,78	134,15
20	0,6931	0,6866	0,7323	142,58	138,71	140,39	140,56
25	0,7304	0,7109	0,7587	150,26	143,62	145,46	146,44
30	0,7508	0,7341	0,7893	154,45	148,30	151,32	151,36
35	0,7709	0,7533	0,7984	158,59	152,18	153,07	154,61
40	0,7935	0,7696	0,8174	163,24	155,47	156,71	158,47
45	0,8111	0,7876	0,8350	166,86	159,11	160,08	162,02
50	0,8284	0,7986	0,8530	170,42	161,33	163,54	165,10
55	0,8444	0,8147	0,8616	173,71	164,59	165,18	167,83
60	0,8573	0,8297	0,8729	176,36	167,62	167,35	170,44
65	0,8686	0,8333	0,8863	178,69	168,34	169,92	172,32
70	0,8808	0,8416	0,8886	181,20	170,02	170,36	173,86
75	0,8966	0,8469	0,8990	184,45	171,09	172,35	175,96
80	0,8993	0,8547	0,9043	185,00	172,67	173,37	177,01
85	0,9095	0,8674	0,9137	187,10	175,23	175,17	179,17
90	0,9209	0,8696	0,9133	189,45	175,68	175,10	180,07
100	0,9331	0,8757	0,9285	191,96	176,91	178,01	182,29
110	0,9404	0,8769	0,9314	193,46	177,15	178,57	183,06
120	0,9484	0,8870	0,9361	195,10	179,19	179,47	184,59
130	0,9603	0,8893	0,9377	197,55	179,66	179,77	185,66
140	0,9615	0,8905	0,9375	197,80	179,90	179,74	185,81
150	0,9636	0,8904	0,9449	198,23	179,88	181,15	186,42
170	0,9731	0,8933	0,9459	200,19	180,46	181,35	187,33
190	0,9775	0,8926	0,9497	201,09	180,32	182,07	187,83
210	0,9792	0,8954	0,9481	201,44	180,89	181,77	188,03
240	0,9914	0,8937	0,9472	203,95	180,55	181,60	188,70
270	0,9927	0,8979	0,9488	204,22	181,39	181,90	189,17
330	1,0043	0,8954	0,9521	206,60	180,89	182,53	190,01
690	1,0094	0,8830	0,9380	207,65	178,38	179,83	188,62
870	1,0189	0,8874	0,9406	209,61	179,27	180,33	189,74
1230	1,0382	0,8874	0,9485	213,58	179,27	181,84	191,56
1590	1,0386	0,8872	0,9478	213,66	179,23	181,71	191,53
3030	1,0167	0,8733	0,9317	209,15	176,42	178,62	188,07
4470	1,0010	0,8670	0,9175	205,92	175,15	175,90	185,66
5910	0,9846	0,8583	0,9091	202,55	173,39	174,29	183,41

Tabla F-2. Valores de las masas y porcentajes de hinchamiento de hidrogeles en solución de *D. regia* y posteriormente sumergidos en CH₃COOH (0,1 mol/l).

Tiempo (min)	Masa 1 (g)	Masa 2 (g)	Masa 3 (g)	% Masa 1	% Masa 2	% Masa 3	% Masa prom
0	0,5115	0,5056	0,5093	100,00	100,00	100,00	100,00
5	0,4984	0,4886	0,4956	97,44	96,64	97,31	97,13
10	0,4883	0,4798	0,4853	95,46	94,90	95,29	95,22
15	0,4775	0,4719	0,4752	93,35	93,33	93,30	93,33
20	0,4678	0,4619	0,4650	91,46	91,36	91,30	91,37
25	0,4575	0,4491	0,4551	89,44	88,83	89,36	89,21
30	0,4480	0,4397	0,4463	87,59	86,97	87,63	87,39
35	0,4378	0,4309	0,4387	85,59	85,23	86,14	85,65
40	0,4245	0,4236	0,4265	82,99	83,78	83,74	83,51
45	0,4167	0,4147	0,4176	81,47	82,02	81,99	81,83
50	0,4091	0,4028	0,4092	79,98	79,67	80,35	80,00
55	0,3988	0,3952	0,4014	77,97	78,16	78,81	78,32
60	0,3918	0,3895	0,3940	76,60	77,04	77,36	77,00
65	0,3798	0,3757	0,3850	74,25	74,31	75,59	74,72
70	0,3738	0,3731	0,3793	73,08	73,79	74,47	73,78
75	0,3643	0,3610	0,3687	71,22	71,40	72,39	71,67
80	0,3576	0,3522	0,3585	69,91	69,66	70,39	69,99
85	0,3479	0,3442	0,3508	68,02	68,08	68,88	68,32
90	0,3388	0,3353	0,3426	66,24	66,32	67,27	66,61
100	0,3200	0,3235	0,3284	62,56	63,98	64,48	63,68
110	0,3074	0,3073	0,3180	60,10	60,78	62,44	61,11
120	0,2907	0,2945	0,3061	56,83	58,25	60,10	58,39
130	0,2771	0,2846	0,2901	54,17	56,29	56,96	55,81
140	0,2663	0,2719	0,2797	52,06	53,78	54,92	53,59
150	0,2517	0,2624	0,2654	49,21	51,90	52,11	51,07
170	0,2301	0,2375	0,2455	44,99	46,97	48,20	46,72
190	0,2100	0,2191	0,2335	41,06	43,33	45,85	43,41
210	0,1943	0,2046	0,2126	37,99	40,47	41,74	40,07
240	0,1760	0,1896	0,1927	34,41	37,50	37,84	36,58
270	0,1602	0,1695	0,1761	31,32	33,52	34,58	33,14
330	0,1328	0,1461	0,1514	25,96	28,90	29,73	28,20
690	0,0754	0,0844	0,0877	14,74	16,69	17,22	16,22
870	0,0643	0,0722	0,0734	12,57	14,28	14,41	13,75
1230	0,0547	0,0604	0,0600	10,69	11,95	11,78	11,47
1590	0,0503	0,0570	0,0585	9,83	11,27	11,49	10,86
3030	0,0480	0,0505	0,0511	9,38	9,99	10,03	9,80
4470	0,0479	0,0516	0,0508	9,36	10,21	9,97	9,85
5910	0,0488	0,0518	0,0504	9,54	10,25	9,90	9,89

APÉNDICE G. Cinética de hinchamiento de los hidrogeles.

Con los resultados obtenidos para %H y posteriormente el %W, se representaron las rectas correspondientes al modelo cinético de segundo orden mediante la ecuación 5:

$$\frac{t}{W} = \frac{1}{W_{\infty}} t + \frac{1}{k_h W_{\infty}^2}$$

donde,

$$y = \frac{t}{W} \quad , \quad m = \frac{1}{W_{\infty}} \quad , \quad x = t \quad , \quad b = \frac{1}{k_h W_{\infty}^2}$$

Los datos de la tabla G-1 se graficaron satisfaciendo la ecuación lineal, y mediante regresión lineal y despejes matemáticos se obtuvieron los valores de los parámetros “ k_h ” y “ W_{∞} ”-

Este procedimiento se repitió con los HG-Agua y HG- *D. regia* y todos los cálculos fueron realizados empleando la hoja de cálculo del programa Microsoft Excel.

Tabla G-1. Valores del porcentaje de agua absorbida y el cociente $t/\%W$ para el cálculo de la cinética de hinchamiento de segundo orden en el sistema HG-Agua.

Tiempo (min)	%W1	%W2	%W3	%W prom	t/%w
0	0	0	0	0	0
5	76,1029	75,9901	76,4636	76,1855	0,0656
10	85,1145	84,7364	85,0076	84,9528	0,1177
15	88,9456	88,7406	88,9139	88,8667	0,1688
20	91,0755	90,9557	91,1778	91,0697	0,2196
25	92,6024	92,4923	92,6300	92,5749	0,2701
30	93,5537	93,4371	93,5642	93,5183	0,3208
35	94,3198	94,2072	94,3456	94,2909	0,3712
40	94,9099	94,8031	94,9253	94,8794	0,4216
45	95,3660	95,2556	95,3712	95,3309	0,4720
50	95,7368	95,6218	95,7322	95,6969	0,5225
55	96,0172	95,9329	96,0655	96,0052	0,5729
60	96,3180	96,2168	96,3178	96,2842	0,6232
65	96,5191	96,4107	96,5347	96,4882	0,6737
70	96,6809	96,6249	96,7281	96,6780	0,7241
75	96,8385	96,7817	96,8829	96,8344	0,7745
80	96,9791	96,9152	97,0156	96,9700	0,8250
85	97,1107	97,0391	97,1544	97,1014	0,8754
90	97,2183	97,1554	97,2627	97,2121	0,9258
100	97,4179	97,3752	97,4432	97,4121	1,0266
110	97,5997	97,5628	97,6276	97,5967	1,1271
120	97,7490	97,7115	97,7838	97,7481	1,2276
130	97,8791	97,8575	97,9134	97,8833	1,3281
140	98,0027	97,9633	98,0239	97,9966	1,4286
150	98,0907	98,0677	98,1240	98,0941	1,5291
170	98,2491	98,2156	98,2712	98,2453	1,7304
190	98,3626	98,3388	98,3892	98,3635	1,9316
210	98,4499	98,4237	98,4785	98,4507	2,1330
240	98,5435	98,5191	98,5653	98,5426	2,4355
270	98,6050	98,5816	98,6289	98,6051	2,7382
330	98,6757	98,6531	98,7007	98,6765	3,3443
390	98,7052	98,6820	98,7317	98,7063	3,9511
450	98,7188	98,7009	98,7498	98,7231	4,5582
510	98,7257	98,7049	98,7528	98,7278	5,1657
690	98,7345	98,7072	98,7548	98,7322	6,9886
870	98,7320	98,7061	98,7534	98,7305	8,8119
1230	98,7335	98,6997	98,7522	98,7285	12,4584
1590	98,7316	98,6934	98,7389	98,7213	16,1059
3030	98,7066	98,6779	98,7280	98,7042	30,6978

4470	98,6915	98,6723	98,7172	98,6937	45,2917
5910	98,6891	98,6694	98,7169	98,6918	59,8834

Tabla G-2. Valores del porcentaje de agua absorbida y el cociente $t/\%W$ para el cálculo de la cinética de hinchamiento de segundo orden en el sistema HG- *D. regia*.

Tiempo (min)	%W1	%W2	%W3	%W prom	$t/\%w$
0	0	0	0	0	0
5	68,8710	69,1935	70,1378	69,4008	0,0720
10	78,9301	78,9416	79,1221	78,9979	0,1266
15	83,3189	83,7861	83,7500	83,6183	0,1794
20	86,0549	86,3474	86,5331	86,3118	0,2317
25	87,9676	88,5009	88,3721	88,2802	0,2832
30	89,1512	89,5514	89,6111	89,4379	0,3354
35	90,1430	90,4165	90,5797	90,3797	0,3873
40	90,8531	91,2466	91,3295	91,1430	0,4389
45	91,3530	91,7388	91,8716	91,6545	0,4910
50	91,9348	92,2984	92,3319	92,1884	0,5424
55	92,4046	92,7210	92,7617	92,6291	0,5938
60	92,7931	93,1047	93,1290	93,0089	0,6451
65	93,1414	93,3887	93,4410	93,3237	0,6965
70	93,4465	93,6984	93,7859	93,6436	0,7475
75	93,7358	93,9404	94,0037	93,8933	0,7988
80	93,9536	94,1679	94,2256	94,1157	0,8500
85	94,1692	94,3774	94,4062	94,3176	0,9012
90	94,3600	94,5708	94,5878	94,5062	0,9523
100	94,6729	94,8504	94,8765	94,7999	1,0549
110	94,9779	95,1101	95,1444	95,0775	1,1570
120	95,1459	95,2932	95,3282	95,2558	1,2598
130	95,3133	95,4372	95,5007	95,4170	1,3624
140	95,4524	95,5869	95,6376	95,5590	1,4651
150	95,5703	95,6904	95,7461	95,6690	1,5679
170	95,7282	95,8523	95,9188	95,8331	1,7739
190	95,8107	95,9560	96,0131	95,9266	1,9807
210	95,9093	96,0659	96,0859	96,0204	2,1870
240	95,9023	96,0602	96,1248	96,0291	2,4992
270	95,8441	96,0610	96,1591	96,0214	2,8119
330	95,6629	95,8960	95,9761	95,8450	3,4431
390	95,3438	95,6865	95,8351	95,6218	4,0786
450	95,0232	95,3697	95,5131	95,3020	4,7218
510	94,5999	95,1449	95,2147	94,9865	5,3692
690	93,7862	94,2711	94,3820	94,1465	7,3290
870	92,9818	93,6713	93,6523	93,4352	9,3113

1230	91,9751	92,9312	92,7076	92,5379	13,2918
1590	91,4903	92,5507	92,3529	92,1313	17,2580
3030	90,7078	91,8061	91,7722	91,4287	33,1406
4470	90,5113	91,4884	91,3063	91,1020	49,0659
5910	90,7078	91,8201	91,7408	91,4229	64,6446

APÉNDICE H. Parámetros cinéticos para determinar el mecanismo de difusión del agua o las soluciones del extracto en el hidrogel.

De acuerdo con la expresión lineal derivada de la ecuación de Crank (1975) se determinaron los parámetros cinéticos del hinchamiento de los hidrogeles empleados, debido a que los experimentos realizados tienen una data de absorción de largos períodos de tiempo y altos índices de hinchamiento.

Empleando la siguiente ecuación lineal

$$\ln F = \ln k_d + n \ln t$$

donde,

$$y = \ln F, \quad m = n, \quad x = t, \quad b = \ln k_d$$

Los datos de la tabla H-1 se graficaron satisfaciendo la ecuación lineal, y mediante regresión lineal y despejes matemáticos se obtuvieron los valores de los parámetros “ k_d ” y “ n ”, los cuales describen el comportamiento del hidrogel durante su cinética de hinchamiento.

Este procedimiento se repitió con los HG-Agua y HG- *D. regia* y todos los cálculos de regresión lineal fueron realizados empleando la hoja de cálculo del programa Microsoft Excel.

Tabla H-1. Cantidad de agua acumulada (F) en el tiempo t , calculados a partir de la data obtenida durante la determinación de índice de hinchamiento del hidrogel en agua desionizada.

$\ln t$	$F1$	$F2$	$F3$	F_{prom}	$\ln F$
1,6094	0,0412	0,0418	0,0414	0,0415	-3,1822
2,3026	0,0741	0,0734	0,0723	0,0732	-2,6141
2,7081	0,1042	0,1042	0,1022	0,1035	-2,2679
2,9957	0,1322	0,1329	0,1317	0,1323	-2,0229
3,2189	0,1621	0,1628	0,1602	0,1617	-1,8219
3,4012	0,1880	0,1882	0,1853	0,1871	-1,6759
3,5553	0,2150	0,2149	0,2127	0,2142	-1,5407
3,6889	0,2415	0,2411	0,2384	0,2403	-1,4257
3,8067	0,2665	0,2653	0,2626	0,2648	-1,3287
3,9120	0,2908	0,2886	0,2859	0,2885	-1,2432
4,0073	0,3122	0,3117	0,3112	0,3117	-1,1656
4,0943	0,3388	0,3361	0,3334	0,3361	-1,0903
4,1744	0,3591	0,3550	0,3551	0,3564	-1,0317
4,2485	0,3772	0,3784	0,3768	0,3775	-0,9742
4,3175	0,3967	0,3974	0,3962	0,3968	-0,9244
4,3820	0,4158	0,4152	0,4144	0,4151	-0,8792
4,4427	0,4353	0,4331	0,4352	0,4345	-0,8335
4,4998	0,4526	0,4514	0,4529	0,4523	-0,7934
4,6052	0,4886	0,4903	0,4858	0,4882	-0,7170
4,7005	0,5266	0,5291	0,5246	0,5267	-0,6411
4,7875	0,5624	0,5643	0,5624	0,5630	-0,5744
4,8675	0,5977	0,6037	0,5981	0,5998	-0,5111
4,9416	0,6355	0,6357	0,6323	0,6345	-0,4550
5,0106	0,6653	0,6708	0,6667	0,6676	-0,4041
5,1358	0,7267	0,7274	0,7246	0,7262	-0,3199
5,2470	0,7780	0,7823	0,7786	0,7796	-0,2489
5,3471	0,8225	0,8252	0,8250	0,8243	-0,1933
5,4806	0,8762	0,8792	0,8757	0,8770	-0,1312
5,5984	0,9154	0,9185	0,9169	0,9169	-0,0867
5,7991	0,9650	0,9680	0,9683	0,9671	-0,0335
5,9661	0,9872	0,9895	0,9922	0,9897	-0,0104
6,1092	0,9979	1,0041	1,0068	1,0029	0,0029
6,2344	1,0033	1,0072	1,0093	1,0066	0,0066
6,5367	1,0104	1,0091	1,0109	1,0101	0,0101
6,7685	1,0084	1,0082	1,0098	1,0088	0,0087
7,1148	1,0096	1,0032	1,0088	1,0072	0,0072
7,3715	1,0081	0,9983	0,9980	1,0015	0,0015
8,0163	0,9884	0,9864	0,9894	0,9881	-0,0120
8,4051	0,9768	0,9822	0,9809	0,9800	-0,0202
8,6844	0,9750	0,9800	0,9807	0,9786	-0,0217

Tabla H-2. Cantidad de agua acumulada (F) en el tiempo t , calculados a partir de la data obtenida durante la determinación de índice de hinchamiento del hidrogel en solución del extracto de las flores de *D. regia*.

$\text{Ln } t$	$F1$	$F2$	$F3$	F_{prom}	$\text{Ln}F$
1,6094	0,2020	0,1811	0,1924	0,1918	-1,6512
2,3026	0,3420	0,3022	0,3104	0,3182	-1,1451
2,7081	0,4560	0,4166	0,4221	0,4316	-0,8403
2,9957	0,5634	0,5099	0,5262	0,5332	-0,6289
3,2189	0,6675	0,6205	0,6224	0,6368	-0,4513
3,4012	0,7502	0,6910	0,7064	0,7159	-0,3342
3,5553	0,8349	0,7607	0,7875	0,7944	-0,2302
3,6889	0,9068	0,8404	0,8627	0,8700	-0,1393
3,8067	0,9645	0,8953	0,9257	0,9285	-0,0742
3,9120	1,0407	0,9662	0,9861	0,9977	-0,0023
4,0073	1,1107	1,0270	1,0496	1,0624	0,0606
4,0943	1,1755	1,0886	1,1100	1,1247	0,1175
4,1744	1,2398	1,1389	1,1667	1,1818	0,1671
4,2485	1,3018	1,1988	1,2360	1,2456	0,2196
4,3175	1,3661	1,2499	1,2839	1,3000	0,2623
4,3820	1,4186	1,3018	1,3364	1,3523	0,3018
4,4427	1,4745	1,3533	1,3822	1,4033	0,3388
4,4998	1,5274	1,4044	1,4313	1,4544	0,3746
4,6052	1,6225	1,4850	1,5166	1,5414	0,4327
4,7005	1,7266	1,5682	1,6048	1,6332	0,4905
4,7875	1,7895	1,6323	1,6711	1,6977	0,5293
4,8675	1,8567	1,6864	1,7383	1,7605	0,5656
4,9416	1,9163	1,7463	1,7955	1,8193	0,5985
5,0106	1,9697	1,7902	1,8433	1,8678	0,6247
5,1358	2,0459	1,8632	1,9248	1,9446	0,6651
5,2470	2,0880	1,9130	1,9723	1,9911	0,6887
5,3471	2,1405	1,9688	2,0105	2,0399	0,7129
5,4806	2,1367	1,9658	2,0315	2,0447	0,7152
5,5984	2,1055	1,9662	2,0504	2,0407	0,7133
5,7991	2,0137	1,8839	1,9534	1,9503	0,6680
5,9661	1,8694	1,7885	1,8845	1,8475	0,6138
6,1092	1,7431	1,6606	1,7434	1,7157	0,5398
6,2344	1,5993	1,5800	1,6296	1,6030	0,4719
6,5367	1,3780	1,3267	1,3759	1,3602	0,3076
6,7685	1,2096	1,1933	1,2083	1,2037	0,1854
7,1148	1,0464	1,0599	1,0412	1,0492	0,0480
7,3715	0,9816	1,0017	0,9891	0,9908	-0,0093
8,0163	0,8912	0,9033	0,9135	0,9027	-0,1024
8,4051	0,8709	0,8666	0,8601	0,8659	-0,1440
8,6844	0,8912	0,9050	0,9097	0,9020	-0,1032

APÉNDICE I. Espectro infrarrojo FTIR-ATR del hidrogel/extracto sumergido en la solución de CH_3COOH (0,1 mol/l).

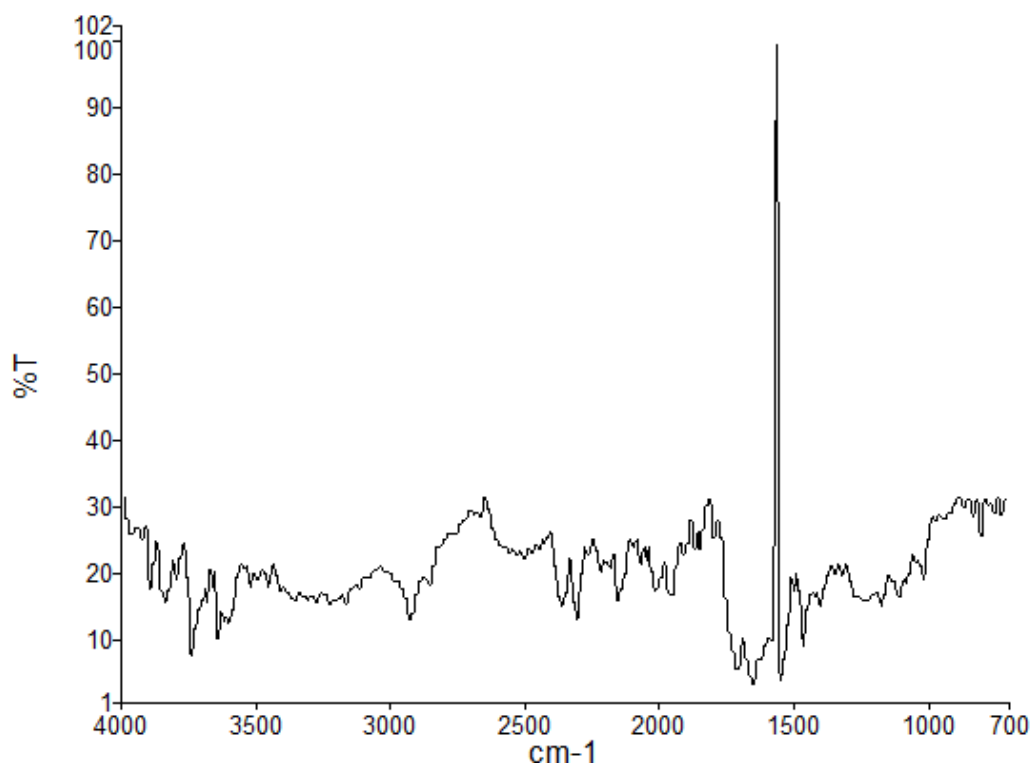


Figura I-1. Espectro IR-ATR del HG-*D. regia*/CH₃COOH.

APÉNDICE J. Espectro infrarrojo FTIR teórico del poliacrilato de sodio.

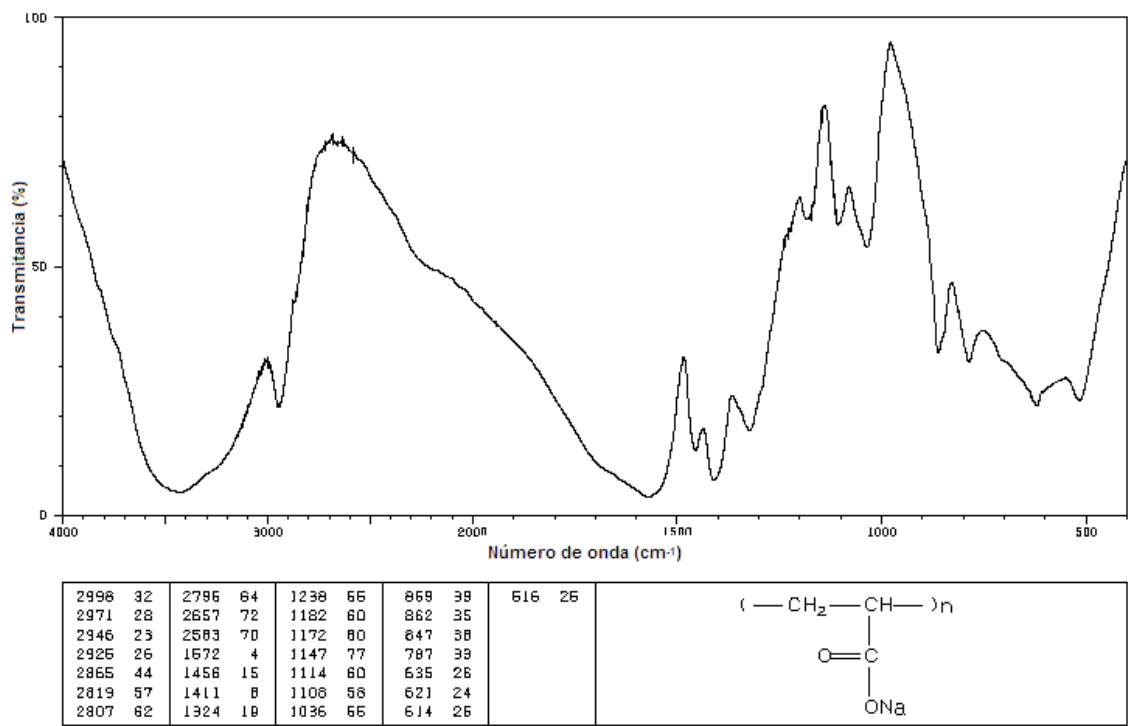


Figura J-1. Representación teórica del espectro infrarrojo del poliacrilato de sodio.

METADATOS

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

Título	Evaluación de la absorción de las antocianinas en la flor de <i>Delonix regia</i> (Bojer ex Hook) Raf. por un hidrogel comercial y su posible uso como indicador de pH.
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código ORCID / e-mail	
Brito Rodríguez Roselys de los Angeles	ORCID	
	e-mail	roselysbrito20@gmail.com
	e-mail	
	ORCID	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

antocianinas
hidrogel
ph
delonix regia
absorción
colorimetría

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Área o Línea de investigación:

Área	Subáreas
Ciencias	Química
Línea de Investigación:	

Resumen (abstract):

Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar la absorción del extracto de la flor de *Delonix regia* (Bojer ex Hook) Raf. por un hidrogel comercial y su posible utilización como indicador de pH colorimétrico. El análisis químico preliminar realizado a los extractos etanólicos, obtenidos por los métodos soxhlet y maceración, de las flores de *D. regia* reveló la posible presencia de metabolitos como flavonoides, polifenoles y taninos. En la caracterización por espectroscopia FTIR de los extractos se pudo observar señales correspondientes a grupos funcionales característicos de los metabolitos señalados. Las valoraciones colorimétricas y potenciométricas demostraron la efectividad del extracto como indicador de pH ya que los volúmenes de equivalencia obtenidos por ambos métodos fueron similares y se observó un cambio rápido de color en el punto final de cada valoración. Al analizar el hidrogel comercial por FTIR-ATR, se comprobó que el mismo está constituido por poliacrilato de sodio, ya que las bandas que aparecen en los rangos de 1546 cm^{-1} a 1659 cm^{-1} y 1449 cm^{-1} a 1322 cm^{-1} corresponden a vibraciones de estiramiento de C-O de grupos COO^- . El estudio de hinchamiento permitió comprobar la interacción de los grupos funcionales del extracto con el hidrogel, al obtener una disminución en el porcentaje de hinchamiento en comparación con el hidrogel sumergido en agua, además en la caracterización por espectroscopia FTIR-ATR del HG-*D. regia* se observó la aparición de nuevas señales en 2855 cm^{-1} y 1059 cm^{-1} y la sustitución de la señal que aparece en 856 cm^{-1} por 818 cm^{-1} , la cual corresponde a la flexión C-H fuera del plano de un anillo aromático *p*-disustituido, señales que indican la presencia del extracto en el hidrogel. Con el estudio cinético de absorción de los hidrogeles se determinó que el mecanismo de difusión del agua y el extracto es de tipo no Fickiano o anómalo, ya que los valores obtenidos para las constantes de difusión (n), en ambos casos, se encuentran en el rango $0,43 < n < 0,85$. En la interacción del HG-*D. regia* con soluciones ácidas y básicas se evidenciaron cambios en el proceso de hinchamiento de los hidrogeles, así como también la aparición de diversos colores en el polímero según el pH del medio. Por otra parte, se observó la desorción del extracto cuando el HG-*D. regia* fue sumergido en agua durante 48 horas; posteriormente mediante el estudio FTIR-ATR se corroboró que la desorción fue de solo una fracción del extracto debido a la aparición de señales correspondientes a grupos funcionales tanto del extracto como de la estructura del hidrogel. También, los HG-*D. regia* revelaron una posible actividad antibacteriana frente al microorganismo *S. aureus*, con la aparición de halos de inhibición, efecto asignado a los compuestos polifenólicos presentes en el extracto de las flores de *D. regia*.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código ORCID / e-mail												
Tenia Villarroel Rita Virginia Dolores	ROL												
		CA		AS	X	TU		JU					
	ORCID												
	e-mail	rtenia@gmail.com											
e-mail													
Dasilva Fernández Yvanovis Nataly	ROL												
		CA		AS		TU		JU	X				
	ORCID												
	e-mail	yvanovisdasilva@gmail.com											
e-mail													
Ramirez Boada Arnaldo Luis	ROL												
		CA		AS		TU		JU	X				
	ORCID												
	e-mail	arnaldoluisramirez@gmail.com											
e-mail													

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2024	02	29

Lenguaje: spa

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo
NSUTTG_BRRD2024

Alcance:

Espacial: UNIVERSAL

Temporal: INTEMPORAL

Título o Grado asociado con el trabajo: Licenciado en Química**Nivel Asociado con el Trabajo:** Licenciatura**Área de Estudio:** Ciencias**Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:** Universidad de Oriente

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN°0975

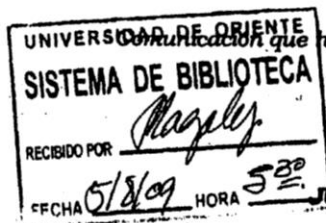
Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.



Cordialmente,

JUAN A. BOLANOS CUAPEL
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/maruja

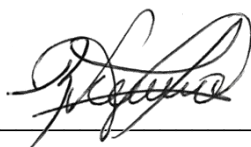
Apartado Correos 094 / Telfs: 4008042 - 4008044 / 8008045 Telefax: 4008043 / Cumaná - Venezuela

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 6/6

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009): “Los trabajos de grados son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y solo podrá ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Concejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Concejo Universitario, para su autorización”.



Roselys Brito
AUTOR



Dra. Rita Tenia
TUTOR