

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades



Acoplamiento molecular de tintes en fibras de algodón, lana y poliéster para su evaluación como colorantes textiles

Trabajo de graduación presentado por Ana Lucía Hernández Ramírez para optar al grado académico de Licenciada en Química

Guatemala,

2022

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades



Acoplamiento molecular de tintes en fibras de algodón, lana y poliéster para su evaluación como colorantes textiles

Trabajo de graduación presentado por Ana Lucía Hernández Ramírez para optar al grado académico de Licenciada en Química

Guatemala,

2022

Vo. Bo. :

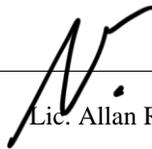
(f)



Lic. Allan Rolando Vásquez Bolaños

Tribunal Examinador:

(f)



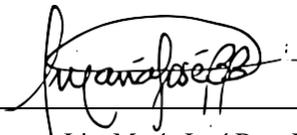
Lic. Allan Rolando Vásquez Bolaños

(f)



Lic. Irma Patricia Orellana Catalán

(f)



Lic. María José Bran Bonilla

Fecha de aprobación del examen de graduación: Guatemala, 22 de junio de 2022

Índice

Lista de cuadros	iv
Lista de figuras	v
Resumen	vii
I. Introducción	1
II. Objetivos	2
A. Objetivo general.....	2
B. Objetivos específicos	2
III. Hipótesis	3
A. Hipótesis de investigación.....	3
IV. Justificación	4
V. Marco teórico	6
A. Colorantes	6
B. Moléculas coloradas de origen natural	8
C. Agentes mordientes.....	13
D. Fibras textiles	13
E. Bixa orellana	15
F. Acoplamiento molecular	16
VI. Metodología	18
A. Materiales y métodos	18
B. Instrumentos.....	19
C. Alcances y limitaciones	19
VII. Resultados	21
VIII. Discusión de resultados	22
IX. Conclusiones	24
X. Recomendaciones	25
XI. Bibliografía	26
XII. Anexos	29

Lista de cuadros

Cuadro No. 1: Ligandos y receptores.....	19
Cuadro No. 2: Función se puntuación y número de puentes de hidrógeno entre los ligandos y receptores.....	21

Lista de figuras

Figura No. 1: Estructura molecular de la tartrazina	7
Figura No. 2: Estructura de antraquinona	9
Figura No. 3: Estructura base de los flavonoides.....	9
Figura No. 4: Molécula del índigo	10
Figura No. 5: Estructura de un tanino condensado	11
Figura No. 6: Estructura de un tanino hidrolizado	12
Figura No. 7: Estructura del betacaroteno	12
Figura No. 8: Estructura del algodón	14
Figura No. 9: Estructura de lana y seda	14
Figura No. 10: Estructura del poliéster	15
Figura No.11: Estructura del nylon.....	15
Figura No.12: Bixina modificada	18
Figura No. 13: Curcumina modificada	18
Figura No. 14: Acoplamiento molecular de fibra de algodón con Bixina	29
Figura No. 15: Acoplamiento molecular de fibra de lana con Bixina.....	30
Figura No. 16: Acoplamiento molecular de fibra de poliéster con Bixina	30
Figura No. 17: Acoplamiento molecular de fibra de algodón con Norbixina.....	31
Figura No. 18: Acoplamiento molecular de fibra de lana con Norbixina.....	31
Figura No. 19: Acoplamiento molecular de fibra de poliéster con Norbixina.....	32
Figura No. 20: Acoplamiento molecular de fibra de algodón con Bixina modificada	32
Figura No. 21: Acoplamiento molecular de fibra de lana con Bixina modificada	33
Figura No. 22: Acoplamiento molecular de fibra de poliéster con Bixina modificada	33
Figura No. 23: Acoplamiento molecular de fibra de algodón con Curcumina	34
Figura No. 24: Acoplamiento molecular de fibra de lana con Curcumina	34

Figura No. 25: Acoplamiento molecular de fibra de poliéster con Curcumina	35
Figura No. 26: Acoplamiento molecular de fibra de algodón con Curcumina modificada	35
Figura No. 27: Acoplamiento molecular de fibra de lana con Curcumina modificada	36
Figura No. 28: Acoplamiento molecular de fibra de poliéster con Curcumina modificada	36
Figura No. 29: Acoplamiento molecular de fibra de algodón con Tartrazina	37
Figura No. 30: Acoplamiento molecular de fibra de lana con Tartrazina.....	37
Figura No. 31: Acoplamiento molecular de fibra de poliéster con Tartrazina	37

Resumen

Actualmente muchos de los tintes sintéticos que se utilizan en la industria textil llegan a tener un gran impacto ambiental. Debido a esto una alternativa es regresar al uso de tintes de origen natural, sin embargo, se sabe que estos por sí solos no dan buenos resultados en cuanto a la duración en la tela. Esta investigación tiene por objetivo realizar acoplamiento molecular entre moléculas coloreadas de origen natural y fibras textiles con el fin de analizar las formas de interacciones no covalentes que se dan entre estas moléculas y así mismo proponer modificaciones a estos tintes para una mejor fijación a la tela. Las moléculas por trabajar son Bixina, Norbixina y Curcumina ya que son las moléculas que imparten color en teñidos artesanales con achiote y cúrcuma. Los textiles en los que se evaluarán los tintes serán fibras de algodón, lana y poliéster. El acoplamiento molecular se llevará a cabo utilizando el *software Chimera 1.14* con el programa *Autodock Vina* se espera obtener la energía libre de enlace, así como el número de puentes de hidrógeno.

I. Introducción

La tinción de telas en la historia griega y romana empezó con la utilización del “Purpura imperial” extraído de algunos moluscos. La escasez de este tinte hacía que su precio llegara a ser más de 20 veces su peso en oro; por lo cual el color morado en ese entonces representaba un alto estatus social para las personas (Koren, 1997). Con el desarrollo de la química orgánica los tintes de origen vegetal y animal dejaron de ser utilizados progresivamente debido a que económicamente era más viable sintetizarlos. En 1865 William H. Perkin preparó el primer tinte sintético llamado Mauveína por medio de la oxidación de la anilina con dicromato de potasio. A partir de ahí él se considera el fundador de los colorantes sintéticos. (Chatwal, 2009)

Actualmente la industria de la moda busca ofrecer la mejor calidad en sus productos. Esto incluye que las prendas de vestir tengan colores intensos y duraderos. Para ello utilizan tintes sintéticos como los son los: azoicos, nitrosos, difenilmetánicos entre los más comunes. Las pruebas que se realizan a estos para verificar si cumplen los estándares de calidad son llamadas “Pruebas de solidez del color” y a pesar de los excelentes resultados que se obtienen con este tipo de tintes se está buscando regresar a los naturales. Esto se debe a la información acerca de los efectos cancerígenos y genotóxicos que algunos tintes sintéticos pueden llegar a tener; además de la constante preocupación por el impacto ambiental que pueden llegar a causar (González, 2006). De esta manera vemos la necesidad de búsqueda de nuevas alternativas a los colorantes textiles que existen en la actualidad.

El achiote es una planta nativa de México, Centro y Sur América. Comúnmente es utilizada para dar sabor y color a ciertos alimentos. Las moléculas que permiten dar color son llamadas bixina y norbixina y se encuentran mayoritariamente en las semillas de esta planta (Rajendran, 2016). La bixina ha sido utilizada para teñir algodón y lana, sin embargo, por sí sola ha demostrado dar resultados no tan buenos en algunas de las pruebas de color solidez del color. Normalmente la bixina se debe utilizar con un agente mordante para permitir que el color sea más intenso y así mismo lograr una mejor fijación. (Popoola, 1999)

La presente investigación propone el uso del acoplamiento de moléculas coloreadas como Bixina, norbixina y curcumina a fibras textiles como herramienta para evaluar *in silico* las interacciones entre estas. Así mismo se espera proponer modificaciones a estas moléculas y analizarlas por medio de acoplamiento molecular. El *software* que se utilizará será Chimera 1.14 junto con AutodockVina y se llevará a cabo de enero a abril de 2022.

II. Objetivos

A. Objetivo general

Modelar y analizar las formas de acoplamiento de moléculas coloreadas con fibras de algodón, lana y poliéster por medio de un estudio *in silico* para evaluar su potencial como colorante textil.

B. Objetivos específicos

- Comparar la afinidad de las moléculas coloreadas de origen natural: bixina, norbixina y curcumina con un tinte de origen sintético como la tartrazina.
- Determinar los puentes de hidrógeno de cada tinte con cada una de las fibras textiles.
- Evaluar a qué tipo de fibra es más afín cada uno de los tintes.
- Proponer modificaciones estructurales a las moléculas para mejorar su afinidad por las fibras.

III. Hipótesis

A. Hipótesis de investigación

H1: El valor de energía libre de enlace de la bixina será mayor que el de la tartrazina.

H2: El valor de energía libre de enlace de la curcumina será mayor que el de la tartrazina.

H3: Los tintes con estructura modificada formaran más interacciones con las telas que aquellos que no fueron modificados.

IV. Justificación

La utilización de tintes sintéticos ha tomado gran auge en los últimos años. Normalmente estos son utilizados en la industria alimentaria, farmacéutica y textil sin tomar en consideración los impactos que puedan llegar a causar en la salud y en el ecosistema. Entre los tipos de tintes sintéticos que existen podemos mencionar los xanteicos, nitrosos, azoicos, difenilmetánicos y trifenilmetánicos entre otros.

El uso de colorantes en la industria textil es de suma importancia ya que los colores le dan belleza a las telas. Los tintes sintéticos brindan buenos resultados en cuanto a pruebas de solidez del color, estas pruebas miden la resistencia de los textiles al desgaste. Sin embargo, debido a su naturaleza química estos tienen efectos adversos en todas las formas de vida. A nivel ecosistema podemos mencionar que representan un gran problema de contaminación de cuerpos de agua. Se sabe que el color se manifiesta en el agua con tan solo 1mg/L y la concentración de colorantes en el agua residual de empresas textiles puede variar entre 100 a 500mg/L. Además, algunos de estos colorantes resultan ser bioacumulables por lo cual se pueden infiltrar en la cadena alimenticia y tener impacto en la salud de los seres humanos. (González, 2006; Kant, 2012)

El colorante amarillo No. 5 (tartrazina) es un colorante artificial de tipo azoico de los más utilizados en la industria textil. Estos colorantes se caracterizan por tener un enlace doble entre dos átomos de nitrógeno (-N=N-) también llamado grupo “azo”. Se sabe que este enlace se puede romper por acción enzimática, térmica o fotocatalítica formando aminas que pueden llegar a ser más dañinas que el tinte en sí. Según estudios con animales se ha demostrado que es un tinte cancerígeno y genotóxico, por lo que puede ser perjudicial para la biodiversidad como tal. Por los efectos adversos que este tinte causa se han propuesto diversos métodos fisicoquímicos para su remoción en aguas residuales; sin embargo, estos métodos resultan ser costosos. (González, 2006)

En cuanto a tintes naturales se sabe que representan un recurso renovable que no genera un impacto ambiental; sin embargo, estos son más utilizados en teñidos artesanales que en la industria. La mayoría de los tintes de origen natural son clasificados como mordantes debido a que necesitan la adición de sales metálicas para que se fijen a los textiles. Estas sales pueden ser de potasio, hierro, cobalto, cobre, estaño, entre otros.

Dadas las características de los tintes artificiales que existen en la actualidad nos vemos en la necesidad de proponer nuevas alternativas que puedan llegar a tener un menor impacto ambiental por el hecho de ser derivados de moléculas

naturales. A través de esta investigación se busca analizar las interacciones que se dan entre los tintes y las telas por medio de un estudio *in silico* para ampliar el conocimiento que se tiene sobre ellas y así mismo analizar dos derivados: uno de la bixina y otro de la curcumina, con posibles propiedades tintóreas.

V. Marco teórico

A. Colorantes

1. Definición

Se denomina colorantes a las moléculas orgánicas que imparten color a materiales como papel, plástico o ropa entre otros. Un colorante puede ser un pigmento o tinte dependiendo del medio que se utilice. Un pigmento normalmente es insoluble en agua y otros solventes por lo cual la forma de aplicarlo debe ser como una pasta en un solvente apolar como medio. Un tinte es aquel que es soluble en el medio formando una solución homogénea. (Campos y Quintanilla, 2017)

Los colorantes pueden ser utilizados en la industria farmacéutica, alimenticia o textil. En la industria textil estos deben tener una permanencia razonable en el material al cual se están aplicando. Los requisitos para que las moléculas funcionen como verdaderos tintes son:

Deben tener un color estable (resistentes a condiciones de lavado, secado y estables a la luz).

Deben tener un color atractivo y no tener cambios estructurales conforme al tiempo.

Deben ser capaces de fijarse en el material por sí solos.

Deben ser solubles en un medio, preferiblemente agua. (Chatwal, 2009)

2. Clasificación

a. Según su estructura química

1) Sintéticos

La era de los tintes sintéticos inició junto con el desarrollo de la química orgánica. Los primeros colorantes se prepararon a partir de la anilina y de ahí se derivan los grupos que conocemos en la actualidad. Algunos de estos grupos son: los colorantes xanteicos, nitrosos, azoicos, difenilmetánicos y trifenilmetánicos entre otros (Chatwal, 2009; Campos y Quintanilla, 2017). Entre los tintes azoicos se encuentra la tartrazina (Figura 1). Un tinte utilizado en la industria alimenticia y textil que se presenta en forma de polvo brillante color amarillo.

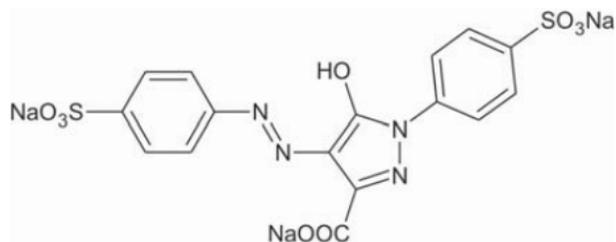


Figura 1. Estructura molecular de la tartrazina.

(Restrepo, 2007)

Estos tintes son elaborados como alternativa a los tintes naturales debido a que su preparación es menos laboriosa y costosa. En cuanto a calidad dan mejores resultados ya que se pueden dispersar en la tela de manera uniforme y mostrar colores más sólidos (Chatwal, 2009). A pesar de las ventajas que los colorantes artificiales demuestran tener para la industria se sabe que tienen efectos perjudiciales para la salud de las personas al ser utilizados en alimentos o fármacos. Así mismo llegan a tener un impacto ambiental al utilizarse por la industria textil, ya que la concentración de colorantes en el agua residual de empresas textiles puede variar entre 100 a 500mg/L. (González, 2006)

2) Naturales

Un colorante natural es aquel que se obtiene de materia animal o vegetal sin proceso químico. Entre los colorantes de origen animal se puede mencionar la cochinilla. Esta fue utilizada desde la antigüedad en civilizaciones como la maya, azteca y egipcia para tinción de telas. Su principio activo colorante es el ácido carmínico, el cual es un derivado de antraquinona. Así mismo la tinta del molusco de múrice es un ejemplo del uso sostenible de un recurso de origen animal; en el siglo XVII y XVIII fue aprovechado el color púrpura producido por este molusco para tinción de telas y actualmente todavía se utiliza en teñidos artesanales (García, 2011). Entre los de origen vegetal se pueden mencionar metabolitos secundarios que poseen las plantas como lo son las: quinonas, flavonoides, carotenoides, indigoides y taninos entre otros. Los metabolitos secundarios se refieren a un grupo de moléculas de bajo peso molecular que son particulares de cada familia o género de plantas. Tradicionalmente se creía que no eran esenciales para las plantas, sin embargo, se ha demostrado que son necesarios para que estas sobrevivan en ambientes poco favorables ya que actúan como defensa contra depredadores, hongos y bacterias. (Vigueras, 2016)

Los tintes naturales en la industria textil fueron desplazados con la introducción de los tintes sintéticos al mercado. Las ventajas que estos tintes presentan son la reducción de costos en producción y la solidez del color en las telas. Actualmente el uso de tintes naturales ha adquirido una demanda especial

debido al efecto negativo que los tintes sintéticos tienen al adicionarlos a fibras naturales y en la salud de los seres humanos. Ejemplo de ello es la utilización del ácido carmínico como sustituto del colorante rojo No. 40 y No. 2. (García, 2011; Viguera, 2016)

b. Según los enlaces que forman con las telas

1) Directos

Se denomina tintes directos a aquellos que se absorben directamente por las telas sin la necesidad de otras sustancias. Son solubles en agua y en su estructura contienen sitios cargados positivos y negativos por lo que se enlazan a sitios polares e iónicos en el textil. Se clasifican en ácidos y básicos. (Shree, 2017)

2) Sustantivos

Son colorantes que tiñen directamente las fibras de algodón. Interactúan con la tela principalmente formando puentes de hidrogeno. Ejemplo de ello son los tintes que tienen nitrógeno en su estructura y se enlazan a telas que tienen sitios polares (-OH). (Shree, 2017)

3) Mordantes

Colorantes que necesitan la adición de un “agente mordiente”. La mayoría de los tintes naturales son de tipo mordante y por sí solos se desprenden con facilidad de la tela. Los enlaces del tinte a la tela se ven mejorados adicionando sales metálicas de aluminio, cromo, hierro, cobre entre otros. (Shree, 2017)

B. Moléculas coloradas de origen natural

1. Quinonas

Las quinonas en el laboratorio se pueden obtener por la oxidación de compuestos fenólicos o aminas aromáticas. En las plantas pueden ser formadas por la ruta del acetato o del shikimato. Estas tienen amplia variedad de funciones bioquímicas en los organismos vivos, dependiendo del tipo de quinona que sea. Una de las más importantes es la ubiquinona o coenzima Q ya que por la facilidad con que sufre reacciones redox cumple un papel fundamental en la cadena transportadora de electrones. Así mismo estas son responsables de mucho de los colores en la naturaleza como lo son: el naranja, amarillo, rojo y violeta. (Dewick, 2002)

a. Antraquinonas

Los colores rojos en la naturaleza se deben en su mayoría a las antraquinonas. Las antraquinonas se pueden extraer de animales, plantas o minerales. Ejemplo de ello es el color rojizo de la cochinilla o de la planta

Rubia Tinctorium son tintes que necesitan la presencia de sales metálicas para unirse a las telas y demuestran ser estables a la luz y al lavado. (Akçakoca, 2011)

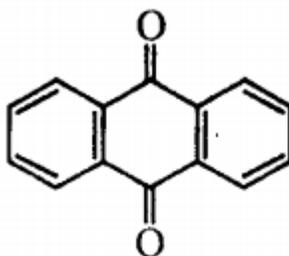


Figura 2. Estructura de antraquinona.

(Cseke *et. al*, 2006)

2 Flavonoides

Estructuralmente los flavonoides poseen dos anillos bencénicos separados por una unidad de propano (Figura 3). Son derivados de la flavona y se sabe que son solubles en agua. En cuanto al color, se sabe que el 90% de los colores amarillos en la naturaleza se les atribuye a los flavonoides; sin embargo, las flavonas como tal son incoloras a menos que estén sustituidas con grupos hidroxilo o metóxido. (Akçakoca, 2011) Además, se sabe que mientras más conjugado el compuesto la intensidad de su color será mejor.

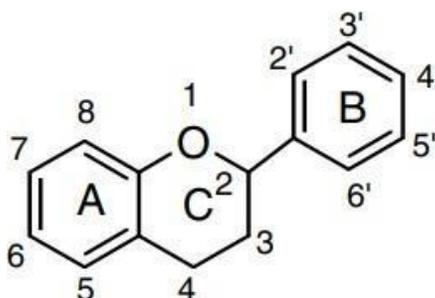


Figura 3. Estructura base de los flavonoides.

(Cseke *et.al*, 2006)

Los flavonoides se pueden clasificar como: Chalconas, flavonas, flavonolas, flavononas, antocianinas e isoflavonas dependiendo de los oxígenos adicionales, los anillos heterocíclicos y los grupos hidroxilos adicionales que contengan en ellos. Las flavonas y flavonolas son los grupos más comunes que se pueden encontrar en la naturaleza. (Cseke *et. al*, 2006)

Las plantas *Tagetes erecta* y *Tagetes paula* se caracterizan por su vivaz color amarillo. Estudios con ellas han demostrado que su color es debido a la concentración de flavonoides como lo son la patulitrina y patuletina. Los métodos de extracción sugieren la maceración de las flores y la utilización de solventes como etanol/agua en composiciones 2:8, 3:7 y 5:5 v/v. Así mismo por medio de cromatografía en columna se puede utilizar solventes como EtOAc/hexano al 20 o 50 %. Por el hecho de ser compuestos coloreados se pueden analizar por medio de espectrofotometría UV/VIS. Las bandas características para los flavonoides en las flores *Tagetes* se encuentran en longitudes de onda de 265, 353 y 392 nm. (Shree, 2017)

3. Indigoides

La molécula Indica se obtiene de las especies *Indigo ferae*, es uno de los tintes naturales más antiguos de origen indio. La Indica es la forma glucosilada del Índigo. Normalmente esta es hidrolizada con la ayuda de enzimas y en un medio alcalino esta se convierte en la molécula del índigo (Figura 4).

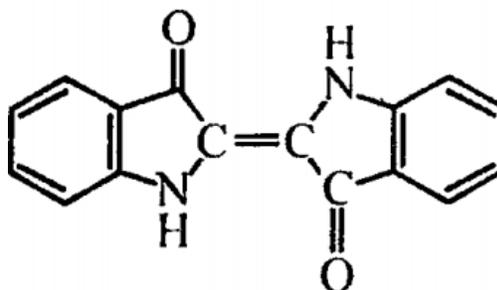


Figura 4. molécula del índigo.

(Chatwal, 2009)

El índigo y sus derivados se caracterizan por tener una enediona en su estructura. Estos son responsables de los colores azul y morado en la naturaleza. Ejemplo de ello es el Púrpura de Tiro (6, 6'- Dibromo índigo) extraído de las conchas de mar. (Chatwal, 2009)

El índigo es uno de los pocos tintes de origen natural que no necesitan la adición de un agente mordiente al ser utilizado en el teñido de textiles. Por el hecho de ser funcional en la actualidad es elaborado por medio de métodos sintéticos. Se le clasifica como un tinte de tina por la forma en que se debe aplicar en los textiles. En telas de algodón se debe tomar en cuenta temperaturas y pH del medio para que dé buenos resultados. Así mismo se sabe que es uno de los pocos tintes que funciona mejor a bajas temperaturas. (Chatwal, 2009; Ticha *et. al*, 2013)

4 Taninos

Los taninos son compuestos polifenólicos presentes en casi todas las familias del reino vegetal. Es posible encontrarlos en tallos, hojas, semillas y frutos, pero suelen encontrarse en mayor abundancia en corteza o tallos. Estas moléculas tienen la capacidad de combinarse con proteínas a lo cual se le denomina una propiedad astringente. Debido a esto son de gran importancia en la industria del cuero, farmacéutica y alimentaria. (Álvarez y Lock, 1992)

Los taninos se pueden clasificar en dos grandes grupos: hidrolizables (figura x) y condensados. Se sabe que los taninos hidrolizables normalmente se hallan en las vacuolas de las células vegetales y se subdividen en galotaninos y elagitaninos. Los condensados son derivados de la flavan-3,4-diol (figura 1) y se encuentran sobre todo en plantas vasculares. (Álvarez y Lock, 1992; Palo y Robbins, 1991)

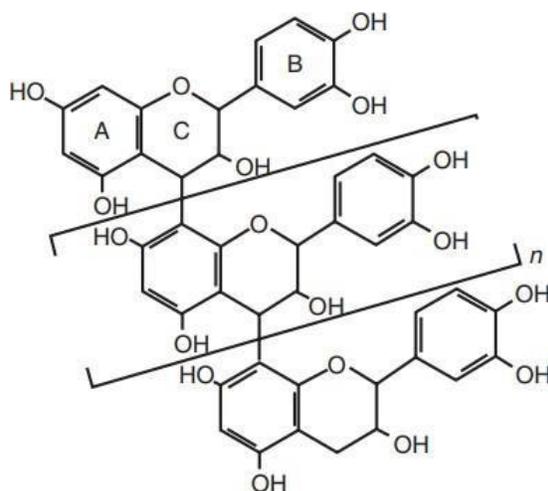


Figura 5. Estructura de un tanino condensado.

(Cseke, 2006)

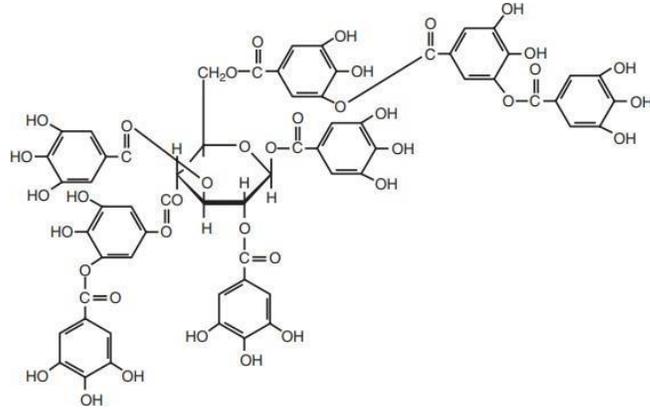


Figura 6. Estructura de un tanino hidrolizado.

(Cseke, 2006)

Los colores oscuros como el café y el negro se obtienen de plantas ricas en taninos.

5. Carotenoides

Los terpenos son moléculas que se clasifican dependiendo del número de unidades de isopreno que contengan. Los carotenoides son moléculas clasificadas como tetraterpenos (C₄₀) ya que contienen 8 unidades de isopreno. El nombre “caroteno” se debe al pigmento anaranjado encontrado en la zanahoria Betacaroteno (figura 7). La estructura de estos compuestos se caracteriza por la presencia de varios enlaces conjugados a los cuales se les atribuye la presencia del color. Los extremos pueden tener diferentes formas predeterminadas que son mencionadas en el nombre científico con letras griegas. (Eskin, 1979)

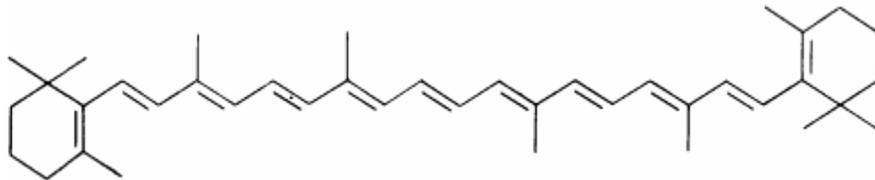


Figura 7. Estructura del betacaroteno.

(Eskin, 1979)

Se clasifican en: carotenos y xantofilas. Los carotenos están relacionados a los hidrocarburos por lo que no tienen átomos de oxígeno en su estructura. Las xantofilas tienen oxígenos presentes en forma de grupos funcionales hidroxilo o epóxido. La mayoría de estos compuestos son moléculas estables, sin embargo, en algunas condiciones puede llegar a ocurrir isomerización cis-trans. (Eskin, 1979; Cseke *et. al*, 2006)

En la naturaleza se sabe que los carotenoides son responsables de los colores amarillo, anaranjado y rojo. Estos colores llamativos los utilizan las plantas para atraer polinizadores ayudando a la dispersión de semillas. Así mismo son utilizados como pigmentos necesarios en la fotosíntesis pues se cree que protegen a las plantas de la sobreoxidación que se pueda generar por la absorción de luz por parte de la clorofila y otros pigmentos. (Eskin, 1979)

C. Agentes mordientes

Mordiente es definido como un agente con el que se tratan los textiles para que hacer que los tintes se adhieran mejor u obtengan un color más intenso. Los mordantes más comunes son sales metálicas de aluminio, cromo, hierro, estaño entre otros. Entre estos los únicos que no dañan el eco ciclo son las sales de aluminio, hierro y estaño. Se sabe que los mordientes de cobre y cromo causan contaminación por metales pesados al desembocar en los cuerpos de agua. Así mismo este hecho afecta la biodiversidad acuática. (Shree, 2017)

El éxito de la utilización de un agente mordiente consiste en su afinidad por las fibras y las moléculas de los tintes. El mecanismo de acción consiste en la formación de complejos; al tratar la tela con los mordantes los iones metálicos se unen. (Shree, 2017)

D. Fibras textiles

Las fibras textiles son moléculas orgánicas de alto peso molecular denominadas polímeros. Los polímeros están formados por varias subunidades denominadas monómeros y pueden tener una estructura lineal o ramificada. La estructura química del polímero puede variar dependiendo de su naturaleza. Dado su origen los dos grupos principales en los cuales se clasifican son: naturales y sintéticas. (Chatwal, 2009)

1. Naturales

a. Algodón

También llamada celulosa, es una fibra de origen vegetal. Sirve como material de sostén de las células vegetales. Este polímero está constituido por varias subunidades de glucosa unidas por enlaces peptídicos. La glucosa tiene varios grupos funcionales -OH primarios y secundarios, lo que hace que la fibra sea hidrofílica. Por el hecho de ser una fibra natural esta no puede ser sometida a temperaturas mayores de 180C, de lo contrario se quema. (Campos y

Quintanilla, 2017; Chatwal, 2009) En el proceso de tinción se hace uso de los grupos -OH de la fibra para que el tinte se fije a ella.

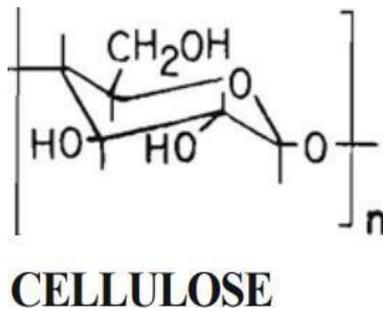


Figura 8. Estructura del algodón.

(Needles, 1986)

b. Lana

Proteína natural de origen animal. El polipéptido posee grupos amino, ácidos carboxílicos y un grupo variable en su estructura. En el caso de la lana el grupo es un disulfuro llamado cisteína. Se sabe que de la hidrólisis de la lana se han obtenido 20 aminoácidos cisteína. (Chatwal, 2009)

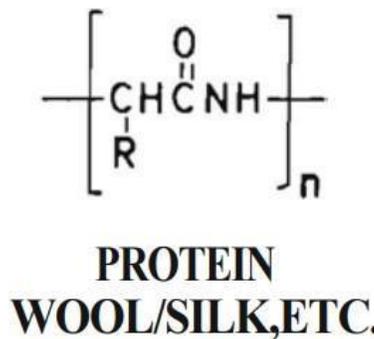


Figura 9. Estructura de lana y seda.

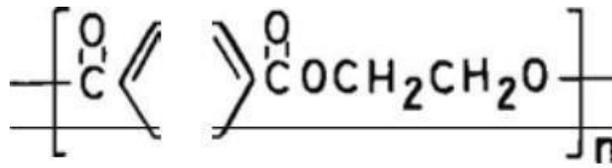
(Needles, 1986)

Fibra de origen animal formada por varios aminoácidos entre los cuales podemos encontrar: glicina, serina, tirosina y alanina. Al igual que en la lana estos se arreglan de manera lineal para formar el polipéptido. (Chatwal, 2009)

2. Sintéticas

a. Poliéster

Creada por la condensación de un alcohol alifático llamado etilenglicol con ácido tereftálico formando enlaces de tipo éster para unión entre ambos. (Chatwal, 2009)



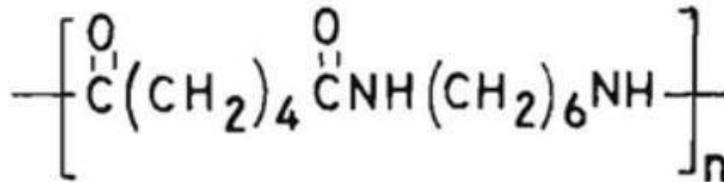
POLYESTER

Figura 10. Estructura del poliéster.

(Needles, 1986)

b. Nylon

También conocida como poliamida, es una fibra de origen sintético con propiedades parecidas a las de la lana y la seda. El nylon fue la primera fibra sintética creada en los años de 1930. A partir de ahí se marcó una nueva era para la creación de nuevas fibras sintéticas como lo son el poliéster, acrílico, polifeina y vinilo. Entre los tipos de nylon que existen se puede mencionar: nylon 6, nylon 66 y nylon 4 entre otros. (Chatwal, 2009)



NYLON 66

Figura 11. Estructura de nylon.

(Needles, 1986)

E. Bixa orellana

La *Bixa orellana*, también conocida como Achiote o Anatto, es una planta nativa de México, Centro y Sur América. Físicamente es un árbol que puede llegar a medir de 3 a 6 metros de altura y su tronco unos 10 centímetros de diámetro. Los frutos pueden ser de color verde, café o rojo intenso dependiendo de su madurez. Tienen forma acorazonada y pueden llegar a medir 3 a 7 centímetros de largo. Cada uno de los frutos puede llegar a tener de 20 a 50 semillas unidas al centro (Rajendran, 2016). Las semillas contienen un colorante rojizo en concentraciones de 3% aproximadamente. Este tinte ha sido

utilizado desde tiempos antiguos como colorante de textiles, de cerámica y como repelente de insectos. (Payes, 2017)

1. Bixina

La Bixina es un caroteno esterificado en un carboxilo terminal, presente en las semillas de achiote. Su nombre científico es éster monometílico del ácido 6,6'-diapo- ψ,ψ -carotenodioico y su fórmula molecular es $C_{25}H_{30}O_4$. Este compuesto es insoluble en agua y ligeramente soluble en aceite, además tiene una longitud de onda máxima de 509.5, 475 y 443 nm. (Payes, 2017)

2. Norbixina

La Norbixina es un ácido dicarboxílico que surge de hidrólisis alcalina de la bixina. Tiene fórmula molecular $C_{24}H_{28}O_4$ y presenta una longitud de onda máxima en 428 nm. Este compuesto es soluble en agua. (Payes, 2017)

F. Acoplamiento molecular

El acoplamiento molecular (molecular docking) es un tipo de modelado computacional que tiene por objetivo describir las interacciones que se dan entre dos o más moléculas. A través de esta técnica se pueden visualizar y predecir estructuras tridimensionales gracias a las propiedades de enlace que se dan entre el ligando y la molécula objetivo. A partir del análisis de la estructura se puede predecir la energía libre de enlace, la afinidad entre las moléculas y la constante de unión. La energía libre de enlace reúne información acerca de varios tipos de interacciones que impulsan el acoplamiento entre las moléculas elegidas. Entre las interacciones podemos mencionar la dispersión, repulsión, puentes de hidrogeno, desolvatación, electrostática y energía libre de torsión. (Mehrotra y Agarwal, 2016)

En cuanto a la metodología se puede decir que para generar las conformaciones entre ligando y receptor es necesario usar algoritmos de búsqueda. Los algoritmos de búsqueda sirven para analizar la energía libre y encontrar las mejores poses de los ligandos. Así mismo para evaluar la calidad de los acoplamientos se utiliza una función de puntuación de energía (scoring function). La función de puntuación de energía debe poder distinguir todos los modos de unión y brindar aquellos con niveles de energía más bajos; además de poder ordenar los ligandos de acuerdo con su afinidad. (Guedes, de Magalhães y Dardenne, 2014)

Existen tres tipos de acoplamiento molecular: el primer tipo toma a la molécula objetivo como rígida y asume que el ligando es flexible, el segundo asume que tanto la molécula objetivo como el ligando son rígidos y el tercero toma a ambas moléculas interactuando como flexibles. (Mehrotra y Agarwal, 2016)

1. Usos

El principal uso de esta técnica es en el campo farmacéutico ya que provee información acerca de cómo los nuevos medicamentos pueden interactuar con proteínas en el cuerpo humano antes de que se lleve a cabo el estudio in vitro. Así mismo da lugar al diseño de nuevos fármacos que tengan mayor eficacia y afinidad. (Mehrotra y Agarwal, 2016)

VI. Metodología

A. Materiales y métodos

Esta investigación se realizó por medio de un estudio *in silico* de acoplamiento molecular entre moléculas coloreadas de origen natural como lo son la bixina, norbixina y curcumina a moléculas receptoras como fibras textiles de algodón, lana y poliéster. Cada una de las moléculas trabajadas fue modelada en 2D en el programa Marvin JS online para obtenerlas en formato SMILES. Luego se optimizaron en Avogadro 1.2 y se obtuvieron en formato PDB. A partir de los archivos PDB se realizaron los acoplamientos moleculares utilizando el software de Chimera 1.14, esto con el fin de obtener información acerca de la afinidad de los tintes a cada una de las telas por medio de la función *Score* que se interpreta también como la energía libre de enlace. Así mismo se observaron estructuralmente los puentes de hidrogeno que se formaron y a partir de estos datos se propusieron modificaciones estructurales a las moléculas de Bixina y Curcumina, las cuales también se analizaron por medio de acoplamiento molecular. En las figuras 12 y 13 se pueden observar las estructuras de la Bixina y Curcumina modificadas. Por último, se analizó un tinte de origen sintético como la tartrazina y se compararon los valores de energía libre de enlace con aquellos obtenidos con los tintes de origen natural.

Figura No. 12: Bixina modificada.

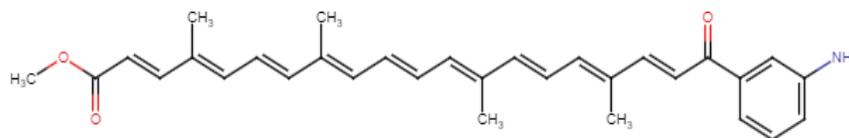
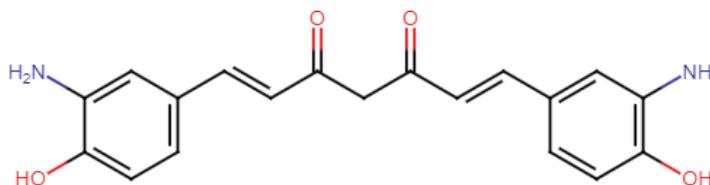


Figura No. 13: Curcumina modificada.



A continuación, se muestra un cuadro con los ligandos y receptores que se espera trabajar.

Cuadro No. 1: Ligandos y receptores.

<i>Ligando</i>	<i>Receptor</i>
Bixina	Algodón
Bixina	Lana
Bixina	Poliéster
Norbixina	Algodón
Norbixina	Lana
Norbixina	Poliéster
Bixina modificada	Algodón
Bixina modificada	Lana
Bixina modificada	Poliéster
Curcumina	Algodón
Curcumina	Lana
Curcumina	Poliéster
Curcumina modificada	Algodón
Curcumina modificada	Lana
Curcumina modificada	Poliéster
Tartrazina	Algodón
Tartrazina	Lana
Tartrazina	Poliéster

B. Instrumentos

a. Materiales

- Computadora portatil marca Dell
- Procesador: Intel Core i3-7100U CPU 2.40GHz Memoria: 8.00GB de RAM
- *Software:*
 - USFC Chimera 1.14 (University of California)
 - Autodock Vina Scripps Research Institute
 - Marvin JS- demo online (ChemAxon)
 - Avogadro 1.2 (Avogadro Chemistry)

C. Alcances y limitaciones

1. Alcances

Acoplamiento molecular de moléculas coloreadas de origen natural con fibras textiles como algodón, lana y poliéster para el análisis de su afinidad a cada textil; así como su comparación contra un tinte directo de origen sintético. Así mismo se realizaron modificaciones

estructurales a las moléculas de bixina y curcumina y se analizaron por acoplamiento molecular.

a. Ámbito geográfico

Ciudad de Guatemala

b. Ámbito institucional

Universidad del Valle de Guatemala

c. Ámbito temporal

Del 28 de enero 2022 a 28 de abril de 2022.

2. Limitaciones

- Nivel de teoría utilizado: mecánica molecular.
- Capacidad computacional.

VII. Resultados

Cuadro No. 2: Energía libre y número de puentes de hidrógeno entre los ligandos y receptores.

<i>Ligando</i>	<i>Receptor</i>	<i>Afinidad (kcal/mol)</i>	<i>Número de puentes de Hidrógeno</i>
Bixina	Algodón	-3.2	2
Bixina	Lana	-4.5	2
Bixina	Poliéster	-4.0	0
Norbixina	Algodón	-3.3	1
Norbixina	Lana	-3.6	3
Norbixina	Poliéster	-4.1	0
Bixina modificada*	Algodón	-3.4	1
Bixina modificada*	Lana	-4.9	1
Bixina modificada*	Poliéster	-4.4	0
Curcumina	Algodón	-3.3	0
Curcumina	Lana	-5.1	4
Curcumina	Poliéster	-3.8	0
Curcumina modificada*	Algodón	-3.1	1
Curcumina modificada*	Lana	-5.5	4
Curcumina modificada*	Poliéster	-3.3	0
Tartrazina	Algodón	-4.5	0
Tartrazina	Lana	-5.4	4
Tartrazina	Poliéster	-4.4	0

Los valores reportados en esta tabla se obtuvieron por medio de Autodock Vina con el software Chimera y los puentes de hidrógenos fueron contados manualmente observado la estructura que crea el programa.

*Las estructuras de las moléculas modificadas se encuentran en la sección de metodología. Figuras 12 y 13.

VIII. Discusión de resultados

La evaluación de la afinidad de moléculas coloreadas en distintos tipos de textiles se llevó a cabo por medio de un estudio *in silico* haciendo uso de la herramienta de acoplamiento molecular “Autodock Vina” en el software “Chimera”. El programa genera diferentes estructuras en 3D (figuras 14-31 sección anexos) de como el ligando se puede unir al receptor. En este caso se tomó como ligandos a cada uno de los tintes y como receptores a cada una de las fibras textiles (algodón, lana y poliéster). La afinidad entre ligando y receptor está dada por la función *Score*.

En la presente investigación se utilizaron moléculas como la bixina, norbixina y curcumina ya que se sabe que estas son las que imparten color y se encuentran en mayor proporción en plantas como el achiote y la cúrcuma respectivamente (Devia y Saldarriaga, 2002). Estos tintes son considerados de origen natural ya que no pasan por un proceso químico en el laboratorio para ser creados. Al analizar los resultados podemos observar en el Cuadro 2 que, a comparación de los tintes de origen natural, el tinte de origen sintético (tartrazina) tiene una mejor afinidad por cada uno de los textiles obteniendo valores de *Score* de -4.5 kcal/mol con el algodón, -5.4 kcal/mol con la lana y -4.4kcal/mol con el poliéster. Esto se debe a que este compuesto tiene distintos grupos funcionales en la molécula entre los cuales podemos mencionar: anillos aromáticos, un grupo azo y dos sulfonatos de sodio (Restrepo, 2007). Esta diferencia de cargas electrostáticas en la molécula hace que haya más interacciones no covalentes con las fibras textiles, influyendo directamente en la puntuación de la función *Score*.

Específicamente los acoplamientos con la fibra de lana mostraron mayor afinidad a los tintes (valores de energía libre de enlace más negativos) comparándolos contra los valores obtenidos con las fibras de algodón y poliéster. La lana es la única fibra utilizada en esta investigación que es una proteína, específicamente llamada alfa queratina. Las proteínas están compuestas por una variedad de aminoácidos lo que hace que haya diferentes puntos de unión al momento de aplicar un tinte. La estructura de queratina utilizada en esta investigación se encontró en la base de datos de *Alphafold*, lo que significa que no es una estructura obtenida por métodos experimentales, sino una modelación hecha a partir de la secuencia de aminoácidos por medio del algoritmo de inteligencia artificial *Alphafold*.

Según Bonet-Aracil, *et.al.* (2019) la tinción con bixina y norbixina en fibras de lana resultó dar mejores resultados en las pruebas de “color fastness” que aquellas realizadas en fibras de algodón. Las pruebas de “color fastness” o solidez al color son aquellas pruebas de calidad que requiere la industria textil para analizar que se realizan a los textiles una vez fueron teñidos para analizar la permanencia del color en el textil frente al frote o lavado (Campos y Quintanilla, 2017). De igual manera al comparar los valores de energía libre de enlace de ambas moléculas con lana (-4.5kcal/mol y -3.6kcal/mol) y con algodón (-3.3kcal/mol y -3.2kcal/mol) se observa que hay más afinidad a la lana. Por lo tanto, podemos inferir que el uso del acoplamiento molecular puede brindar una idea de la afinidad que tendrá una molécula coloreada en los textiles al momento de realizarle pruebas en el laboratorio; sin embargo, es importante mencionar que el acoplamiento molecular solo toma en cuenta interacciones no covalentes por lo tanto solo aplicaría a colorantes directos que no formen enlaces covalentes. Así mismo si se utilizan agentes mordantes para la tinción el acoplamiento molecular tampoco podría brindar predecir la afinidad, pues estos agentes forman complejos entre los tintes y las telas. Existen programas de docking que sí pueden tomar en cuenta este tipo de enlaces, pero debido al alcance de este estudio no fueron utilizados.

En cuanto a las modificaciones que se les realizaron a las moléculas se tomó en cuenta no interferir con los enlaces conjugados (el cromóforo), tanto en la bixina como en la curcumina, para que estas no pierdan su color. En el caso de la bixina se le agregó una anilina en lugar del grupo hidroxilo del ácido carboxílico y en el caso de la curcumina se le agregaron dos aminas primarias en los lugares donde iban los éteres. Podemos observar que en el caso de la modificación de la bixina la afinidad hacia los tres textiles mejoró (algodón: -3.4kcal/mol, lana: -4.9kcal/mol, seda: -4.4kcal/mol). La modificación realizada a la curcumina solo mejoró su afinidad hacia la lana (-5.5kcal/mol) siendo este valor incluso mejor que el de la tartrazina con la lana (-5.4kcal/mol); sin embargo, con los otros dos textiles la afinidad se vio reducida (algodón: -3.1 kcal/mol, poliéster: -3.3kcal/mol).

El uso de acoplamiento molecular para estudio *in silico* de nuevas moléculas en la actualidad se da principalmente en el campo de la medicina. En la presente investigación se demuestra que el acoplamiento entre moléculas puede ser utilizado en el ámbito de desarrollo e innovación de nuevos colorantes, específicamente en la industria textil. El uso de esta técnica antes de llevar a cabo la experimentación podría representar en una reducción de costos y así mismo proporcionar una idea de qué tan afín es la nueva molécula a la fibra textil.

IX. Conclusiones

Por medio del análisis de los acoplamientos moleculares se comprobó que los tintes de origen natural: bixina, norbixina y curcumina presentan menor afinidad por cada una de las fibras modeladas en este estudio, a comparación de nuestro control tartrazina, el único tinte de origen sintético utilizado. Sin embargo, los resultados de energía libre de enlace de los acoplamientos entre lana y tintes de origen natural si demuestran ser comparables a los de la tartrazina ya que los valores obtenidos son similares. En cuanto a la modificación estructural de las moléculas se demuestra que por medio de la adición de la anilina a la bixina se logra una mayor afinidad del tinte a los tres textiles. En el caso de la Curcumina la adición de grupos amina en lugar de en los éteres hace que esta se vea más afín hacia la lana, más no hacia el algodón y el poliéster, por lo tanto, se infiere que cada modificación en el tinte debe basarse en el tipo de textil que se desea teñir y así mismo en el proceso de tinción que se vaya a realizar en la práctica. Por último, se pudo comprobar que algunos de los resultados obtenidos son comparables a pruebas experimentales realizadas, por lo que la técnica de acoplamiento molecular puede brindar una buena predicción sobre la capacidad de unión de estos colorantes a las fibras que se estudiaron.

X. Recomendaciones

Si se desea ampliar la investigación se sugiere calcular los espectros de absorción en visible de las moléculas modificadas para comprobar que se mantengan sus longitudes de onda dentro del espectro visible y asegurar que sigan impartiendo color, esto se puede lograr por medio de cálculos cuánticos, en este trabajo no se lograron obtener debido a limitaciones en el tiempo. Así mismo se podría hacer uso de cálculos cuánticos para refinar los valores de afinidad obtenidos. Además, si se desea recrear un método de tinción en particular es necesario usar técnicas de solvatación y modificación del pH y hacer uso de estos en el espacio tridimensional en la cual se lleva a cabo el acoplamiento. También es importante mencionar que en la práctica los teñidos se pueden llevar a cabo medio ácido o básico por lo tanto las cargas en los grupos adicionados pueden variar y dependiendo de esto mejorar su afinidad por la fibra lo cual también se debe tomar en cuenta y evaluar por medio de un estudio *in silico*.

XI. Bibliografía

- Agarwal, S. y Mehrotra, R. (2016). An overview of Molecular Docking. *JSM Chem* 4(2): 1024.
- Akçakoca, E. (2011). *Natural Dyes*. Croacia: INTECH OPEN.
- Alvarez, C. y Lock, O. (1992). TANINOS. *Revista de química*. 6(1): 47-63.
- Bauer, S. (1946). The preparation of fatty acid chlorides. Southern Regional. Research Laboratory. New Orleans, Louisiana.
- Bonet-Aracil, *et.al.* (2019). COTTON AND WOOL DYEING WITH BIXIN AND NORBIXIN: EXTRACTED BY ATOMIZATION AND DYNAMIC ANNATTO MACERATION. Proceedings of the 19th World Textile Conference – Autex2019, p.3.
- Campos, J. y Quintanilla, H. (2017). USO DE DOS COLORANTES NATURALES *Rubus ulmifolius* (MORA) Y *Beta vulgaris* (REMOLACHA) EN EL TEÑIDO DE TELA CIENTO POR CIENTO ALGODÓN. UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA.
- Chatwal, G. (2009). *Synthetic Dyes*. New Delhi: Himalaya Publishing House.
- Christie, R., Morgan, K. e Islam, M. (2008). Molecular design and synthesis of N-arylsulfonated coumarin fluorescent dyes and their application to textiles. *Dyes and pigments*. 76: 741-747. Doi: 10.1016/j.dyepig.2007.01.018
- Cseke, L., Kirakosyan, A., Kaufman, P., Warber, S., Duke, J. y Brielmann, H. (2006). *Natural Products from Plants*. 2^{da} edición. Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- De Oliveira, A. y Zerlotti, A. (2004). OTIMIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES PARA OBTENÇÃO DE PADRÃO DE BIXINA E DAS ETAPAS DE EXTRAÇÃO E SAPONIFICAÇÃO PARA QUANTIFICAÇÃO DE BIXINA EM “SNACKS” EXTRUSADOS POR CLAE. *Alim. Nutr., Araraquara*. 15(3): 203-213.
- Devia, J. y Saldarriaga, L. (2002). Planta piloto para obtener colorante de la semilla del achiote (*Bixa Orellana*). *Rev. Universidad EAFIT*. 39 (131): 8-22

- Eskin, M. (1979). *Plant Pigments Flavors and textures: the chemistry and biochemistry of selected compounds*. New York: Academic Press, Inc.
- Fernández-Calienes, A., Mendiola, J., Monzote, L., García, M., Sariago, I., Acuña, D., Scull, R., y Gutiérrez, Y. (2009). Evaluación de la toxicidad de extractos de plantas cubanas con posible acción antiparasitaria utilizando larvas de *Artemia salina* L. *Revista Cubana de Medicina Tropical*, 61(3), 254-258. Recuperado en 22 de octubre de 2020, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0375-07602009000300009&lng=es&tlng=es.
- García, A. (2011). El uso del tinte natural en los textiles mayas. Instituto de Lingüística e Interculturalidad, Universidad Rafael Landívar, Guatemala.
- González, L. (2006). Estudio de la degradación de un colorante azo rojo reactivo en un biorreactor anaerobio de flujo ascendente. Instituto Tecnológico de Celaya departamento de Ingeniería Química.
- Guedes, I., de Magalhães, C. y Dardenne, L. (2014). Receptor–ligand molecular docking. *Biophys Rev* 6, 75–87. <https://doi.org/10.1007/s12551-013-0130-2>
- Kant, R. (2012). Textile dyeing industry an environmental hazard. *Natural Science*. 4(1): 1-5.
- Kodomari, M., Suzuki, Y. y Yoshida, K. (1997). Graphite as an effective catalyst for Friedel-Crafts acylation. *Chem. Commun.* Pp. 1567-1568. Doi.10.1039/A703947F
- Koren, Z. (1997). The Unprecedented Discovery Of The Royal Purple Dye On The Two Thousand Year- Old Royal Masada Textile. The Textile Specialty Group Postprints, 7. American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, Washington, D.C. pp. 23 – 34.
- Needles, H. (1986). *Textile Fibers, Dyes, Finishes, and Processes: A Concise Guide*. Noyes Publications, Park Ridge.
- Palo, R. y Robbins, C. (1991). *Plant Defenses Against Mammalian Herbivory*. USA: CRC press, Inc.
- Payes, E. (2017). OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL EXTRACTO COLORANTE DEL ACHIOTE (*Bixa orellana* L.) A NIVEL LABORATORIO. Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería.
- Popoola, A. (1999). COMPARATIVE FASTNESS ASSESSMENT PERFORMANCE OF CELLULOSIC FIBERS DYED USING NATURAL COLORANTS. *Journal of Applied Polymer Science*. Vol. 77, Pp. 752–755.

Rajendran, R. (2016). ACHIOTE: *Bixa Orellana* L. A natural food color and dye. COLLEGE OF AGRICULTURE AND LIFE SCIENCES, UNIVERSITY OF GUAM.

Restrepo, M. (2007). Sustitución de colorantes en alimentos. *Revista lasallista de investigación*. 4(1): 35-39

Shree, P. (2017). *The Textile Institute Book Series Natural Dyes for Textiles Sources, Chemistry and Applications*. ElServier: India.

Silva, G., Gamarra, F., Oliveira, A. y Cabral, F. (2008). EXTRACTION OF BIXIN FROM ANNATTO SEEDS USING SUPERCRITICAL CARBON DIOXIDE. *Brazilian Journal of chemical Engineering*. 25(2): 419-426.

Tahama, T., Cabral, F. y Barrozo, M. (2015). Extraction of bixin from annatto seeds using combined technologies. *J. Supercrit. Fluids*. Pp. 1-9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.supflu.2015.02.006>

Ticha, M., Meksi, N., Drira, N., Kechida, M. y Mhenni, M. (2013). A promising route to dye cotton by indigo with an ecological exhaustion process: A dyeing process optimization based on a response surface methodology. *Industrial Crops and products*. 46: 350-358.

Vigueras, A. (2016). *Conocimiento y aprovechamiento de cactáceas y otras plantas suculentas volumen I Grana Cochinilla del nopal y otros pigmentos en el teñido de fibras naturales*. México: Universidad de Guadalajara.

Yadav, J., Sudershan, G., Srinivas, D. y Himabindu, K. (1998). ZINC PROMOTED MILD AND EFFICIENT METHOD FOR THE ESTERIFICATION OF ACID CHLORIDES WITH ALCOHOLS. *Synthetic communications*. 28 (13): 2337-2342.

XII. Anexos

Figura 14. Acoplamiento molecular de fibra de algodón con Bixina.

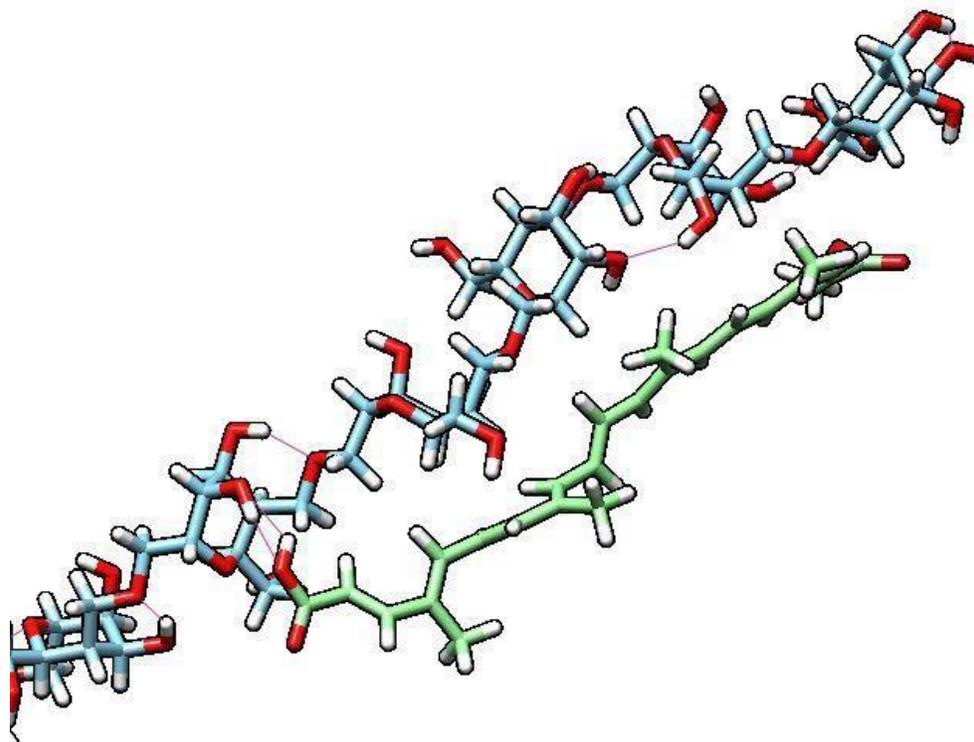


Figura 15. Acoplamiento molecular de fibra de lana con Bixina.

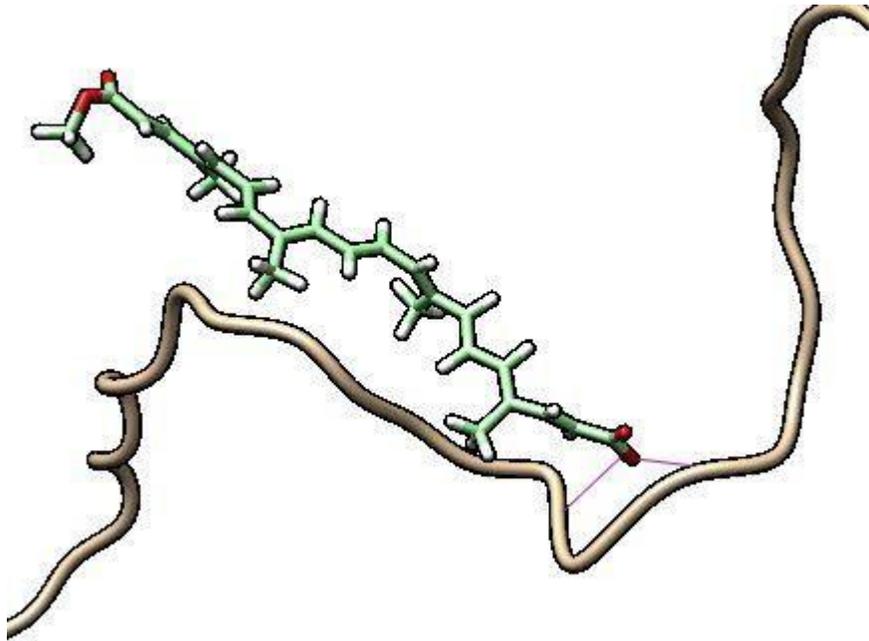


Figura 16. Acoplamiento molecular de fibra de poliéster con Bixina.

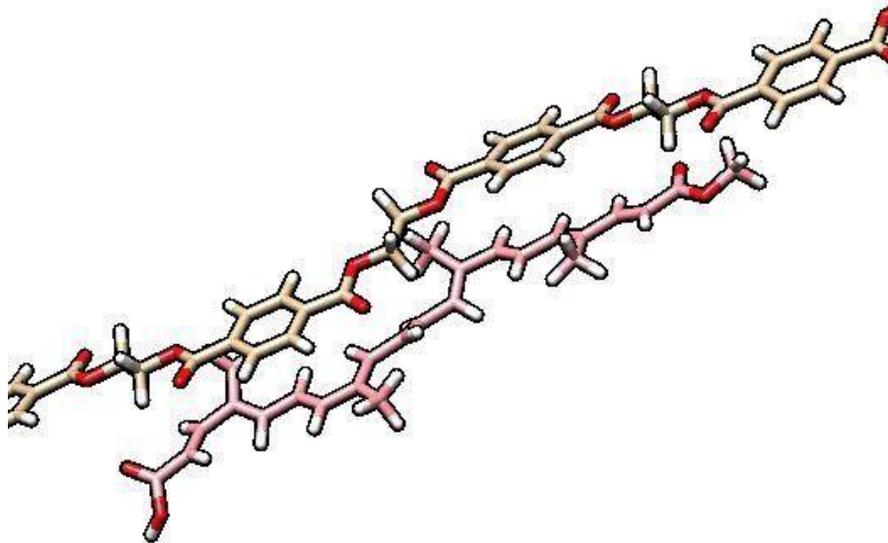


Figura 17. Acoplamiento molecular de fibra de algodón con Norbixina.

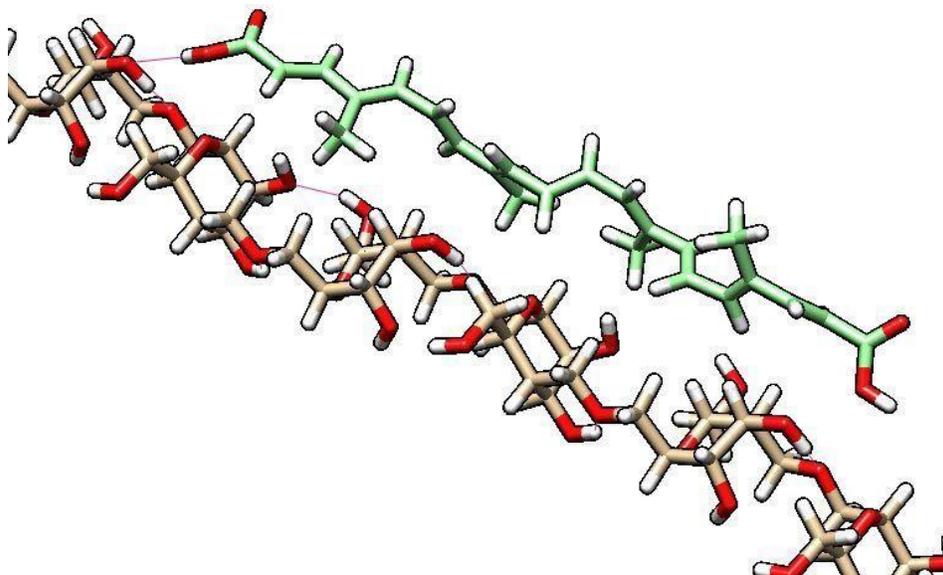


Figura 18. Acoplamiento molecular de fibra de lana con Norbixina.

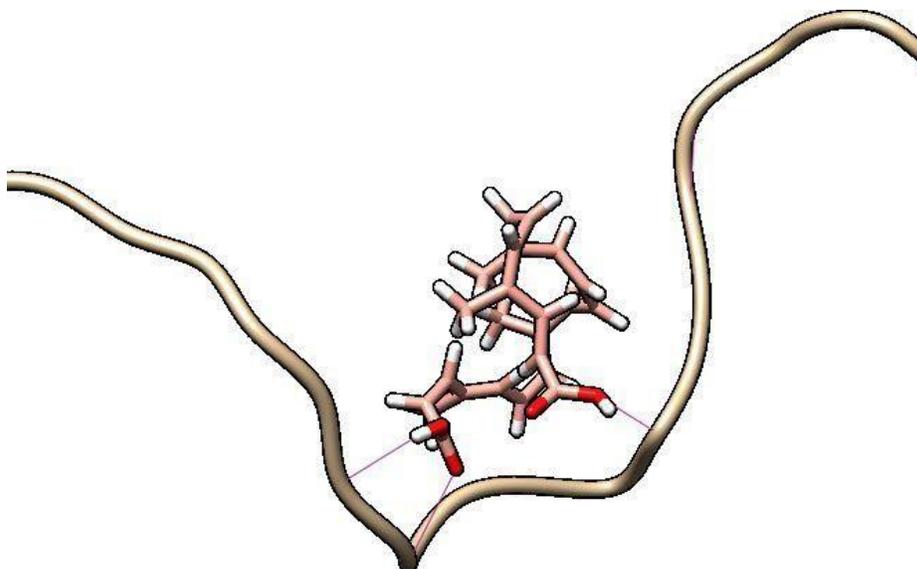


Figura 19. Acoplamiento molecular de fibra de poliéster con Norbixina.

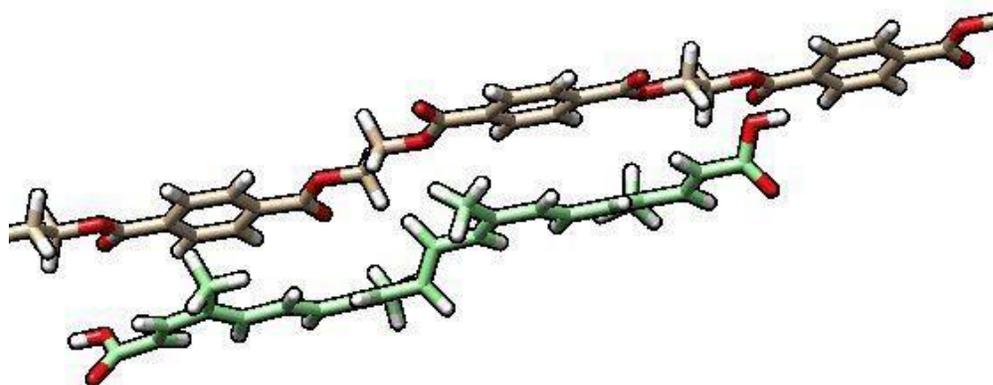


Figura 20. Acoplamiento molecular de fibra de algodón con Bixina modificada.

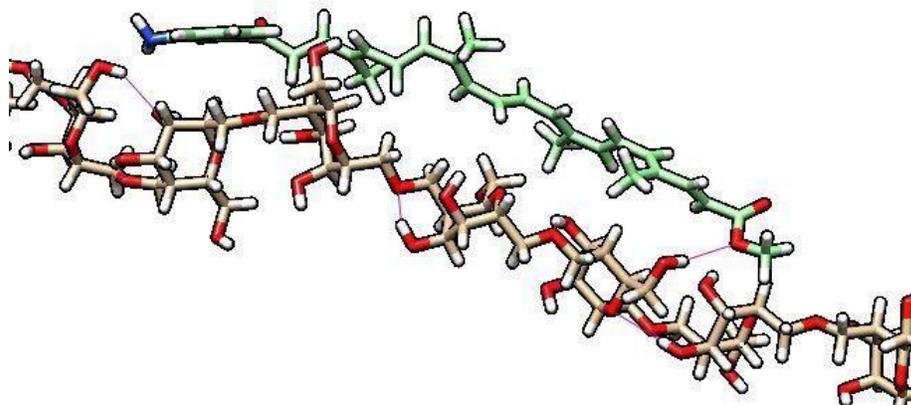


Figura 21. Acoplamiento molecular de fibra de lana con Bixina modificada.

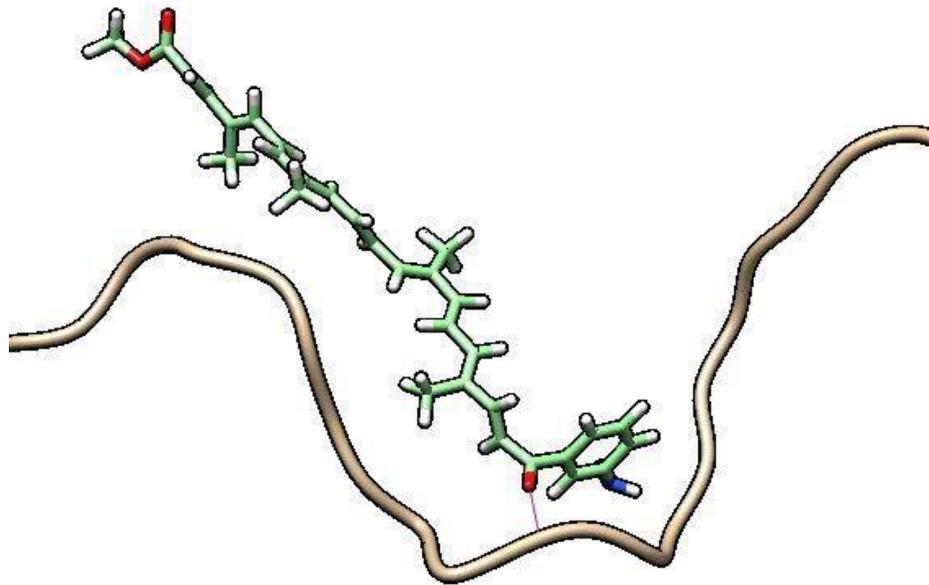


Figura 22. Acoplamiento molecular de fibra de poliéster con Bixina modificada.

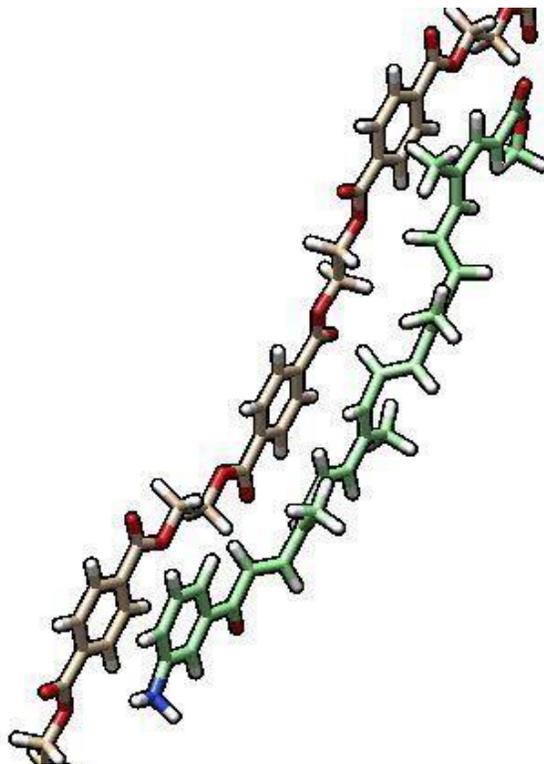


Figura 23. Acoplamiento molecular de fibra de algodón con Curcumina.

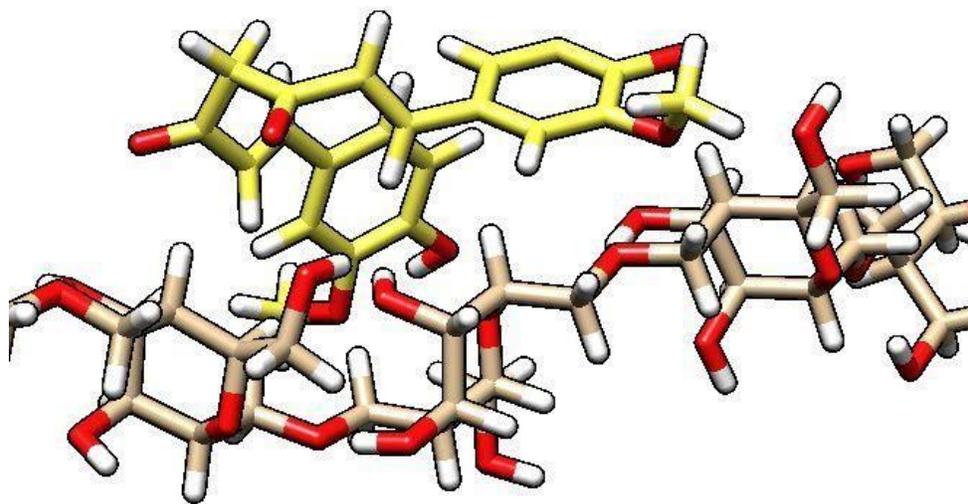


Figura 24. Acoplamiento molecular de fibra de lana con Curcumina.

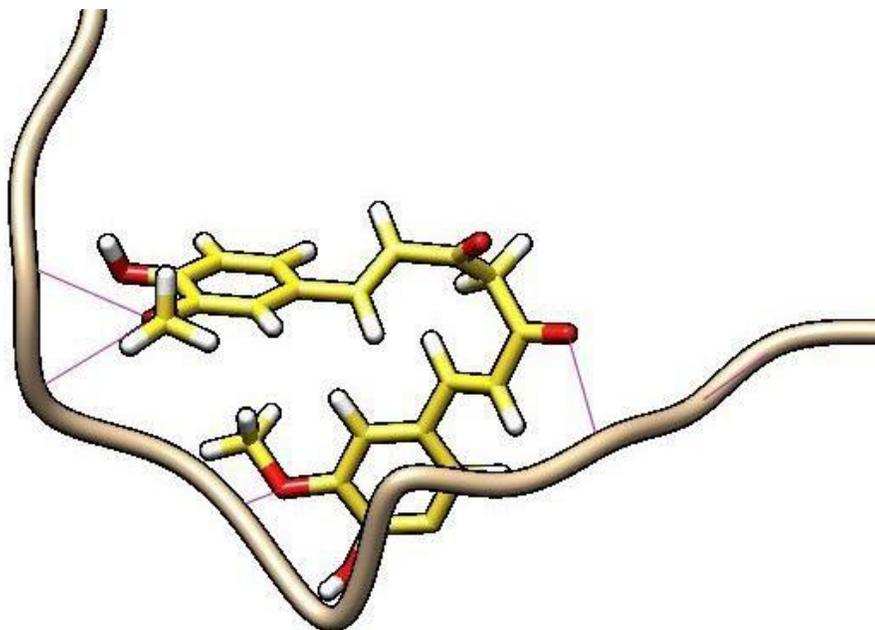


Figura 25. Acoplamiento molecular de fibra de poliéster con Curcumina.

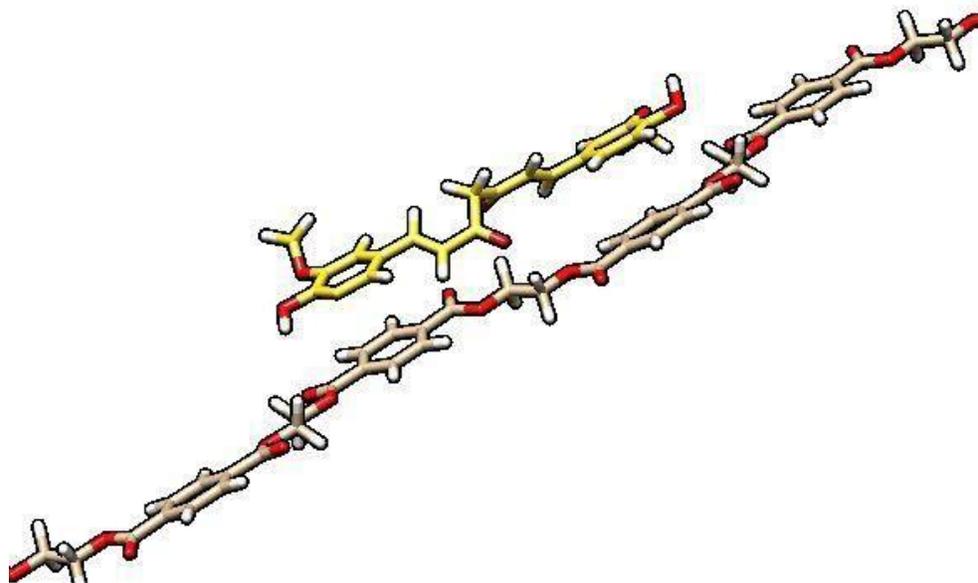


Figura 26. Acoplamiento molecular de fibra de algodón con Curcumina modificada.

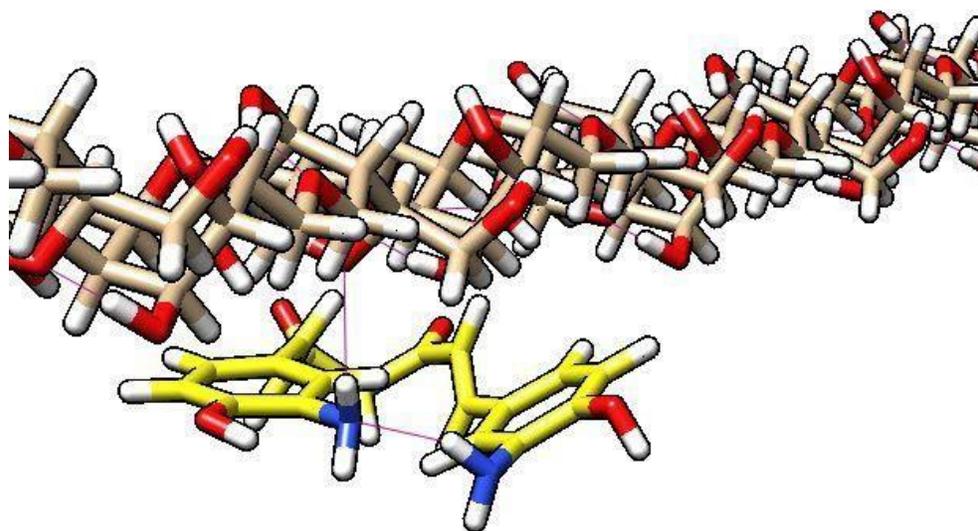


Figura 27. Acoplamiento molecular de fibra de lana con Curcumina modificada.

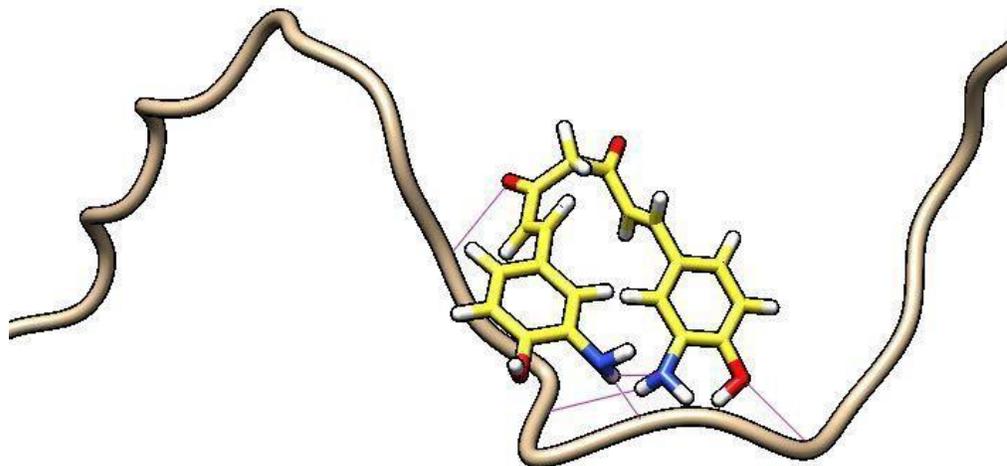


Figura 28. Acoplamiento molecular de fibra de poliéster con Curcumina modificada.

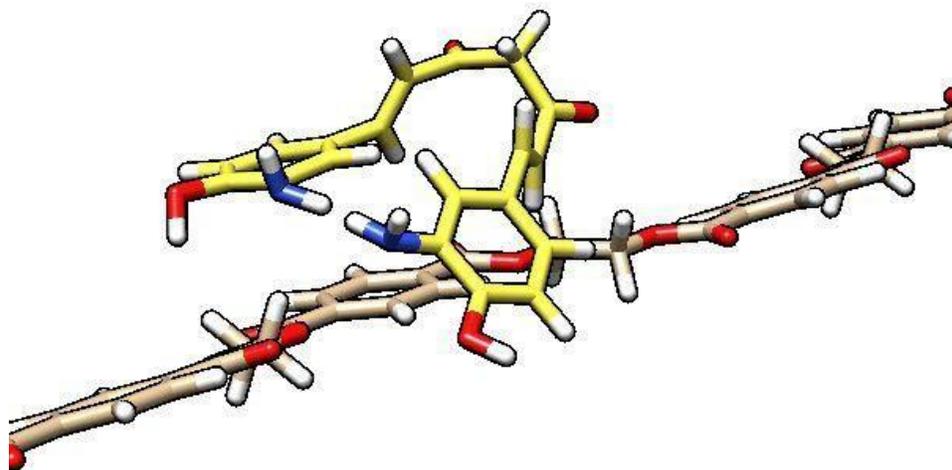


Figura 29. Acoplamiento molecular de fibra de algodón con Tartrazina.

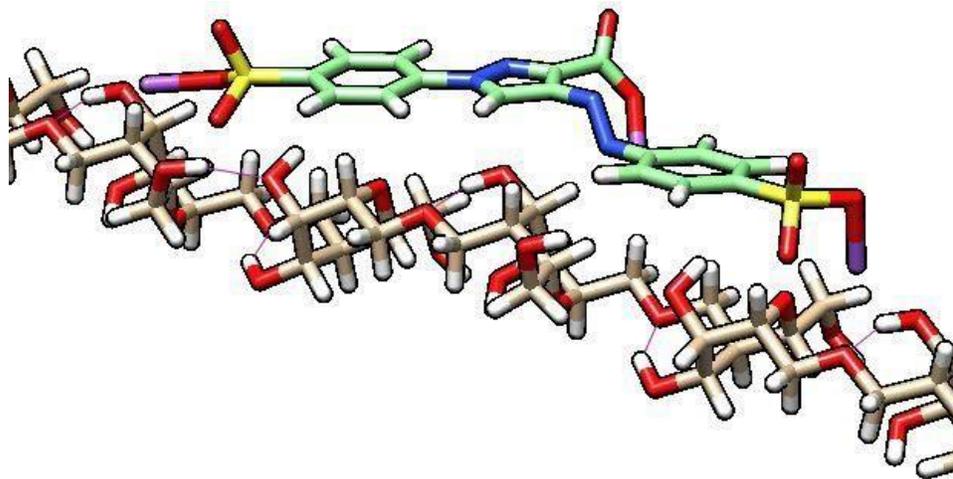


Figura 30. Acoplamiento molecular de fibra de lana con Tartrazina.

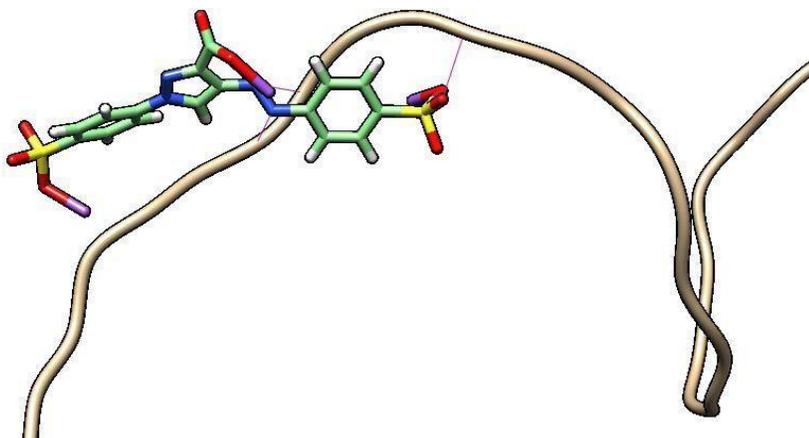


Figura 31. Acoplamiento molecular de fibra de poliéster con Tartrazina.

