

**CAPÍTULO 5. ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE
BLANQUEADORES ÓPTICOS EN EL
FACTOR DE PROTECCIÓN A LA
RADIACIÓN ULTRAVIOLETA**

5.1. INTRODUCCIÓN

Las materias textiles celulósicas, cuando se blanquean con los oxidantes habituales, adquieren un blanco con un matiz ligeramente amarillento, que no es suficiente para alcanzar la calidad del blanco solicitada por el consumidor en los artículos de este color. Para mejorar el blanco de los tejidos se utilizan habitualmente los productos conocidos como blanqueadores ópticos.

Los blanqueadores ópticos son compuestos químicos orgánicos incoloros o ligeramente coloreados que poseen la propiedad de absorber luz ultravioleta del espectro y emitirla como luz visible de una longitud de onda determinada que, en muchos casos, corresponde a la banda espectral del azul o del rojo. Con ello, se obtiene un aumento de la cantidad de energía espectral de la banda correspondiente, con el consiguiente aumento de la sensación visual de blancura ⁽⁵⁷⁾.

Este fenómeno, conocido como fluorescencia, tiene el siguiente mecanismo de acción. Los grupos en la molécula del blanqueador absorben la luz ultravioleta y pasan a un estado excitado mediante transición electrónica. Durante el tiempo extremadamente corto que la molécula excitada pasa en niveles vibracionales más altos, va perdiendo energía. Cuando la molécula vuelve a su estado de equilibrio emite la radiación como luz visible, ya que la pérdida de energía vibracional hace que se emita a una longitud de onda más alta que la luz inicialmente absorbida ⁽⁵²⁾.

La capacidad de los blanqueadores ópticos de absorber radiación ultravioleta y reflejarla en forma de radiación visible lleva a que se consideren productos que, teóricamente, podrían aumentar la protección que los tejidos proporcionan contra el paso de la radiación ultravioleta.

Esta parte de la tesis se centra en el estudio de la influencia de la presencia de blanqueadores ópticos en los valores del UPF de los tejidos. El tipo de producto blanqueador utilizado y su estructura química, así como la concentración del producto son los parámetros del proceso de tratamiento que pueden tener influencia en la mejora de la protección proporcionada por los tejidos. Y todo ello dependiendo además de la propia estructura del tejido y su composición. Evidentemente, la combinación de estos factores da lugar a posibilidades infinitas que este estudio no puede abarcar completamente. Por ello, se ha acotado al estudio de la influencia de la concentración de dos blanqueadores ópticos de diferente estructura química, aplicados en las concentraciones habituales, sobre tres tejidos de diferente estructura, escogidos entre las series de Algodón, Modal y Modal Sun fabricadas en la primera parte de la tesis.

Los blanqueadores ópticos se pueden clasificar en varios grupos según su clase química como son blanqueadores basados en estilbeno, etilénicos y vinílicos, cumarínicos, 1,3-difenil-2-pirazolinas, naftalimidias, policíclicos o compuestos de amonio cuaternario ⁽⁵²⁾.

La mayor parte de los blanqueadores ópticos para fibras celulósicas comercializados son derivados del estilbeno, que constituyen la clase más importante y con mayor volumen de utilización en la industria textil, del papel y en formulaciones de detergentes. Se sintetizan a partir del ácido 4,4'-diaminoestilben-2,2'-disulfónico (DAST), que es un compuesto barato, disponible a partir de materiales comunes y mediante un proceso de conversión sencillo permite obtener una variedad de productos acetilados ⁽⁵²⁾.

Estos blanqueadores ópticos son solubles en agua y presentan afinidad por las fibras celulósicas, por lo que se aplican por métodos similares a los usados para los colorantes directos, tanto por agotamiento, si el producto es de alta afinidad, como por fulardado, si el producto presenta una menor afinidad. Se aplican en cantidades muy pequeñas sobre la fibra y cada producto presenta un límite de saturación por encima del cual, el aumento de la concentración del producto no mejora su grado de blanco. La mayoría de los productos derivados del estilbeno utilizados para el blanqueo óptico de las fibras celulósicas proporcionan un blanco con un matiz ligeramente violeta ^(52, 57).

Después de consultar a las empresas fabricantes de los mismos, se han encontrado dos productos que, si bien son ambos del mismo tipo (derivados del estilbeno), poseen diferente estructura química.

Uno de ellos es un compuesto derivado del ácido estilbendisulfónico, cuya clase química se clasifica como estilbil-s-triazina, Figura 5.1.

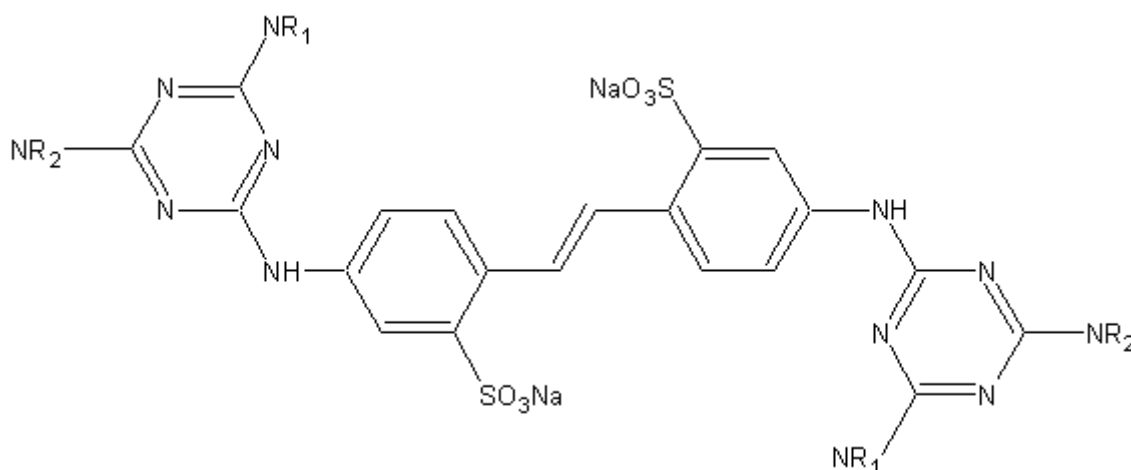


Figura 5.1. Compuesto de estilbil-s-triazina, C.I. Fluorescent Brightener 252

El otro blanqueador óptico utilizado es un derivado del diestirilobifenilo, concretamente, el 4,4'-bis(2-sodio sulfonato estiril) bifenil, más estable a agentes de blanqueo clorados pero también de precio más elevado, cuya fórmula se presenta en la Figura 5.2.

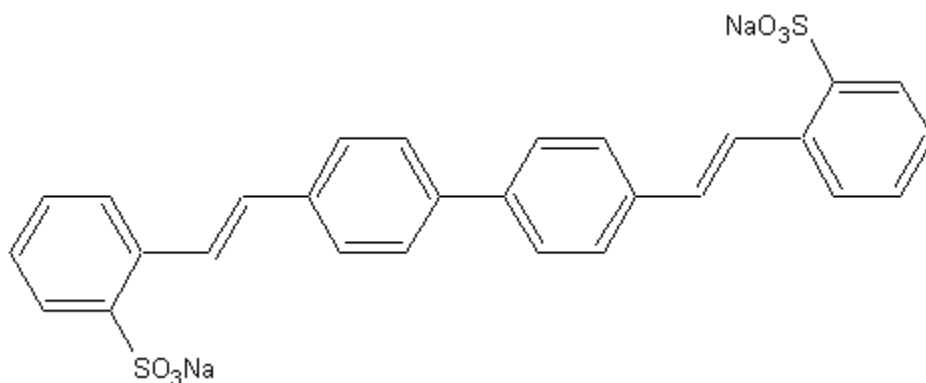


Figura 5.2. Compuesto de estilobifenilo, C.I. Fluorescent Brightener 351

Se han efectuado tratamientos con los dos blanqueadores ópticos a diferentes concentraciones, para determinar la influencia de la estructura química y la concentración del producto sobre la protección proporcionada por los tejidos tratados con estos compuestos. Para valorar la eficacia de los mismos, se han efectuado las mediciones de la transmitancia difusa de la radiación UV determinando el UPF en cada tejido. Se analiza la influencia de cada blanqueador y su concentración en los valores del UPF de los tejidos, estableciendo las relaciones matemáticas que describen el valor de la respuesta en función de las variables del sistema. El estudio se ha realizado sobre tres tejidos escogidos entre los de cada serie correspondiente a las tres fibras estudiadas (Algodón, Modal y Modal Sun).

En el estudio debe tenerse en cuenta al mismo tiempo que el objetivo principal del tratamiento con los blanqueadores ópticos es proporcionar un adecuado grado de blancura a los tejidos que se comercializan con color final blanco. El uso de las condiciones de aplicación adecuadas para obtener una determinada protección contra la radiación ultravioleta no debe perjudicar significativamente el grado de blanco obtenido y, si es necesario, dichas condiciones de aplicación deberán ajustarse para cumplir con este objetivo. Por ello, en esta parte de la tesis ha sido necesario realizar mediciones del grado de blanco ISO de los tejidos tratados relacionándolo con las variables del sistema.

5.2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

5.2.1. Materia

El estudio de la influencia de la presencia de blanqueadores ópticos sobre el UPF de los tejidos se ha llevado a cabo sobre tejidos fabricados a partir de las tres fibras estudiadas: Algodón, Modal y Modal Sun. Con ello, se pretende comparar si el efecto producido por la aplicación de los blanqueadores ópticos es diferente en función de la fibra en estudio. Se han utilizado para este estudio 3 tejidos de cada una de las series descritas en el apartado 2.2.1, con el objetivo de determinar si la influencia del blanqueador óptico es diferente en función del UPF inicial del tejido antes del tratamiento, es decir, si la estructura del tejido original puede modificar el resultado propio del tratamiento de blanqueo óptico de los tejidos.

Debido a las grandes diferencias obtenidas en la medida del UPF de los tejidos de cada serie, ha sido imposible tomar 3 tejidos con el mismo UPF inicial para todas las fibras en estudio. Para las series de Algodón y Modal se han escogido, entre los tejidos disponibles, aquellos cuyo UPF inicial se aproxima al mínimo, medio y máximo de su serie. En el caso de la serie de Modal Sun los valores obtenidos son mucho mayores, y se han escogido 3 tejidos con UPF relativamente bajos para esta fibra. De esta forma, todos los tejidos tienen un UPF inicial bajo o medio que los clasifica como no protectores contra la radiación UV o con buena protección en algunos casos.

En la Tabla 5.1 se expone el UPF inicial de los tejidos seleccionados para el estudio realizado en esta parte de la tesis:

Materia	UPF inicial (UPFi)		
	Nivel bajo	Nivel medio	Nivel alto
Algodón	4,06 (10)	4,78 (22)	6,92 (27)
Modal	5,12 (10)	11,39 (26)	15,53 (18)
Modal Sun	12,66 (10)	17,61 (22)	27,54 (16)

Tabla 5.1. UPF inicial de las muestras (entre paréntesis referencia de la muestra en la serie)

5.2.2. Blanqueadores ópticos

Para el estudio de la influencia de la aplicación de blanqueadores ópticos sobre el UPF de los tejidos se ha decidido utilizar dos productos de diferente composición química. Los blanqueadores utilizados son:

- Uvitex BHT líquido 115% (Ciba Specialty Chemicals), clasificado en el Colour Index como C.I. Fluorescent Brightener 252: es un agente de blanqueo óptico de matiz neutro a azulado para fibras celulósicas, lana, seda y sus mezclas. En su composición química es un derivado de un ácido estilbendisulfónico, de carácter

aniónico. Es muy apropiado para su aplicación por agotamiento, debido a su alta afinidad. Posee excelente solidez al lavado, incluso a temperaturas elevadas, al blanqueo con hipoclorito y al sudor ácido y alcalino ⁽⁵⁸⁾.

- Uvitex NFW Líquido (Ciba Specialty Chemicals), clasificado en el Colour Index como C.I. Fluorescent Brightener 351: es un agente de blanqueo óptico de matiz débilmente violáceo para fibras celulósicas, lana, seda, poliamida y sus mezclas. En su composición química es un derivado de un compuesto de diestirilobifenilo, de carácter aniónico. Posee una moderada afinidad para su aplicación sobre fibras celulósicas por agotamiento. Presenta solidez excelente en el lavado a temperaturas suaves y algo más baja a medida que se aumenta la temperatura de lavado. Su solidez al sudor ácido y alcalino también es muy elevada ⁽⁵⁹⁾.

5.2.3. Planificación experimental y fórmula del baño de blanqueo

Al planificar las experiencias para el estudio de la influencia de la presencia de blanqueadores ópticos en el UPF de los tejidos se han debido tener en cuenta algunas consideraciones.

- a) El estudio se ha llevado a cabo sobre tejidos de tres fibras diferentes que se ha decidido analizar por separado. Es decir, se planifica un diseño experimental para cada una de las fibras.
- b) Se han utilizado 2 blanqueadores ópticos diferentes. Se ha recurrido al uso de una variable categórica, variable cualitativa, que permite estudiar el efecto de los dos blanqueadores ópticos conjuntamente, resultando entonces un modelo para cada serie de fibras que mostrará las diferencias significativas debidas al uso de uno u otro producto. Posteriormente se separa el modelo conjunto para obtener el modelo individual para cada blanqueador y fibra.
- c) Otra consideración se refiere a la elección de las concentraciones de cada uno de los blanqueadores ópticos. El elegir la misma concentración para los dos blanqueadores utilizados no significa que el efecto blanqueador sea el mismo y, por lo tanto, comparables los resultados obtenidos. Para intentar utilizar concentraciones lo más equivalentes posibles, se han tomado las recomendaciones del catálogo técnico de los productos. En estos catálogos se indica un intervalo de concentración adecuado diferente para cada uno de los productos. Para el estudio se han tomado los valores mínimo, máximo y medio de estos intervalos recomendados.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, en la Tabla 5.2 se exponen las concentraciones de cada producto blanqueador óptico estudiadas:

Blanqueador óptico	Concentración (% s.p.f.)		
	Nivel bajo	Nivel medio	Nivel alto
C.I. Fluorescent Brightener 252	0,300	0,525	0,750
C.I. Fluorescent Brightener 351	0,200	0,450	0,700

Tabla 5.2. Concentración de los blanqueadores ópticos

En resumen, se dispone de 3 tejidos diferentes, cada uno de los cuales se han tratado con 2 blanqueadores ópticos a 3 concentraciones diferentes, resultando un total de 18 tratamientos para cada una de las fibras.

La fórmula del baño de tratamiento para cada una de las experiencias es la misma para todas las fibras (Algodón, Modal y Modal Sun) y se expone en la Tabla 5.3.

Características de la muestra		Concentración de BO (% s.p.f.)	Concentración de Sulfato de Sodio (g/l)	Relación de baño
C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	0,300	1,0	1/20
		0,525	2,0	1/20
		0,750	3,0	1/20
	UPFi medio	0,300	1,0	1/20
		0,525	2,0	1/20
		0,750	3,0	1/20
	UPFi alto	0,300	1,0	1/20
		0,525	2,0	1/20
		0,750	3,0	1/20
C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	0,200	2,0	1/20
		0,450	3,5	1/20
		0,700	5,0	1/20
	UPFi medio	0,200	2,0	1/20
		0,450	3,5	1/20
		0,700	5,0	1/20
	UPFi alto	0,200	2,0	1/20
		0,450	3,5	1/20
		0,700	5,0	1/20

Tabla 5.3. Fórmulas de los baños de tratamiento

En la Tabla 5.4 se presenta a modo de resumen las variables y los niveles de las variables en el total de las experiencias que se utilizan definitivamente en el análisis estadístico. Para cada serie de tejidos de diferente fibra y para cada blanqueador óptico utilizado, el sistema consta de una primera variable, el UPF inicial de los tejidos (UPFi)

con 3 niveles diferentes, y una segunda variable, la concentración del producto blanqueador (C) con 4 niveles diferentes (incluyendo el tejido sin tratar).

Muestra n°	Características de la muestra		Algodón		Modal		Modal Sun	
			UPFi _a	C _a	UPFi _m	C _m	UPFi _{ms}	C _{ms}
1	No tratado	UPFi bajo	4,06	0,000	5,12	0,000	12,66	0,000
2	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	4,06	0,300	5,12	0,300	12,66	0,300
3	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	4,06	0,525	5,12	0,525	12,66	0,525
4	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	4,06	0,750	5,12	0,750	12,66	0,750
5	No tratado	UPFi medio	4,78	0,000	11,39	0,000	17,61	0,000
6	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi medio	4,78	0,300	11,39	0,300	17,61	0,300
7	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi medio	4,78	0,525	11,39	0,525	17,61	0,525
8	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi medio	4,78	0,750	11,39	0,750	17,61	0,750
9	No tratado	UPFi alto	6,92	0,000	15,53	0,000	27,54	0,000
10	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi alto	6,92	0,300	15,53	0,300	27,54	0,300
11	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi alto	6,92	0,525	15,53	0,525	27,54	0,525
12	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi alto	6,92	0,750	15,53	0,750	27,54	0,750
13	No tratado	UPFi bajo	4,06	0,000	5,12	0,000	12,66	0,000
14	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	4,06	0,200	5,12	0,200	12,66	0,200
15	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	4,06	0,450	5,12	0,450	12,66	0,450
16	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	4,06	0,700	5,12	0,700	12,66	0,700
17	No tratado	UPFi medio	4,78	0,000	11,39	0,000	17,61	0,000
18	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi medio	4,78	0,200	11,39	0,200	17,61	0,200
19	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi medio	4,78	0,450	11,39	0,450	17,61	0,450
20	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi medio	4,78	0,700	11,39	0,700	17,61	0,700
21	No tratado	UPFi alto	6,92	0,000	15,53	0,000	27,54	0,000
22	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi alto	6,92	0,200	15,53	0,200	27,54	0,200
23	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi alto	6,92	0,450	15,53	0,450	27,54	0,450
24	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi alto	6,92	0,700	15,53	0,700	27,54	0,700

Tabla 5.4. Variables y niveles del análisis estadístico (Influencia de blanqueadores ópticos)

5.2.4. Proceso de tratamiento con los blanqueadores ópticos

El proceso para el tratamiento con blanqueadores ópticos seguido es un proceso convencional por agotamiento con subida de temperatura desde 30°C hasta 80°C, adición de sulfato de sodio, tiempo de tratamiento de 30 minutos a la temperatura máxima y enfriamiento del baño. Los tratamientos se han realizado en un aparato de laboratorio Linitest.

El esquema del proceso se muestra en la Figura 5.3.

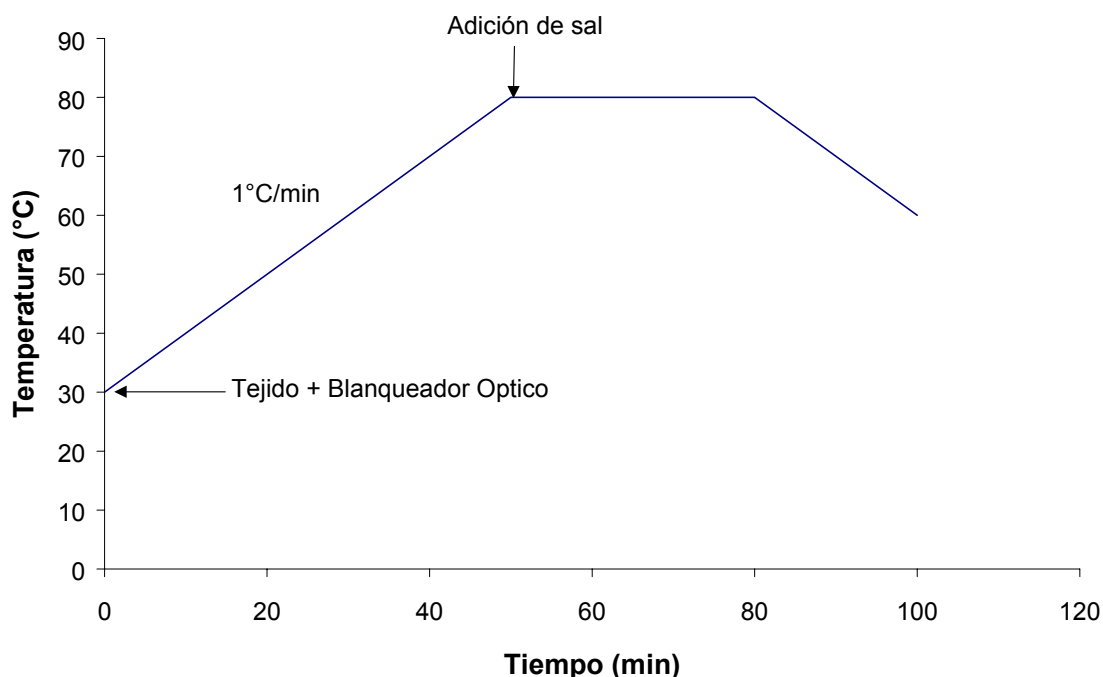


Figura 5.3. Proceso de tratamiento con blanqueadores ópticos

5.2.5. Parámetros determinados

El análisis estadístico se lleva a cabo con el objetivo de encontrar la relación entre el UPF de los tejidos tratados y las variables del sistema, UPF inicial del tejido, tipo de blanqueador óptico y su concentración. También se analiza estadísticamente la relación entre las mismas variables y el grado de blanco ISO conseguido sobre el tejido. De esta forma, podrá determinarse la concentración óptima para conseguir un grado de protección y de blancura adecuado.

Para el análisis será necesario determinar diferentes parámetros en los tejidos no tratados y tratados de cada serie:

1. Espectros de absorción en el ultravioleta-visible de los baños de tratamiento
2. Espectros de transmisión de radiación a través de los tejidos en la región del ultravioleta
3. Factor de protección a la radiación ultravioleta de los tejidos
4. Grado de blanco ISO

La descripción de las normas empleadas y métodos operativos para la evaluación de los parámetros determinados puede consultarse en el Capítulo 8 de la tesis.

5.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se exponen los resultados obtenidos en la presente parte de la tesis doctoral, dedicada al estudio de la influencia de la presencia de blanqueadores ópticos sobre la protección que los tejidos proporcionan contra el paso de la radiación ultravioleta.

En el apartado 5.3.1.1 se exponen los resultados obtenidos en la medida de los parámetros determinados en los baños y los diferentes tejidos tratados y no tratados: espectros de absorción UV-Vis, espectros de transmisión en el UV, UPF de los tejidos y Grado de Blanco ISO. A continuación, en el apartado 5.3.1.2, se realiza el análisis estadístico de los resultados obteniéndose los modelos matemáticos que relacionan el UPF con las variables del sistema (UPF inicial del tejido, tipo de blanqueador óptico y concentración), analizando las diferencias entre los dos productos utilizados, así como entre las tres fibras que se han estudiado. Asimismo se obtienen los modelos que relacionan el grado de blanco ISO con las mismas variables.

Los modelos obtenidos para la respuesta UPF y los obtenidos para la respuesta Grado de Blanco ISO, permitirán definir las condiciones óptimas para producir el efecto de blancura esperado en un blanqueador óptico y, a la vez, conseguir el mayor efecto protector posible contra el paso de la radiación ultravioleta.

5.3.1. Estudio de la Respuesta UPF y de la Respuesta Grado de Blanco ISO de los tejidos en función de la concentración de blanqueador óptico

5.3.1.1. Resultados en la determinación de los parámetros

5.3.1.1.1. Espectros de absorción en el ultravioleta-visible de los baños de tratamiento

La Figura 5.4 muestra los espectros de absorción de disoluciones de concentración 0,2 g/l de los blanqueadores ópticos C.I. Fluorescent Brightener 252 y C.I. Fluorescent Brightener 351 en la región del ultravioleta (190-400 nm) del espectro electromagnético.

El espectro de absorción en el ultravioleta muestra que existe una absorción muy diferente entre los dos blanqueadores ópticos en las longitudes de onda bajas del ultravioleta, correspondientes a la radiación UVC (190 – 290 nm). Esta absorción, sin embargo, no tiene ninguna influencia en el valor del UPF ya que su fórmula de cálculo únicamente incluye la radiación en las zonas UVB y UVA, debido a que la radiación solar correspondiente a la región UVC es filtrada por la atmósfera, no llega a la superficie de la Tierra y, por lo tanto, no tiene ningún efecto sobre la piel. Por ello, lo realmente interesante para el estudio que se ha realizado es el análisis de la absorción que

presentan los blanqueadores ópticos en la zona UVA (315 – 400 nm) y, sobretodo, en la zona UVB (290 – 315 nm) que es la más perjudicial para la piel.

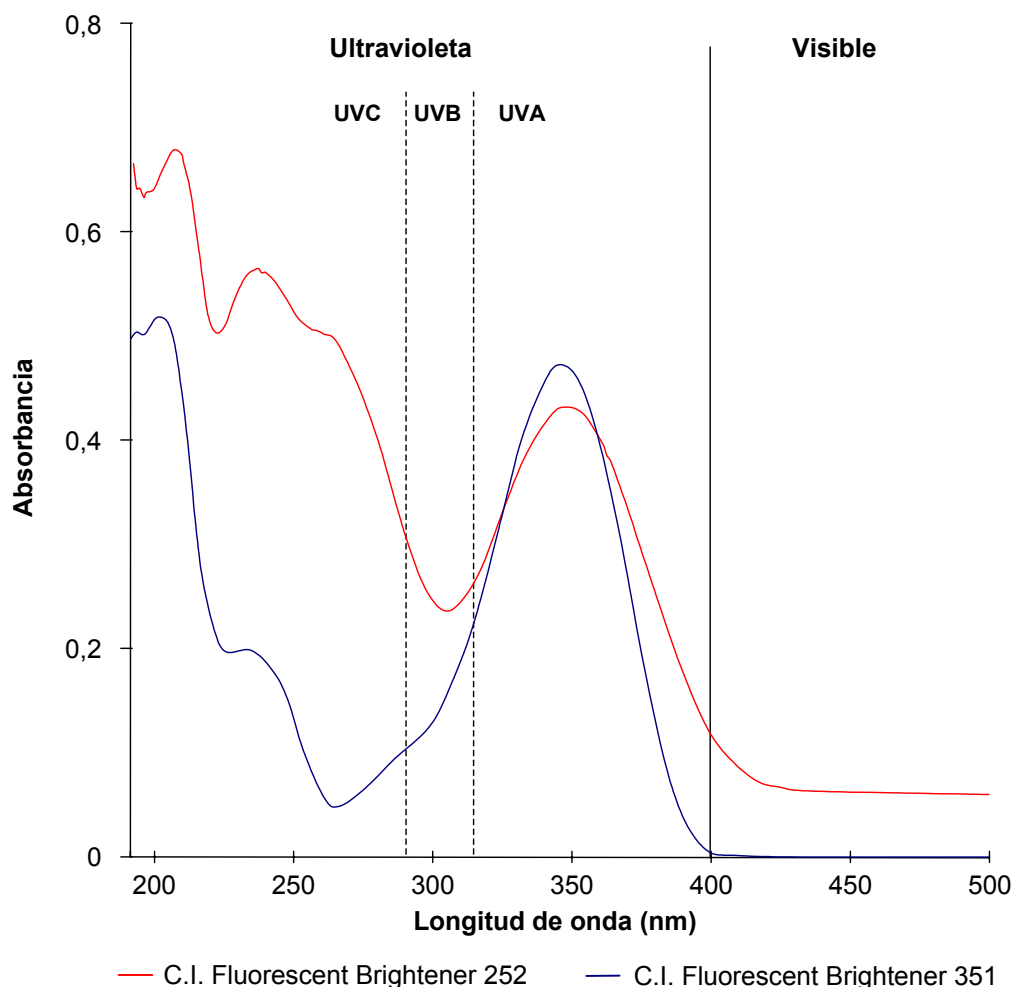


Figura 5.4. Espectros de absorción en el ultravioleta

En la región del UVB el C.I. Fluorescent Brightener 252 presenta una curva de absorción inicialmente descendente con un mínimo de absorción a aproximadamente 305 nm, longitud de onda a partir de la cual la absorción crece continuamente hasta el límite con la región UVA. El C.I. Fluorescent 351, en cambio, presenta una curva de absorción siempre creciente en la región del UVB. En esta zona del espectro ultravioleta el C.I. Fluorescent Brightener 252 muestra una absorbancia siempre mayor que el C.I. Fluorescent Brightener 351, por lo que se puede prever que también proporcionará una mayor protección contra el paso de la radiación ultravioleta en los tejidos tratados.

En la región del UVA ambos blanqueadores ópticos presentan una curva muy similar, con una absorción que crece a medida que aumenta la longitud de onda, hasta llegar a un máximo a 350 nm aproximadamente, longitud de onda a partir de la cual se inicia un descenso en la absorción de la radiación ultravioleta por parte de ambos blanqueadores ópticos. En el inicio de la zona UVA, el C.I. Fluorescent Brightener 252 presenta una mayor absorción hasta aproximadamente 325 nm (UVA de longitud de onda baja) donde

se produce un cruzamiento de las curvas, pasando a absorber una mayor cantidad de radiación el C.I. Fluorescent Brightener 351 hasta los 360 nm. A partir de esta longitud de onda vuelve a tener más absorbancia el C.I. Fluorescent Brightener 252.

5.3.1.1.2. Espectros de transmisión de radiación de los tejidos en la región del ultravioleta

5.3.1.1.2.1. Tejidos de Algodón

La Figura 5.5 muestra los espectros de transmisión difusa en el ultravioleta obtenidos en la medida de los tejidos de Algodón no tratados utilizados en esta parte del trabajo experimental (tejidos con UPF inicial bajo, medio y alto), así como los espectros de dichos tejidos tratados con los dos blanqueadores ópticos a las diferentes concentraciones.

La figura muestra que los tejidos de Algodón no tratados presentan una curva característica de transmitancia siempre creciente y sin inflexiones. Las transmitancias van aproximadamente del 19% a 290 nm hasta el 34% a 400 nm, en el caso del tejido con UPF inicial bajo, y disminuyen a medida que aumenta el UPF inicial del tejido (y, por lo tanto, su compacidad), situándose entre el 17 y 27% para el tejido con UPF inicial medio y entre el 10 y 23% para el tejido con UPF inicial alto.

La adición de cualquiera de los blanqueadores ópticos estudiados hace disminuir las transmitancias en todas las longitudes de onda del espectro ultravioleta, y varía la forma de la curva característica de los tejidos de Algodón. El efecto sobre la transmisión producido por la fibra se combina con el efecto producido por la absorción de radiación propia del blanqueador óptico.

La aplicación de los blanqueadores ópticos hace disminuir en mayor grado la transmitancia de los tejidos en la zona del UVA. En la zona del UVB la distancia entre las curvas de transmisión de los tejidos tratados y no tratados es menor.

La diferencia más significativa entre los tejidos tratados con uno u otro blanqueador óptico se produce en la zona del UVB. En las longitudes de onda más bajas de la zona UVB, los tejidos tratados con el blanqueador C.I. Fluorescent Brightener 252 producen un mayor bloqueo de la radiación que los tratados con el C.I. Fluorescent Brightener 351. A medida que la longitud de onda en la zona UVB va aumentando, la transmisión de radiación ultravioleta a través de los tejidos tratados con el C.I. Fluorescent Brightener 252 se va incrementando hasta llegar a un máximo a aproximadamente 305 nm, para luego ir disminuyendo a partir de esta longitud de onda. En cambio, los tejidos tratados con el C.I. Fluorescent Brightener 351 presentan curvas de transmisión siempre decreciente con la longitud de onda, en toda la región del UVB.

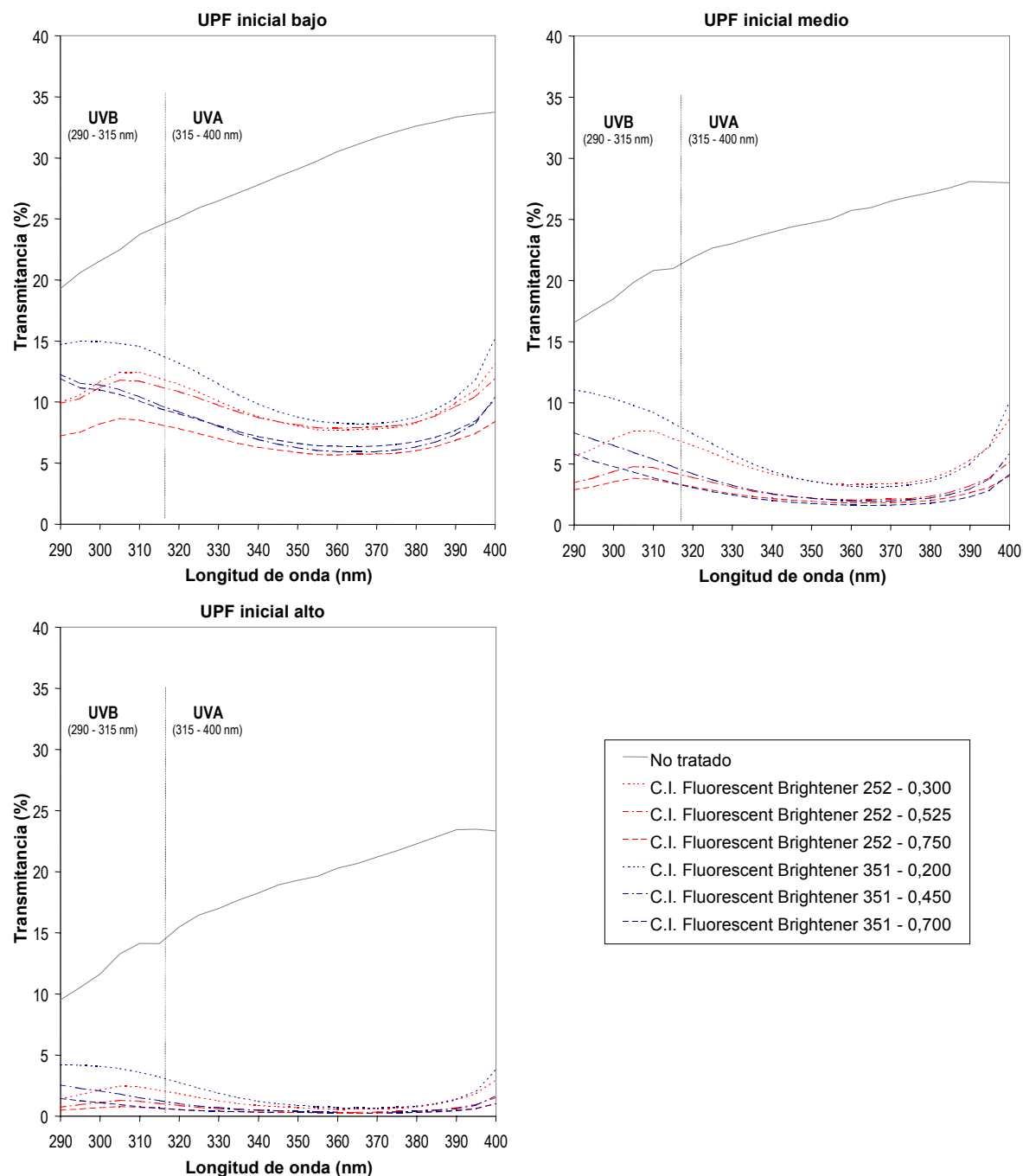


Figura 5.5. Espectros de transmisión en el ultravioleta de los tejidos de Algodón tratados

En las longitudes de onda mayores de la región UVA, las curvas de los tejidos tratados con cada blanqueador óptico son más similares entre sí. En las curvas se observa una disminución progresiva de la transmisión de radiación ultravioleta a través de los tejidos tratados hasta llegar a una longitud de onda de aproximadamente 350-380 nm a partir de la cual la transmisión va aumentando hasta la zona del espectro visible.

Estos resultados coinciden con las apreciaciones observadas en los espectros de absorción de las disoluciones de los blanqueadores ópticos, en los que se observaba una mayor diferencia en las absorbancias en la zona del UVB, con un mínimo de absorción en

el caso del C.I. Fluorescent Brightener 252, mientras que las curvas en la región del UVA eran bastante similares y con un máximo de absorción a 350 nm aproximadamente.

La figura también muestra que, salvo contadas excepciones, la transmisión de radiación ultravioleta es menor en los tejidos tratados con el C.I. Fluorescent Brightener 252 que en los tejidos tratados con el C.I. Fluorescent Brightener 351 para todas las longitudes de onda. Asimismo, se puede apreciar que la transmisión de radiación ultravioleta a través de los tejidos es cada vez menor a medida que aumenta la concentración del producto blanqueador y también a medida que aumenta el UPF inicial de los tejidos antes de su tratamiento.

A partir de los espectros de transmisión difusa de la radiación ultravioleta a través de los tejidos, se pueden calcular las transmisiones medias en la región del UVA, del UVB y en el total del espectro ultravioleta UVR. El resultado de estos cálculos se presenta en la Tabla 5.5.

Muestra nº	Características de la muestra				T _{UVA} media (315 - 400 nm)	T _{UVB} media (290 - 315 nm)	T _{UVR} media (290 - 400 nm)
1	No tratado	UPFi bajo	0,000	29,76	22,01	27,97	
2	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	0,300	9,56	11,70	10,01	
3	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	0,525	8,76	10,55	9,14	
4	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	0,750	6,45	7,89	6,76	
5	No tratado	UPFi medio	0,000	25,22	19,03	23,79	
6	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi medio	0,300	4,75	6,86	5,20	
7	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi medio	0,525	2,94	4,29	3,23	
8	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi medio	0,750	2,42	3,44	2,64	
9	No tratado	UPFi alto	0,000	19,77	12,19	18,04	
10	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi alto	0,300	1,14	2,00	1,32	
11	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi alto	0,525	0,58	1,03	0,68	
12	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi alto	0,750	0,40	0,64	0,46	
13	No tratado	UPFi bajo	0,000	29,76	22,01	27,97	
14	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	0,200	10,31	14,54	11,26	
15	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	0,450	7,21	10,88	8,06	
16	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	0,700	7,56	10,72	8,30	
17	No tratado	UPFi medio	0,000	25,22	19,03	23,79	
18	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi medio	0,200	5,03	9,87	6,15	
19	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi medio	0,450	2,90	6,10	3,66	
20	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi medio	0,700	2,27	4,61	2,83	
21	No tratado	UPFi alto	0,000	19,77	12,19	18,04	
22	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi alto	0,200	1,49	3,85	2,03	
23	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi alto	0,450	0,60	1,82	0,90	
24	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi alto	0,700	0,40	1,00	0,55	

Tabla 5.5. Transmisiones medias de los tejidos de Algodón tratados

En la tabla se aprecia una disminución de todas las transmisiones medias al aplicar un blanqueador óptico sobre los tejidos de Algodón. En general, las transmisiones disminuyen al aumentar la concentración de cualquiera de los blanqueadores ópticos estudiados y al aumentar el UPF inicial del tejido. También se produce un efecto sinérgico de estas dos variables que hace que el bloqueo de la radiación se acelere al aumentar concentración y UPF inicial a la vez.

En varios de los tejidos tratados se consigue una disminución de la transmisión media T_{UVR} hasta valores inferiores al 6,7% que, según, la norma AS/NZ 4399:1996, es la transmisión orientativa mínima para que el tejido se pueda considerar protector. También se consiguen en algunos casos transmisiones inferiores al 4,1% (muy buena protección) y al 2,5% (excelente protección). Es decir, la adición de blanqueadores ópticos se muestra un medio que puede ser efectivo para aumentar el UPF de los tejidos, siempre que se escojan adecuadamente las condiciones del tratamiento.

No se observan diferencias muy notables entre el efecto producido por los diferentes blanqueadores ópticos. En general, las transmisiones medias de radiación a través de los tejidos tratados con el C.I. Fluorescent Brightener 252 son menores que las obtenidas con los tejidos tratados con el C.I. Fluorescent Brightener 351. Las diferencias más importantes desde el punto de vista del estudio del UPF, se pueden observar en la transmisión media en el UVB, T_{UVB} , con valores menores para el blanqueador C.I. Fluorescent Brightener 252. Este hecho permite poder intuir que seguramente será algo más efectivo para mejorar el UPF de los tejidos.

5.3.1.1.2.2. Tejidos de Modal

La Figura 5.6 muestra los espectros de transmisión difusa en el ultravioleta obtenidos en la medida de los tejidos de Modal no tratados utilizados en esta parte de la tesis (tejidos con UPF inicial bajo, medio y alto), así como los espectros de dichos tejidos tratados con los dos blanqueadores ópticos analizados a las diferentes concentraciones.

Se puede observar que los tejidos de Modal no tratados presentan una curva característica de transmitancia siempre creciente y sin inflexiones, muy similar a las obtenidas para los tejidos de Algodón, aunque de valores ligeramente más bajos. Las transmitancias van aproximadamente del 17% a 290 nm hasta el 30% a 400 nm, en el caso del tejido con UPF inicial bajo, y disminuyen a medida que aumenta el UPF inicial del tejido (y, por lo tanto, su compacidad), situándose entre el 7 y 21% para el tejido con UPF inicial medio y entre el 4 y 19% para el tejido con UPF inicial alto.

El efecto producido por la adición de los blanqueadores ópticos sobre los tejidos de Modal es equiparable al obtenido sobre los tejidos de Algodón, si bien la disminución en los valores de transmitancia de los tejidos tratados con respecto a los no tratados, en general, es menor en el caso de la fibra de Modal, probablemente debido a que se parte

de tejidos que ya tienen una menor transmisión antes del tratamiento. La adición de blanqueadores ópticos es un medio efectivo para aumentar el bloqueo de la radiación ultravioleta si bien se muestra más efectivo en el caso de los tejidos de Algodón.

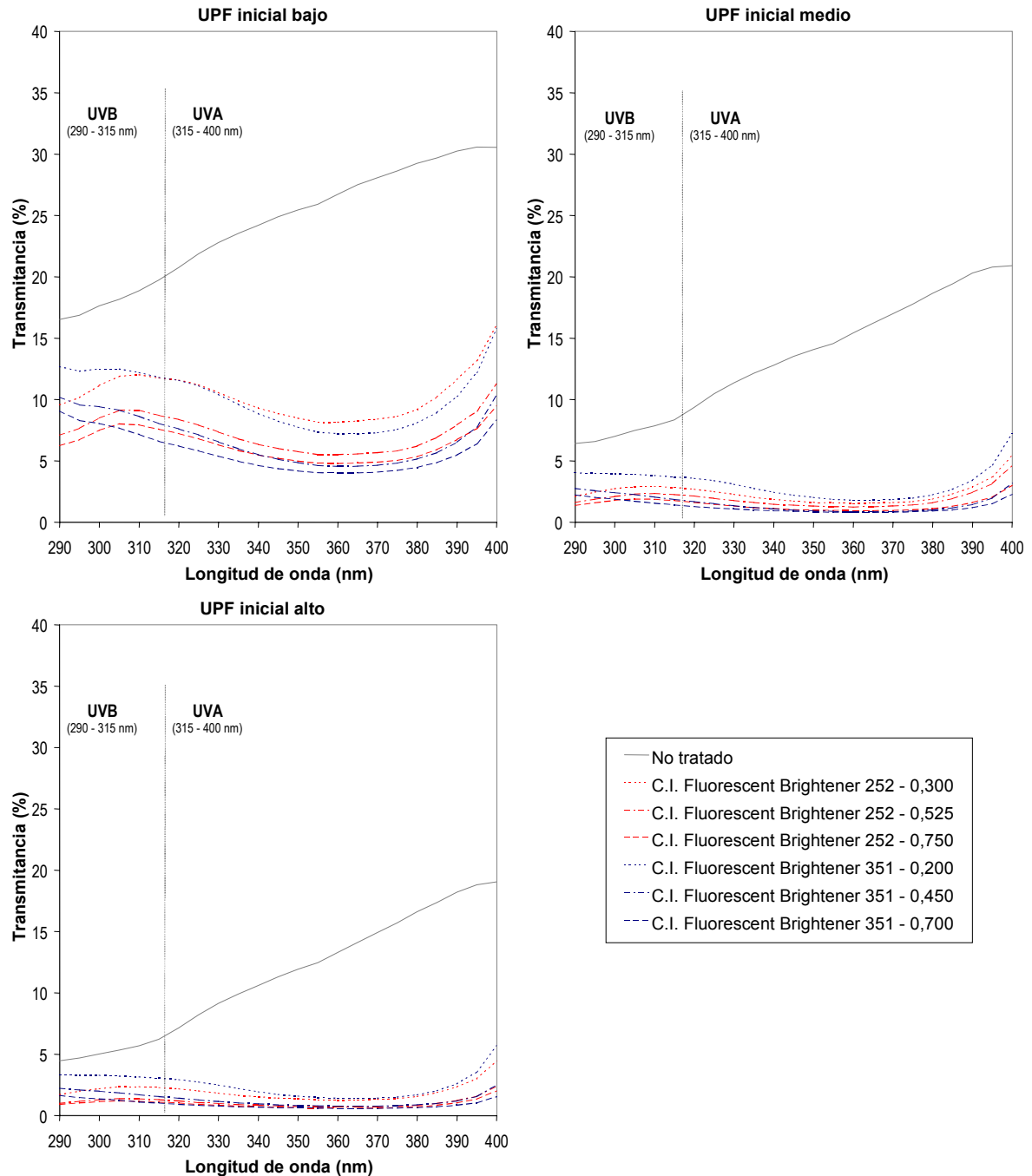


Figura 5.6. Espectros de transmisión en el ultravioleta de los tejidos de Modal tratados

Si se calculan las transmisiones medias en el UVA, UVB y en el total del espectro ultravioleta UVR, se obtienen los resultados expuestos en la Tabla 5.6.

Muestra n°	Características de la muestra			T _{UVA} media (315 - 400 nm)	T _{UVB} media (290 - 315 nm)	T _{UVR} media (290 - 400 nm)
1	No tratado	UPFi bajo	0,000	26,12	17,95	24,27
2	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	0,300	10,33	11,20	10,49
3	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	0,525	7,16	8,49	7,44
4	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	0,750	6,30	7,58	6,57
5	No tratado	UPFi medio	0,000	15,16	7,26	13,40
6	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi medio	0,300	2,30	2,65	2,37
7	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi medio	0,525	1,88	2,06	1,91
8	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi medio	0,750	1,40	1,76	1,48
9	No tratado	UPFi alto	0,000	13,05	5,23	11,30
10	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi alto	0,300	1,87	2,13	1,92
11	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi alto	0,525	1,05	1,28	1,09
12	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi alto	0,750	0,89	1,11	0,94
13	No tratado	UPFi bajo	0,000	26,12	17,95	24,27
14	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	0,200	9,42	12,23	10,05
15	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	0,450	6,12	9,19	6,84
16	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	0,700	4,93	7,60	5,56
17	No tratado	UPFi medio	0,000	15,16	7,26	13,40
18	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi medio	0,200	2,93	3,89	3,15
19	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi medio	0,450	1,34	2,36	1,58
20	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi medio	0,700	1,07	1,79	1,25
21	No tratado	UPFi alto	0,000	13,05	5,23	11,30
22	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi alto	0,200	2,31	3,21	2,52
23	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi alto	0,450	1,09	1,86	1,27
24	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi alto	0,700	0,78	1,32	0,91

Tabla 5.6. Transmisiones medias de los tejidos de Modal tratados

De igual forma que para los tejidos de Algodón, la adición de blanqueadores ópticos sobre los tejidos de Modal se muestra un medio que puede resultar efectivo para disminuir la transmisión de radiación ultravioleta a través de los tejidos. En la tabla se observa una disminución significativa de todas las transmisiones medias al aplicar un blanqueador óptico, si bien los valores son algo más altos que los obtenidos para los tejidos de Algodón. Las transmisiones disminuyen al aumentar la concentración y al aumentar el UPF inicial del tejido y se produce un efecto sinérgico de estas dos variables que hace que el bloqueo de la radiación se acelere al aumentar concentración y UPF inicial a la vez.

Tampoco en el tratamiento de los tejidos de Modal se observan diferencias muy notables producidas por el uso de un blanqueador u otro. En general, las transmisiones medias son algo menores cuando se utiliza el C.I. Fluorescent Brightener 252, siendo destacable el hecho de que sean menores las transmisiones medias en el UVB, T_{UVB}, ya que esta zona es la de mayor peso en la fórmula del UPF.

En varios de los tejidos de Modal tratados se consigue una disminución de la transmisión media T_{UVR} hasta valores inferiores al 6,7% que, según, la norma AS/NZ 4399:1996, es la transmisión orientativa mínima para que el tejido se pueda considerar protector. También se consiguen en algunos casos transmisiones inferiores al 4,1% (muy buena protección) y al 2,5% (excelente protección). Es decir, la adición de blanqueadores ópticos se muestra un medio efectivo para aumentar el UPF de los tejidos de Modal.

5.3.1.1.2.3. Tejidos de Modal Sun

La Figura 5.7 muestra los espectros de transmisión difusa en el ultravioleta obtenidos en la medida de los tejidos de Modal no tratados utilizados en esta parte del proyecto (tejidos con UPF inicial bajo, medio y alto), así como los espectros de dichos tejidos tratados con los dos blanqueadores ópticos analizados a las diferentes concentraciones.

Se puede observar que los tejidos de Modal Sun no tratados presentan una curva característica de transmitancia de forma casi plana hasta una longitud de onda de 350 – 360 nm, a partir de la cual la transmisión de radiación ultravioleta sube rápidamente. Esta curva característica es muy diferente de las obtenidas para Algodón y Modal, e indica que la fibra de Modal Sun bloquea una mayor proporción de radiación ultravioleta en la zona UVB y en longitudes de onda bajas del UVA que el resto de las fibras estudiadas. Las transmitancias van aproximadamente del 7% a 290 nm hasta el 23% a 400 nm, en el caso del tejido con UPF inicial bajo, y disminuyen a medida que aumenta la compacidad de los tejidos (y, por lo tanto, su UPF inicial), situándose entre el 5 y 19% para el tejido con UPF inicial medio y entre el 3 y 16% para el tejido con UPF inicial alto.

El efecto producido por la adición de los blanqueadores ópticos sobre los tejidos de Modal Sun es una disminución de la transmitancia de los tejidos a todas las longitudes de onda. Para esta fibra es más difícil observar diferencias entre las curvas de los diferentes blanqueadores en la zona del UVB ya que hasta 350 – 360 nm el efecto bloqueador de la propia fibra es tan importante que enmascara el efecto del producto, manteniéndose las curvas de los tejidos tratados con una forma casi plana y con valores de transmitancia muy similares.

En las longitudes de onda altas de la zona UVA la propia fibra absorbe una menor proporción de radiación y se puede observar una inflexión en las curvas y un aumento en la transmisión de los tejidos tratados en las longitudes de onda altas del UVA. Sin embargo, no se observan diferencias notables en la transmisión de los tejidos tratados con uno u otro blanqueador en estas longitudes de onda, de igual forma que tampoco se observaban diferencias en los espectros de absorbancia de los productos.

Aunque la transmisión disminuye en general al aumentar la concentración del producto blanqueador, también resulta más difícil apreciar en estas curvas las diferencias entre las curvas correspondientes a los tejidos tratados a cada una de las concentraciones.

Más fácilmente se aprecia el efecto de la otra variable, el UPF inicial del tejido, en las curvas con transmitancia cada vez menor en todas las longitudes de onda del espectro ultravioleta a medida que aumenta el valor de dicha variable.

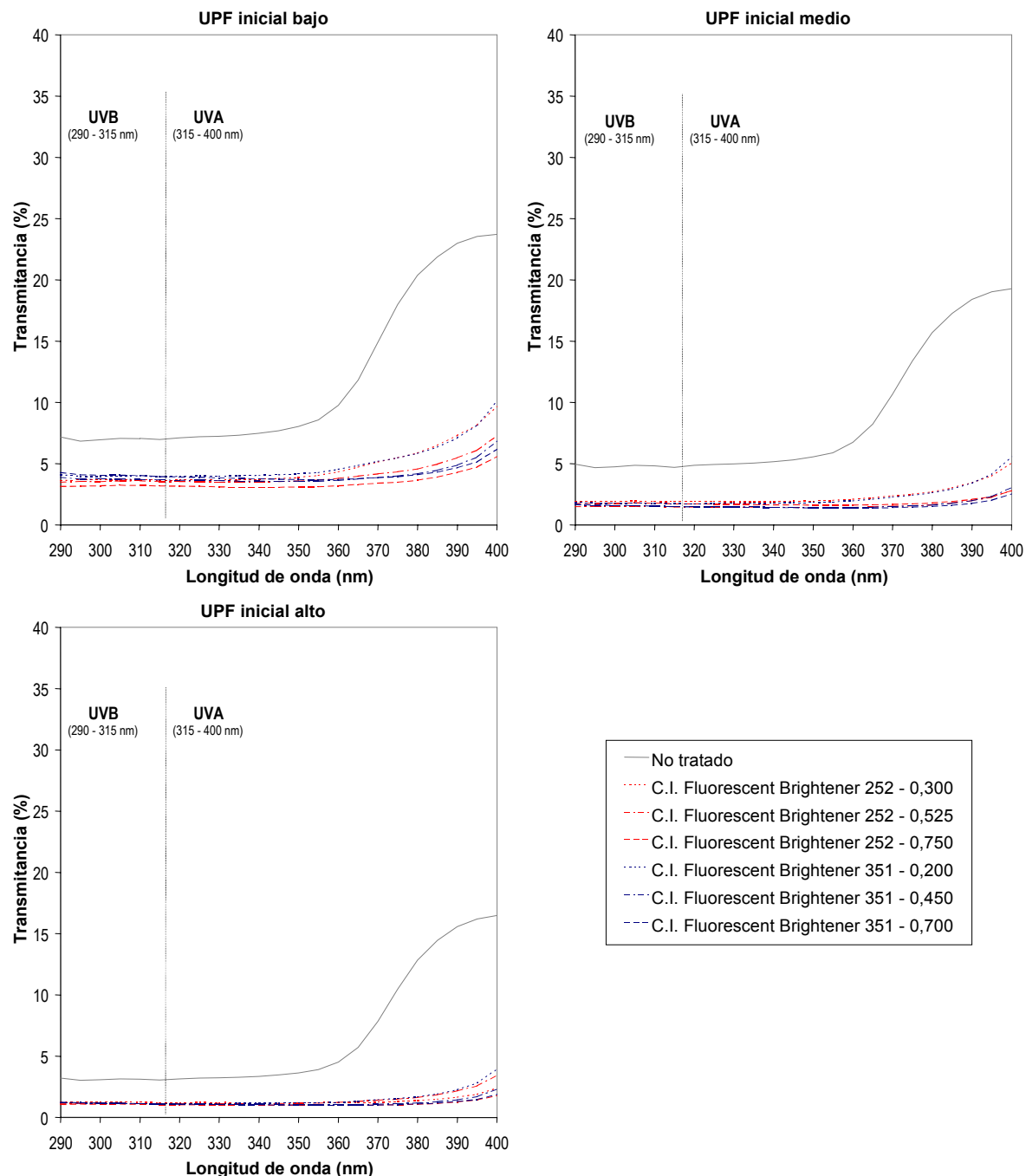


Figura 5.7. Espectros de transmisión en el ultravioleta de los tejidos de Modal Sun tratados

Si se calculan las transmisiones medias en el UVA, UVB y en el total del espectro ultravioleta UVR, se obtienen los resultados expuestos en la Tabla 5.7.

De igual forma que para los tejidos de Algodón y Modal, la adición de blanqueadores ópticos sobre los tejidos de Modal Sun se muestra un medio que puede ser efectivo para

disminuir la transmisión de radiación ultravioleta a través de los tejidos. En la tabla se observa una disminución de todas las transmisiones medias al aplicar un blanqueador óptico, aunque las diferencias entre los tejidos tratados y no tratados no son tan notables como las obtenidas para los tejidos de Algodón y Modal. Para esta fibra, en muchos casos, incluso no se produce una disminución notable de las transmisiones al aumentar la concentración de blanqueador óptico, sobretodo en el caso de las transmisiones T_{UVB} , que son las que más influencia tendrán sobre el valor del factor de protección de los tejidos.

En la mayoría de los tejidos tratados se consigue una disminución de la transmisión media T_{UVR} hasta valores inferiores al 6,7% que es la transmisión orientativa mínima para que el tejido se pueda considerar protector, según las indicaciones de la norma AS/NZ 4399:1996. También se consiguen en algunos casos transmisiones inferiores al 4,1% (muy buena protección) y al 2,5% (excelente protección).

Entre el efecto producido por los diferentes blanqueadores ópticos no se observan diferencias notables entre ellos.

Muestra nº	Características de la muestra			T_{UVA} media (315 - 400 nm)	T_{UVB} media (290 - 315 nm)	T_{UVR} media (290 - 400 nm)
1	No tratado	UPFi bajo	0,000	13,02	6,99	11,71
2	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	0,300	5,17	3,75	4,86
3	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	0,525	4,31	3,61	4,16
4	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	0,750	3,68	3,32	3,60
5	No tratado	UPFi medio	0,000	9,72	4,79	8,65
6	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi medio	0,300	2,52	1,94	2,40
7	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi medio	0,525	1,68	1,55	1,66
8	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi medio	0,750	1,78	1,74	1,77
9	No tratado	UPFi alto	0,000	7,45	3,10	6,51
10	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi alto	0,300	1,34	1,24	1,32
11	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi alto	0,525	1,49	1,13	1,41
12	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi alto	0,750	1,09	1,06	1,09
13	No tratado	UPFi bajo	0,000	13,02	6,99	11,71
14	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	0,200	5,38	4,12	5,11
15	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	0,450	4,29	3,93	4,22
16	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	0,700	3,98	3,94	3,97
17	No tratado	UPFi medio	0,000	9,72	4,79	8,65
18	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi medio	0,200	2,35	1,73	2,22
19	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi medio	0,450	1,57	1,48	1,56
20	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi medio	0,700	1,52	1,56	1,53
21	No tratado	UPFi alto	0,000	7,45	3,10	6,51
22	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi alto	0,200	1,58	1,15	1,49
23	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi alto	0,450	1,15	1,09	1,14
24	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi alto	0,700	1,08	1,11	1,09

Tabla 5.7. Transmisiones medias de los tejidos de Modal Sun tratados

5.3.1.1.3. Factor de protección a la radiación ultravioleta de los tejidos (UPF)

5.3.1.1.3.1. Tejidos de Algodón

Los resultados obtenidos en la medida del Factor de Protección a la Radiación Ultravioleta de los tejidos de Algodón tratados con blanqueadores ópticos se exponen en la Tabla 5.8.

Muestra nº	Características de la muestra			Factor de Protección Ultravioleta (UPF _a)	Índice UPF
1	No tratado	UPFi bajo	0,000	4,06	1
2	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	0,300	7,83	5
3	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	0,525	8,62	5
4	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	0,750	11,29	10
5	No tratado	UPFi medio	0,000	4,78	1
6	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi medio	0,300	13,90	10
7	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi medio	0,525	21,66	20
8	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi medio	0,750	27,33	25
9	No tratado	UPFi alto	0,000	6,92	5
10	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi alto	0,300	46,67	45
11	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi alto	0,525	89,03	50+
12	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi alto	0,750	147,01	50+
13	No tratado	UPFi bajo	0,000	4,06	1
14	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	0,200	6,77	5
15	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	0,450	9,03	5
16	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	0,700	9,37	5
17	No tratado	UPFi medio	0,000	4,78	1
18	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi medio	0,200	10,82	10
19	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi medio	0,450	17,92	15
20	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi medio	0,700	24,17	20
21	No tratado	UPFi alto	0,000	6,92	5
22	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi alto	0,200	27,23	25
23	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi alto	0,450	61,12	50+
24	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi alto	0,700	112,58	50+

Tabla 5.8. UPF de los tejidos de Algodón tratados

En la tabla se puede observar que la aplicación de cualquiera de los blanqueadores ópticos estudiados a cualquiera de las concentraciones, produce una mejora del UPF de los tejidos de Algodón. Sin embargo, en muchos casos esta mejora no es suficiente como para poder clasificar al tejido tratado como protector contra la radiación ultravioleta.

Cuando se parte del tejido de Algodón más ligero, con un UPF inicial muy bajo de valor $UPFi = 4,06$ (tejido con aproximadamente 95 g/m^2 y 89% de cobertura), el aumento en la protección producido por la aplicación de los blanqueadores ópticos no es suficiente en ningún caso para considerar al tejido protector.

Al incrementar ligeramente el UPF inicial del tejido hasta $UPF_i = 4,78$ (tejido con 122 g/m^2 y 94% de cobertura) sí que se consiguen tejidos protectores aunque es necesario aplicar una concentración suficiente de producto blanqueador, un 0,525% s.p.f. cuando se utiliza el C.I. Fluorescent Brightener 252 y la concentración equivalente de 0,450% s.p.f. cuando se utiliza el C.I. Fluorescent Brightener 351.

Incrementando más el UPF inicial hasta un valor de $UPF_i = 6,92$ (tejido con 180 g/m^2 y 98% de cobertura), utilizando el blanqueador C.I. Fluorescent Brightener 252 se consigue excelente protección con cualquiera de las concentraciones del producto, mientras que con el blanqueador C.I. Fluorescent Brightener 351 se llega a muy buena protección con la concentración menor (0,200% s.p.f.) y a excelente protección con concentraciones mayores.

5.3.1.1.3.2. Tejidos de Modal

Los resultados obtenidos en la medida del Factor de Protección a la Radiación ultravioleta de los tejidos de Modal tratados con blanqueadores ópticos se exponen en la Tabla 5.9.

Según los resultados obtenidos, la aplicación de cualquiera de los blanqueadores ópticos estudiados a cualquiera de las concentraciones, produce una mejora del UPF de los tejidos de Modal. Sin embargo, en muchos casos esta mejora no es suficiente como para poder clasificar al tejido tratado como protector contra la radiación ultravioleta.

Cuando se parte del tejido de Modal más ligero, con un UPF inicial muy bajo $UPF_i = 5,12$ (tejido con aproximadamente 107 g/m^2 y 85% de cobertura), el aumento en la protección al aplicar los blanqueadores no es suficiente para considerar a ninguno de los tejidos tratados como protectores.

Al incrementar el UPF inicial del tejido hasta un valor $UPF_i = 11,39$ (tejido con aproximadamente 193 g/m^2 y 92% de cobertura) se consiguen tejidos con muy buena protección para la concentración menor de los productos blanqueadores (un 0,300% s.p.f. para el C.I. Fluorescent Brightener 252 y la concentración equivalente de 0,200% s.p.f. para el C.I. Fluorescent Brightener 351). Al incrementar estas concentraciones se consigue que la protección proporcionada por los tejidos tratados sea excelente.

Incrementando el UPF inicial hasta el valor $UPF_i = 15,53$ y, por lo tanto, partiendo de un tejido sin tratar ya protector (tejido con aproximadamente 216 g/m^2 y 94% de cobertura), la aplicación del blanqueador C.I. Fluorescent Brightener 252 proporciona una protección excelente con cualquiera de las concentraciones del producto, mientras que con el blanqueador C.I. Fluorescent Brightener 351 se llega a muy buena protección con la concentración menor (0,200% s.p.f.) y a excelente protección con concentraciones mayores.

Muestra n°	Características de la muestra			Factor de Protección Ultravioleta (UPF _m)	Índice UPF
1	No tratado	UPFi bajo	0,000	5,12	5
2	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	0,300	8,32	5
3	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	0,525	10,63	10
4	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	0,750	11,94	10
5	No tratado	UPFi medio	0,000	11,39	10
6	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi medio	0,300	35,29	35
7	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi medio	0,525	43,25	40
8	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi medio	0,750	52,40	50
9	No tratado	UPFi alto	0,000	15,53	15
10	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi alto	0,300	43,59	40
11	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi alto	0,525	71,93	50+
12	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi alto	0,750	82,88	50+
13	No tratado	UPFi bajo	0,000	5,12	5
14	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	0,200	7,98	5
15	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	0,450	11,16	10
16	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	0,700	13,56	10
17	No tratado	UPFi medio	0,000	11,39	10
18	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi medio	0,200	26,04	25
19	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi medio	0,450	44,25	40
20	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi medio	0,700	60,66	50+
21	No tratado	UPFi alto	0,000	15,53	15
22	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi alto	0,200	31,07	30
23	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi alto	0,450	56,53	50+
24	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi alto	0,700	83,36	50+

Tabla 5.9. UPF de los tejidos de Modal tratados

5.3.1.1.3.3. Tejidos de Modal Sun

Los resultados obtenidos en la medida del Factor de Protección a la Radiación ultravioleta de los tejidos de Modal Sun tratados con blanqueadores ópticos se exponen en la Tabla 5.10.

Según los resultados obtenidos, la aplicación de cualquiera de los blanqueadores estudiados a cualquiera de las concentraciones, produce una mejora del UPF de los tejidos de Modal Sun. Al ser bastante elevado el valor del UPF inicial de los tejidos de Modal Sun, el aumento de protección proporcionado por el tratamiento con blanqueadores ópticos en todas las condiciones ensayadas es suficiente para poder clasificar a todos los tejidos como protectores contra la radiación ultravioleta.

Cuando se parte del tejido de Modal Sun más ligero, con un UPF inicial $UPF_i = 12,66$ relativamente bajo para esta serie de tejidos (tejido con aproximadamente 102 g/m^2 y 88% de cobertura), la aplicación de los blanqueadores ópticos a cualquier concentración produce un aumento en la protección suficiente para considerar a todos los tejidos

tratados como buenos protectores. La mejora de protección no es muy notable si se tiene en cuenta que el UPF de partida ya es muy cercano al necesario para obtener buena protección ($UPF \geq 15$). Sin embargo, la importancia de este resultado radica en que se pueden comercializar como protectores tejidos blancos muy ligeros fabricados con esta fibra y utilizando la concentración mínima necesaria para obtener un blanco aceptable.

Al incrementar el UPF inicial del tejido hasta $UPF_i = 17,61$ (tejido con aproximadamente 129 g/m^2 y 91% de cobertura) y hasta $UPF_i = 27,54$ (tejido con aproximadamente 156 g/m^2 y 95% de cobertura), es decir, partiendo de un tejido buen protector y de otro muy buen protector, el tratamiento con cualquiera de los blanqueadores y a cualquiera de las concentraciones produce una mejora hasta un nivel de protección excelente.

Muestra n°	Características de la muestra			Factor de Protección Ultravioleta (UPF_{ms})	Índice UPF
1	No tratado	UPFi bajo	0,000	12,66	10
2	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	0,300	23,72	20
3	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	0,525	24,19	20
4	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	0,750	27,47	25
5	No tratado	UPFi medio	0,000	17,61	15
6	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi medio	0,300	47,86	45
7	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi medio	0,525	59,48	50+
8	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi medio	0,750	54,41	50
9	No tratado	UPFi alto	0,000	27,54	25
10	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi alto	0,300	74,89	50+
11	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi alto	0,525	81,54	50+
12	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi alto	0,750	89,14	50+
13	No tratado	UPFi bajo	0,000	12,66	10
14	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	0,200	22,02	20
15	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	0,450	23,21	20
16	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	0,700	23,21	20
17	No tratado	UPFi medio	0,000	17,61	15
18	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi medio	0,200	54,42	50
19	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi medio	0,450	60,00	50+
20	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi medio	0,700	60,40	50+
21	No tratado	UPFi alto	0,000	27,54	25
22	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi alto	0,200	80,48	50+
23	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi alto	0,450	82,66	50+
24	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi alto	0,700	87,40	50+

Tabla 5.10. UPF de los tejidos de Modal Sun tratados

5.3.1.1.4. Grado de blanco ISO de los tejidos

5.3.1.1.4.1. Tejidos de Algodón

Los resultados obtenidos en la medida del Grado de Blanco ISO de los tejidos de Algodón tratados con blanqueadores ópticos se exponen en la Tabla 5.11.

Muestra nº	Características de la muestra			Grado de Blanco ISO W_a	Matiz T_a
1	No tratado	UPFi bajo	0,000	77,47	-1,25
2	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	0,300	131,47	-0,51
3	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	0,525	135,07	-0,23
4	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	0,750	140,02	0,00
5	No tratado	UPFi medio	0,000	79,36	-1,25
6	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi medio	0,300	142,68	-0,37
7	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi medio	0,525	143,81	-0,29
8	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi medio	0,750	146,80	0,12
9	No tratado	UPFi alto	0,000	78,87	-1,25
10	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi alto	0,300	137,32	-0,54
11	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi alto	0,525	144,01	-0,30
12	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi alto	0,750	144,83	-0,05
13	No tratado	UPFi bajo	0,000	77,47	-1,25
14	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	0,200	128,52	-0,88
15	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	0,450	135,73	-0,26
16	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	0,700	133,71	-0,07
17	No tratado	UPFi medio	0,000	79,36	-1,25
18	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi medio	0,200	137,63	-0,65
19	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi medio	0,450	142,17	-0,28
20	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi medio	0,700	146,70	0,40
21	No tratado	UPFi alto	0,000	78,87	-1,25
22	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi alto	0,200	131,41	-0,89
23	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi alto	0,450	137,65	-0,72
24	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi alto	0,700	129,02	-0,88

Tabla 5.11. Grado de blanco ISO de los tejidos de Algodón tratados

La tabla muestra que la aplicación de los productos blanqueadores consigue mejorar el Grado de Blanco ISO de los tejidos, como era de esperar. Cuando el producto utilizado es el C.I. Fluorescent Brightener 252, un aumento en la concentración del producto provoca siempre un incremento en el valor del Grado de Blanco del tejido. En cambio, para el C.I. Fluorescent Brightener 351 se observa un máximo de eficiencia a partir del cual un aumento en la concentración no mejora el Grado de Blanco del tejido. De todas formas, el Grado de Blanco obtenido en cualquiera de los tratamientos es muy aceptable, con valores muy elevados y desviaciones del matiz T cercanas a 0 (no se considerarían los tejidos como blancos si T está fuera del intervalo $-3 < T < 3$).

5.3.1.1.4.2. Tejidos de Modal

Los resultados obtenidos en la medida del Grado de Blanco ISO de los tejidos de Modal tratados con blanqueadores ópticos se exponen en la Tabla 5.12.

Muestra nº	Características de la muestra			Grado de Blanco ISO W_m	Matiz T_m
1	No tratado	UPFi bajo	0,000	97,83	-2,18
2	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	0,300	112,17	-1,63
3	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	0,525	116,91	-1,86
4	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	0,750	126,17	-1,21
5	No tratado	UPFi medio	0,000	96,35	-2,18
6	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi medio	0,300	103,87	-2,21
7	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi medio	0,525	109,77	-2,38
8	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi medio	0,750	116,85	-2,30
9	No tratado	UPFi alto	0,000	95,73	-2,18
10	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi alto	0,300	106,66	-2,69
11	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi alto	0,525	114,30	-2,68
12	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi alto	0,750	116,41	-2,70
13	No tratado	UPFi bajo	0,000	97,83	-2,18
14	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	0,200	114,94	-1,59
15	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	0,450	122,66	-1,52
16	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	0,700	123,26	-0,62
17	No tratado	UPFi medio	0,000	96,35	-2,18
18	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi medio	0,200	103,37	-2,40
19	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi medio	0,450	112,77	-2,39
20	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi medio	0,700	115,76	-2,19
21	No tratado	UPFi alto	0,000	95,73	-2,18
22	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi alto	0,200	104,19	-2,64
23	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi alto	0,450	110,44	-2,64
24	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi alto	0,700	114,84	-2,37

Tabla 5.12. Grado de blanco ISO de los tejidos de Modal tratados

La tabla muestra que la aplicación de los productos blanqueadores consigue mejorar el Grado de Blanco ISO de los tejidos, como era de esperar. En todos los casos, el Grado de Blanco ISO conseguido es mayor cuando aumenta la concentración del blanqueador óptico aplicado. Los Grados de Blanco obtenidos son aceptables, aunque menores que los obtenidos para la serie de tejidos de Algodón. Los valores de la desviación del matiz T son algo más distantes de 0, si bien se encuentran todos dentro del límite que en la norma se establece para considerar a los tejidos blancos ($-3 < T < 3$).

En resumen, la calidad del blanco obtenido mediante el tratamiento con blanqueadores ópticos de los tejidos de Modal es suficiente, pero bastante menor que la obtenida en el tratamiento de los tejidos de Algodón, incluso aunque el grado de blanco ISO de los tejidos de Modal antes del tratamiento era más elevado.

5.3.1.1.4.3. Tejidos de Modal Sun

Los resultados obtenidos en la medida del Grado de Blanco ISO de los tejidos de Modal Sun tratados con blanqueadores ópticos se exponen en la Tabla 5.13.

Muestra nº	Características de la muestra			Grado de Blanco ISO W_{ms}	Matiz T_{ms}
1	No tratado	UPFi bajo	0,000	92,03	-1,56
2	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	0,300	106,16	-1,07
3	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	0,525	116,43	-0,88
4	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	0,750	122,37	-0,64
5	No tratado	UPFi medio	0,000	93,85	-1,56
6	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi medio	0,300	110,39	-1,25
7	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi medio	0,525	116,27	-1,54
8	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi medio	0,750	125,30	-1,15
9	No tratado	UPFi alto	0,000	93,10	-1,56
10	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi alto	0,300	109,87	-1,44
11	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi alto	0,525	120,43	-1,51
12	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi alto	0,750	129,10	-1,01
13	No tratado	UPFi bajo	0,000	92,03	-1,56
14	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	0,200	106,74	-1,00
15	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	0,450	119,42	-0,80
16	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	0,700	126,85	-0,52
17	No tratado	UPFi medio	0,000	93,85	-1,56
18	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi medio	0,200	106,92	-1,29
19	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi medio	0,450	119,21	-1,23
20	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi medio	0,700	123,46	-0,93
21	No tratado	UPFi alto	0,000	93,10	-1,56
22	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi alto	0,200	106,22	-1,38
23	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi alto	0,450	120,68	-1,23
24	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi alto	0,700	124,35	-0,98

Tabla 5.13. Grado de blanco ISO de los tejidos de Modal Sun tratados

También para la serie de tejidos de Modal Sun, la tabla muestra que la aplicación de los productos blanqueadores consigue mejorar el Grado de Blanco ISO de los tejidos, tal y como era de esperar. En todos los casos, el Grado de Blanco ISO conseguido es mayor cuando aumenta la concentración del blanqueador óptico aplicado. Los Grados de Blanco obtenidos son aceptables, menores que los obtenidos para la serie de tejidos de Algodón y mayores que los obtenidos para los tejidos de Modal. Los valores de la desviación del matiz T son también más distantes de 0 que los obtenidos para los tejidos de Algodón, aunque mejores que los obtenidos para los tejidos de Modal. Igualmente, todos los valores de T se encuentran dentro del límite que en la norma se establece para considerar a los tejidos blancos ($-3 < T < 3$).

Así pues, la calidad de la blancura obtenida mediante el tratamiento con blanqueadores ópticos de los tejidos de Modal Sun es suficiente. Dicha calidad es menor que la obtenida mediante el mismo tratamiento sobre los tejidos de Algodón y algo mejor que la obtenida sobre los tejidos de Modal.

5.3.1.2. Análisis estadístico de los resultados

5.3.1.2.1. Diseño experimental: variables y niveles de las variables

Los experimentos de que consta el diseño, con las variables y niveles de las variables correspondientes a cada punto experimental que se utilizarán en el análisis estadístico, se recuerdan en la Tabla 5.14.

Muestra nº	Características de la muestra		Algodón		Modal		Modal Sun	
			UPFi _a	C _a	UPFi _m	C _m	UPFi _{ms}	C _{ms}
1	No tratado	UPFi bajo	4,06	0,000	5,12	0,000	12,66	0,000
2	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	4,06	0,300	5,12	0,300	12,66	0,300
3	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	4,06	0,525	5,12	0,525	12,66	0,525
4	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi bajo	4,06	0,750	5,12	0,750	12,66	0,750
5	No tratado	UPFi medio	4,78	0,000	11,39	0,000	17,61	0,000
6	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi medio	4,78	0,300	11,39	0,300	17,61	0,300
7	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi medio	4,78	0,525	11,39	0,525	17,61	0,525
8	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi medio	4,78	0,750	11,39	0,750	17,61	0,750
9	No tratado	UPFi alto	6,92	0,000	15,53	0,000	27,54	0,000
10	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi alto	6,92	0,300	15,53	0,300	27,54	0,300
11	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi alto	6,92	0,525	15,53	0,525	27,54	0,525
12	C.I. Fluorescent Brightener 252	UPFi alto	6,92	0,750	15,53	0,750	27,54	0,750
13	No tratado	UPFi bajo	4,06	0,000	5,12	0,000	12,66	0,000
14	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	4,06	0,200	5,12	0,200	12,66	0,200
15	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	4,06	0,450	5,12	0,450	12,66	0,450
16	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi bajo	4,06	0,700	5,12	0,700	12,66	0,700
17	No tratado	UPFi medio	4,78	0,000	11,39	0,000	17,61	0,000
18	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi medio	4,78	0,200	11,39	0,200	17,61	0,200
19	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi medio	4,78	0,450	11,39	0,450	17,61	0,450
20	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi medio	4,78	0,700	11,39	0,700	17,61	0,700
21	No tratado	UPFi alto	6,92	0,000	15,53	0,000	27,54	0,000
22	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi alto	6,92	0,200	15,53	0,200	27,54	0,200
23	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi alto	6,92	0,450	15,53	0,450	27,54	0,450
24	C.I. Fluorescent Brightener 351	UPFi alto	6,92	0,700	15,53	0,700	27,54	0,700

Tabla 5.14. Variables y niveles en el análisis estadístico (Influencia de blanqueadores ópticos)

Para cada serie de tejidos de diferente fibra, el diseño experimental consta de una primera variable cualitativa, el tipo de blanqueador óptico utilizado, con 2 niveles diferentes, y dos variables cuantitativas. La primera de las variables cuantitativas es el UPF inicial de los tejidos (UPFi) con 3 niveles diferentes, y la segunda la concentración

del blanqueador óptico (C) con 4 niveles diferentes, al incluirse los tejidos tratados a 3 concentraciones y el tejido no tratado.

5.3.1.2.2. Codificación de las variables

Tal como se indicó en el apartado 2.3.1.2.1. la codificación de las variables del sistema es un factor importante para la correcta estimación de los coeficientes significativos en los modelos que describen el comportamiento de la respuesta en función de las variables, así como para la posterior interpretación de los resultados.

Los niveles de las variables del sistema en el estudio de la influencia de los productos blanqueadores ópticos sobre el valor de la respuesta UPF, no permiten su codificación al no ser valores equidistantes.

La solución adoptada ha sido realizar una pseudocodificación de las variables, en la que se ha aplicado a cada nivel de cada variable las fórmulas que se muestran a continuación.

5.3.1.2.2.1. Algodón

Para la pseudocodificación de las variables que intervienen en el modelo para los tejidos de Algodón, se han utilizado las siguientes fórmulas de codificación:

$$cUPF_{ia} = \frac{UPF_{ia} - 5,491}{1,43} \qquad cC_a = \frac{C_a - 0,375}{0,375}$$

Aplicando las fórmulas de codificación anteriores se obtienen los niveles codificados de las variables para los tejidos de Algodón que se exponen en la tabla siguiente:

Muestra nº	cUPF _{ia}	cC _a	Muestra nº	cUPF _{ia}	cC _a
1	-1,0000	-1,0000	13	-1,0000	-1,0000
2	-1,0000	-0,2000	14	-1,0000	-0,4667
3	-1,0000	0,4000	15	-1,0000	0,2000
4	-1,0000	1,0000	16	-1,0000	0,8667
5	-0,4951	-1,0000	17	-0,4951	-1,0000
6	-0,4951	-0,2000	18	-0,4951	-0,4667
7	-0,4951	0,4000	19	-0,4951	0,2000
8	-0,4951	1,0000	20	-0,4951	0,8667
9	1,0000	-1,0000	21	1,0000	-1,0000
10	1,0000	-0,2000	22	1,0000	-0,4667
11	1,0000	0,4000	23	1,0000	0,2000
12	1,0000	1,0000	24	1,0000	0,8667

Tabla 5.15. Variables codificadas Algodón

5.3.1.2.2.2. Modal

Para la pseudocodificación de las variables que intervienen en el modelo para los tejidos de Modal, se han utilizado las siguientes fórmulas de codificación:

$$cUPFim = \frac{UPFim - 10,328}{5,204} \qquad cCm = \frac{Cm - 0,375}{0,375}$$

Aplicando las fórmulas de codificación anteriores se obtienen los niveles codificados de las variables para los tejidos de Modal que se exponen en la tabla siguiente:

Muestra nº	cUPFi _m	cC _m	Muestra nº	cUPFi _m	cC _m
1	-1,0000	-1,0000	13	-1,0000	-1,0000
2	-1,0000	-0,2000	14	-1,0000	-0,4667
3	-1,0000	0,4000	15	-1,0000	0,2000
4	-1,0000	1,0000	16	-1,0000	0,8667
5	0,2041	-1,0000	17	0,2041	-1,0000
6	0,2041	-0,2000	18	0,2041	-0,4667
7	0,2041	0,4000	19	0,2041	0,2000
8	0,2041	1,0000	20	0,2041	0,8667
9	1,0000	-1,0000	21	1,0000	-1,0000
10	1,0000	-0,2000	22	1,0000	-0,4667
11	1,0000	0,4000	23	1,0000	0,2000
12	1,0000	1,0000	24	1,0000	0,8667

Tabla 5.16. Variables codificadas Modal

5.3.1.2.2.3. Modal Sun

Para la pseudocodificación de las variables que intervienen en el modelo para los tejidos de Modal Sun, se han utilizado las siguientes fórmulas de codificación:

$$cUPFims = \frac{UPFims - 20,0975}{7,4385} \qquad cCms = \frac{Cms - 0,375}{0,375}$$

Aplicando las fórmulas de codificación anteriores se obtienen los niveles codificados de las variables para los tejidos de Modal Sun que se exponen en la tabla siguiente:

Muestra nº	cUPFi _{ms}	cC _{ms}	Muestra nº	cUPFi _{ms}	cC _{ms}
1	-1,0000	-1,0000	13	-1,0000	-1,0000
2	-1,0000	-0,2000	14	-1,0000	-0,4667
3	-1,0000	0,4000	15	-1,0000	0,2000
4	-1,0000	1,0000	16	-1,0000	0,8667
5	-0,3347	-1,0000	17	-0,3347	-1,0000
6	-0,3347	-0,2000	18	-0,3347	-0,4667
7	-0,3347	0,4000	19	-0,3347	0,2000
8	-0,3347	1,0000	20	-0,3347	0,8667
9	1,0000	-1,0000	21	1,0000	-1,0000
10	1,0000	-0,2000	22	1,0000	-0,4667
11	1,0000	0,4000	23	1,0000	0,2000
12	1,0000	1,0000	24	1,0000	0,8667

Tabla 5.17. Variables codificadas Modal Sun

5.3.1.2.3. Modelo inicial

Debido a la naturaleza del diseño y a que, además, los niveles de las variables no son equidistantes, el análisis estadístico de los resultados, para la modelización tanto de la respuesta UPF como de la respuesta W, se debe realizar por modelo lineal.

Como se indicó anteriormente se analizan conjuntamente los dos blanqueadores ópticos utilizados. El blanqueador óptico es, en este caso, una variable cualitativa con dos niveles, correspondientes al producto C.I. Fluorescent Brightener 252 y al C.I. Fluorescent Brightener 351. Esta variable se introduce en el análisis estadístico definiendo la variable categórica Q2, que adquiere diferentes niveles (0 o 1) en función del producto que se haya utilizado en cada experiencia:

Blanqueador óptico	Muestras nº	Q2
C.I. Fluorescent Brightener 252	1 a 12	0
C.I. Fluorescent Brightener 351	13 a 24	1

Tabla 5.18. Niveles de la variable categórica en función del blanqueador óptico

El modelo inicial es el mismo para el análisis de las dos respuestas que se pretenden estudiar, el factor de protección contra la radiación ultravioleta (UPF) y el grado de blanco ISO (W). Comprende los términos correspondientes a los efectos simples UPFi y C, su interacción, sus términos cuadráticos y la interacción de los efectos simples con los términos cuadráticos. La variable categórica se introduce en el modelo multiplicándola individualmente y por todos los términos del modelo. Según esta estructura, el modelo inicial es el siguiente:

$$UPF : W = \beta_0 + \beta_1 \cdot cUPFi + \beta_2 \cdot cC + \beta_3 \cdot cUPFi \cdot cC + \beta_4 \cdot cUPFi^2 + \beta_5 \cdot cC^2 + \beta_6 \cdot cUPFi^2 \cdot cC + \beta_7 \cdot cUPFi \cdot cC^2 + \beta_8 \cdot Q2 + \beta_9 \cdot Q2 \cdot cUPFi + \beta_{10} \cdot Q2 \cdot cC + \beta_{11} \cdot Q2 \cdot cUPFi \cdot cC + \beta_{12} \cdot Q2 \cdot cUPFi^2 + \beta_{13} \cdot Q2 \cdot cC^2 + \beta_{14} \cdot Q2 \cdot cUPFi^2 \cdot cC + \beta_{15} \cdot Q2 \cdot cUPFi \cdot cC^2 + \varepsilon$$

Con este análisis se obtienen los coeficientes β_i significativos del modelo en función de UPFi, C y Q2, común a los dos blanqueadores. Posteriormente se debe separar el modelo conjunto en dos modelos, uno por blanqueador óptico, según los niveles de la variable categórica Q2 para cada producto. Así, sustituyendo en el modelo obtenido Q2 = 0 se obtiene el modelo correspondiente al blanqueador C.I. Fluorescent Brightener 252, y substituyendo Q2 = 1 se obtiene el modelo correspondiente al blanqueador C.I. Fluorescent Brightener 351.

5.3.1.2.4. Procedimiento de análisis para la estimación del modelo significativo y coeficiente de determinación del ajuste

La estimación de los coeficientes significativos de los modelos que relacionan el UPF con las diferentes variables de las series de tejidos fabricados con las distintas fibras se realiza mediante el método denominado regresión paso a paso, según el procedimiento descrito es el capítulo 2 de esta tesis.

5.3.1.2.5. Modelización de la respuesta UPF en los tejidos de Algodón blanqueados

5.3.1.2.5.1. Estimación de los coeficientes del modelo, significación del modelo y gráficos de residuos de la respuesta y probabilístico normal

En la tabla siguiente se presentan los términos que resultan significativos y sus coeficientes, una vez realizada la regresión paso a paso en el análisis estadístico de los resultados obtenidos en la medida de los tejidos de Algodón tratados con los dos blanqueadores ópticos. También se expone en la última columna el nivel de significación de cada término en el modelo.

Model fitting results for: UPFa

Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	24.356448	0.93077	26.1681	0.0000
cUPFia	25.09265	0.769374	32.6144	0.0000
cCa	24.072195	1.140112	21.1139	0.0000
cUPFia*cCa	33.026175	0.76462	43.1929	0.0000
cUPFia^2	10.363935	1.061325	9.7651	0.0000
cCa^2	6.769506	0.818024	8.2754	0.0000
cUPFia*cCa^2	9.612998	0.946535	10.1560	0.0000
cCa*cUPFia^2	12.571394	1.454005	8.6460	0.0000
Q2a*cUPFia	-4.577946	0.782889	-5.8475	0.0001
Q2a*cUPFia*cCa	-4.850703	1.081644	-4.4846	0.0007
Q2a*cUPFia^2	-5.551824	0.81692	-6.7960	0.0000
Q2a*cCa*cUPFia^2	-6.330883	1.128484	-5.6101	0.0001

5.3.1.2.5.2. Modelo definitivo

El modelo definitivo que estima el valor de la respuesta UPF en función del UPF inicial del tejido y de la concentración de blanqueador óptico, es el siguiente, en variables codificadas:

$$\begin{aligned}
 UPFa &= 24,356448 \\
 &+ 25,092650 \cdot cUPFia - 4,577946 \cdot Q2a \cdot cUPFia + \\
 &+ 24,072195 \cdot cCa + \\
 &+ 33,026175 \cdot cUPFia \cdot cCa - 4,850703 \cdot Q2a \cdot cUPFia \cdot cCa + \quad R^2 = 99,90\% \\
 &+ 10,363935 \cdot cUPFia^2 - 5,551824 \cdot Q2a \cdot cUPFia^2 + \\
 &+ 6,769506 \cdot cCa^2 + \\
 &+ 9,612998 \cdot cUPFia \cdot cCa^2 + \\
 &+ 12,571394 \cdot cUPFia^2 \cdot cCa - 6,330883 \cdot Q2a \cdot cUPFia^2 \cdot cCa
 \end{aligned}$$

La discusión de los resultados se referirá siempre al modelo en variables codificadas, ya que se utilizan niveles similares de las diferentes variables y, además, el peso de esos niveles es el mismo en efectos e interacciones. Ello facilita la cuantificación del peso de cada variable en el valor de la respuesta y la comparación entre los efectos e interacciones para determinar cual tiene una mayor influencia en la misma.

Según el modelo definido, existen términos significativos que incluyen a la variable categórica $Q2_a$, por lo que se puede asegurar que la respuesta UPF será significativamente diferente en función del blanqueador óptico utilizado en los tratamientos.

En el modelo han resultado significativos los efectos simples $cUPFia$ e cCa y la interacción de los mismos $cUPFia \cdot cCa$, con signo positivo todos ellos. Con ello, se puede afirmar que el UPF de los tejidos aumenta al aumentar cualquiera de los factores y que el incremento producido se ve acelerado por la interacción de las dos variables.

Asimismo han resultado significativos los términos cuadráticos $cUPFia^2$ y cCa^2 con coeficientes de signo positivo que producirán una aceleración en el aumento del valor de la respuesta más acusada a medida que aumenta el valor de la variable. También tiene un coeficiente significativo de signo positivo el término $cUPFia^2 \cdot cCa$ y el $cUPFia \cdot cCa^2$ que provocará el mismo efecto que los términos cuadráticos pero aumentado para valores mayores de cCa y $cUPFia$ respectivamente.

Todos los términos significativos en los que aparece $Q2_a$ son de signo negativo, aunque con coeficientes menores que los términos correspondientes sin $Q2_a$, por lo que para cualquiera de los blanqueadores ópticos estudiados, todos los términos significativos tienen coeficientes positivos y tienden siempre a aumentar el valor de la respuesta UPF al aumentar el valor de las variables.

Al separar el modelo obtenido, en los modelos individuales para cada blanqueador óptico según los valores de $Q2_a$, se obtienen los siguientes modelos individuales:

- C.I. Fluorescent Brightener 252: $Q2_a = 0$

$$UPFa = 24,356448 + 25,092650 \cdot cUPFia + 24,072195 \cdot cCa + 33,026175 \cdot cUPFia \cdot cCa + 10,363935 \cdot cUPFia^2 + 6,769506 \cdot cCa^2 + 9,612998 \cdot cUPFia \cdot cCa^2 + 12,571394 \cdot cUPFia^2 \cdot cCa$$

- C.I. Fluorescent Brightener 351: $Q2_a = 1$

$$UPFa = 24,356448 + 20,514704 \cdot cUPFia + 24,072195 \cdot cCa + 28,175472 \cdot cUPFia \cdot cCa + 4,812111 \cdot cUPFia^2 + 6,769506 \cdot cCa^2 + 9,612998 \cdot cUPFia \cdot cCa^2 + 6,240511 \cdot cUPFia^2 \cdot cCa$$

La observación de los modelos individuales para cada blanqueador óptico, permite concluir que el blanqueador óptico C.I. Fluorescent Brightener 252 producirá un efecto mayor sobre el valor del UPF, al tener siempre coeficientes estimados en el modelo de valor igual o mayor que los obtenidos para el C.I. Fluorescent Brightener 351. Ello confirma lo que se esperaba a partir del análisis de los espectros.

Los modelos en variables originales serán los siguientes:

- C.I. Fluorescent Brightener 252:

$$UPFa = -31,943119 + 13,029469 \cdot UPFia + 381,071120 \cdot Ca - 154,302304 \cdot UPFia \cdot Ca - 1,079495 \cdot UPFia^2 - 214,350662 \cdot Ca^2 + 47,803564 \cdot UPFia \cdot Ca^2 + 16,393817 \cdot UPFia^2 \cdot Ca$$

- C.I. Fluorescent Brightener 351:

$$UPFa = -21,503612 + 9,036323 \cdot UPFia + 181,818194 \cdot Ca - 72,682337 \cdot UPFia \cdot Ca - 0,698518 \cdot UPFia^2 - 214,350662 \cdot Ca^2 + 47,803564 \cdot UPFia \cdot Ca^2 + 8,137983 \cdot UPFia^2 \cdot Ca$$

5.3.1.2.5.3. Superficies de respuesta y curvas de nivel

En la Figura 5.9 se han representado las superficies de respuesta y las curvas de nivel de la respuesta UPF en función de las dos variables codificadas del sistema, $cUPFia$ y cCa , obtenidas según el modelo estimado para cada uno de los blanqueadores ópticos C.I. Fluorescent Brightener 252 y C.I. Fluorescent Brightener 351. Se representan las curvas de superficie y nivel para incrementos de 5 puntos del valor de la respuesta UPF. Como siempre, los códigos de colores representan las diferentes categorías de protección, según la Norma AS/NZ 4399:1996, alcanzadas por los tejidos tratados.

La figura muestra la gran influencia de ambas variables ($cUPFia$ y cCa) en el valor de la respuesta UPF. Al aumentar el valor de cualquiera de las variables se produce un incremento en el valor de la respuesta.

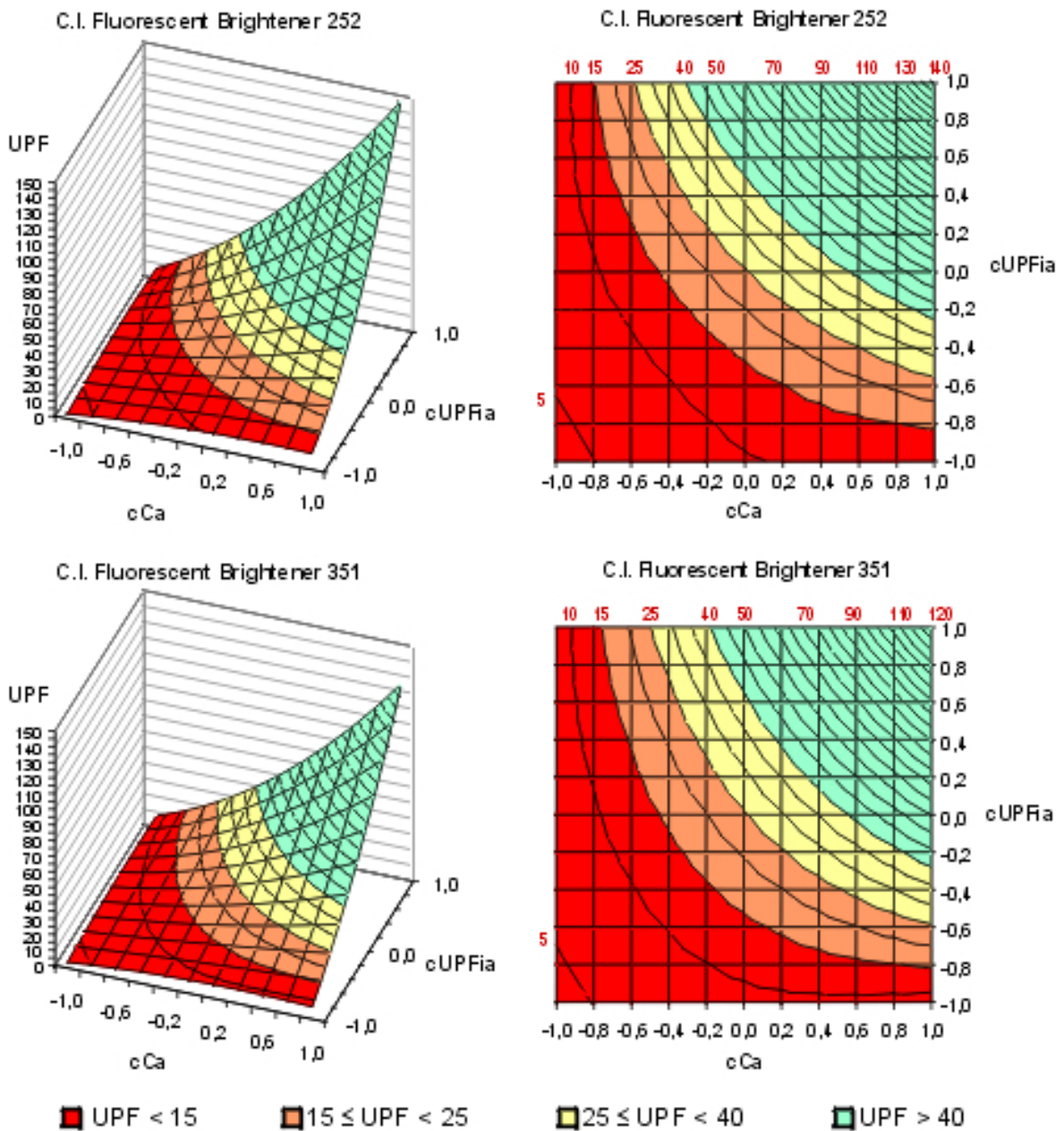


Figura 5.9. Superficies de respuesta y curvas de nivel, tejidos de Algodón

En las superficies de respuesta se puede observar que en la dirección del eje de cada variable $cUPF_{i_a}$ y cCa , la respuesta crece a mayor velocidad a medida que aumenta la otra variable. Es decir, una contribución muy importante en el incremento del UPF es el efecto de la interacción de ambas variables. Para tejidos con UPF inicial bajo (estructura más abierta) cualquier concentración de blanqueador óptico produce muy pequeños incrementos en el UPF final, mientras que a medida que el UPF inicial de los tejidos aumenta (tejidos más compactos) también se va haciendo más notable el efecto de la concentración y pequeños incrementos en ésta producen muy notables mejoras en la protección que los tejidos proporcionan contra la radiación ultravioleta. De igual forma, para concentraciones bajas de los blanqueadores ópticos, un aumento en el UPF inicial del tejido no proporcionará un elevado incremento del UPF del mismo, mientras que

cuando la concentración es alta, un pequeño aumento en la compacidad del tejido producirá un gran incremento en el UPF del tejido. Así pues, será necesaria una mínima concentración de blanqueador pero aplicada también sobre un tejido con una mínima compacidad, para poder obtener un nivel de protección determinado.

También se observa que, para el mismo valor de las variables, el blanqueador óptico C.I. Fluorescent Brightener 252 obtiene valores mayores de UPF estimado. Sin embargo, las diferencias entre ambos blanqueadores ópticos no son muy destacables, ya que se producen variaciones muy pequeñas en la clasificación final de los tejidos como protectores contra la radiación ultravioleta.

A partir de las curvas de nivel, se pueden encontrar las múltiples posibilidades de combinación de las diferentes variables para obtener un determinado UPF estimado. Las posibilidades son numerosas y permitirán optimizar el diseño del tejido para conseguir las propiedades protectoras necesarias, con una blancura del tejido y un nivel de compacidad adecuados para el uso a que esté destinado.

5.3.1.2.6. Modelización de la respuesta UPF en los tejidos de Modal blanqueados

5.3.1.2.6.1. Estimación de los coeficientes del modelo, significación del modelo y gráficos de residuos de la respuesta y probabilístico normal

En la tabla siguiente se presentan los términos que resultan significativos y sus coeficientes, una vez realizada la regresión paso a paso en el análisis estadístico de los resultados obtenidos en la medida de los tejidos de Modal blanqueados.

```

Model fitting results for: UPFm
-----
Independent variable      coefficient  std. error  t-value  sig.level
-----
CONSTANT                  32.856219  0.896808   36.6369  0.0000
cUPFim                    20.825455  0.598667   34.7864  0.0000
cCm                       18.340875  0.939519   19.5216  0.0000
cUPFim*cCm                15.999891  0.823435   19.4307  0.0000
cCm^2                     -4.370469  1.374949   -3.1786  0.0058
Q2m*cCm                   3.246188  1.378844    2.3543  0.0317
Q2m*cUPFim^2              -3.278217  1.284314   -2.5525  0.0213
Q2m*cCm^2                  5.625429  1.817935    3.0944  0.0070
-----

Analysis of Variance for the Full Regression
-----
Source                    Sum of Squares  DF  Mean Square  F-Ratio  P-value
-----
Model                      14630.9         7   2090.13     361.633  .0000
Error                      92.4752        16   5.77970
-----
Total (Corr.)              14723.4        23
R-squared = 0.993719                               Stnd. error of est. = 2.4041

```

Se obtiene una R^2 de valor muy alto (99,37%).

Los gráficos de residuos de la respuesta y el gráfico probabilístico normal obtenidos para el modelo estimado, se presentan en la Figura 5.10.

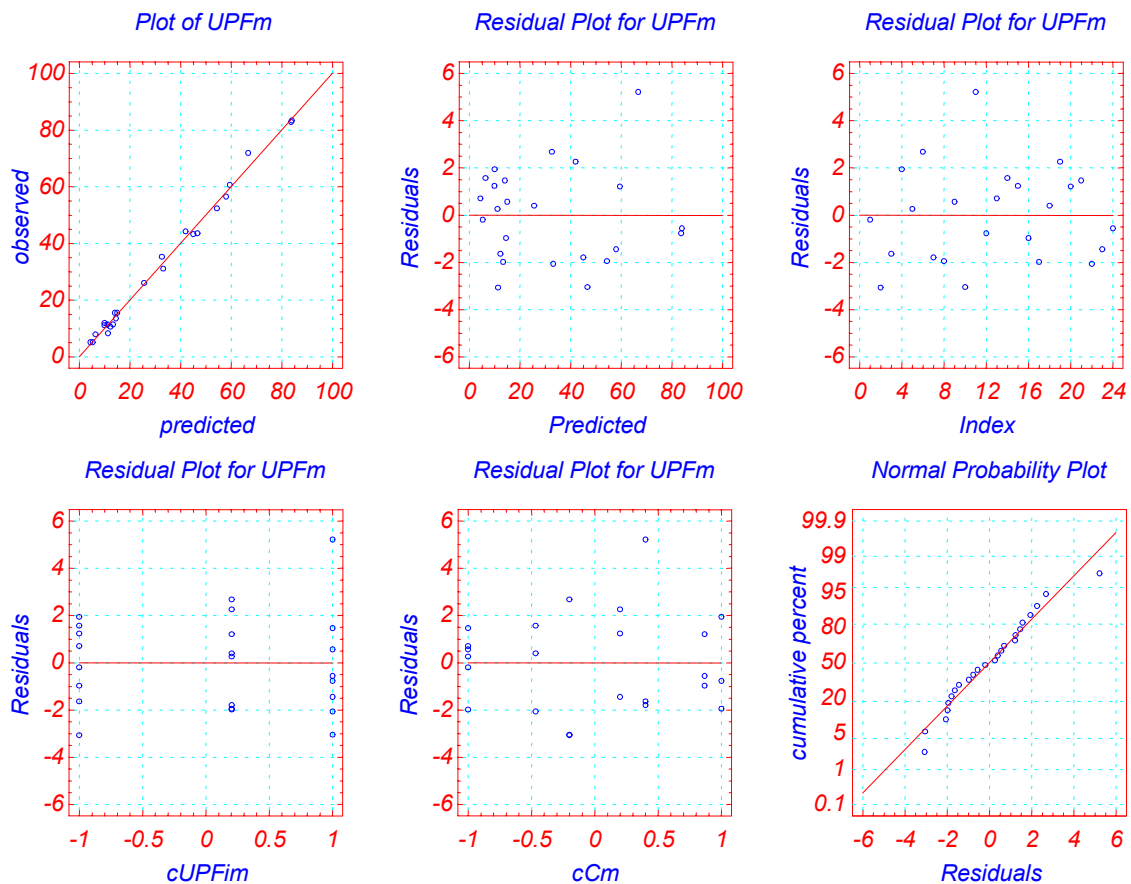


Figura 5.10. Gráficos de residuos y probabilístico normal de la respuesta UPF, tejidos de Modal

En la figura no se observa ninguna anomalía, por lo que se considera que el modelo obtenido es correcto.

5.3.1.2.6.2. Modelo definitivo

El modelo definitivo que estima el valor de la respuesta UPF en función del UPF inicial del tejido y de la concentración de blanqueador óptico, es el siguiente en variables codificadas:

$$\begin{aligned}
 UPF_m = & 32,856219 + \\
 & + 20,825455 \cdot cUPF_{im} + \\
 & + 18,340875 \cdot cC_m + 3,246188 \cdot Q2_m \cdot cC_m + \\
 & + 15,999891 \cdot cUPF_{im} \cdot cC_m - \\
 & - 3,278217 \cdot Q2_m \cdot cUPF_{im}^2 - \\
 & - 4,370469 \cdot cC_m^2 + 5,625429 \cdot Q2_m \cdot cC_m^2
 \end{aligned}
 \qquad R^2 = 99,37\%$$

La observación del modelo obtenido permite concluir que la respuesta UPF será significativamente diferente en función del blanqueador óptico utilizado en los tratamientos, al existir términos significativos que incluyen a la variable categórica Q2_m.

En el modelo han resultado significativos los efectos simples $cUPFi_m$ y cC_m y la interacción de los mismos $cUPFi_m \cdot cC_m$, con signo positivo todos ellos. Por ello se puede afirmar que el UPF de los tejidos aumenta al aumentar cualquiera de los efectos y que el incremento producido se ve acelerado por la interacción de las dos variables.

Asimismo, para el blanqueador C.I. Fluorescent Brightener 252 ha resultado significativo el término cuadrático cC_m^2 con coeficiente de signo negativo que producirá una deceleración en el aumento del valor de la respuesta más acusada a medida que aumenta el valor de esta variable. Para el C.I. Fluorescent Brightener 351 el coeficiente negativo del término $cUPFi_m^2$ producirá el mismo efecto, y el coeficiente positivo del término cuadrático cC_m^2 producirá un efecto contrario, es decir, una aceleración en la velocidad de incremento del valor de la respuesta.

En función del valor de la variable categórica $Q2_m$, se obtienen los siguientes modelos individuales para cada blanqueador óptico:

- C.I. Fluorescent Brightener 252: $Q2_m = 0$

$$UPF_m = 32,856219 + 20,825455 \cdot cUPFim + 18,340875 \cdot cCm + 15,999891 \cdot cUPFim \cdot cCm - 4,370469 \cdot cCm^2$$

- C.I. Fluorescent Brightener 351: $Q2_m = 1$

$$UPF_m = 32,856219 + 20,825455 \cdot cUPFim + 21,587063 \cdot cCm + 15,999891 \cdot cUPFim \cdot cCm - 3,278217 \cdot cUPFim^2 + 1,254960 \cdot cCm^2$$

Al observar los modelos separados para cada blanqueador óptico, se puede deducir que hay alguna diferencia en la mayor o menor influencia de cada variable en función del tipo de producto utilizado. El modelo para el blanqueador óptico C.I. Fluorescent Brightener 351 tiene algunos coeficientes positivos de mayor valor, pero también tiene un término negativo más que el modelo para el C.I. Fluorescent Brightener 252. Por ello, será necesario recurrir a la representación gráfica del modelo en las superficies de respuesta y las curvas de nivel para poder analizar más fácilmente cual de los blanqueadores proporcionará una mayor eficacia en la mejora del UPF de los tejidos de Modal.

Los modelos en variables originales serán los siguientes:

- C.I. Fluorescent Brightener 252:

$$UPF_m = 0,567929 + 0,927280 \cdot UPFim - 12,458683 \cdot Cm + 8,198766 \cdot UPFim \cdot Cm - 31,078891 \cdot Cm^2$$

- C.I. Fluorescent Brightener 351:

$$UPF_m = -9,964891 + 3,427679 \cdot UPF_{im} - 33,80447 \cdot C_m + 8,198766 \cdot UPF_{im} \cdot C_m - 0,121050 \cdot UPF_{im}^2 + 8,92416 \cdot C_m^2$$

5.3.1.2.6.3. Superficies de respuesta y curvas de nivel

En la Figura 5.11 se han representado las superficies de respuesta y las curvas de nivel de la respuesta UPF en función de las dos variables codificadas del sistema, $cUPF_{im}$ y cC_m , obtenidas según el modelo estimado para cada uno de los blanqueadores ópticos C.I. Fluorescent Brightener 252 y C.I. Fluorescent Brightener 351. Se representan las curvas de superficie y nivel para incrementos de 5 puntos del valor de la respuesta UPF.

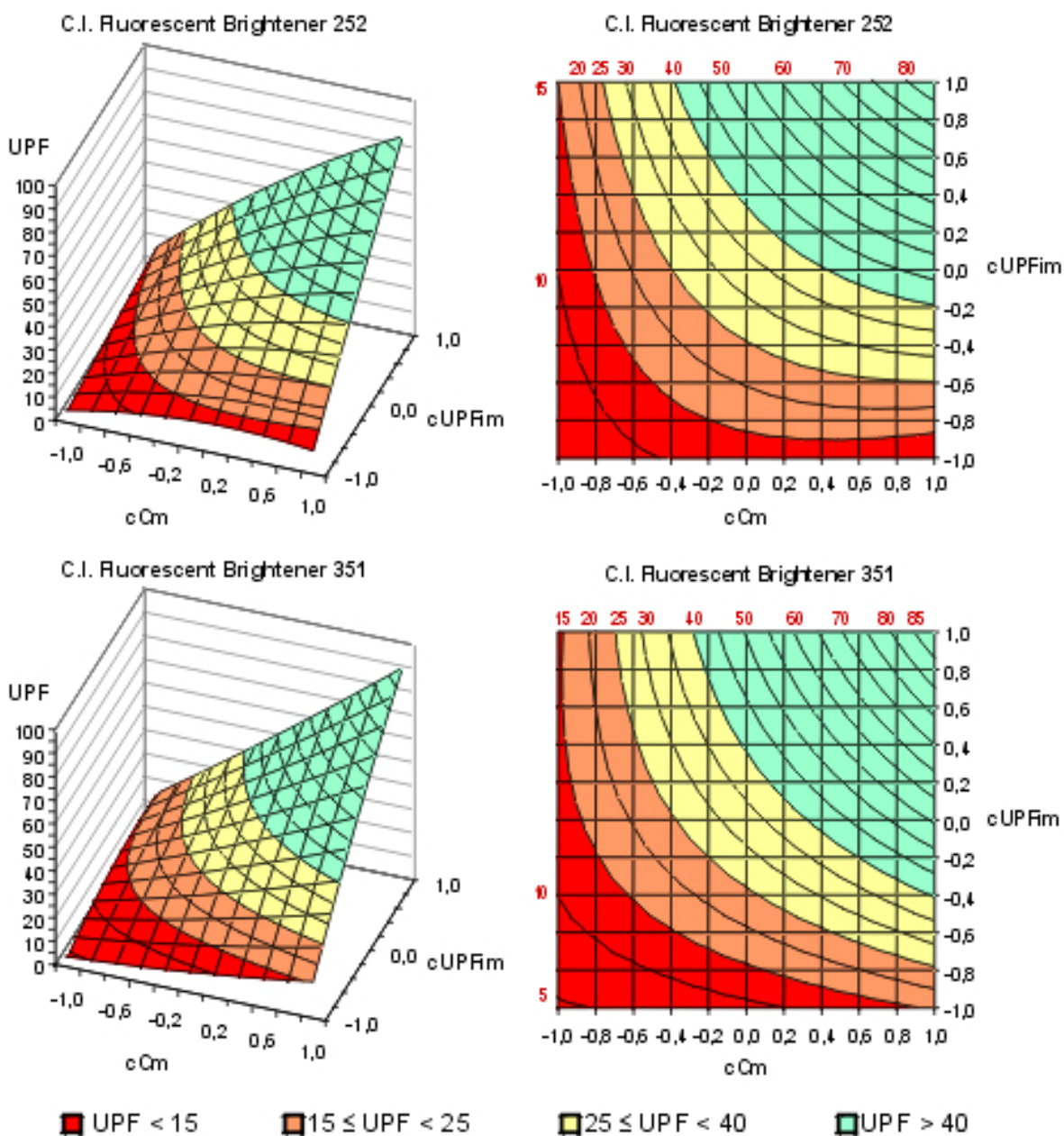


Figura 5.11. Superficies de respuesta y curvas de nivel, tejidos de Modal

En la figura se puede observar la influencia positiva de ambas variables ($cUPF_{im}$ y cC_m) en el valor de la respuesta UPF. En ambos blanqueadores la influencia de cC_m es casi inapreciable si $cUPF_{im}$ es bajo, mientras que cuando éste es elevado al aumentar cC_m aumenta fuertemente el UPF final. Situación muy parecida se da con la influencia de $cUPF_{im}$ para cC_m bajos y altos. Evidentemente, ello es consecuencia de la importante interacción de ambas variables.

Las líneas de las superficies de respuesta en la dirección del eje de la variable $cUPF_{im}$ y del eje de la variable cC_m presentan una tendencia ligeramente parabólica, con una curvatura poco notable, ya que la contribución de los términos cuadráticos del modelo, aunque negativa y significativa, no es muy apreciable en la práctica.

En el blanqueo de los tejidos de Modal, el uso del producto C.I. Fluorescent Brightener 351 se ha mostrado ligeramente más eficaz para, a la vez que blanca, proporcionar una mayor protección contra la radiación ultravioleta. Sin embargo, las diferencias entre el UPF estimado para uno u otro blanqueador son muy pequeñas.

5.3.1.2.7. Modelización de la respuesta UPF en los tejidos de Modal Sun blanqueados

5.3.1.2.7.1. Estimación de los coeficientes del modelo, significación del modelo y gráficos de residuos de la respuesta y probabilístico normal

En la tabla siguiente se presentan los términos que resultan significativos y sus coeficientes, una vez realizada la regresión paso a paso en el análisis estadístico de los datos obtenidos en la medida de los tejidos de Modal Sun blanqueados.

Model fitting results for: UPFms				
Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	65.510871	3.12609	20.9562	0.0000
cUPFims	28.953939	2.55461	11.3340	0.0000
cCms	18.036697	1.84526	9.7746	0.0000
cUPFims*cCms	9.988864	2.199228	4.5420	0.0003
cUPFims ²	-10.634512	3.204309	-3.3188	0.0041
cCms ²	-17.877765	3.168221	-5.6428	0.0000
cUPFims*cCms ²	-9.174568	3.775967	-2.4297	0.0265

Analysis of Variance for the Full Regression					
Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F-Ratio	P-value
Model	15668.1	6	2611.34	62.7334	.0000
Error	707.642	17	41.6260		
Total (Corr.)	16375.7	23			
R-squared = 0.956787			Std. error of est. = 6.45182		

Con un coeficiente de determinación del modelo de valor bastante alto (95,68%).

Los gráficos de residuos de la respuesta y el gráfico probabilístico normal obtenidos para el modelo estimado, se presentan en la Figura 5.12.

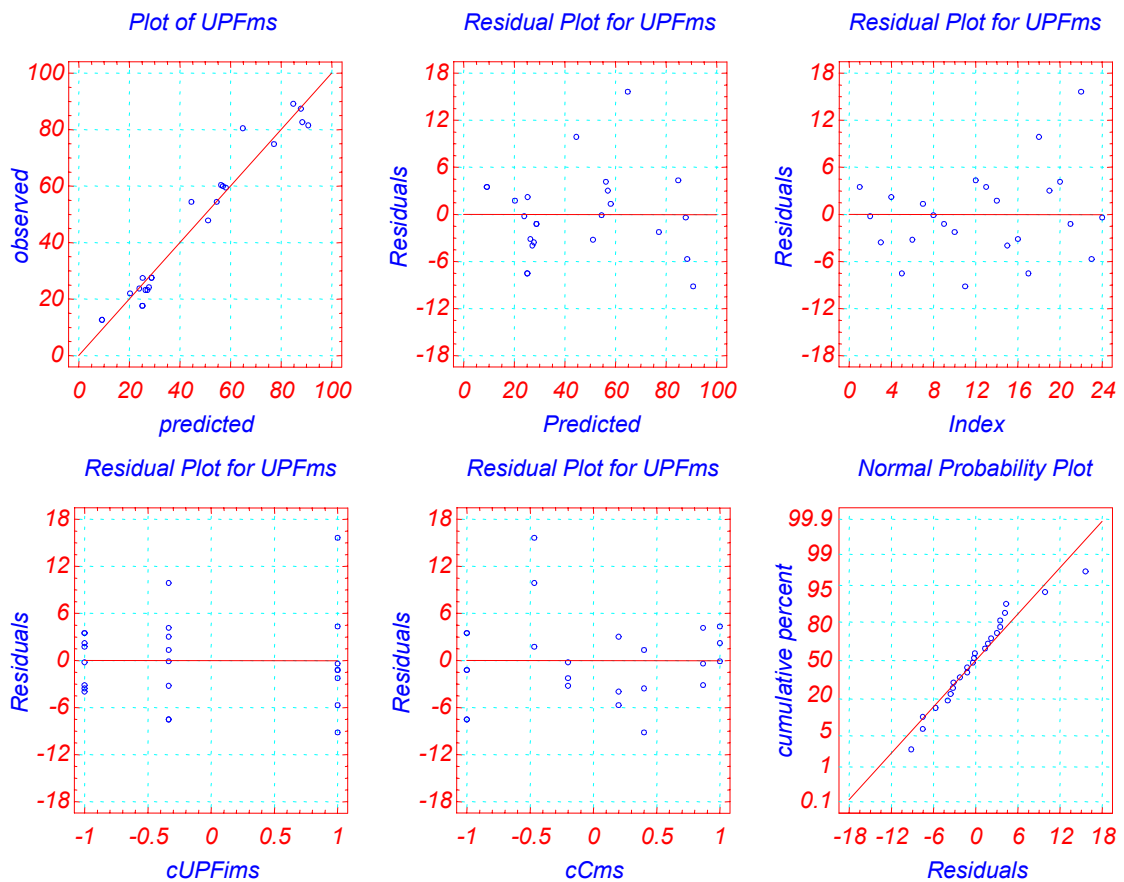


Figura 5.12. Gráficos de residuos y probabilístico normal de la respuesta UPF, tejidos de Modal Sun

El modelo obtenido es correcto, ya que no se observan anomalías en ninguno de los gráficos.

5.3.1.2.7.2. Modelo definitivo

El modelo definitivo que estima el valor de la respuesta UPF en función del UPF inicial del tejido y de la concentración de blanqueador óptico, es el siguiente en variables codificadas:

$$\begin{aligned}
 UPF_{ms} = & 65,510871 + 28,953939 \cdot cUPF_{ms} + 18,036697 \cdot cC_{ms} + \\
 & + 9,988864 \cdot cUPF_{ms} \cdot cC_{ms} - 10,634512 \cdot cUPF_{ms}^2 - \\
 & - 17,877765 \cdot cC_{ms}^2 - 9,174568 \cdot cUPF_{ms} \cdot cC_{ms}^2
 \end{aligned}
 \qquad R^2 = 95,68\%$$

En el modelo obtenido se puede observar que no existe ningún término significativo que incluya a la variable categórica Q2_{ms}, por lo que el modelo será exactamente el mismo para los dos blanqueadores ópticos utilizados. Es decir, el tipo de producto blanqueador no influye significativamente en el valor de la respuesta UPF de los tejidos de Modal Sun.

En el modelo han resultado significativos los efectos simples cUPFi_{ms} y cC_{ms} y la interacción de los mismos cUPFi_{ms}·cC_{ms}, con signo positivo todos ellos. Con ello, se

puede afirmar que el UPF de los tejidos aumenta al aumentar cualquiera de los efectos y que el incremento producido se ve acelerado por la interacción de las dos variables.

Asimismo han resultado significativos los términos cuadráticos $cUPFi_{ms}^2$ y cC_{ms}^2 con un coeficiente de signo negativo que producirá una deceleración en el aumento del valor de la respuesta más acusada a medida que aumenta el valor de cualquiera de las variables. También tiene un coeficiente significativo de signo negativo el término $cUPFi_{ms} \cdot cC_{ms}^2$, que provocará el mismo efecto pero aumentado para valores mayores de $cUPFi_{ms}$.

Al descodificar, se obtiene el modelo siguiente en variables originales:

$$UPF_{ms} = -74,486030 + 9,041556 \cdot UPF_{ims} - 60,725316 \cdot C_{ms} + 10,159037 \cdot UPF_{ims} \cdot C_{ms} - 0,192197 \cdot UPF_{ims}^2 + 49,139776 \cdot C_{ms}^2 - 8,77077 \cdot UPF_{ims} \cdot C_{ms}^2$$

5.3.1.2.7.3. Superficies de respuesta y curvas de nivel

En la Figura 5.13 se han representado las superficies de respuesta y las curvas de nivel de la respuesta UPF en función de las dos variables codificadas del sistema, $cUPFi_{ms}$ y cC_{ms} , obtenidas según el modelo estimado único para los dos blanqueadores ópticos C.I. Fluorescent Brightener 252 y C.I. Fluorescent Brightener 351. Se representan las curvas de superficie y nivel para incrementos de 5 puntos del valor de la respuesta UPF.

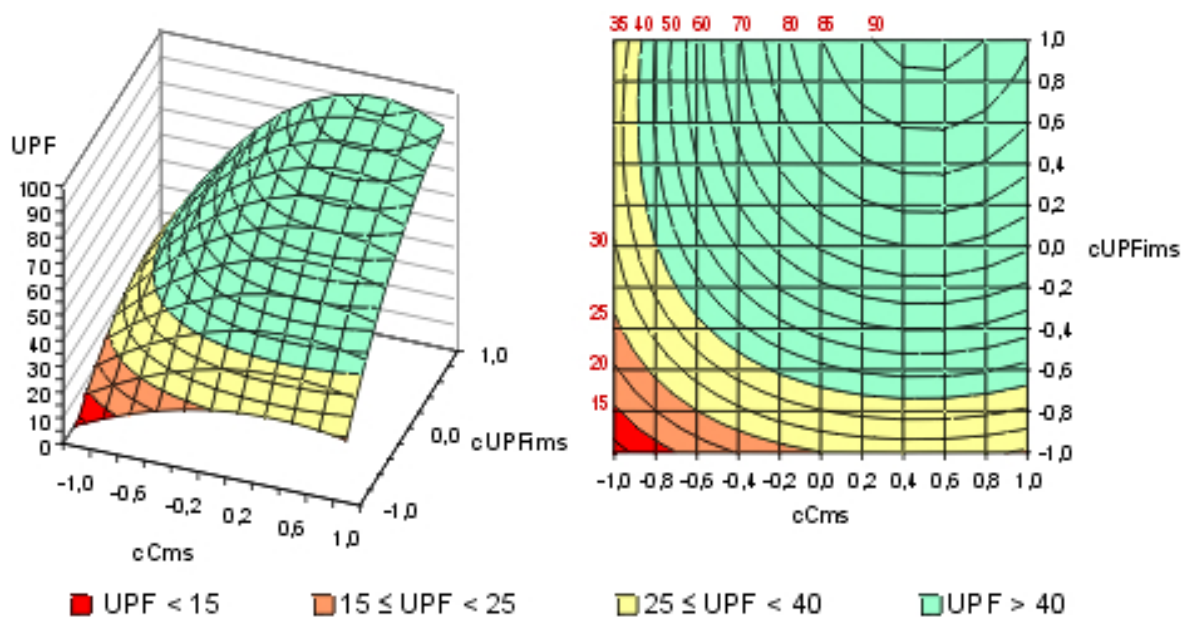


Figura 5.13. Superficies de respuesta y curvas de nivel, tejidos de Modal Sun

La figura muestra la influencia positiva de ambas variables, $cUPFi_{ms}$ y cC_{ms} , en el valor de la respuesta UPF.

En este caso, se observa una curvatura muy notable en las líneas de la superficie de respuesta en la dirección de ambos ejes, más acusada en la dirección del eje de cC_{ms} . En ambos casos, las líneas presentan una forma parabólica de forma que un incremento en

las variables cuando éstas tienen valores bajos producirá un aumento mayor en la respuesta UPF que el mismo incremento cuando las variables tienen valores altos. Es decir, existe una tendencia a la saturación, de forma que a partir de ciertos valores de $cUPFi_{ms}$ y, más notablemente, de cC_{ms} no se producirá un aumento en la protección proporcionada por el tejido.

5.3.1.2.8. Comparación entre los modelos obtenidos para las diferentes fibras

Como resumen de los resultados obtenidos y para comparar el efecto del tipo de fibra y el blanqueador óptico sobre la protección contra la radiación ultravioleta proporcionada por los tejidos, en este apartado se resumen los modelos que describen el valor del UPF de los tejidos en función del tipo de blanqueador, su concentración y el UPF inicial, obtenidos para los tejidos fabricados con las fibras de Algodón, Modal y Modal Sun.

- Algodón: $R^2 = 99,90\%$

$$\begin{aligned} UPFa = & 24,356448 + 25,092650 \cdot cUPFia - 4,577946 \cdot Q2a \cdot cUPFia + 24,072195 \cdot cCa + \\ & + 33,026175 \cdot cUPFia \cdot cCa - 4,850703 \cdot Q2a \cdot cUPFia \cdot cCa + 10,363935 \cdot cUPFia^2 - \\ & - 5,551824 \cdot Q2a \cdot cUPFia^2 + 6,769506 \cdot cCa^2 + 9,612998 \cdot cUPFia \cdot cCa^2 + \\ & + 12,571394 \cdot cUPFia^2 \cdot cCa - 6,330883 \cdot Q2a \cdot cUPFia^2 \cdot cCa \end{aligned}$$

- Modal: $R^2 = 99,37\%$

$$\begin{aligned} UPFm = & 32,856219 + 20,825455 \cdot cUPFim + 18,340875 \cdot cCm + 3,246188 \cdot Q2m \cdot cCm + \\ & + 15,999891 \cdot cUPFim \cdot cCm - 3,278217 \cdot Q2m \cdot cUPFim^2 - 4,370469 \cdot cCm^2 + \\ & + 5,625429 \cdot Q2m \cdot cCm^2 \end{aligned}$$

- Modal Sun: $R^2 = 95,68\%$

$$\begin{aligned} UPFms = & 65,510871 + 28,953939 \cdot cUPFims + 18,036697 \cdot cCms + 9,988864 \cdot cUPFims \cdot cCms - \\ & - 10,634512 \cdot cUPFims^2 - 17,877765 \cdot cCms^2 - 9,174568 \cdot cUPFims \cdot cCms^2 \end{aligned}$$

Y comparando los resultados obtenidos para cada uno de los blanqueadores ópticos:

- C.I. Fluorescent Brightener 252:

$$\begin{aligned} UPFa = & 24,356448 + 25,092650 \cdot cUPFia + 24,072195 \cdot cCa + 33,026175 \cdot cUPFia \cdot cCa + \\ & + 10,363935 \cdot cUPFia^2 + 6,769506 \cdot cCa^2 + 9,612998 \cdot cUPFia \cdot cCa^2 + 12,571394 \cdot cUPFia^2 \cdot cCa \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} UPFm = & 32,856219 + 20,825455 \cdot cUPFim + 18,340875 \cdot cCm + 15,999891 \cdot cUPFim \cdot cCm - \\ & - 4,370469 \cdot cCm^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} UPFms = & 65,510871 + 28,953939 \cdot cUPFims + 18,036697 \cdot cCms + 9,988864 \cdot cUPFims \cdot cCms - \\ & - 10,634512 \cdot cUPFims^2 - 17,877765 \cdot cCms^2 - 9,174568 \cdot cUPFims \cdot cCms^2 \end{aligned}$$

- C.I. Fluorescent Brightener 351:

$$UPFa = 24,356448 + 20,514704 \cdot cUPFia + 24,072195 \cdot cCa + 28,175472 \cdot cUPFia \cdot cCa + \\ + 4,812111 \cdot cUPFia^2 + 6,769506 \cdot cCa^2 + 9,612998 \cdot cUPFia \cdot cCa^2 + 6,240511 \cdot cUPFia^2 \cdot cCa$$

$$UPFm = 32,856219 + 20,825455 \cdot cUPFim + 21,587063 \cdot cCm + 15,999891 \cdot cUPFim \cdot cCm - \\ - 3,278217 \cdot cUPFim^2 + 1,254960 \cdot cCm^2$$

$$UPFms = 65,510871 + 28,953939 \cdot cUPFims + 18,036697 \cdot cCms + 9,988864 \cdot cUPFims \cdot cCms - \\ - 10,634512 \cdot cUPFims^2 - 17,877765 \cdot cCms^2 - 9,174568 \cdot cUPFims \cdot cCms^2$$

Los modelos demuestran que, para todos los tipos de fibras y de blanqueadores estudiados, el tratamiento de los tejidos con estos productos tiene influencia sobre el factor de protección a la radiación ultravioleta proporcionado por los mismos, produciendo un incremento en el valor del UPF. La influencia de la adición de los blanqueadores ópticos es más notable en los tejidos de Algodón, y algo menor y muy similar entre ellos en los tejidos de Modal y de Modal Sun.

En el tratamiento de los tejidos de Modal Sun con cualquiera de los blanqueadores ópticos estudiados, la variable que tiene más influencia para la mejora del UPF de los tejidos es el UPF inicial del mismo, es decir, la estructura del tejido original. Esta variable ha obtenido los coeficientes positivos de valor más elevado y los coeficientes negativos de valor menos elevado. Igualmente tiene una mayor influencia la variable UPF inicial de los tejidos, en el caso del tratamiento de los tejidos de Algodón y Modal con el blanqueador óptico C.I. Fluorescent Brightener 252. En cambio, cuando estos tejidos se tratan con el blanqueador óptico C.I. Fluorescent Brightener 351, la variable que tiene más peso en la mejora del UPF es la concentración del blanqueador óptico.

La influencia del tipo de blanqueador depende del tipo de fibra con el que están fabricados los tejidos. El tipo de blanqueador no es una variable que tenga una influencia significativa cuando el tratamiento se realiza sobre los tejidos de Modal Sun. En cambio, sí que lo es cuando el tratamiento se realiza sobre tejidos de Algodón o de Modal. En los tejidos de Algodón, el tratamiento será más efectivo en el aumento del UPF si se realiza con el producto C.I. Fluorescent Brightener 252, mientras que en los tejidos de Modal será más efectivo el tratamiento con el C.I. Fluorescent Brightener 351. Sin embargo, a efectos prácticos, las diferencias en la clasificación obtenida mediante el tratamiento con uno u otro blanqueador no son muy apreciables.

A modo de ejemplo en la Tabla 5.19, la Tabla 5.20 y la Tabla 5.21 se han representado valores de UPF, estimados según el modelo obtenido para cada una de las fibras y blanqueadores ópticos. Por razones de extensión, se han escogido varios valores de las variables dentro del rango experimental, aunque las posibilidades de combinación son mucho más numerosas que las representadas. Se ha utilizado un código de colores, que

se expone a continuación, para facilitar el encontrar las condiciones necesarias para obtener un mínimo de protección, o bien una buena protección o una protección excelente.

- UPF < 15: tejido no protector
- 15 ≤ UPF < 25: tejido que proporciona buena protección
- 25 ≤ UPF < 40: tejido que proporciona muy buena protección
- UPF ≥ 40: tejido que proporciona protección excelente

C.I. Fluorescent Brightener 252		UPF inicial										
		4,06	4,35	4,63	4,92	5,20	5,49	5,78	6,06	6,35	6,63	6,92
Concentración	0,00	3,2	4,3	5,2	6,0	6,6	7,1	7,3	7,4	7,3	7,0	6,5
	0,08	4,9	5,8	6,6	7,5	8,5	9,4	10,4	11,4	12,4	13,5	14,6
	0,15	6,4	7,2	8,1	9,3	10,7	12,3	14,2	16,3	18,6	21,1	23,9
	0,23	7,7	8,5	9,7	11,3	13,3	15,8	18,7	22,0	25,8	29,9	34,5
	0,30	8,8	9,7	11,3	13,5	16,3	19,8	23,9	28,6	33,9	39,9	46,5
	0,38	9,6	10,9	13,0	16,0	19,7	24,3	29,8	36,0	43,1	51,0	59,8
	0,45	10,2	12,0	14,8	18,7	23,5	29,4	36,3	44,3	53,3	63,3	74,4
	0,53	10,6	13,0	16,7	21,6	27,7	35,0	43,6	53,4	64,5	76,7	90,3
	0,60	10,8	14,0	18,6	24,7	32,3	41,2	51,6	63,4	76,7	91,3	107,5
	0,68	10,7	14,9	20,7	28,1	37,2	47,9	60,3	74,2	89,8	107,1	126,0
	0,75	10,4	15,7	22,8	31,7	42,5	55,2	69,6	85,9	104,0	124,0	145,8

C.I. Fluorescent Brightener 351		UPF inicial										
		4,06	4,35	4,63	4,92	5,20	5,49	5,78	6,06	6,35	6,63	6,92
Concentración	0,00	3,7	4,6	5,4	6,0	6,6	7,1	7,4	7,6	7,7	7,7	7,6
	0,07	5,0	5,9	6,8	7,6	8,5	9,3	10,0	10,8	11,5	12,3	12,9
	0,14	6,2	7,2	8,3	9,4	10,6	11,9	13,3	14,7	16,2	17,8	19,5
	0,21	7,2	8,4	9,8	11,4	13,2	15,1	17,1	19,4	21,8	24,4	27,1
	0,28	7,9	9,6	11,5	13,6	16,0	18,7	21,6	24,8	28,2	31,9	35,9
	0,35	8,5	10,6	13,1	16,0	19,2	22,8	26,7	30,9	35,6	40,5	45,8
	0,42	8,9	11,7	14,9	18,6	22,7	27,3	32,4	37,8	43,7	50,1	56,9
	0,49	9,0	12,6	16,7	21,4	26,6	32,4	38,6	45,5	52,8	60,7	69,1
	0,56	9,0	13,5	18,6	24,4	30,8	37,9	45,5	53,8	62,7	72,3	82,5
	0,63	8,8	14,3	20,6	27,6	35,4	43,8	53,0	62,9	73,5	84,9	97,0
	0,70	8,3	15,1	22,7	31,0	40,2	50,3	61,1	72,8	85,2	98,5	112,6

Tabla 5.19. Estimación del UPF según el modelo para los tejidos de Algodón blanqueados

C.I. Fluorescent Brightener 252		UPF inicial										
		5,12	6,16	7,20	8,24	9,28	10,33	11,37	12,41	13,45	14,49	15,53
Concentración	0,00	5,3	6,3	7,2	8,2	9,2	10,1	11,1	12,1	13,0	14,0	14,9
	0,08	7,4	9,0	10,6	12,2	13,8	15,4	17,0	18,6	20,2	21,8	23,4
	0,15	9,0	11,3	13,5	15,8	18,0	20,3	22,5	24,8	27,0	29,3	31,5
	0,23	10,4	13,3	16,2	19,0	21,9	24,8	27,7	30,6	33,5	36,4	39,2
	0,30	11,4	14,9	18,4	22,0	25,5	29,0	32,5	36,1	39,6	43,1	46,6
	0,38	12,0	16,2	20,3	24,5	28,7	32,8	37,0	41,2	45,3	49,5	53,7
	0,45	12,3	17,1	21,9	26,7	31,5	36,3	41,1	45,9	50,8	55,6	60,4
	0,53	12,2	17,7	23,1	28,6	34,0	39,5	44,9	50,4	55,8	61,3	66,7
	0,60	11,8	17,9	24,0	30,1	36,2	42,3	48,4	54,4	60,5	66,6	72,7
	0,68	11,1	17,8	24,5	31,3	38,0	44,7	51,4	58,2	64,9	71,6	78,3
	0,75	10,0	17,3	24,7	32,1	39,4	46,8	54,2	61,5	68,9	76,3	83,6

C.I. Fluorescent Brightener 351		UPF inicial										
		5,12	6,16	7,20	8,24	9,28	10,33	11,37	12,41	13,45	14,49	15,53
Concentración	0,00	4,4	6,6	8,4	10,1	11,4	12,5	13,4	13,9	14,2	14,3	14,1
	0,07	5,0	7,8	10,3	12,5	14,4	16,1	17,6	18,7	19,6	20,3	20,7
	0,14	5,7	9,1	12,2	14,9	17,5	19,8	21,8	23,6	25,1	26,4	27,3
	0,21	6,5	10,5	14,1	17,6	20,7	23,6	26,2	28,6	30,7	32,5	34,1
	0,28	7,4	11,9	16,2	20,2	24,0	27,5	30,7	33,6	36,3	38,8	41,0
	0,35	8,4	13,5	18,4	23,0	27,3	31,4	35,2	38,8	42,1	45,1	47,9
	0,42	9,4	15,1	20,6	25,8	30,8	35,5	39,9	44,0	47,9	51,6	54,9
	0,49	10,6	16,9	23,0	28,8	34,3	39,6	44,6	49,4	53,8	58,1	62,0
	0,56	11,8	18,7	25,4	31,8	37,9	43,8	49,4	54,8	59,9	64,7	69,2
	0,63	13,1	20,6	27,9	34,9	41,6	48,1	54,3	60,3	65,9	71,4	76,5
	0,70	14,5	22,6	30,5	38,1	45,4	52,5	59,3	65,8	72,1	78,2	83,9

Tabla 5.20. Estimación del UPF según el modelo para los tejidos de Modal blanqueados

Todos los blanqueadores		UPF inicial										
		12,66	14,15	15,64	17,12	18,61	20,10	21,59	23,08	24,56	26,05	27,54
Concentración	0,00	9,2	14,9	19,9	24,0	27,2	29,6	31,1	31,8	31,6	30,6	28,7
	0,08	13,9	20,8	26,8	31,9	36,2	39,6	42,2	44,0	44,9	44,9	44,1
	0,15	18,0	25,7	32,6	38,7	43,9	48,3	51,8	54,4	56,2	57,2	57,3
	0,23	21,3	29,8	37,5	44,3	50,3	55,4	59,7	63,1	65,7	67,4	68,3
	0,30	24,0	33,1	41,4	48,9	55,5	61,2	66,1	70,1	73,3	75,7	77,1
	0,38	25,9	35,5	44,3	52,2	59,3	65,5	70,9	75,4	79,1	81,9	83,8
	0,45	27,2	37,1	46,2	54,5	61,9	68,4	74,1	78,9	82,9	86,1	88,4
	0,53	27,8	37,9	47,2	55,6	63,2	69,9	75,7	80,8	84,9	88,3	90,7
	0,60	27,6	37,8	47,1	55,5	63,2	69,9	75,8	80,9	85,1	88,4	90,9
	0,68	26,8	36,8	46,0	54,4	61,9	68,5	74,3	79,2	83,3	86,6	88,9
	0,75	25,3	35,1	44,0	52,1	59,3	65,7	71,2	75,9	79,7	82,7	84,8

Tabla 5.21. Estimación del UPF según el modelo para los tejidos de Modal Sun blanqueados

5.3.1.2.9. Modelización de la respuesta Grado de Blanco ISO en los tejidos de Algodón blanqueados

5.3.1.2.9.1. Estimación de los coeficientes del modelo, significación del modelo y gráficos de residuos de la respuesta y probabilístico normal

En la tabla siguiente se presentan los términos que resultan significativos y sus coeficientes, así como el ANOVA, en el análisis estadístico de los resultados de Grado de Blanco ISO de los tejidos de Algodón. Se obtiene una R^2 de valor bastante alto (94,60%).

Model fitting results for: Wa

Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	147.016213	3.715427	39.5691	0.0000
cCa	30.703944	2.482649	12.3674	0.0000
cUPFia ²	-8.37007	3.952234	-2.1178	0.0476
cCa ²	-32.303086	3.35598	-9.6255	0.0000
Q2a*cCa*cUPFia ²	-9.129358	4.360726	-2.0935	0.0499

Analysis of Variance for the Full Regression

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F-Ratio	P-value
Model	15736.9	4	3934.23	83.1292	.0000
Error	899.207	19	47.3267		
Total (Corr.)	16636.1	23			

R-squared = 0.945949 Std. error of est. = 6.87944

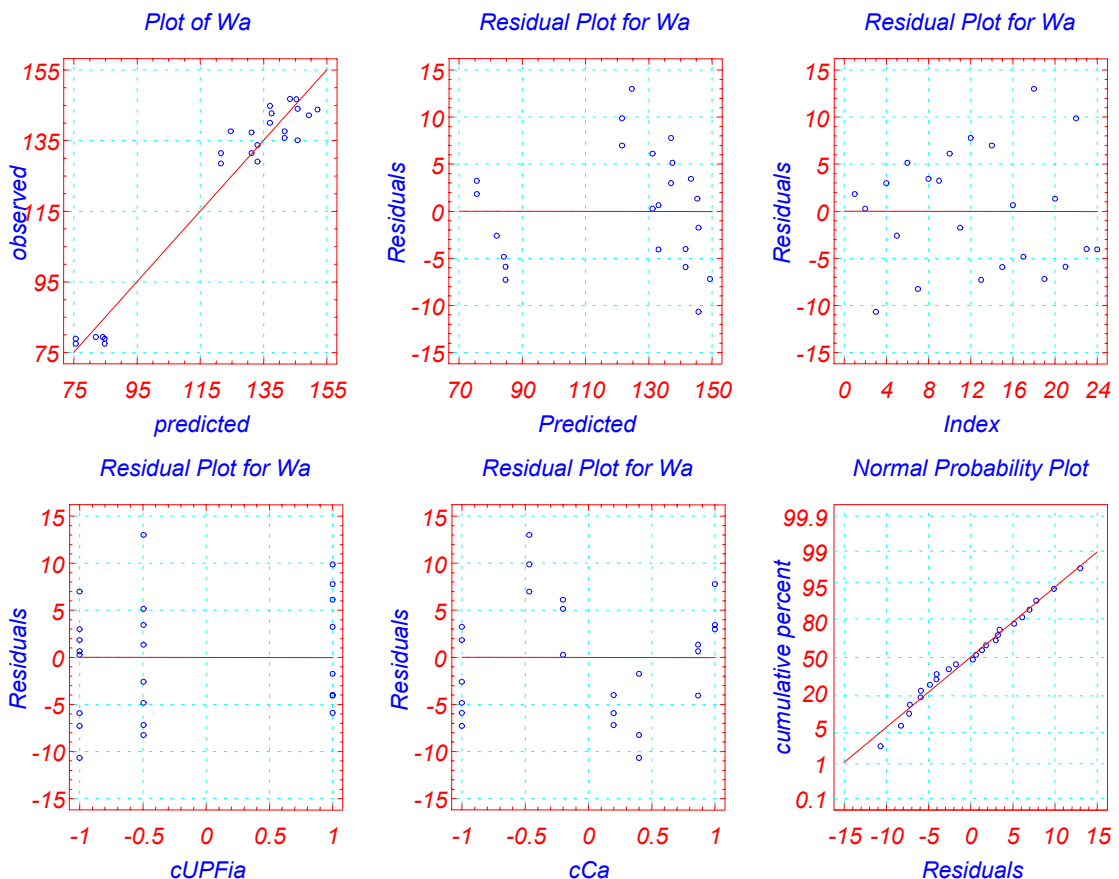


Figura 5.14. Gráficos de residuos y probabilístico normal de la respuesta W, tejidos de Algodón

Los gráficos de residuos de la respuesta y el gráfico probabilístico normal obtenidos para el modelo estimado, se presentan en la Figura 5.14. No se observa ninguna anomalía en ellos, por lo que se considera que el modelo obtenido es correcto.

5.3.1.2.9.2. Modelo definitivo

El modelo definitivo que estima el valor de la respuesta UPF en función del UPF inicial del tejido y de la concentración de blanqueador óptico, es el siguiente en variables codificadas:

$$Wa = 147,016213 + 30,703944 \cdot cCa - 8,37007 \cdot cUPFia^2 - 32,303086 \cdot cCa^2 - 9,129358 \cdot Q2a \cdot cUPFia^2 \cdot cCa \quad R^2 = 94,60\%$$

En la observación del modelo obtenido se puede apreciar que existe un término significativo que incluye a la variable categórica $Q2_a$, por lo que la respuesta será significativamente diferente en función del blanqueador óptico utilizado en los tratamientos. Sin embargo, las diferencias que el uso de uno u otro blanqueador produce en la blancura de los tejidos tratados serán muy pequeñas, al ser este término el de menor significación en el modelo (con un nivel de significación muy cercano a 0,05).

En el modelo ha resultado significativo el efecto simple cC_a con signo positivo, por lo que el UPF de los tejidos aumenta al aumentar la concentración de blanqueador óptico. Asimismo han resultado significativos los términos cuadráticos $cUPFia^2$ y cC_a^2 con coeficientes de signo negativo que producirán una deceleración en el aumento del valor de la respuesta más acusada a medida que aumenta el valor de la variable.

Para el blanqueador C.I. Fluorescent Brightener 351 también tiene un coeficiente significativo de signo negativo el término $cUPFia^2 \cdot cC_a$ que provocará el mismo efecto que el término cuadrático pero aumentado para valores mayores de cC_a .

Al separar el modelo obtenido en función del valor de la variable categórica $Q2_a$, se obtienen los siguientes modelos individuales para cada blanqueador óptico:

- C.I. Fluorescent Brightener 252: $Q2_a = 0$

$$Wa = 147,016213 + 30,703944 \cdot cCa - 8,37007 \cdot cUPFia^2 - 32,303086 \cdot cCa^2$$

- C.I. Fluorescent Brightener 351: $Q2_a = 1$

$$Wa = 147,016213 + 30,703944 \cdot cCa - 8,37007 \cdot cUPFia^2 - 32,303086 \cdot cCa^2 - 9,129358 \cdot cUPFia^2 \cdot cCa$$

Al observar los modelos individuales para cada blanqueador óptico, se puede concluir que el blanqueador óptico C.I. Fluorescent Brightener 252 será, en comparación con el C.I. Fluorescent Brightener 351, cada vez más eficaz para mejorar el grado de blanco de

los tejidos a medida que se aumenta la concentración, ya que se obtiene un coeficiente negativo más en el modelo estimado para el C.I. Fluorescent Brightener 351.

Los modelos en variables originales serán los siguientes:

- C.I. Fluorescent Brightener 252:

$$W_a = -39,403531 + 44,950907 \cdot UPF_{ia} + 254,160309 \cdot C_a - 4,093144 \cdot UPF_{ia}^2 - 229,710834 \cdot C_a^2$$

- C.I. Fluorescent Brightener 351:

$$W_a = 95,204524 - 4,077705 \cdot UPF_{ia} - 104,494505 \cdot C_a + 130,742966 \cdot UPF_{ia} \cdot C_a + 0,371308 \cdot UPF_{ia}^2 - 229,710834 \cdot C_a^2 - 11,905205 \cdot UPF_{ia}^2 \cdot C_a$$

5.3.1.2.9.3. Superficies de respuesta y curvas de nivel

En la Figura 5.9 se han representado las superficies de respuesta y las curvas de nivel de la respuesta Grado de Blanco ISO (W) en función de las dos variables codificadas del sistema, $cUPF_{ia}$ y cC_a , obtenidas según el modelo estimado para cada uno de los blanqueadores ópticos C.I. Fluorescent Brightener 252 y C.I. Fluorescent Brightener 351. Se representan las curvas de superficie y nivel para incrementos de 5 puntos del valor de la respuesta W.

Aunque ambas variables $cUPF_{ia}$ y cC_a tienen influencia sobre el valor de la respuesta Grado de Blanco ISO, las superficies de respuesta y curvas de nivel muestran que dicha respuesta se ve influida en un mayor grado por la variable cC_a . Se puede observar que las líneas tienen una marcada tendencia a seguir una curva casi horizontal, con lo que si se varía el valor de $cUPF_{ia}$, para una misma concentración cC_a , el valor del Grado de Blanco será muy similar. En cambio, si se varía el valor de cC_a , para un mismo UPF inicial, el incremento en el valor de la respuesta Grado de Blanco será mucho más perceptible.

Aunque se obtienen resultados significativamente diferentes, desde el punto de vista estadístico, en función del tipo de blanqueador utilizado, la diferencia entre ambos es poco importante a efectos prácticos de su aplicación textil. El uso de uno u otro no produce cambios en la blancura de los tejidos tratados que pudieran ser apreciables a la vista.

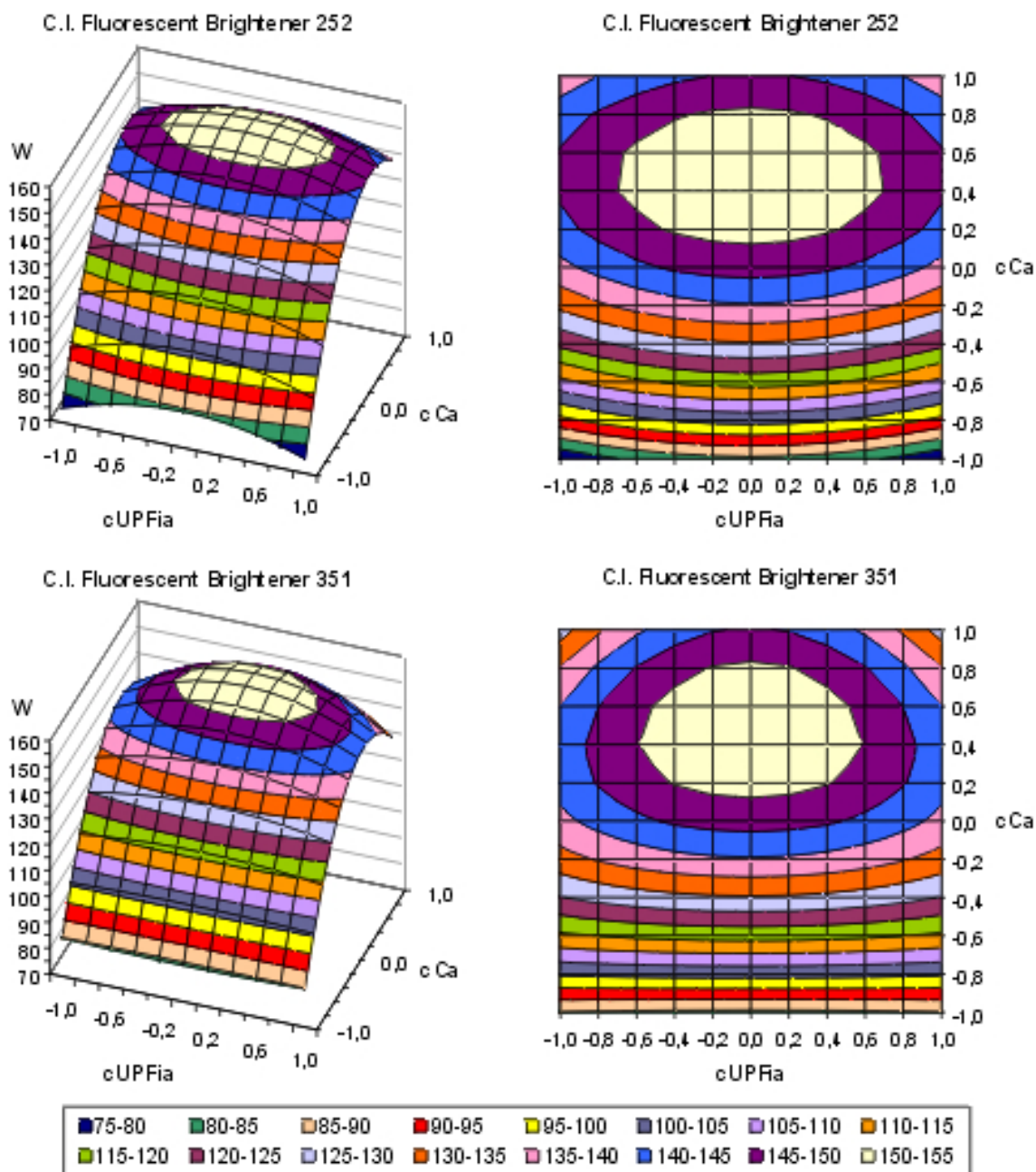


Figura 5.15. Superficies de respuesta y curvas de nivel, tejidos de Algodón

5.3.1.2.10. Modelización de la respuesta Grado de Blanco ISO en los tejidos de Modal blanqueados

5.3.1.2.10.1. Estimación de los coeficientes del modelo, significación del modelo y gráficos de residuos de la respuesta y probabilístico normal

En la tabla siguiente se presentan los términos que resultan significativos y sus coeficientes, una vez realizada la regresión paso a paso en el análisis estadístico de los datos obtenidos en la medida del Grado de Blanco ISO de los tejidos de Modal blanqueados.

Model fitting results for: Wm

Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	109.583252	1.150677	95.2337	0.0000
cUPFim	-3.341875	0.63652	-5.2502	0.0000
cCm	11.056427	0.721728	15.3194	0.0000
cUPFim^2	3.19416	1.158351	2.7575	0.0125
cCm^2	-3.557473	1.239173	-2.8708	0.0098

Analysis of Variance for the Full Regression

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F-Ratio	P-value
Model	1915.69	4	478.922	73.8790	.0000
Error	123.168	19	6.48252		
Total (Corr.)	2038.85	23			

R-squared = 0.93959 Std. error of est. = 2.54608

Se obtiene un coeficiente de determinación del modelo de valor bastante alto (93,96%).

Los gráficos de residuos de la respuesta y el gráfico probabilístico normal obtenidos para el modelo estimado, se presentan en la Figura 5.16.

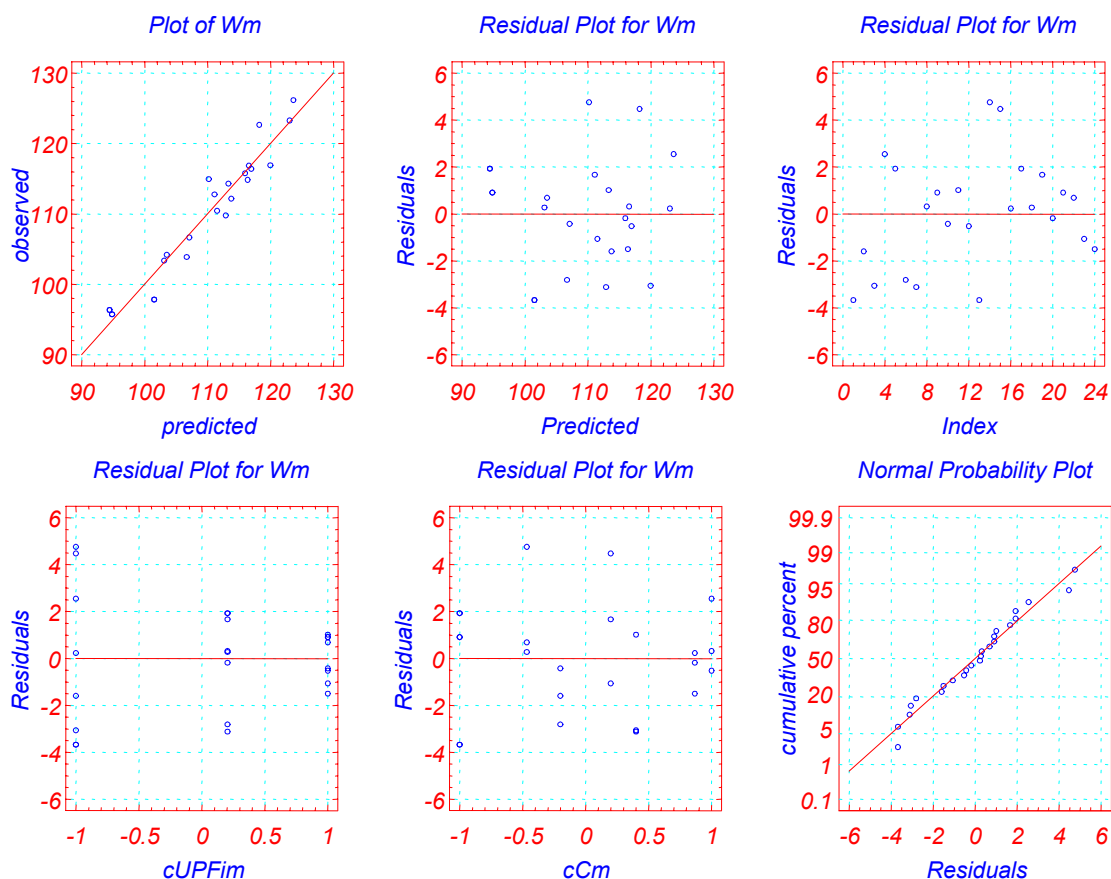


Figura 5.16. Gráficos de residuos y probabilístico normal de la respuesta UPF, tejidos de Modal

No se observa ninguna anomalía en los gráficos de residuos ni en el gráfico probabilístico normal, por lo que se considera que el modelo obtenido es correcto.

5.3.1.2.10.2. Modelo definitivo

El modelo definitivo que estima el valor de la respuesta W_m en función del UPF inicial del tejido y de la concentración de blanqueador óptico, es el siguiente en variables codificadas:

$$W_m = 109,583252 - 3,341875 \cdot cUPF_{im} + 11,056427 \cdot cC_m + 3,194160 \cdot cUPF_{im}^2 - 3,557473 \cdot cC_m^2 \quad R^2 = 93,96\%$$

En primer lugar, se puede observar que en el modelo no existe ningún término significativo que incluya a la variable categórica $Q2_m$, por lo que el tipo de blanqueador óptico utilizado no tiene ninguna influencia significativa sobre el grado de blanco obtenido en los tejidos tratados.

En el modelo han resultado significativos los efectos simples $cUPF_{im}$ y cC_m , con signo negativo el primero y positivo el segundo, que indican que el grado de blanco disminuye al aumentar el UPF inicial del tejido, aunque de forma casi imperceptible atendiendo al valor de los coeficientes asociados a los distintos términos que contienen el factor $cUPF_{im}$, y aumenta al incrementarse la concentración de blanqueador óptico.

Asimismo, han resultado significativos el término cuadrático $cUPF_{im}^2$ con signo positivo que producirá una aceleración en el incremento de la respuesta al aumentar el nivel de la variable $cUPF_{im}$, y el término cuadrático cC_m^2 con coeficiente de signo negativo que producirá una deceleración en el aumento del valor de la respuesta más acusada a medida que aumenta el valor de esta variable.

Cabe remarcar que la influencia de la variable UPF inicial del tejido sólo será realmente apreciable para valores de la variable cercanos a -1 . Para valores cercanos a 0 o a 1 , el coeficiente del efecto simple prácticamente se anula con el coeficiente del término cuadrático de esta variable.

Al descodificar, se obtiene el modelo siguiente en variables originales:

$$W_m = 114,182710 - 3,078461 \cdot UPF_{im} + 48,456995 \cdot C_m + 0,117946 \cdot UPF_{im}^2 - 25,297586 \cdot C_m^2$$

5.3.1.2.10.3. Superficies de respuesta y curvas de nivel

En la Figura 5.11 se han representado las superficies de respuesta y las curvas de nivel de la respuesta Grado de Blanco ISO (W) en función de las dos variables codificadas del sistema, $cUPF_{im}$ y cC_m , obtenidas según el modelo único estimado para los blanqueadores ópticos C.I. Fluorescent Brightener 252 y C.I. Fluorescent Brightener 351. Se representan las curvas de superficie y nivel para incrementos de 5 puntos del valor de la respuesta W .

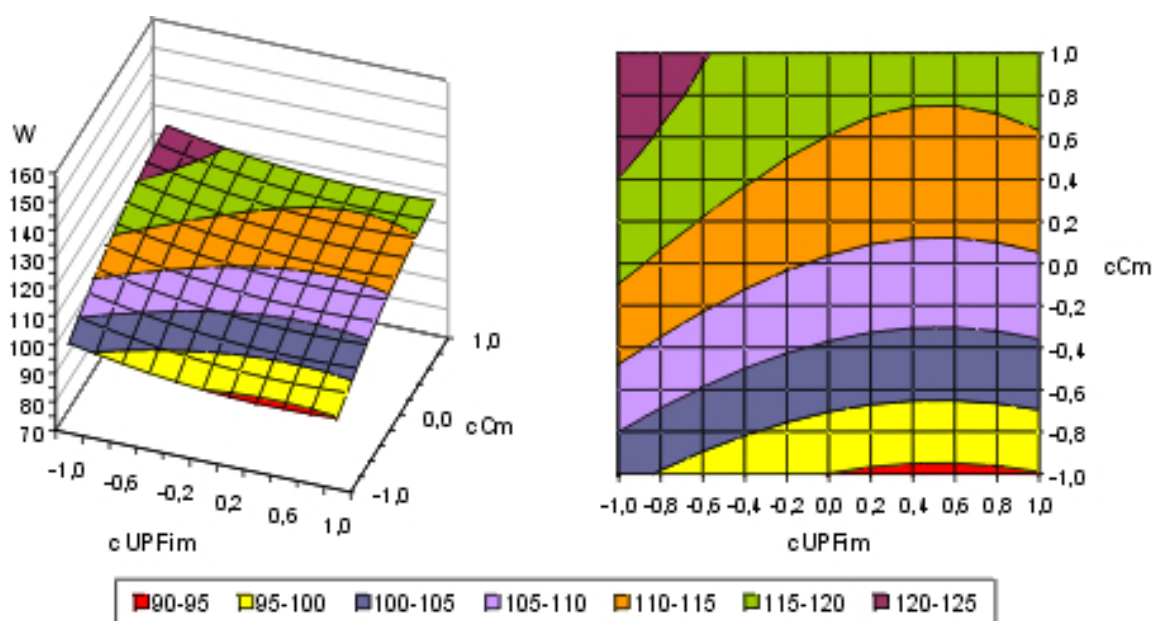


Figura 5.17. Superficies de respuesta y curvas de nivel, tejidos de Modal

También en el caso de los tejidos de Modal se aprecia, en las superficies de respuesta y curvas de nivel del modelo estimado, una influencia de ambas variables $cUPF_m$ y cC_m sobre el valor de la respuesta Grado de Blanco ISO. En este caso, las curvas también tienen una tendencia a situarse en una posición más horizontal, lo que indicaría que la variable cC_m tiene una mayor influencia en el valor de la respuesta W , aunque esta tendencia es menos notable que para los tejidos de Algodón. En los tejidos de Modal es algo más apreciable la contribución de la variable UPF inicial del tejido, $cUPF_m$, aunque a efectos prácticos tampoco en este caso dicha influencia es muy notable.

Para esta serie de tejidos se ha obtenido el mismo modelo para los dos blanqueadores utilizados, no se ha encontrado una influencia significativa del tipo de producto en el valor de la respuesta Grado de Blanco ISO.

5.3.1.2.11. Modelización de la respuesta Grado de Blanco ISO en los tejidos de Modal Sun blanqueados

5.3.1.2.11.1. Estimación de los coeficientes del modelo, significación del modelo y gráficos de residuos de la respuesta y probabilístico normal

En la tabla siguiente se presentan los términos que resultan significativos y sus coeficientes, una vez realizada la regresión paso a paso en el análisis estadístico de los datos obtenidos en la medida del Grado de Blanco ISO de los tejidos de Modal Sun blanqueados. Se obtiene una R^2 de valor muy alto (99,37%).

5.3.1.2.11.2. Modelo definitivo

El modelo definitivo que estima el valor de la respuesta W_{ms} en función del UPF inicial del tejido y de la concentración de blanqueador óptico, es el siguiente en variables codificadas:

$$\begin{aligned}
 W_{ms} = & 112,118457 + 4,217621 \cdot Q_{2ms} + \\
 & + 1,832102 \cdot cUPF_{ims} - 1,865038 \cdot Q_{2ms} \cdot cUPF_{ims} + \\
 & + 15,047945 \cdot cC_{ms} - \\
 & - 2,640302 \cdot cC_{ms}^2 - 4,616229 \cdot Q_{2ms} \cdot cC_{ms}^2 + \\
 & + 1,724424 \cdot cUPF_{ims}^2 \cdot cC_{ms}
 \end{aligned}
 \quad R^2 = 99,37\%$$

En el modelo se puede observar que existen términos significativos que incluyen a la variable categórica Q_{2ms} , por lo que el valor de la respuesta W_{ms} estimado será diferente para cada blanqueador óptico estudiado.

En el modelo ha resultado significativo el efecto simple $cUPF_{ims}$, con valor positivo en el caso del blanqueador C.I. Fluorescent Brightener 252 y negativo para el C.I. Fluorescent Brightener 351. También con un coeficiente positivo bastante mayor, es significativo el efecto simple cC_{ms} , por lo que el valor de la respuesta Grado de Blanco crecerá de forma más rápida cuando aumente el valor de esta variable.

Asimismo ha resultado significativo el término cuadrático cC_{ms}^2 con un coeficiente de signo negativo que producirá una deceleración en el aumento del valor de la respuesta más acusada a medida que aumenta el valor de la variable. También tiene un coeficiente significativo de signo positivo el término $cUPF_{ims}^2 \cdot cC_{ms}$, que provocará una aceleración en el aumento del Grado de Blanco más acusada a medida que aumenta el UPF inicial del tejido, siendo este efecto aumentado a la vez para valores mayores de cC_{ms} .

Al separar el modelo obtenido en función del valor de la variable categórica Q_{2ms} , se obtienen los siguientes modelos individuales para cada blanqueador óptico:

- C.I. Fluorescent Brightener 252: $Q_{2ms} = 0$

$$\begin{aligned}
 W_{ms} = & 112,118457 + 1,832102 \cdot cUPF_{ims} + 15,047945 \cdot cC_{ms} - 2,640302 \cdot cC_{ms}^2 + \\
 & + 1,724424 \cdot cUPF_{ims}^2 \cdot cC_{ms}
 \end{aligned}$$

- C.I. Fluorescent Brightener 351: $Q_{2ms} = 1$

$$\begin{aligned}
 W_{ms} = & 116,336078 - 0,032936 \cdot cUPF_{ims} + 15,047945 \cdot cC_{ms} - 7,256531 \cdot cC_{ms}^2 + \\
 & + 1,724424 \cdot cUPF_{ims}^2 \cdot cC_{ms}
 \end{aligned}$$

Los modelos en variables originales serán los siguientes:

- C.I. Fluorescent Brightener 252:

$$W_{ms} = 76,892178 + 1,498995 \cdot UPF_{ms} + 87,777515 \cdot C_{ms} - 3,340520 \cdot UPF_{ms} \cdot C_{ms} - 0,031165 \cdot UPF_{ms}^2 - 18,775481 \cdot C_{ms}^2 + 0,083108 \cdot UPF_{ms}^2 \cdot C_{ms}$$

- C.I. Fluorescent Brightener 351:

$$W_{ms} = 81,53257 + 1,248267 \cdot UPF_{ms} + 112,397403 \cdot C_{ms} - 3,340520 \cdot UPF_{ms} \cdot C_{ms} - 0,031165 \cdot UPF_{ms}^2 - 51,601998 \cdot C_{ms}^2 + 0,083108 \cdot UPF_{ms}^2 \cdot C_{ms}$$

5.3.1.2.11.3. Superficies de respuesta y curvas de nivel

En la Figura 5.13 se han representado las superficies de respuesta y las curvas de nivel de la respuesta Grado de Blanco ISO (W) en función de las dos variables codificadas del sistema, $cUPF_{ms}$ y cC_{ms} , obtenidas según el modelo estimado para los dos blanqueadores ópticos C.I. Fluorescent Brightener 252 y C.I. Fluorescent Brightener 351. Se representan las curvas de superficie y nivel para incrementos de 5 puntos del valor de la respuesta W .

Las superficies de respuesta y curvas de nivel obtenidas según los modelos estimados para la serie de tejidos de Modal Sun, muestran también que ambas variables $cUPF_{ms}$ y cC_{ms} tienen influencia sobre el valor de la respuesta Grado de Blanco ISO, siendo mucho más notable el efecto producido por la variable cC_{ms} que el producido por la variable $cUPF_{ms}$. Se puede observar que las líneas tienen una marcada tendencia a seguir una curva casi horizontal, sobretodo en el tratamiento con el C.I. Fluorescent Brightener 351, con lo que si se varía el valor de $cUPF_{ms}$, para una misma concentración cC_{ms} , el valor del Grado de Blanco será muy similar. En el caso del producto C.I. Fluorescent Brightener 252, las curvas son menos horizontales indicando una mayor influencia de la variable $cUPF_{ms}$ cuando los tejidos se tratan con dicho blanqueador. En cambio, si se varía el valor de cC_{ms} , para un mismo UPF inicial, tanto usando un blanqueador como el otro, el incremento en el valor de la respuesta Grado de Blanco será mucho más perceptible.

Se obtienen resultados diferentes en función del tipo de blanqueador utilizado, aunque la diferencia entre ambos es poco importante. Los grados de blanco son significativamente diferentes desde el punto de vista matemático, pero las diferencias serán prácticamente inapreciables desde el punto de vista de la aplicación textil.

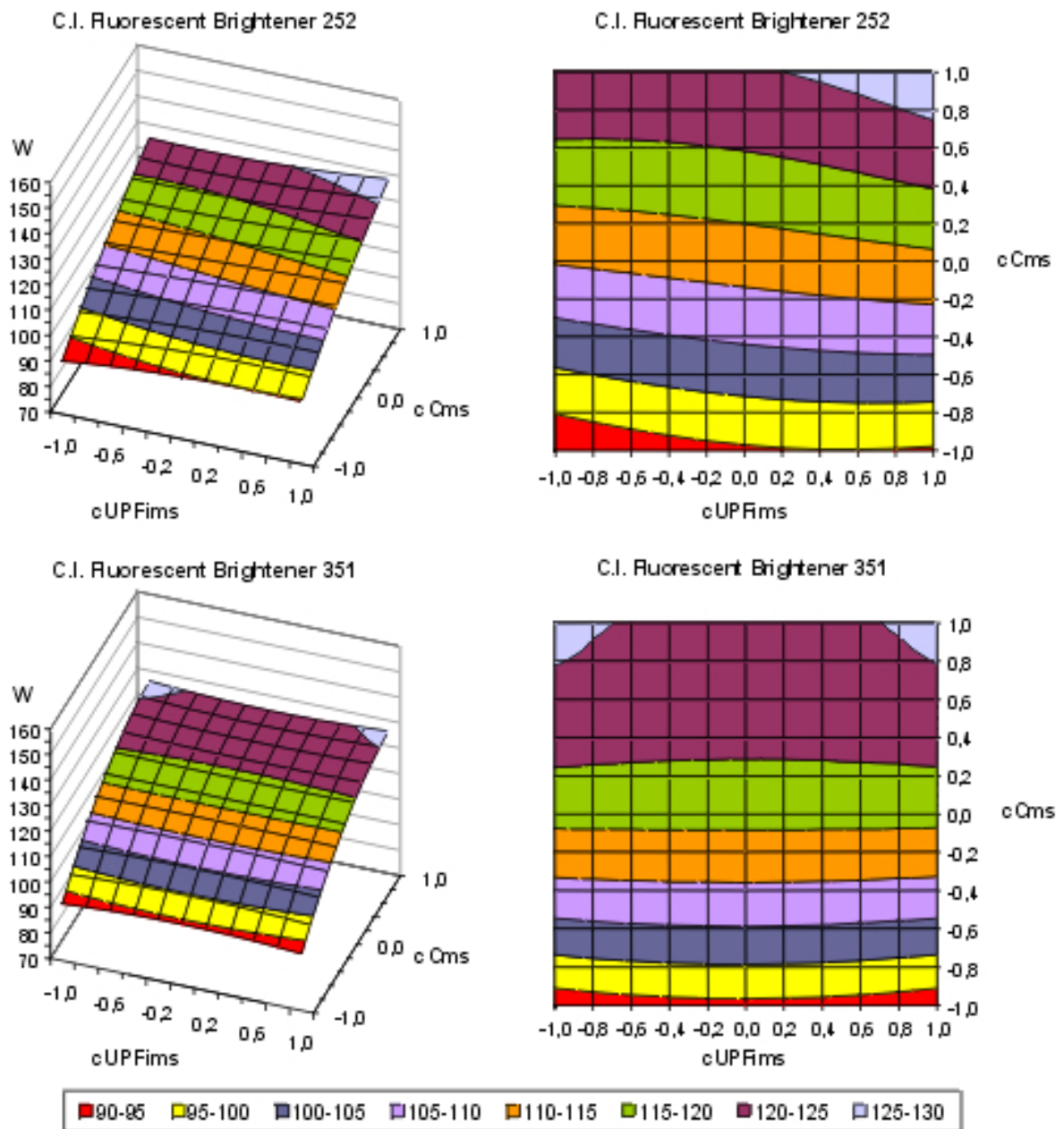


Figura 5.19. Superficies de respuesta y curvas de nivel, tejidos de Modal Sun

5.3.2. Consideraciones para la elección de las condiciones óptimas de tratamiento

La elección de las condiciones óptimas de tratamiento debe tener en cuenta que se busca el poder utilizar el blanqueo óptico de los tejidos como una herramienta para mejorar la protección que proporcionan contra los efectos nocivos para la piel de la radiación ultravioleta. Sin embargo, no debe olvidarse que el objetivo primero del tratamiento con blanqueadores ópticos es la obtención de una blancura adecuada para la

comercialización de los tejidos blancos, por lo que el conseguir un buen UPF no debe repercutir negativamente en esta propiedad.

En el caso del blanqueo de los tejidos utilizados en esta tesis, fabricados con las fibras de Algodón, Modal y Modal Sun, no es difícil cumplir con el doble objetivo antes expuesto. El tratamiento con cualquiera de los blanqueadores ópticos utilizados permite obtener un buen grado de blanco sobre los tejidos, a la vez que contribuye al bloqueo de la radiación ultravioleta que incide sobre ellos.

En general, ambos efectos se ven incrementados notablemente por la concentración del blanqueador óptico utilizado. A medida que aumenta la concentración del blanqueador óptico se mejora tanto el grado de blanco como el UPF de los tejidos. Únicamente en el caso del blanqueo de los tejidos de Algodón se puede producir un efecto adverso de las altas concentraciones de los productos en la blancura conseguida. Este resultado no es extraordinario. Es ampliamente conocido en la industria textil que un exceso de blanqueador óptico puede producir un efecto contrario al deseado en la blancura final de los tejidos. En este caso, la elección de la concentración de blanqueador óptico debe ser la adecuada para conseguir el mayor factor de protección posible sin que se produzca una disminución en el valor del grado de blanco ISO. En el blanqueo de los tejidos de Modal y Modal Sun este problema no se produce, al menos dentro de los intervalos de concentración de blanqueador óptico utilizados en la presente experimentación, probablemente debido a que el tratamiento de estos tejidos es menos eficaz para la mejora del grado de blanco. Aunque se han utilizado los mismos productos y las mismas concentraciones en el tratamiento de todos los tejidos, el grado de blanco alcanzado en los tejidos de Algodón es notablemente superior al conseguido en los tejidos de Modal y Modal Sun, llegándose a la saturación en el blanqueo de los primeros, pero no en el blanqueo de los últimos.

La influencia del UPF inicial del tejido tiene una gran importancia en la mejora del UPF final de los mismos. Ha quedado demostrado en este capítulo que es imposible obtener una mínima protección ($UPF \geq 15$) mediante el blanqueo óptico de los tejidos si no se parte de una estructura mínimamente compacta del tejido. También para obtener mayores niveles de protección ($UPF \geq 25$ o $UPF \geq 40$) se deberá escoger adecuadamente el tejido crudo al que se le realizará el tratamiento con blanqueadores ópticos. Aunque en algunas ocasiones la compacidad del tejido puede incidir de forma negativa sobre el grado de blanco alcanzado, el problema no es importante desde el punto de vista práctico. Las diferencias en el grado de blanco causadas por el uso de un tejido más o menos compacto no serán fácilmente apreciables a simple vista y no producirán ningún problema comercial. Más decisoria que la pequeña variación del valor grado de blanco a la hora de escoger el tejido inicial, será la compacidad del mismo que tendrá que ser la adecuada para la función de la prenda y que influirá sobre su confortabilidad para su uso en la temporada de verano. La concentración de blanqueador

óptico puede entonces convertirse en una variable decisiva para poder rebajar el valor de la compacidad del tejido (es decir, su UPF inicial) necesaria para obtener un determinado nivel de protección contra la radiación ultravioleta.

Como última consideración cabe destacar que los resultados obtenidos son muy similares si se utiliza para el tratamiento el blanqueador óptico C.I. Fluorescent Brightener 252 o el C.I. Fluorescent Brightener 351. Aunque se obtienen modelos significativamente diferentes desde el punto de vista estadístico, a efectos prácticos las diferencias no serán muy apreciables, ni en el valor del UPF ni en la blancura del tejido. Por lo tanto, se podrá elegir el tipo de blanqueador utilizado dependiendo de otras consideraciones como disponibilidad, coste, etc.

En todo caso, la combinación de las variables del sistema, permitirá la obtención de tejidos con un determinado nivel de protección, compacidad y blancura, que se ajuste lo más posible a los requerimientos específicos de cada prenda. Las posibilidades de combinación son muy numerosas. Como ejemplo, en la Tabla 5.22, la Tabla 5.23 y la Tabla 5.24 se han representado valores de UPF y de W, estimados según los modelos obtenidos para cada una de las fibras y blanqueadores ópticos. Se ha utilizado un código de colores, que se expone a continuación, para facilitar el encontrar las condiciones necesarias para obtener un mínimo de protección, o bien una buena protección o una protección excelente, en combinación con un determinado grado de blanco ISO.

- UPF < 15: tejido no protector
- $15 \leq \text{UPF} < 25$: tejido que proporciona buena protección
- $25 \leq \text{UPF} < 40$: tejido que proporciona muy buena protección
- $\text{UPF} \geq 40$: tejido que proporciona protección excelente

- Grado de blanco en aumento con la concentración de blanqueador
- Grado de blanco en descenso con la concentración de blanqueador

C.I. Fluorescent Brightener 252		UPF inicial																					
		4,06	4,35	4,63	4,92	5,20	5,49	5,78	6,06	6,35	6,63	6,92											
Concentración	0,00	3,2	4,3	5,2	6,0	6,6	7,1	7,3	7,4	7,3	7,0	6,5	75,6'	78,6'	81,0'	82,7'	83,7'	84,0'	83,7'	82,7'	81,0'	78,7'	75,7'
	0,08	4,9	5,8	6,6	7,5	8,5	9,4	10,4	11,4	12,4	13,5	14,6	93,4'	96,4'	98,8'	100,4'	101,4'	101,8'	101,4'	100,4'	98,8'	96,4'	93,4'
	0,15	6,4	7,2	8,1	9,3	10,7	12,3	14,2	16,3	18,6	21,1	23,9	108,6'	111,6'	113,9'	115,6'	116,6'	117,0'	116,6'	115,6'	114,0'	111,6'	108,6'
	0,23	7,7	8,5	9,7	11,3	13,3	15,8	18,7	22,0	25,8	29,9	34,5	121,2'	124,2'	126,5'	128,2'	129,2'	129,6'	129,2'	128,2'	126,6'	124,2'	121,2'
	0,30	8,8	9,7	11,3	13,5	16,3	19,8	23,9	28,6	33,9	39,9	46,5	131,2'	134,2'	136,6'	138,2'	139,2'	139,6'	139,3'	138,2'	136,6'	134,2'	131,2'
	0,38	9,6	10,9	13,0	16,0	19,7	24,3	29,8	36,0	43,1	51,0	59,8	138,6'	141,6'	144,0'	145,7'	146,7'	147,0'	146,7'	145,7'	144,0'	141,7'	138,7'
	0,45	10,2	12,0	14,8	18,7	23,5	29,4	36,3	44,3	53,3	63,3	74,4	143,5'	146,5'	148,8'	150,5'	151,5'	151,9'	151,5'	150,5'	148,9'	146,5'	143,5'
	0,53	10,6	13,0	16,7	21,6	27,7	35,0	43,6	53,4	64,5	76,7	90,3	145,7'	148,8'	151,1'	152,8'	153,8'	154,1'	153,8'	152,8'	151,1'	148,8'	145,8'
	0,60	10,8	14,0	18,6	24,7	32,3	41,2	51,6	63,4	76,7	91,3	107,5	145,4'	148,4'	150,8'	152,5'	153,5'	153,8'	153,5'	152,5'	150,8'	148,5'	145,5'
	0,68	10,7	14,9	20,7	28,1	37,2	47,9	60,3	74,2	89,8	107,1	126,0	142,5'	145,5'	147,9'	149,6'	150,6'	150,9'	150,6'	149,6'	147,9'	145,6'	142,5'
0,75	10,4	15,7	22,8	31,7	42,5	55,2	69,6	85,9	104,0	124,0	145,8	137,0'	140,1'	142,4'	144,1'	145,1'	145,4'	145,1'	144,1'	142,4'	140,1'	137,1'	

C.I. Fluorescent Brightener 351		UPF inicial																					
		4,06	4,35	4,63	4,92	5,20	5,49	5,78	6,06	6,35	6,63	6,92											
Concentración	0,00	3,7	4,6	5,4	6,0	6,6	7,1	7,4	7,6	7,7	7,7	7,6	84,8'	84,5'	84,3'	84,1'	84,0'	84,0'	84,0'	84,1'	84,3'	84,5'	84,8'
	0,07	5,0	5,9	6,8	7,6	8,5	9,3	10,0	10,8	11,5	12,3	12,9	99,7'	100,1'	100,4'	100,5'	100,7'	100,7'	100,7'	100,5'	100,4'	100,1'	99,8'
	0,14	6,2	7,2	8,3	9,4	10,6	11,9	13,3	14,7	16,2	17,8	19,5	112,5'	113,4'	114,2'	114,7'	115,0'	115,1'	115,0'	114,7'	114,2'	113,4'	112,5'
	0,21	7,2	8,4	9,8	11,4	13,2	15,1	17,1	19,4	21,8	24,4	27,1	123,0'	124,5'	125,7'	126,6'	127,1'	127,3'	127,1'	126,6'	125,8'	124,5'	123,0'
	0,28	7,9	9,6	11,5	13,6	16,0	18,7	21,6	24,8	28,2	31,9	35,9	131,2'	133,4'	135,1'	136,3'	137,0'	137,2'	137,0'	136,3'	135,1'	133,4'	131,2'
	0,35	8,5	10,6	13,1	16,0	19,2	22,8	26,7	30,9	35,6	40,5	45,8	137,2'	140,0'	142,1'	143,7'	144,6'	144,9'	144,6'	143,7'	142,1'	140,0'	137,2'
	0,42	8,9	11,7	14,9	18,6	22,7	27,3	32,4	37,8	43,7	50,1	56,9	140,9'	144,3'	146,9'	148,8'	150,0'	150,4'	150,0'	148,9'	147,0'	144,3'	140,9'
	0,49	9,0	12,6	16,7	21,4	26,6	32,4	38,6	45,5	52,8	60,7	69,1	142,4'	146,4'	149,5'	151,7'	153,1'	153,5'	153,1'	151,8'	149,5'	146,4'	142,4'
	0,56	9,0	13,5	18,6	24,4	30,8	37,9	45,5	53,8	62,7	72,3	82,5	141,6'	146,2'	149,8'	152,4'	154,0'	154,5'	154,0'	152,4'	149,8'	146,2'	141,6'
	0,63	8,8	14,3	20,6	27,6	35,4	43,8	53,0	62,9	73,5	84,9	97,0	138,5'	143,8'	147,9'	150,8'	152,6'	153,1'	152,6'	150,8'	147,9'	143,8'	138,6'
0,70	8,3	15,1	22,7	31,0	40,2	50,3	61,1	72,8	85,2	98,5	112,6	133,3'	139,1'	143,7'	147,0'	148,9'	149,6'	148,9'	147,0'	143,7'	139,2'	133,3'	

Tabla 5.22. Estimación del UPF y del W según los modelos obtenidos para los tejidos de Algodón blanqueados

C.I. Fluorescent Brightener 252		UPF inicial																						
		5,12	6,16	7,20	8,24	9,28	10,33	11,37	12,41	13,45	14,49	15,53												
Concentración	0,00	5,3	6,3	7,2	8,2	9,2	10,1	11,1	12,1	13,0	14,0	14,9	101,5	99,7	98,1	96,8	95,8	95,0	94,4	94,1	94,1	94,3	94,8	
	0,08	7,4	9,0	10,6	12,2	13,8	15,4	17,0	18,6	20,2	21,8	23,4	105,0	103,2	101,6	100,3	99,3	98,5	97,9	97,6	97,6	97,6	97,8	98,3
	0,15	9,0	11,3	13,5	15,8	18,0	20,3	22,5	24,8	27,0	29,3	31,5	108,2	106,4	104,8	103,5	102,5	101,7	101,1	100,8	100,8	100,8	101,0	101,5
	0,23	10,4	13,3	16,2	19,0	21,9	24,8	27,7	30,6	33,5	36,4	39,2	111,1	109,3	107,8	106,4	105,4	104,6	104,1	103,8	103,7	103,7	104,0	104,4
	0,30	11,4	14,9	18,4	22,0	25,5	29,0	32,5	36,1	39,6	43,1	46,6	113,8	112,0	110,4	109,1	108,0	107,2	106,7	106,4	106,4	106,4	106,6	107,1
	0,38	12,0	16,2	20,3	24,5	28,7	32,8	37,0	41,2	45,3	49,5	53,7	116,1	114,3	112,7	111,4	110,4	109,6	109,0	108,8	108,7	108,7	109,0	109,4
	0,45	12,3	17,1	21,9	26,7	31,5	36,3	41,1	45,9	50,8	55,6	60,4	118,2	116,4	114,8	113,5	112,5	111,7	111,1	110,8	110,8	110,8	111,0	111,5
	0,53	12,2	17,7	23,1	28,6	34,0	39,5	44,9	50,4	55,8	61,3	66,7	120,0	118,2	116,6	115,3	114,2	113,4	112,9	112,6	112,6	112,6	112,8	113,3
	0,60	11,8	17,9	24,0	30,1	36,2	42,3	48,4	54,4	60,5	66,6	72,7	121,5	119,7	118,1	116,8	115,7	114,9	114,4	114,1	114,1	114,1	114,3	114,8
	0,68	11,1	17,8	24,5	31,3	38,0	44,7	51,4	58,2	64,9	71,6	78,3	122,7	120,9	119,3	118,0	117,0	116,2	115,6	115,3	115,3	115,3	115,5	116,0
	0,75	10,0	17,3	24,7	32,1	39,4	46,8	54,2	61,5	68,9	76,3	83,6	123,6	121,8	120,2	118,9	117,9	117,1	116,5	116,3	116,2	116,2	116,5	116,9

C.I. Fluorescent Brightener 351		UPF inicial																						
		5,12	6,16	7,20	8,24	9,28	10,33	11,37	12,41	13,45	14,49	15,53												
Concentración	0,00	4,4	6,6	8,4	10,1	11,4	12,5	13,4	13,9	14,2	14,3	14,1	101,5	99,7	98,1	96,8	95,8	95,0	94,4	94,1	94,1	94,3	94,8	
	0,07	5,0	7,8	10,3	12,5	14,4	16,1	17,6	18,7	19,6	20,3	20,7	104,8	103,0	101,4	100,1	99,0	98,2	97,7	97,4	97,4	97,4	97,6	98,1
	0,14	5,7	9,1	12,2	14,9	17,5	19,8	21,8	23,6	25,1	26,4	27,3	107,8	106,0	104,4	103,1	102,1	101,3	100,7	100,4	100,4	100,4	100,6	101,1
	0,21	6,5	10,5	14,1	17,6	20,7	23,6	26,2	28,6	30,7	32,5	34,1	110,6	108,8	107,2	105,9	104,8	104,0	103,5	103,2	103,2	103,2	103,4	103,9
	0,28	7,4	11,9	16,2	20,2	24,0	27,5	30,7	33,6	36,3	38,8	41,0	113,1	111,3	109,7	108,4	107,4	106,6	106,0	105,7	105,7	105,7	105,9	106,4
	0,35	8,4	13,5	18,4	23,0	27,3	31,4	35,2	38,8	42,1	45,1	47,9	115,4	113,6	112,0	110,7	109,6	108,8	108,3	108,0	108,0	108,0	108,2	108,7
	0,42	9,4	15,1	20,6	25,8	30,8	35,5	39,9	44,0	47,9	51,6	54,9	117,4	115,6	114,0	112,7	111,7	110,9	110,3	110,0	110,0	110,0	110,2	110,7
	0,49	10,6	16,9	23,0	28,8	34,3	39,6	44,6	49,4	53,8	58,1	62,0	119,2	117,4	115,8	114,5	113,4	112,6	112,1	111,8	111,8	111,8	112,0	112,5
	0,56	11,8	18,7	25,4	31,8	37,9	43,8	49,4	54,8	59,9	64,7	69,2	120,7	118,9	117,3	116,0	115,0	114,2	113,6	113,3	113,3	113,3	113,5	114,0
	0,63	13,1	20,6	27,9	34,9	41,6	48,1	54,3	60,3	65,9	71,4	76,5	122,0	120,2	118,6	117,3	116,3	115,5	114,9	114,6	114,6	114,6	114,8	115,3
	0,70	14,5	22,6	30,5	38,1	45,4	52,5	59,3	65,8	72,1	78,2	83,9	123,0	121,2	119,7	118,3	117,3	116,5	116,0	115,7	115,7	115,6	115,9	116,3

Tabla 5.23. Estimación del UPF y del W según los modelos obtenidos para los tejidos de Modal blanqueados

C.I. Fluorescent Brightener 252		UPF inicial																					
		12,66	14,15	15,64	17,12	18,61	20,10	21,59	23,08	24,56	26,05	27,54											
Concentración	0,00	9,2	14,9	19,9	24,0	27,2	29,6	31,1	31,8	31,6	30,6	28,7	90,9	91,9	92,7	93,4	94,0	94,4	94,7	94,9	94,9	94,8	94,5
	0,08	13,9	20,8	26,8	31,9	36,2	39,6	42,2	44,0	44,9	44,9	44,1	95,2	96,0	96,8	97,4	98,0	98,4	98,7	98,9	99,0	99,0	99,8
	0,15	18,0	25,7	32,6	38,7	43,9	48,3	51,8	54,4	56,2	57,2	57,3	99,3	100,0	100,7	101,2	101,7	102,1	102,5	102,7	102,9	102,9	102,9
	0,23	21,3	29,8	37,5	44,3	50,3	55,4	59,7	63,1	65,7	67,4	68,3	103,2	103,8	104,3	104,8	105,3	105,7	106,0	106,3	106,5	106,7	106,8
	0,30	24,0	33,1	41,4	48,9	55,5	61,2	66,1	70,1	73,3	75,7	77,1	106,8	107,3	107,8	108,2	108,6	109,0	109,4	109,7	110,0	110,2	110,5
	0,38	25,9	35,5	44,3	52,2	59,3	65,5	70,9	75,4	79,1	81,9	83,8	110,3	110,7	111,0	111,4	111,8	112,1	112,5	112,9	113,2	113,6	114,0
	0,45	27,2	37,1	46,2	54,5	61,9	68,4	74,1	78,9	82,9	86,1	88,4	113,5	113,8	114,0	114,3	114,7	115,0	115,4	115,8	116,2	116,7	117,2
	0,53	27,8	37,9	47,2	55,6	63,2	69,9	75,7	80,8	84,9	88,3	90,7	116,6	116,7	116,9	117,1	117,4	117,7	118,1	118,6	119,1	119,6	120,2
	0,60	27,6	37,8	47,1	55,5	63,2	69,9	75,8	80,9	85,1	88,4	90,9	119,4	119,4	119,5	119,6	119,9	120,2	120,6	121,1	121,7	122,3	123,1
	0,68	26,8	36,8	46,0	54,4	61,9	68,5	74,3	79,2	83,3	86,6	88,9	122,0	121,9	121,9	122,0	122,2	122,5	122,9	123,4	124,1	124,8	125,7
	0,75	25,3	35,1	44,0	52,1	59,3	65,7	71,2	75,9	79,7	82,7	84,8	124,4	124,2	124,0	124,1	124,2	124,5	125,0	125,5	126,2	127,1	128,1

C.I. Fluorescent Brightener 351		UPF inicial																					
		12,66	14,15	15,64	17,12	18,61	20,10	21,59	23,08	24,56	26,05	27,54											
Concentración	0,00	9,2	14,9	19,9	24,0	27,2	29,6	31,1	31,8	31,6	30,6	28,7	92,3	93,0	93,4	93,8	94,0	94,0	94,0	93,7	93,4	92,9	92,3
	0,07	13,9	20,8	26,8	31,9	36,2	39,6	42,2	44,0	44,9	44,9	44,1	97,9	98,4	98,8	99,1	99,2	99,3	99,2	99,1	98,8	98,4	97,9
	0,14	18,0	25,7	32,6	38,7	43,9	48,3	51,8	54,4	56,2	57,2	57,3	103,0	103,4	103,7	103,9	104,0	104,1	104,0	103,9	103,6	103,3	102,9
	0,21	21,3	29,8	37,5	44,3	50,3	55,4	59,7	63,1	65,7	67,4	68,3	107,6	107,9	108,1	108,2	108,3	108,3	108,3	108,2	108,0	107,8	107,5
	0,28	24,0	33,1	41,4	48,9	55,5	61,2	66,1	70,1	73,3	75,7	77,1	111,7	111,8	111,9	112,0	112,0	112,1	112,0	112,0	111,9	111,8	111,6
	0,35	25,9	35,5	44,3	52,2	59,3	65,5	70,9	75,4	79,1	81,9	83,8	115,2	115,3	115,3	115,3	115,3	115,3	115,3	115,3	115,2	115,2	115,2
	0,42	27,2	37,1	46,2	54,5	61,9	68,4	74,1	78,9	82,9	86,1	88,4	118,3	118,2	118,1	118,1	118,1	118,0	118,0	118,1	118,1	118,1	118,2
	0,49	27,8	37,9	47,2	55,6	63,2	69,9	75,7	80,8	84,9	88,3	90,7	120,8	120,6	120,5	120,4	120,3	120,3	120,3	120,3	120,4	120,6	120,8
	0,56	27,6	37,8	47,1	55,5	63,2	69,9	75,8	80,9	85,1	88,4	90,9	122,9	122,6	122,3	122,1	122,0	122,0	122,0	122,1	122,3	122,5	122,8
	0,63	26,8	36,8	46,0	54,4	61,9	68,5	74,3	79,2	83,3	86,6	88,9	124,4	124,0	123,7	123,4	123,3	123,2	123,3	123,4	123,6	123,9	124,4
	0,70	25,3	35,1	44,0	52,1	59,3	65,7	71,2	75,9	79,7	82,7	84,8	125,5	124,9	124,5	124,2	124,0	123,9	124,0	124,2	124,4	124,9	125,4

Tabla 5.24. Estimación del UPF y W según los modelos obtenidos para los tejidos de Modal Sun blanqueados

5.4. CONCLUSIONES

La utilización de productos blanqueadores ópticos en el tratamiento de los tejidos destinados a color final blanco, puede ser un medio que incremente la protección proporcionada por los tejidos contra la radiación ultravioleta.

- La transmisión difusa de radiación ultravioleta a través de los tejidos disminuye al aplicar cualquiera de los blanqueadores ópticos estudiados sobre cualquiera de los tipos de fibras estudiados.
- La forma de los espectros de transmisión difusa de radiación ultravioleta a través de los tejidos blanqueados viene determinada por la combinación de los espectros de transmisión de la fibra y de absorción de los blanqueadores ópticos.
- El máximo de absorción de radiación ultravioleta de disoluciones de los dos blanqueadores ópticos se sitúa en la zona del UVA, a aproximadamente 350 nm, es decir, fuera del intervalo de longitud de onda que se consideraría óptimo para la mejora del UPF de los tejidos, entre 290 y 320 nm. Sin embargo, existe una cierta absorción de radiación dentro de dicho intervalo, que podría permitir una disminución en la transmitancia de radiación ultravioleta a través de los tejidos tratados con los blanqueadores ópticos. En este intervalo el C.I. Fluorescent Brightener 252 presenta una mayor absorción de radiación, lo que hace intuir que este blanqueador óptico será más efectivo en el bloqueo de la radiación ultravioleta.
- La aplicación del blanqueador óptico C.I. Fluorescent Brightener 252 hace disminuir la transmitancia propia del tejido en mayor grado en la zona del UVA, mientras que en la zona del UVB la diferencia de transmisión entre las curvas de los tejidos tratados y no tratados es menor.
- En la zona UVB, a medida que la longitud de onda va aumentando, la transmisión de radiación ultravioleta a través de los tejidos tratados se va incrementando también hasta llegar a un máximo a 305 nm aproximadamente, para luego ir disminuyendo a partir de esta longitud de onda. Esta tendencia es fácilmente apreciable en los tejidos de Algodón y Modal y no tan apreciable en los tejidos de Modal Sun, ya que hasta 350 – 360 nm el efecto bloqueador de la propia fibra es tan importante que enmascara el efecto del producto, manteniéndose las curvas de los tejidos tratados con una forma casi plana.
- La transmitancia sigue disminuyendo en la región del UVA hasta llegar aproximadamente a 350 nm, longitud de onda a partir de la cual va aumentando con la longitud de onda de la radiación.
- Estos resultados coinciden con las apreciaciones observadas en el espectro de absorción de la disolución de este producto blanqueador óptico. En dicho

espectro se observa una menor absorbancia en la zona del UVB, que va creciendo a medida que aumenta la longitud de onda en la zona del UVA. También se aprecia en el mismo un mínimo de absorción en la zona del UVB (~305 nm) y un máximo de absorción de radiación ultravioleta en la zona del UVA (~350 nm).

- También el uso del blanqueador óptico C.I. Fluorescent Brightener 351 hace disminuir la transmitancia propia de la fibra en mayor grado en la zona del UVA que en la zona del UVB.
 - Los tejidos tratados con el C.I. Fluorescent Brightener 351 presentan curvas de transmisión generalmente decreciente con la longitud de onda, en toda la región del UVB. De igual modo que para el otro blanqueador, entre 290 y 350 – 360 nm el efecto bloqueador propio de la fibra de Modal Sun es tan importante que enmascara el efecto del producto, manteniéndose las curvas de los tejidos tratados con una forma casi plana.
 - La transmitancia sigue disminuyendo en la región del UVA hasta llegar aproximadamente a 360 nm, longitud de onda a partir de la cual la transmitancia va aumentando con la longitud de onda de la radiación.
 - Estos resultados coinciden con las apreciaciones observadas en el espectro de absorción de la disolución de este producto blanqueador óptico, en el que se observa una menor absorbancia en la zona del UVB, que va creciendo a medida que aumenta la longitud de onda en la zona del UVA, zona en la que se aprecia un máximo de absorción de radiación ultravioleta.
- Para los dos blanqueadores ópticos utilizados, la transmisión difusa de radiación ultravioleta a través de los tejidos disminuye, en general, cuando aumenta la concentración del producto aplicado sobre los tejidos. Al disminuir la transmisión, el factor de protección a la radiación ultravioleta UPF aumenta al incrementarse la concentración de blanqueador óptico.
- La aplicación de blanqueadores ópticos en los tejidos de Algodón, de Modal o de Modal Sun, permite la obtención de tejidos ligeros para su uso en prendas de verano que pueden proporcionar niveles de buena protección ($15 \leq \text{UPF} < 25$), muy buena protección ($25 \leq \text{UPF} < 40$) y protección excelente ($\text{UPF} \geq 40$).
- El nivel de protección alcanzado, sin embargo, depende de todas las variables que se han considerado en el estudio: del tipo de fibra utilizado, del tipo de blanqueador utilizado, de la concentración de blanqueador óptico y del UPF inicial del tejido antes del tratamiento (de la estructura del tejido antes del tratamiento). Para obtener tejidos protectores, será necesario combinar valores mínimos de estas variables:

- Cuando se utilizan tejidos con el UPF inicial más bajo de cada serie, el aumento de la protección contra la radiación ultravioleta que se consigue mediante el uso de los blanqueadores ópticos es muy limitado. Únicamente en el caso del tratamiento de los tejidos de Modal Sun, en el que se parte de un tejido con un UPF inicial ya bastante cercano a 15, se consigue que la pequeña mejora sea suficiente para clasificar a los tejidos como protectores. Es decir, el tratamiento con blanqueadores ópticos de los tejidos más abiertos y ligeros no es un medio suficiente para proporcionar una mejora de las propiedades protectoras contra la radiación ultravioleta de los tejidos. Será necesaria una mínima compacidad de los tejidos para que el tratamiento con blanqueadores sea eficaz en este sentido.
- El tratamiento con blanqueadores ópticos de tejidos con UPF iniciales mayores permite la obtención de tejidos protectores con niveles de buena, muy buena y excelente protección, si se combinan adecuadamente el UPF inicial y la concentración de blanqueador óptico en el tratamiento.
- Para alcanzar un determinado nivel de protección, el uso de un UPF inicial mayor permitirá rebajar la concentración del blanqueador óptico utilizada y viceversa.
- En general, el blanqueador C.I. Fluorescent Brightener 252 se muestra ligeramente más eficaz en la mejora del UPF de los tejidos.
- No debe olvidarse, sin embargo, que el obtener una buena protección no debe ser incompatible con la eficacia del tratamiento en su objetivo principal, que es el proporcionar un nivel de blancura adecuado en los tejidos.
 - La aplicación de cualquiera de los productos estudiados sobre los tejidos de Algodón, Modal y Modal Sun, proporciona un aumento adecuado del grado de blanco ISO de los tejidos.
 - El grado de blancura alcanzado mediante el tratamiento de los tejidos de Algodón es notablemente más elevado que el que se obtiene en el tratamiento de los tejidos de Modal y Modal Sun.
 - En general, el grado de blanco aumenta al aumentar la concentración del blanqueador óptico. Únicamente en el tratamiento de los tejidos de Algodón con el C.I. Fluorescent Brightener 351, se observa una disminución del grado de blanco ISO cuando se utilizan las concentraciones más elevadas del producto.
- Mediante el análisis estadístico de los datos obtenidos, se ha podido obtener un modelo para cada tipo de fibra estudiado que cuantifica el UPF en función de los parámetros que intervienen en el estudio de la influencia del tratamiento con blanqueadores ópticos: tipo de blanqueador óptico, su concentración y el UPF inicial de los tejidos.

- Los modelos estimados para cada una de las fibras estudiadas han obtenido un coeficiente de determinación R^2 de valor muy elevado para los tejidos de Algodón (99,9%) y Modal (99,4%) y algo menor (95,7%) en el modelo para Modal Sun.
- Los modelos demuestran que, para todos los tipos de fibras y de productos estudiados, el blanqueo óptico de los tejidos tiene influencia sobre el factor de protección a la radiación ultravioleta proporcionado por los mismos, produciendo un incremento en el valor del UPF. El mayor número de términos significativos positivos y los, en general, mayores coeficientes positivos en el modelo indican que la influencia del tratamiento con blanqueadores ópticos es más notable en los tejidos de Algodón.
- La influencia del tipo de blanqueador óptico depende notablemente del tipo de fibra con el que están fabricados los tejidos a tratar.
 - El tipo de blanqueador óptico no es una variable que tenga una influencia significativa cuando el tratamiento se realiza sobre los tejidos de Modal Sun.
 - El tipo de blanqueador óptico es una variable significativa cuando el tratamiento se realiza sobre tejidos de Algodón o de Modal. En los tejidos de Algodón, el tratamiento será más efectivo en el aumento del UPF si se realiza con el C.I. Fluorescent Brightener 252, mientras que en los tejidos de Modal será más efectivo el tratamiento con el C.I. Fluorescent Brightener 351.
 - No obstante, cabe destacar que, aunque el tipo de blanqueador sea una variable significativa en algunos casos desde el punto de vista estadístico, las diferencias entre la clasificación obtenida mediante el tratamiento con uno u otro blanqueador no son muy apreciables en la práctica.
- En el tratamiento de los tejidos de Modal Sun con cualquiera de los blanqueadores ópticos estudiados, la variable que tiene más influencia para la mejora del UPF de los tejidos es el UPF inicial del mismo, es decir, la estructura del tejido original. Esta variable ha obtenido los coeficientes positivos de valor más elevado y los coeficientes negativos de valor menos elevado. Igualmente, la variable UPF inicial de los tejidos es la que tiene una mayor influencia en la mejora del UPF, en el caso del tratamiento de los tejidos de Algodón y Modal con el blanqueador óptico C.I. Fluorescent Brightener 252. En cambio, esta variable adquiere una menor importancia que la variable concentración cuando estos tejidos se tratan con el blanqueador óptico C.I. Fluorescent Brightener 351.
 - El incremento causado por el aumento de la variable UPF inicial del tejido sigue una relación no lineal en general. Únicamente sigue una relación lineal en el tratamiento de los tejidos de Modal con el blanqueador C.I. Fluorescent Brightener 252.

- En los tejidos de Algodón tratados con cualquiera de los blanqueadores, el mismo incremento en el UPF inicial, provocará incrementos en el UPF cada vez mayores al aumentar el valor de esta variable, debido al valor elevado del coeficiente del termino cuadrático positivo.
- En los tejidos de Modal tratados con el blanqueador C.I. Fluorescent Brightener 351 y de Modal Sun tratados con cualquiera de los blanqueadores, el efecto causado por el incremento de la variable UPF inicial es el contrario. Un aumento de la variable produce mayores cambios en el UPF para valores bajos, y cambios cada vez menores a medida que el UPF inicial es más alto, hasta hacerse casi inapreciables. En estos casos, el termino cuadrático tiene un coeficiente negativo y de valor muy pequeño.
- Para todos los tipos de fibras y de blanqueadores ópticos estudiados, el aumento de la concentración del producto producirá un incremento en el UPF del tejido. Como se ha indicado anteriormente, la variable concentración es algo más influyente que el UPF inicial sobre el valor del UPF final cuando se tratan los tejidos de Algodón y Modal con el C.I. Fluorescent Brightener 351.
 - El incremento causado por la concentración de blanqueador óptico no es lineal.
 - En los tejidos de Algodón sigue una tendencia parabólica positiva, de forma que el mismo incremento en la concentración, provocará incrementos en el UPF cada vez mayores al aumentar el valor de esta variable.
 - En los tejidos de Modal y Modal Sun también sigue una tendencia parabólica negativa, de forma que un incremento en el valor de la variable produce mayores cambios en el UPF para concentraciones bajas, y cambios menores cuando la concentración va creciendo. En los tejidos de Modal Sun, se observa además una tendencia a llegar a la saturación, punto a partir del cual un aumento de la concentración no producirá una variación significativa en el valor de la respuesta UPF.
- La interacción de las dos variables, UPF inicial del tejido y concentración de blanqueador óptico, contribuye en gran medida en el valor de la respuesta UPF.
 - Para tejidos con UPF inicial bajo, el tratamiento con los blanqueadores ópticos produce muy pequeños incrementos en el UPF final en función de la concentración. Pero a medida que el UPF inicial de los tejidos aumenta también se va haciendo más notable el efecto de la concentración del blanqueador y pequeños incrementos en el valor de esta variable producen muy notables mejoras en la protección que los tejidos proporcionan contra la radiación ultravioleta.

- De igual forma, para concentraciones de blanqueador óptico bajas un aumento en el UPF inicial del tejido no proporcionará un elevado incremento del UPF del mismo, pero a medida que aumenta la concentración, el mismo aumento en el UPF inicial del tejido irá produciendo mayores incrementos en el UPF del tejido.
- A efectos prácticos, el incremento en la protección de los tejidos producido por la concentración de blanqueador óptico depende notablemente del valor del UPF inicial del tejido antes del tratamiento y, por lo tanto, de la estructura del tejido original. La mejora del UPF proporcionada por el tratamiento con blanqueadores ópticos es poco notoria cuando la estructura del tejido original es más abierta y se va haciendo cada vez mayor a medida que se aumenta la compacidad del tejido original. Así, se necesitará tanto un UPF inicial mínimo como una concentración mínima del blanqueador para que los tejidos proporcionen un determinado nivel de protección.
- Los modelos obtenidos permiten estimar el UPF a priori según las variables del sistema, aunque siempre dentro del rango experimental, es decir, con valores de las variables entre los niveles mínimo y máximo que se han utilizado para hallar el modelo. Los modelos también permiten el ajuste de las variables, con numerosas posibilidades de distintas combinaciones, para obtener un UPF determinado.
- Mediante el análisis estadístico de los datos obtenidos, se ha podido asimismo obtener un modelo para cada tipo de fibra estudiado que cuantifica el grado de blanco ISO en función de los parámetros que intervienen en el estudio de la influencia del tratamiento con blanqueadores ópticos: tipo de blanqueador óptico, su concentración y el UPF inicial de los tejidos.
 - Los modelos estimados para cada una de las fibras estudiadas han obtenido una R^2 de valor bastante elevado para los tejidos de Algodón (94,6%) y Modal (94,0%) y muy elevado (99,4%) en el modelo para Modal Sun.
 - La influencia del tipo de blanqueador óptico en el valor del grado de blanco ISO depende del tipo de fibra con el que están fabricados los tejidos a tratar. El tipo de blanqueador óptico no es una variable que tenga una influencia significativa cuando el tratamiento se realiza sobre los tejidos de Modal, pero sí lo es cuando el tratamiento se realiza sobre tejidos de Algodón o de Modal Sun. Para ambas fibras, el grado de blanco será mayor si se utiliza el C.I. Fluorescent Brightener 252. No obstante, aunque en función del tipo de blanqueador utilizado se obtienen resultados significativamente diferentes desde el punto de vista estadístico, la diferencia entre ambos es poco importante a efectos prácticos de su aplicación textil. El uso de uno u otro no produce cambios en la blancura de los tejidos tratados que pudieran ser apreciables a la vista.

- La variable que tiene una mayor influencia en el aumento del grado de blanco ISO de los tejidos es la concentración del blanqueador óptico. El incremento causado por la concentración de blanqueador óptico sigue una tendencia parabólica, de forma que un incremento en el valor de la variable produce mayores cambios en el grado de blanco para concentraciones bajas, y cambios menores cuando la concentración va creciendo. Es decir, se observa una tendencia a llegar a un punto a partir del cual un aumento de la concentración no producirá una variación significativa en el valor de la respuesta W. Esta saturación es especialmente observable en el caso de los tejidos de Algodón.
- El UPF inicial del tejido es poco influyente en el valor de la respuesta W, en general. Son casi imperceptibles las tendencias a una disminución del grado de blanco cuando aumenta el UPF inicial de los tejidos de Modal y a un aumento en los tejidos de Modal Sun tratados con el C.I. Fluorescent Brightener 351.

En la elección de las condiciones óptimas de tratamiento para poder aprovechar el blanqueo óptico de los tejidos como una herramienta para mejorar la protección contra la radiación ultravioleta, no se debe olvidar que el objetivo primero del tratamiento es la obtención de una blancura adecuada para la comercialización de los tejidos blancos, por lo que el conseguir un buen UPF no debe repercutir negativamente en esta propiedad.

- En el blanqueo de los tejidos utilizados en esta tesis, fabricados con las fibras de Algodón, Modal y Modal Sun, no es difícil cumplir con el doble objetivo antes expuesto. El tratamiento con cualquiera de los blanqueadores ópticos utilizados permite obtener un buen grado de blanco sobre los tejidos, y a la vez contribuye al bloqueo de la radiación ultravioleta.
- En general, ambos efectos se ven incrementados notablemente por la concentración del blanqueador óptico utilizado. A medida que aumenta la concentración del blanqueador óptico aumentan tanto el grado de blanco como el UPF de los tejidos. Únicamente en el caso del blanqueo de los tejidos de Algodón se puede producir un efecto adverso de las altas concentraciones de los productos en la blancura conseguida.
- La influencia del UPF inicial del tejido tiene una gran importancia en la mejora del UPF final de los mismos. Ha quedado demostrado en este capítulo que es imposible obtener una mínima protección ($UPF \geq 15$) mediante el blanqueo óptico de los tejidos si no se parte de una estructura mínimamente compacta del tejido. También para obtener mayores niveles de protección ($UPF \geq 25$ o $UPF \geq 40$) se deberá escoger adecuadamente el tejido crudo al que se le realizará el tratamiento con blanqueadores ópticos. Aunque en algunas ocasiones la compacidad del tejido puede incidir de forma negativa sobre el grado de blanco alcanzado, el problema no es importante desde el

punto de vista práctico. Las diferencias en el grado de blanco causadas por el uso de un tejido más o menos compacto no serán fácilmente apreciables.

- Los resultados obtenidos son muy similares si se utiliza para el tratamiento el blanqueador óptico C.I. Fluorescent Brightener 252 o el C.I. Fluorescent Brightener 351. Aunque se obtienen modelos significativamente diferentes desde el punto de vista matemáticos, a efectos prácticos las diferencias no serán muy apreciables, ni en el valor del UPF ni en la blancura del tejido.