

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL



**TINTURA DE FIBRAS DE ALPACA Y SU
CINÉTICA CON COLORANTES ÁCIDOS**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO TEXTIL

PRESENTADO POR:

ETHEL SIMONÉ PALOMINO ZÚÑIGA

LIMA-PERÚ

2007

Esta tesis de Grado se ha realizado gracias a un convenio entre la Escuela de Ingeniería Textil de la Universidad Nacional de Ingeniería y la empresa textil Negociación Lanera del Perú. Se llevó a cabo gracias al apoyo de Clariant S.A. y al Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología Marino Tabusso de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Agradecimientos

Agradezco al Ing. Arquímedes Fuertes por su apoyo académico y asesoría durante el desarrollo de la tesis.

Agradezco al Ing. Idilio Salinas, jefe del Área de tintorería Nelapsa, por brindarme la oportunidad de realizar prácticas en su empresa y por haber hecho posible el convenio firmado entre la Universidad y la empresa.

Agradezco a la Ing. Blanca Angulo, por brindarme la oportunidad de realizar las pruebas de Laboratorio en las instalaciones de Clariant y por sus sugerencias.

Agradezco a la Dra. Doris Zúñiga, por la asesoría brindada en la parte experimental.

Agradezco a la Ing. Carmen Uribe por permitirme realizar las pruebas de control de calidad en el Laboratorio de Global Chemicals S.A. y por las horas dedicadas a la revisión del presente trabajo.

Agradezco a los profesores de la especialidad de ing. química que me ayudaron a resolver algunas etapas de la tesis y en especial al Ing. Jack Zavaleta, por su apoyo en el modelamiento matemático.

Al grupo de Tintorería y Producción de Nelapsa por haberme iniciado en el procesos y la Tintura de Alpaca y Lana.

Al grupo de Clariant y Global Chemicals por haberme enseñado las técnicas necesarias de laboratorio.

A mis padres, y a toda mi familia por su cariño incondicional.

INDICE

I. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1. Introducción.....	2
1.2. Objetivos.....	2
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Materia prima	5
2.1.1. Clasificación de las fibras.....	5
2.1.2. Morfología.....	8
2.1.3. Estructura química.....	15
2.1.4. Propiedades químicas	18
2.2. Preparación a la tintura	21
2.2.1. Lavado de la fibra	21
2.2.2. Tratamiento con encimajes	25
2.2.3. Vaporizado.....	27
2.2.4. Lavado en madejas	27
2.3. Tintura de alpaca con colorantes ácidos	28
2.3.1. Cinética de tintura.....	28
2.3.2. Clasificación de colorantes utilizados para lana.....	33
2.3.3. Propiedades y clasificación de los colorantes ácidos	34
2.3.4. Mecanismo de tintura con colorantes ácidos.....	36
2.3.5. Parámetros de tintura	38
2.3.6. Proceso de tintura	45
2.3.7. Enjuague posterior.....	48
2.3.8. Suavizado.....	48
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	50
3.1. Materiales	51
3.1.1. Colorantes.....	51
3.1.2. Productos químicos y auxiliares	51
3.1.3. Sustrato	52
3.1.4. Máquinas e instrumentos	52
3.1.5. Características de la medición espectral.....	53
3.2. Procedimientos	54
3.2.1. Parámetros que afectan en la absorción de los colorantes ácidos.....	54
3.2.2. Determinación de las curvas de calibración de los colorantes	56
3.2.3. Métodos para hallar la concentración de colorante en tricromía.....	57
3.2.4. Obtención de las curvas de agotamiento de alpaca y lana.....	59

3.2.5. Solideces en alpaca y lana	62
3.2.6. Diferencias de color en alpaca y lana	62
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	64
4.1. Parámetros que afectan en la absorción de los colorantes ácidos.....	65
4.1.1. Efecto de la sal, el igualante y el ph	65
4.1.2. Precipitación de los colorantes y formación de agregados y complejos	70
4.1.3. Efecto de la temperatura	73
4.2. Curvas de calibración	73
4.3. Métodos para hallar la concentración de colorante en tricromía.....	74
4.4. Obtención de las curvas de agotamiento y velocidad de tintura.....	80
4.4.1. Determinación de la velocidad de adsorción	80
4.4.2. Determinación de la velocidad de difusión	85
(modelo de crank de cilindros infinitos y baño finito)	85
4.4.3. Tiempo de tintura media, tiempo de agotamiento, y tiempo inicial de retraso	86
4.4.4. Resumen de los parámetros cinéticos de tintura.....	87
4.5. Solideces en alpaca y lana	89
4.6. Diferencias de color.....	91
V. COSTOS DE TINTURA	94
5.1. Datos de producción	95
5.2. Costos variables de tintura.....	95
5.3. Relación de los costos de tintorería con los costos de producción.....	98
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	100
6.1. Conclusiones.....	101
6.2. Recomendaciones	102
VII. BIBLIOGRAFÍA	104
7.1. Referencias citadas	105
7.2. Otras referencias	109
VIII. ANEXOS	111
Anexo 1. Pruebas de control de calidad para los productos químicos y auxiliares.....	112
Anexo 2. Efecto del sulfato, el ph e igualante en la absorción.....	115

Anexo 3. Efecto del tiempo de reposo en la absorción	119
Anexo 4. Espectros visibles a diferentes concentraciones	126
Anexo 5. Curvas de calibración.....	127
Anexo 6. Curvas de calibración para determinar la concentración en tricomías	131
Anexo 7. Concentraciones reales y predichas con el método clásico y el método de regresión lineal multivariable	134
Anexo 8. Agotamiento real y calculado con los modelos de cinética de tinte	137
Anexo 9. Diferencias de color en alpaca y lana	140
Anexo 10. Fotos.....	142

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Simbología de colores de las principales empresas.....	7
Tabla 2. Clasificación de la fibra de Alpaca por Finura y de la Lana por calidad ..	8
Tabla 3. Tipo Porcentajes de Medulación en Fibras de Alpaca Suri.....	12
Tabla 4. Contenido de aminoácidos en Lana y Alpaca (Mol %).....	16
Tabla 5. Composición del vellón.....	19
Tabla 6. Recetas de Lavado de alpaca y lana	24
Tabla 7. Rendimientos aproximados para Alpaca y lana	24
Tabla 8. Cálculo de la cantidad de Productos de encimaje	26
Tabla 9. Cantidad de Encimajes utilizados para lana y alpaca en preparación y postpeinado	26
Tabla 10. Cantidad de Encimajes utilizados para lana y alpaca en preparación y postpeinado	26
Tabla 11. Temperatura y tiempos de vaporizado en hilatura	27
Tabla 12. Programa de Lavado	27
Tabla 13. Tipos de colorantes más utilizados en lana	33
Tabla 14. Nombres comerciales de colorantes de cada clase	34
Tabla 15. Clasificación de colorantes ácidos según el pH de aplicación	36
Tabla 16. Solubilidad de Colorantes ácidos y sales.....	38
Tabla 17. Dilución de Auxiliares, productos químicos y colorantes	39
Tabla 18. pH utilizado para teñir con Colorantes Sandolan MF	40
Tabla 19. Cantidad de Sulfato de Sodio utilizado para teñir con Colorantes Sandolan MF	41
Tabla 20. Tipo y cantidad de Antiespumantes utilizado para teñir con Colorantes Sandolan MF	42
Tabla 21. Tipos de Igualantes	42
Tabla 22. Tipo y cantidad de Igualantes utilizados para teñir con Colorantes Sandolan MF	43
Tabla 23. Otros auxiliares utilizados para teñir con Colorantes Sandolan MF. ...	44
Tabla 24. Receta con colorantes ácidos	45
Tabla 25. Receta con colorantes ácidos Sandolan MF	46
Tabla 26. Receta de enjuague posterior después de la tintura con colorantes ácidos Sandolan MF	48
Tabla 27. Suavizantes	49
Tabla 28. Constitución Química de Colorantes Sandolan MF	51
Tabla 29. Productos químicos y auxiliares utilizados	52
Tabla 30. Características de las fibras y del hilo de alpaca y lana	52
Tabla 31. Características del Espectrofotómetro Genesys 6	53
Tabla 32. Comparación de las curvas espectrales a 1 nm y a 5 nm.....	54
Tabla 33. Mezclas para determinar los parámetros que afectan en la absorción....	55
Tabla 34. Receta para la tintura de Alpaca	59
Tabla 35. Factor Sulfato, Factor igualante y Factor pH en las absorbancias	69
Tabla 36. % Precipitación y formación de agregados de cada colorante después de 18h de muestras no sometidas a calentamiento	72

Tabla 37. % Precipitación y formación de agregados de cada colorante después de 18h de muestras sometidas a calentamiento 70°Cx30'	72
Tabla 38. Matrices para hallar la concentración de colorante en tricromía.....	76
Tabla 39. Constantes del Modelo Sigmoidal.....	80
Tabla 40. Agotamiento y pendiente del agotamiento en el tiempo medio de tintura	81
Tabla 41. Constantes del Modelo Cegarra-Puente-Valldeperas.....	83
Tabla 42. Constantes del modelo Cegarra-Puente modificado.....	83
Tabla 43. Constantes del Modelo de Crank para cilindros infinitos y baño finito.	85
Tabla 44. Tiempos de tintura media y de agotamiento.....	87
Tabla 45. Tiempo Inicial de retraso (min).....	87
Tabla 46. Comparación de los parámetros cinéticos promedio entre alpaca y lana	88
Tabla 47. Afinidad de los colorantes por lana y Alpaca.....	88
Tabla 48. Solidez al frote en lana y Alpaca a partir de 98°Cx30'	89
Tabla 49. Solidez al lavado en lana y alpaca a partir de 98°Cx30'	89
Tabla 50. Solidez a la luz en lana y alpaca a partir de 98°Cx30'	90
Tabla 51. Diferencias de color entre lana y Alpaca antes y después de teñido	92
Tabla 52. Variaciones de color entre los tiempos de tintura a partir de 98°Cx15'	93
Tabla 53. Costos variables de tintura.....	98
Tabla 54. Costos de tintorería.....	99
Tabla 55. Costos de Producción	99

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de la cutícula	12
Figura 2. Estructura de la Lana.....	13
Figura 3. Sección transversal de las fibras de Alpaca a) Huacayo y b) Suri. SEM.	13
Figura 4. Sección transversal y vista longitudinal de las fibras de lana peruana 24-25µm (a y c) y alpaca Huacayo baby 22 µm (b y d).....	14
Figura 5. Tipos de enlaces transversales de las cadenas polipéptidos.....	18
Figura 6. Sección microscópica SEM de Alpaca antes y después del lavado	25
Figura 7. Programa de Lavado	28
Figura 8. Mecanismo de Tintura.....	36
Figura 9. Programa de Tintura colorantes ácidos Sandolan MF con a) una gradiente, b) dos gradientes	47
Figura 10. Programa de Suavizado.....	49
Figura 11. Estructura molecular del colorante Azo Acid Orange 67	51
Figura 12. Comparación de las curvas espectrales a 1nm y a 5nm	54
Figura 13. Programa de Tintura utilizado.....	59
Figura 14. Curvas de Absorción de los colorantes con $\lambda_{m\acute{a}x}$ y $A_{m\acute{a}x}$	65
Figura 15. Variación de la absorción de AmO 360nm, RoN 500nm y AzO 630nm con la Conductividad (a,c,e) y dependencia de la conductividad con la cant. de Na ₂ SO ₄ (b,d, f).....	67

Figura 16. Variación de la absorción de a) AmO a 360nm con la cantidad de igualante Lanotán AR.....	68
Figura 17. Curvas de calibración de AmO, RoN y AzO sin auxiliares (a, c, e) y con todos los auxiliares (b,d,f) sometidas y no a calentamiento.	75
Figura 18. Relación entre las concentraciones reales y calculadas de los colorantes AmO, RoN y AzO utilizando el modelo 1 MC (a, c y e) y el modelo 2 MRLM (b, d, f) respectivamente para soluciones de concentración alta.....	78
Figura 19. Relación entre las concentraciones reales y calculadas de los colorantes AmO, RoN y AzO utilizando el modelo 1 MC (a, c y e) y el modelo 2 MRLM (b, d, f) respectivamente para soluciones de concentración baja.....	79
Figura 20. Curvas de agotamiento de los colorantes en a) lana y b) alpaca.....	82
Figura 21. Tangentes de las Curvas de agotamiento en el tiempo $t_{1/2}$ de los colorantes en a) lana y b) alpaca.....	82
Figura 22. Agotamiento relativo calculado a partir de Cegarra-Puente sin considerar y considerando la temperatura en lana (a y c) y Alpaca (b y d).....	84
Figura 23. Evolución de los Valores CIELab y K/S en Alpaca y lana durante la Tintura a) L, b) a, c) b y d) K/S a λ_{420}	92
Figura 24. K/S vs λ en Alpaca y lana a) Antes de la Tintura, b) Después de la tintura.....	93
Figura 25. Costos variables de tintura en relación con los costos de producción .	99

TÉRMINOS

Pelo Fino: Fibra que recubre a los camélidos sudamericanos: alpaca, llama, vicuña, guanaco; al camello, yac, cabra de angora (“mohair”), cabra de cahemira, cabra del tibat, conejo (incluido el conejo deAngora), entre otros.

Lana: Fibra que recubre los ovinos. La cámara del Comercio de los EEUU, ha aprobado que los 4 pelos más finos del mundo: cashmere, mohair, vicuña y alpaca puedan ser denominados como lana.

En la tesis se utilizarán los términos “lana” haciendo mención a la lana de oveja y “fibra de alpaca” o simplemente “alpaca” haciendo mención a la fibra de alpaca según el contexto.

ABREVIATURAS

AmO: Colorante Amarillo Optilán MFRL

RoN: Colorante Rojo Nylosan N-2RBL

AzO: Colorante Azul Optilán MFGL

Owf: (over weight fiber) Sobre el peso de la fibra

MC: Método Clásico

MRLM: Método de Regresión Lineal Multivariable

RB: Relación de Baño

E.G.C.: Escala de Gises Cambio de Color

E.G.M.: Escala de Grises Migración

E.A.: Escala de Azules Europeo

AFU: AATCC Fading Units

SIMBOLOGÍA

Términos utilizados en Cinética de tintura	
D	Constante de Difusión (m^2/min)
$\frac{dC}{dt}$	Variación de la concentración con el tiempo
$\frac{d^2C}{dx^2}$	Variación de la Gradiente de concentración
C_0	Concentración inicial del colorante en el baño (g/l; mol/l)
C_t	Concentración del colorante en el baño en el tiempo t (g/l; mol/l)
C_{ft}	Concentración del colorante en la fibra en el tiempo t (g/l; mol/l)
$C_{f\infty}$	Concentración del colorante en la fibra en el equilibrio (g/l; mol/l)
r	Radio de la fibra (m)
E	Agotamiento
Er	Agotamiento relativo
K	Constante cinética de velocidad (min^{-1})

Términos utilizados en Termodinámica de tintura	
$\Delta\mu^\circ$:	Afinidad estándar (KJ/mol)
Cf:	concentración del colorante en la fibra (mol/kg),
Cs:	concentración del colorante en el baño (mol/l),
V	Volumen de la fase interna de la fibra (mol/kg)
R:	8.317 J/mol
T:	Temperatura de equilibrio ($^\circ K$)

Términos utilizados en Espectrofotometría	
A_λ	Absorbancia a la longitud de onda indicada
FA	Variación de la Absorbancia o Factor Absorbancia
C_1, C_2 y C_3 :	Concentración del colorante Amarillo Optilán MFRL, Rojo Nylosan N-2RBL y Azul Optilán MFGL respectivamente (g/l)
$I_{1-\lambda}, I_{2-\lambda}$ e $I_{3-\lambda}$:	Intercepto con el eje y de las regresiones lineales de los colorantes respectivos a la longitud de onda indicada.
$a_{i-\lambda}$:	Matriz de absortividad. Son los coeficientes de calibración obtenidos con las pendientes de las regresiones lineales de cada colorante individual en las longitudes de onda máxima de cada colorante.
$\lambda_{m\acute{a}x}$	Longitud de onda a la máxima absorbancia (nm)

Términos utilizados en Colorimetría	
K	Absorbancia
S	Dispersión
R	Reflectancia
K/S	Intensidad o Fuerza
L^*, a^*, b^*, c^* :	Valores CIElab del estándar (luminosidad, rojo-verde, amarillo-azul, croma, respec.)
ΔE	Variación del color

RESUMEN

La tintura de alpaca es de especial interés en nuestro país porque Perú representa el mayor productor de esta especie en el mundo siendo necesario conocer el procesamiento de esta fibra para su tintura. Como la fibra de alpaca se suele clasificar como pelo largo, es sometida a procedimientos de tintura similares a los de la lana. Sin embargo es necesario conocer sus características morfológicas y químicas y cómo influyen estas en el proceso de tintura para poder obtener los mejores resultados.

En el presente trabajo se describe la estructura y propiedades químicas de la alpaca, los tratamientos previos, y por último el proceso de tintura que se aplica actualmente en planta y los parámetros que se deben tener en cuenta para su control.

En la parte experimental de esta tesis se buscó encontrar las diferencias cinéticas entre la tintura de alpaca huacayo baby de 22μ y lana peruana de 25μ en una tintura a 98°C con una receta de color medio utilizando los colorantes ácidos Amarillo Optilán MFRL, Rojo Nylosan N-2RBL y Azul Optilán MFGL. Para su determinación se utilizaron análisis espectrofotométricos. La determinación de la concentración de mezclas de colorantes en el baño requirió de la evaluación del método clásico y el método de regresión lineal multivariable para obtener el menor porcentaje de error, dando mejores resultados éste último. Se encontraron las curvas de agotamiento a partir de muestras de baño a diferentes tiempos y los puntos experimentales se ajustaron a los modelos sigmoidal y Cegarra-Puente-Valldeperas para encontrar las constantes cinéticas. Asimismo se encontró la difusión en cada punto experimental utilizando el modelo de Crank para cilindro infinito y baño finito. La constante cinética de la alpaca fue 13% menor que en la lana y la constante de difusión promedio de la alpaca fue 49% menor que la lana, indicando que se necesita un tiempo de tintura mayor en alpaca que en la lana de aproximadamente 20 minutos. Estos resultados reflejan que la alpaca tiene una mayor proporción de puentes de cistina que la lana. Además se encontró que la alpaca presenta un tiempo de retraso 7 minutos menor que la lana y una constante promedio de difusión 10% mayor en las etapas tempranas de tintura. Esto se debería a que la lana posee una mayor barrera hidrofóbica que la alpaca.

Asimismo se evaluaron las solidez al lavado, al frote y a la luz. Tanto la alpaca como la lana presentan excelentes solidez a la luz (E.A. 8), buenas solidez al frote (E.G.C. 4-5) y buenas solidez al lavado en la evaluación de migración (E.G.M. 4-5). La prueba de solidez al lavado en la evaluación de cambio de color¹

y solidez al frote en seco² dieron mejores resultados en lana (E.G.C.¹ 4 y E.G.C.² 4.5) que en alpaca (E.G.C.¹ 3.5 y E.G.C.² 4).

Finalmente, se evaluaron las diferencias de color, encontrándose que la alpaca presenta un rendimiento tintóreo 27% menor que la lana, posiblemente por la presencia medular, la mayor cantidad de kemps y la forma de las escamas cuticulares.

I. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. INTRODUCCIÓN

La tintura de Alpaca es de especial interés en nuestro medio porque Perú representa el mayor productor de esta especie en el mundo y es necesario conocer el procesamiento de esta fibra para su tintura.

Como la fibra de Alpaca se suele clasificar como pelo largo, es sometida a procedimientos de tintura similares a los de la Lana. Sin embargo es necesario conocer sus características morfológicas y químicas y cómo influyen estas en el proceso de tintura para poder obtener los mejores resultados.

En el presente trabajo se hace una revisión bibliografía de la estructura y propiedades químicas de la Alpaca. Puesto que se dispone de poca información acerca de este tema, muchos aspectos se complementan con la información de la Lana y se tratan de buscar similitudes. Posteriormente se describen los tratamientos previos a los cuales se somete la Alpaca y que afectan al proceso de tintura. Más adelante se hace una revisión del proceso de tintura que se aplica actualmente en planta.

En la parte experimental de esta tesis se busca encontrar las diferencias cinéticas entre la tintura de Alpaca y Lana. Para su determinación se utilizaron análisis espectrofotométricos. La determinación de la concentración de mezclas de colorantes en el baño requirió de la validación de métodos para obtener el menor porcentaje de error. Asimismo se evaluaron las solideces al lavado, al frote y a la luz y las diferencias de color para relacionar la calidad del producto obtenido y su rendimiento tintóreo con la cinética de tintura.

1.2. OBJETIVOS

El presente trabajo tiene como objetivos los siguientes:

Objetivo principal:

Evaluar el comportamiento cinético de tintura en Alpaca y Lana y su influencia en la calidad del producto y rendimiento tintóreo.

Objetivos secundarios:

En el proceso para poder obtener la cinética de tintura, se fijaron los siguientes objetivos:

1. Evaluación del efecto del pH, conductividad, temperatura y cantidad de igualante en la absorción de los colorantes ácidos.
2. Validación de los métodos de determinación de la concentración de mezclas en colorantes ácidos por espectrofotometría.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. MATERIA PRIMA

2.1.1. CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS

Las fibras de lana y alpaca se clasifican principalmente según su finura, largo y color (Prosur, 2006). Es necesario, sin embargo realizar un buen clasificado antes, durante y después de la esquila para obtener un mejor producto para ofrecer a la industria textil (Véase Marín, 1999 para una descripción completa de las etapas de clasificado). Asimismo, se han desarrollado diversos estudios para correlacionar las características de las fibras y de esa manera realizar un mejor clasificado (Ayala, 1999; Atner, 1986, McColl *et al.*, 2004).

Cada empresa posee su propio sistema de clasificación. La Universidad Agraria desarrolló un sistema de clasificación aprobado por el Instituto de Normas Técnica y la ASTM. Sin embargo este sistema no ha sido acatado (Prosur, 2006). Los fardos de fibras que se venden a la industria están clasificados por las siguientes características:

A. Por Raza

Las dos razas de Alpaca son Huacaya y Suri cuyas poblaciones son de 85.02% y 14.98% respectivamente según el censo de 1994 (Prosur, 2006). Las diferencias entre las fibras de estas razas son: la longitud (Promedio en Huacaya, 10cm y Suri, 14cm, según Condorama (1998) (citado por Carpio, 1991); el rizo, que en Huacaya es mayor y consecuentemente el brillo es menor (Véase Cap. 2.1.2.C); el vellón, que es ligeramente más graso y las escamas menos sobresalientes en Suri (Villarroel, 1991; Carpio, 1991). La superficie lacia de la fibra Suri trae consigo problemas en hilandería. Asimismo, el mayor porcentaje de paracorteza en su fibra ocasiona problemas de tintura, por una menor adsorción de los colorantes (Véase Cap. 2.1.2.C). Actualmente las técnicas de diferenciación entre la fibra Suri y Huacaya utilizan la microscopía para evaluar las siguientes características:

El contorno de las fibras, que en Suri es más ondulado y aserrado que en Huacaya (Carpio, 1991).

La medición de la frecuencia de escamas cuticulares promedio (número de escamas en 100 μm de longitud) que en Suri tiene un promedio de 7 y en Huacayo 10, (Antonini *et al.*, 2001).

La distinción de células orto y para con métodos SEM (scanning electron microscopy) y DSC (energy dispersive spectrometry) (Shim, 2003).

C. Por Longitud

Las fibras menores de 5.5cm son aptas para el sistema cardado y las mayores a 5.5cm están aptas para el sistema peinado. (Prosur, 2006). Otros establecen que para la lana, las fibras aptas para el peinado deben tener una longitud mayor a 5cm, mientras que para la alpaca, la longitud mínima debe ser de 7.5cm (Carpio, 1991).

D. Por Color

Los colores de la alpaca llamados blancos, presentan una coloración algo cremosa, lo que se debe a que los puentes disulfuro actúan como cromóforos, al igual que la lana (citado por Fuertes).

El resto de colores, se debe a dos tipos de pigmentación: difusa o no granulosa (melanoproteínas) y granulosa (melanina), que es la más usual. La melanina está presente principalmente en la corteza, con sólo una pequeña cantidad localizada en la cutícula (Carpio, 1991; Wang *et al.*, 2005). Las diferencias en el tono y profandidad del color se deben a las diferencias de color de los gránulos, su distribución y su grado de acoplamiento entre ellos, en variados tamaños agregados., la clase y cantidad de pigmentos. Existe además una concentración preferencial en la paracorteza (Bustinza 1994; Carpio, 1991).

Los colores naturales tienen la virtud de poseer un alto índice de solidez a la acción de los rayos solares, uso y procesos fisicoquímicos (Trejo, 1986, citado por Carpio, 1991). Se pueden clasificar hasta 26 colores naturales diferentes, entre sólidos básicos y mezclados o matizados. Esta gama dependerá de los volúmenes que acopie cada empresa (Prosur, 2006). En la tabla 1 se muestra la clasificación de colores por empresa.

E. Por Finura

Como las fibras de Alpaca no poseen sección transversal circular, la finura se refiere al diámetro medio. Esta clasificación también difiere entre las empresas y se muestra en la tabla 2. En los últimos años se han realizado esfuerzos para mejorar la calidad de la clasificación con la invención de fibrómetros portátiles que han presentado una buena correlación de resultados con los obtenidos por el LaserScan (Baltuario *et al.*, 2005).

Es importante también hacer una distinción entre las fibras normales y las fibras denominadas “kemp”, que son fibras gruesas, que contienen una ancha médula y le da apariencia opaca y color tiza a la fibra. Estas pertenecen a una segunda capa en el vellón de ovinos domésticos, que en la actualidad sólo aparecen en las razas de lana gruesa (Carpio, M. 91). El problema del vellón de los camélidos es que presentan distintos tipos de fibras en una sola estructura

(heterotrico) a diferencia de la lana Merino (o razas derivadas) que es fundamentalmente de un solo tipo de fibra (homotrico). Hay básicamente dos soluciones para la heterotriquia, la genética o la mecánica. Actualmente se está trabajando genéticamente esta fibra en este aspecto (Frank, 2007).

Para el clasificado de la lana, el sistema más difundido es el Sistema Inglés o Bradford que relaciona el tipo, finura, longitud y calidad con el título máximo “Counts” que puede obtenerse en la hilatura (citado por Sosa, 2001). En la Tabla 2 se muestra la clasificación de lana por esquila, calidad y finura de Prosur (2006) que incluye las razas Criollo, Corriedale, Junín, Hampshire Down, entre otras, puras y cruces entre ellas, no incluye la raza Merino.

Tabla 1. Simbología de colores de las principales empresas

COLORES		SÍMBOLOS			
ESPAÑOL	INGLÉS	INCA	MICHELL	PROSUR	ENCI CECOALP
Blanco	White	B	B-100	B	B
Blanco Canoso Claro	Streaky White	BM	Bmc-101	BCC	BCP
Blanco Canoso Oscuro	Streaky Dark	NM	BMN-102	BCN	BPO
Crema Claro	Light Fawn-X	FX	LFX-201	LFX	LFX
Crema Medio	Medium Fawn-Y	FY	LF-202	LFXC	LFY
Vicuña claro			LFY-203/ LF-204	LFY/Z	
Vicuña	Light Fawn-Z	FZ	LFZ-205	LFZ	LFZ
Gris LF	Grey LF	FL	GCC-209/ PC-267	GCC/ Lt-gc	GLF
Café Claro	Light Coffee	CC	CC-301	CC	CC
Café Medio	Medium Coffee	CM	COM-302/ COM -350	COM	CM
Café Oscuro	Dark Coffee	CON	CON-300	CON	CO
Gris Plata claro	Light Silver	GX	LG1-401	GP 10	
Gris Plata medio	Medium Silver	GY	LG2-402	GP 20	
Gris	Grey LG3	G	G-410/ LG3-403	G/ GP30	G
Gris Indefinido	Indefinite Grey		IG-700	ID	GI
Gris Plata Oscuro	Dark Silver		LG4-404		
Gris Oscuro	Dark Silver	GO	GO-409	GO	GO
Negro	Black	N	N-500	N	N
Pintado Claro	Light Piebald	PC	NM-501	PC	PC
Gris claro	Light Grey	GC	LT/GC-208	LT/GC	GC
Gris medio	Medium Grey	GA	MG-211		
Pintado Oscuro	Dark Piebald	PO			PO
Gris plata	Silver Grey				GP
Gris claro			GC-408		
Pintado Claro			PC/Z-206	PCZ	
Pintado Claro			PC-267	PC	
Pintado Claro			PC/X-207	PCX	
Gris			GA-326	GA	
Gris			DK/GC-306	DK/ GC	
Gr. Cl/Gr.o			GC/GO-489		

Fuente: Elaborado por Prosur S.A. 06

Tabla 2. Clasificación de la fibra de Alpaca por Finura y de la Lana por calidad

Alpaca			Lana		
Calidad	Símbolo	Diámetro (Micrones)	ESQUILAS	CALIDAD	Diámetro (Micrones)
Sistema Grupo Inca			PRIMERAS	AAAA	20.5-21.5
Alpaca Bebé	BA	22		AAA	22.5-23.5
Superfina	SF	26		AA	24.5-25.5
Huarizo (Hechizo)	HZ	29		A	26.5-27.5
Gruesa	CF	33		B	28.5-29.5
Garras y Pedazos	MP	VARIABLE		ME	22.5-23.5
Sistema Grupo Michell			SEGUNDAS	PE	24.5-23.5
Alpaca Bebé	BL	22		SE	27
Fleece	FS	26	TERCERAS	MO	22.5-23.5
Huarizo	HZ	29		PO	24.5-25.5
Gruesa	AG	33		SO	27
Garras y Pedazos	MP	VARIABLE		SP (Karka)	26-27
Sistema Enci				SC	26-27
Extrafina	X	22	CUARTAS	SC (Pintado)	27
Fina	AA	26		GN	26-27
Gruesa	G	29	Sistema Prosur		
Garra y Pedazos	MP	VARIABLE	Baby Royal	B	19-20
Sistema Prosur			Baby	B	22-23
Baby Royal	B	19-20	Fleece	AF	25.5-26.5
Baby	B	22-23	Huarizo	HZ	30-31
Fleece	AF	25.5-26.5	Alpaca Grueso	CB	33-36
Huarizo	HZ	30-31	Mixes Pieces	MP	VARIABLE
Alpaca Grueso	CB	33-36			
Mixes Pieces	MP	VARIABLE			

Fuente: Elaborado por Prosur S.A. 06

2.1.2. MORFOLOGÍA

La fibra de alpaca, al igual que las demás fibras animales, está conformada por tres componentes morfológicos, cutícula, la corteza y la médula. Para el caso de la lana, los porcentajes son: Cutícula: 10%, Corteza: 90% (citado por Rippon *et al.*, 2003); no existiendo médula, o presentándola en algunos casos de manera fragmentada para finuras gruesas.

A. Cutícula

Es la capa externa de la fibra y está compuesta por células a manera de escamas sobrepuestas. En la lana, representa el 10% de la fibra (Fuentes).

Existen diferencias en la forma, borde y distribución de las escamas entre la alpaca y la lana. Las escamas de la lana son sobresalientes, mientras que las de la alpaca son menos protuberantes (tipos coronarias e imbricadas) según Carpio (1991). Esta topografía varía también en proporción a la finura de la fibra, presentando escamas más pronunciadas las fibras con menor diámetro (Carpio, 1991).

Estas características determinan la diferencia friccional entre las fibras cuyas escamas se encuentran en distinta dirección, lo que ocasionaría el grado de enfieltramiento y encogimiento, que en el caso de la alpaca es menor que en lana. Asimismo, es responsable de la suavidad de la fibra, que en el caso de la alpaca es mayor (Carpio, 1991; Villarroel, 1991).

La conformación de la cutícula para el caso de la lana es la siguiente:

- Capa lipídica, la cual le otorga a la fibra la propiedad de hidrofobicidad y la cual sólo se puede eliminar con tratamientos químicos severos. Los ácidos grasos están unidos covalentemente a la epicutícula

- Epicutícula: Capa delgada externa de proteína queratinosa rica en sulfuro que es altamente robusta e inerte. Es resistente al álcali, ácido, enzimas, oxidación y reducción.

- Exocutícula: Capa exterior, con alto contenido de azufre. Constituye el 60% del total de la cutícula para el caso de la Lana (citado por Rippon *et al.*, 2003; Fuertes).

- Endocutícula: Capa interior, bajo contenido de azufre. Constituye el 40% del total de la cutícula para el caso de la Lana (citado por Rippon *et al.*, 2003; Fuertes). (Véase Figura 1).

La superficie de las escamas de las células de la cutícula presenta más azufre que las células corticales (McFadden, 1967, citado por Shim, 2003; Fuertes).

No se han encontrado estudios publicados con respecto a los porcentajes de estos componentes en Alpaca.

B. Complejo de membrana celular CMC

La cutícula está separada de las células corticales por un complejo de membrana celular, que rodea células individuales y cuya función es mantenerlas juntas. Para la lana, representa un 5% owf (según Forward, 2006), mientras que otros autores determinan 1.5% owf (Fuertes) y tiene 25nm de ancho (Rippon *et al.*, 2003). Es una región de baja resistencia mecánica.

Como el CMC tiene pocos enlaces, y un bajo contenido de azufre (proteína no queratinosa), es más susceptible tanto al ataque mecánico como al ataque químico que otras regiones de la fibra; por ejemplo en condiciones fuerte alcalinas o a muy altas temperaturas.

Siendo la única fase continua en la fibra, proporciona un canal por el cual los tintes y sustancias químicas pueden difundirse dentro y fuera de la fibra (Millington, 2006)

C. Corteza

Las células corticales son alargadas, con forma de poliedros, y para la lana tiene una longitud de aprox. 100 μ m de largo y 3 a 6 μ m de ancho (Lewis, 1992). En la Figura 3 se muestra el ancho de las células corticales en alpaca Huacayo y Suri. Estas células están compuestas de filamentos intermedios incrustados en una matriz rica en sulfuro, la cual a su vez está anclada en las macrofibrillas.

Las células corticales se dividen en dos tipos: la ortocorteza, que contiene una proporción alta de filamentos intermedios (ricos en proteínas de bajo contenido de azufre) y la paracorteza, que se caracteriza por un arreglo desordenado de sus micro y macrofibrillas y que contiene grandes residuos nucleares (Tucker *et al.*, 1988, citado por Carpio, 1991). La ortocorteza, por su bajo contenido de azufre, absorbe más humedad que la paracorteza, es por ello, que se extienden o contraen de manera diferente. En la lana, la distribución de las células orto y para es bilateral, por lo que causa el rizo a lo largo de la fibra. Esta distribución de las células en las dos mitades se encuentra generalmente en lanas más finas (<25 μ m), es por ello que tienen una ondulación más fina y un patrón más definido (citado por Johnson *et al.* 2003; Rippon *et al.*, 2003). Las fibras con menor ondulación reflejan más efectivamente la luz. La alpaca, en cambio, no presenta una estructura bilateral más bien se pueden encontrar algunas células del tipo orto y el resto intermedio entre orto y para, o muchas del tipo para y pocas del tipo ortho (Tucker, *et al.* 1988, citado por Carpio 1991). Investigaciones recientes con métodos EDS (Espectrometría de dispersión de energía) afirman que la alpaca Huacaya está compuesta por células ortho y para, mientras que la alpaca Suri está compuesta sólo por células para (Shim, 2003). Lewis (1992) menciona que la composición orto y para está dispuesto en anillos concéntricos para cierto tipo de lanas y pelos finos. Otros autores distinguen un tercer tipo de células corticales que constituyen la mesocorteza con forma hexagonal o casi hexagonal cuyas macrofibrillas están extensamente fusionadas como en el caso de la paracorteza y tienen una gran cantidad de residuos nucleares (Whiteley y Kaplin 1977, citado por Carpio 1991).

En cuanto a la capacidad de tinción con ácido, la paracorteza tiñe menos que la ortocorteza, excepto los residuos nucleares no queratinosos, que tiñen fuertemente. (Frazer *et al.* 1972, citado por Carpio, 1991).

Estructura de las células corticales

Una célula cortical contiene varias macrofibrillas. Estas contienen a la matriz cuya forma es amorfa y es responsable de la propiedad de absorción y conservar cantidades grandes de colorantes. Esta matriz está constituida por las proteínas de tipo IFAP (*Proteínas de filamentos intermedios asociados*) o SCMKB y se caracterizan por tener alto contenido de azufre y bajo peso molecular (10000-30000) (Johnson *et al.*, 2003) La matriz a su vez contiene a las microfibrillas. Estas están constituidas por proteínas de tipo IF (*Proteínas de filamentos intermedios*) o SCMKA que tienen bajo contenido de azufre y un peso molecular de 44000 a 57000. Las microfibrillas contienen a las protofibrillas dispuestas en forma de α -hélice o “random-coil”. Además de las proteínas de tipo IF e IFAP, están las del tipo glicina-tirosina o HGT cuya distribución sólo ocurre en ciertas partes de la fibra y su peso molecular es menor a 10000 (Gillespie citado por Fuertes).

La estructura α - hélice puede presentarse estereoquímicamente de dos formas designadas α y β keratinas. Cuando la lana ha sido sometida a un alargamiento del 70%, las cadenas polipeptídicas se designan como β keratinas y se presentan de forma rectilínea. En cambio, cuando la fibra está en estado normal, las cadenas se orientan en forma de hélices, denominándose α keratinas. Esto explica la gran elasticidad de la lana.

D. Médula

Es la parte central de la fibra. Es un espacio longitudinal semivacío de estructura imbricada, aún no muy definida en sus características y considerada hueca por algunos autores. La médula confiere a la fibra un máximo de aislamiento térmico y a que la fibra tenga menos peso (citado por Fuertes). En la lana sólo se presentan en las fibras gruesas. En la alpaca se presenta en la mayoría de fibras. Se pueden presentar tres tipos de médulas: fragmentadas, interrumpidas y continuas (Véase Tabla 3).

Las fibras meduladas incrementan la dispersión de la luz, en especial la luz azul, por lo que las fibras parecen más blancas o más claras que las no meduladas (citado por Fuertes).

La tintura de fibras meduladas produce tonos fuertes debido a la menor proporción de corteza que toma el tinte. Además, el aire que contiene la médula incrementa la cantidad de luz reflejada (Carpio, 1991).

La medulación tiene una gran importancia en la apariencia y la teñibilidad. Las fibras blancas y de colores claros que tienen un diámetro de médula mayor del 60% del diámetro de la fibra, no presentan buena apariencia y no son bien teñibles. Si no son medulados, afectan otras propiedades como la resistencia. En comparación con la lana y el mohair, los niveles de medulación en Alpaca son altos y extremadamente variables. Sin embargo, el mínimo de medulación es bien bajo y este hecho sugiere que se puede mejorar esta características con la selección (MacColl *et al.*, 2004).

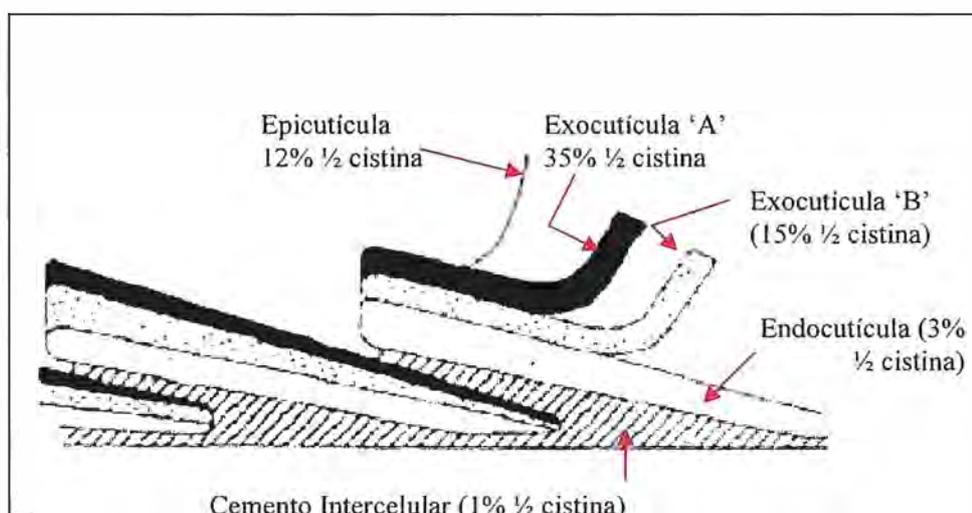
En general, la alpaca Suri, presenta más medulación que las Huacayo con diámetro de 25µm, y para las fibras más gruesas, la medulación es similar (Bergen, 1968, citado por Carpio, 1991).

Tabla 3. Tipo Porcentajes de Medulación en Fibras de Alpaca Suri

Clase	Micronaje	Arequipa			Juliaca			Sicuani		
		MC	MI	SM	MC	MI	SM	MC	MI	SM
X	21-24	--	--	--	2.7	18.9	78.2	--	--	--
AA	24-29	29.2	41.2	29.6	25.3	19.2	55.5	4.2	39.3	56.4
A	30-32	48.1	35.6	20.3	43.7	40.7	15.3	15.2	34.8	50.0

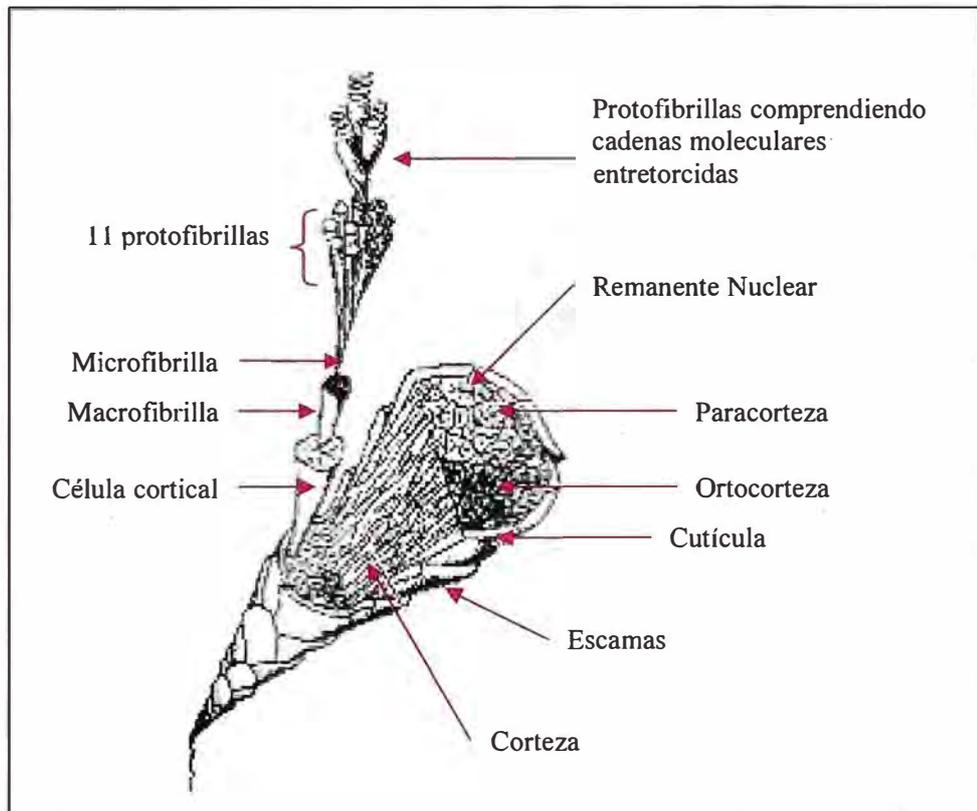
MC: Médula Continua; MI: Médula Interrumpida; SM: Sin Médula (en %)

Fuente: Carpio, 1991.



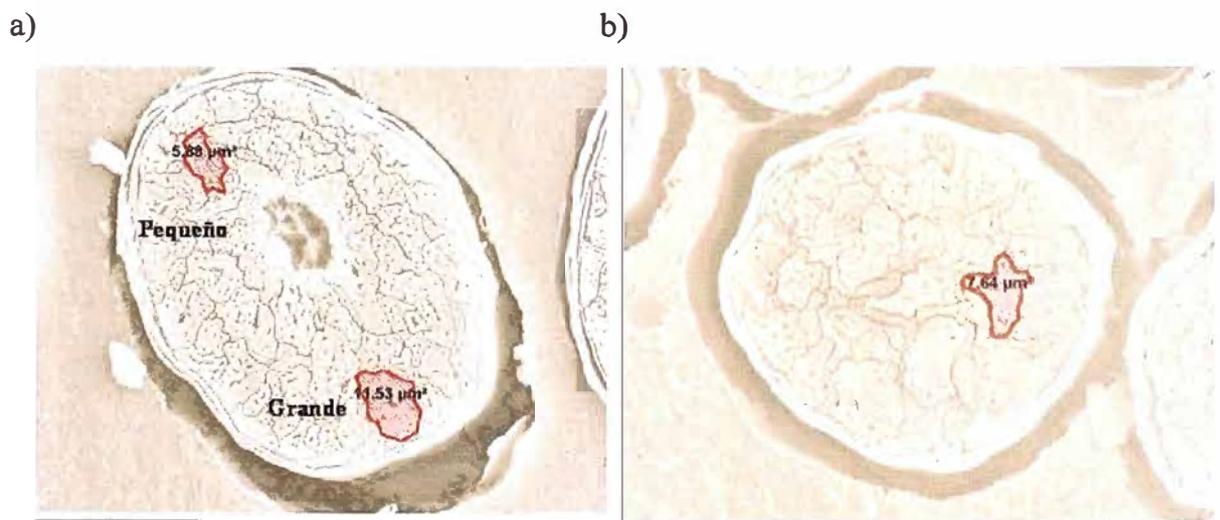
Fuente: Feughelman, 1997, citado por Jonson *et al.*, 2003; Lewis, 1992

Figura 1. Estructura de la cutícula



Fuente: Ryder & Stephenson, 1968, citado por Schim, 2003.

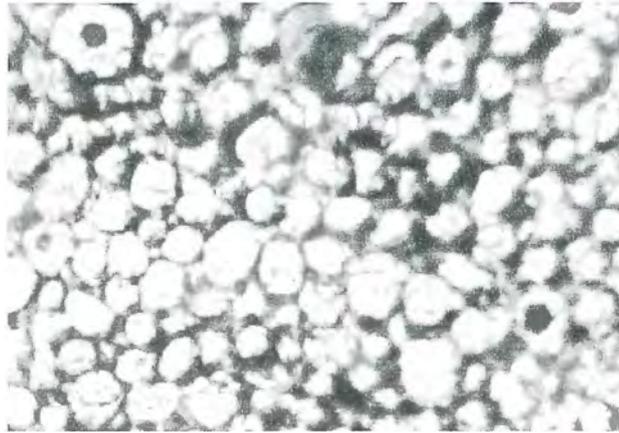
Figura 2. Estructura de la Lana



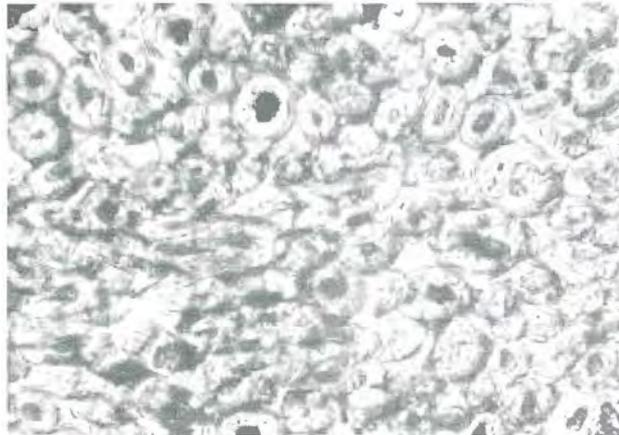
Fuente: Schim, 2003.

Figura 3. Sección transversal de las fibras de Alpaca a)Huacayo y b)Suri. SEM.

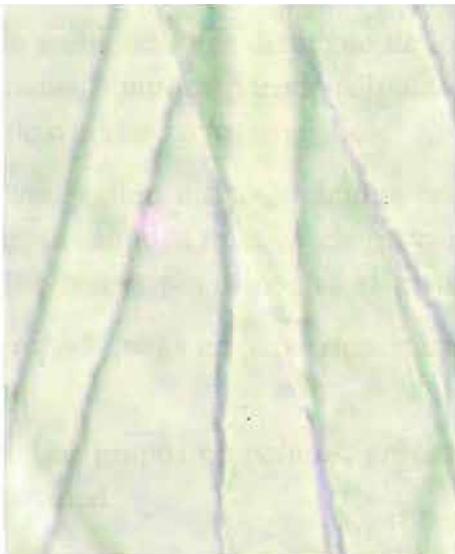
a)



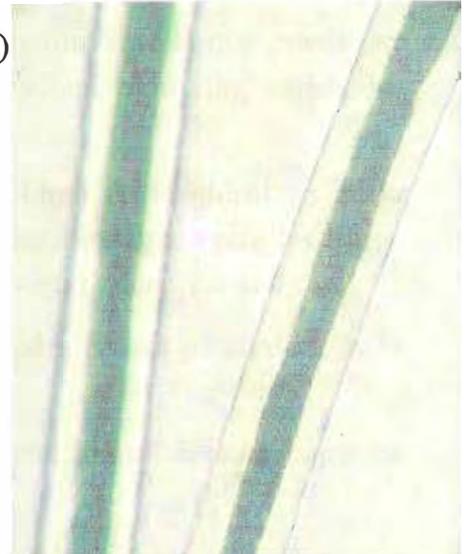
b)



c)



d)



Fuente: Propia. Microscopio Compuesto Carl Zeiss-Jena (a,b) y Nikon Ekclipse E200 (c, d)

Figura 4. Sección transversal y vista longitudinal de las fibras de lana peruana 24-25 μ m (a y c) y alpaca Huacayo baby 22 μ m (b y d)

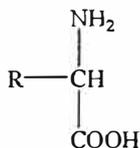
2.1.3. ESTRUCTURA QUÍMICA

Las fibras animales están compuestas principalmente de proteínas queratinosas y no queratinosas. Para la lana, la composición es la que sigue: proteína queratinosa: 82%; proteína no queratinosa: 17% y no proteína: 1%, que consiste principalmente de lípidos, muy poca cantidad de polisacáridos, trazas de elementos y en fibras coloreadas, pigmentos llamados melanina.

A. Proteínas

La proteína queratinosa, se caracteriza por su alto contenido de cistina y la proteína no queratinosa se caracteriza por su bajo contenido de cistina (<3%). La proteína no queratinosa está localizada principalmente en el complejo de membrana celular entre las células corticales y la endocutícula y el 13% en las células corticales (Rippon *et al.*, 2003)

La hidrólisis de la lana en medio ácido y a ebullición rompe las cadenas proteicas a cadenas de polipéptidos y después a ácidos alfa-aminocarboxílicos sustituidos:



Aminoácidos

Cada aminoácido se distingue de los otros por el sustituyente R que puede ser un radical hidrocarbonado alifático o cíclico, un radical hidroxilo, carbonilo, amino o sulfuro o heterocíclico.

Se han podido aislar 20 ácidos amínicos (aminoácidos) de la hidrólisis de la Lana, la cantidad relativa de los cuales varía considerablemente entre las fibras de diferentes tipos de ovejas, o dentro de la misma oveja (Véase Tabla 4).

El grupo R juega un papel importante en las propiedades físicas y químicas de la fibra.

- Los grupos no polares, grupos hidrocarbano: son hidrofóbicos y bajos en reactividad
- Los grupos polares: grupos hidroxil alifáticos de la serina y threonina: son más reactivos
- Grupos ácidos: aspártico y glutámico; y grupos básicos: histidina, arginina y lisina: dan a la Lana un carácter anfotérico y juegan un papel importante en el teñido de la Lana. Tienen la propiedad de combinarse con gran cantidad de ácidos y bases.

En la tabla 4 se puede apreciar que el contenido de cistina es mayor en la Alpaca que en la lana, es decir, posee más azufre. Esto coincide con la comparación de la composición química de la queratina de la lana (50% Carbono, 16% Nitrógeno, 3.7% Azufre, 7% Hidrógeno, 25% Oxígeno) (citado por Fuertes; Villarroel, 1991; Berger, 1963, citado por Carpio, 1991) y la alpaca, que sólo difiere por su mayor contenido de azufre de 4,19% (Harris y Smith, 1937, citado por Villarroel, 1991).

La diferencia en el contenido de cistina entre la alpaca blanca y negra puede deberse a los gránulos de pigmento de esta última (Carpio, 1991; Wang, 2005).

Tabla 4. Contenido de aminoácidos en Lana y Alpaca (Mol %)

	Aminoácidos	Lana	Alpaca Blanca	Alpaca Negra	Grupos	Propiedades
1	Glicina	9.5	7.9	7.9	Hidrocarbano Alifático	Baja reactividad por ser hidrofóbicos
2	Alanina	5.8	5.6	5.4	Hidrocarbano Alifático	
3	Valina	5.2	6	5.9	Hidrocarbano Alifático	
4	Leucina	7.9	7.8	7.2	Hidrocarbano Alifático	
5	Isoleucina	2.8	3.2	3	Hidrocarbano Alifático	
6	Fenilalanina	2.7	3	2.5	Hidrocarbano Aromático	
7	Tirosina	4	2.8	2.6	Hidrocarbano Aromático	Son más reactivos que los anteriores por ser polares, especialmente bajo condiciones alcalinas
8	Serina	12	9.6	10.3	Hidroxilo	
9	Treonina	6.8	6.3	6.2	Hidroxilo	Otorgan carácter anfotérico e influyen en las propiedades tintóreas
10	Ácido Aspártico (*)	6.9	7.3	6.9	Ácido	
11	Ácido Glutámico (**)	12.8	14.6	14	Ácido	
12	Histidina	0.9	0.9	1	Básico	
13	Arginina	6.7	7.9	8.2	Básico	
14	Lisina	2.9	2.8	2.6	Básico	Sus enlaces influyen en las propiedades mecánicas
15	Metionina	0.5	0.4	0.5	Contiene Azufre	
16	Cistina	4.6	6	7.6	Contiene Azufre	Ocasiona el enrollamiento de la estructura
17	Prolina	8.1	7.6	7.8	Heterocíclico	
18	Ácido Cisteico	-----	0.2	0.6	Ácido	

(*) Incluye los residuos de asparagina; (**) Incluye los residuos de glutamina.

Fuente: Tucker *et al.* 1988, citado por Carpio, 1991. Elaboración propia.

Sin embargo, debería comprobarse estas composiciones encontradas, puesto que difieren a los datos obtenidos de Bradbury y Leeder (citados por Fuertes) y Rippon y colaboradores (1996) que dan mayores valores de cistina para la lana.

Tipos de enlace

Las cadenas peptídicas se unen entre ellas por dos tipos de enlace:

las cadenas laterales provenientes de los sustituyentes R las cuales están unidos, ya sea por:

a. Enlaces covalentes:

- Unión de disulfuro de la cistina (que se forman durante el crecimiento de la fibra por el proceso de queratinización), la cual hace a las fibras insolubles en agua y más estables a los agentes químicos y físicos que otro tipo de proteínas. Están envueltas en reacciones que ocurren en el acabado de telas.

- Unión isopéptida, formado entre aminoácidos que contienen grupos ácidos y básicos, como lisina y ácido aspártico o glutámico.

b. Interacciones hidrofóbicas entre grupos no polares que contribuyen a las propiedades mecánicas, particularmente cuanto las fibras están mojadas; al fijado de la Lana, suavidad, tersura y tacto.

c. Interacciones electrostáticas (iónicas o salinas) entre los sustituyentes carboxilos y aminas ionizadas. Estas son importantes porque dan a la Lana sus propiedades anfotéricas (habilidad de absorber y desorber ácidos y álcalis). También controlan el comportamiento tintóreo de la fibra como resultado de sus interacciones con carga negativa de las moléculas de colorante y contribuyen a las propiedades mecánicas en seco de la fibra.

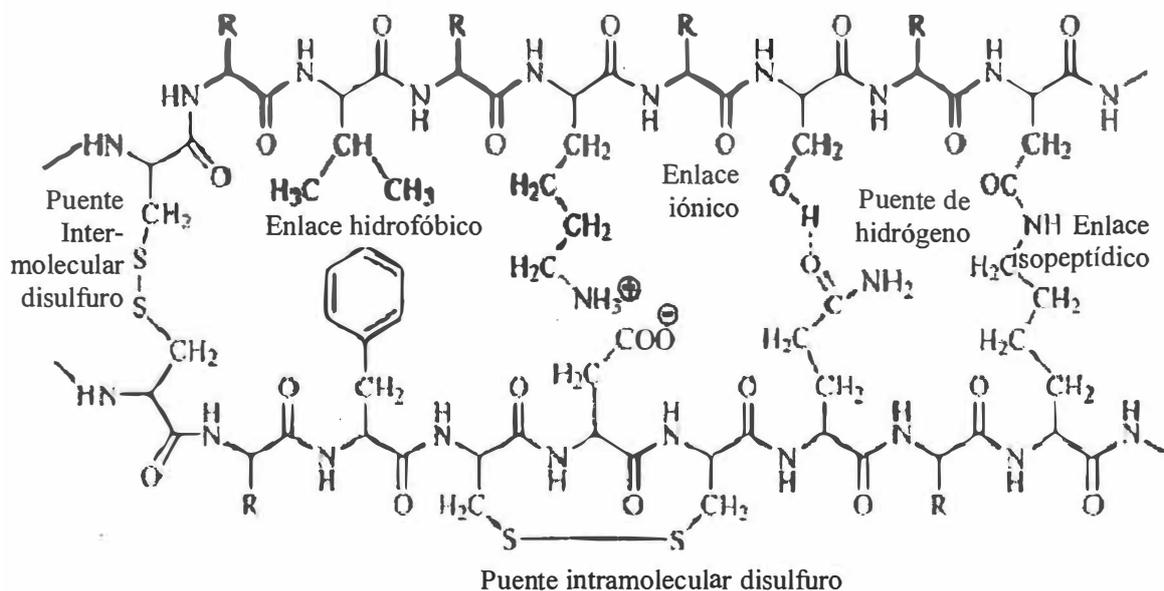
d. Puentes de hidrogeno: son enlaces intermoleculares entre los grupos carboxilo y amino

las uniones secundarias, constituidas por los puentes de hidrógeno entre los grupos $-CO$ (carbonilo) y $-NH$ (amino) en la cadena polipéptido (enlaces intramoleculares) que estabilizan la configuración de α -hélice (FMC, 197?; Rippon *et al.*, 2003; Fuertes).

B. Lípidos

Están localizados principalmente en la membrana compleja celular. Constituyen menos del 1% de la masa de fibra, pero juegan un papel muy importante en muchas propiedades, como la difusión intercelular de los colorantes y agentes químicos. Pueden estar en forma libre, los cuales son extraídos con solventes orgánicos, o unidos con enlaces covalentes a las proteínas. Éstos últimos son

removidos con solventes orgánicos, pero los que se encuentran en la superficie pueden ser removidos por hidrólisis alcalina bajo condiciones donde el daño o la modificación del interior de la fibra no ocurren. Estos enlaces covalentes representan el 0.025% de la masa de fibra, el cual es responsable de la hidrofobicidad de la fibra (Rippon *et al.*, 2003).



Fuente: Rippon *et al.*, 1996.

Figura 5. Tipos de enlaces transversales de las cadenas polipeptídicas

2.1.4. PROPIEDADES QUÍMICAS

A. Composición química del vellón

El contenido de fibra limpia de alpaca oscila entre 75 a 85% dependiendo del tiempo de crecimiento (Villarreal, 1991), el cual es mayor que el de la lana, por su menor porcentaje de suarda o sudor, que es la sal de potasio de varios ácidos grasos de cadena larga (Carpio, 1991). Las impurezas de la fibra de alpaca se pueden clasificar en impurezas naturales, como ceras, sales minerales, que son secreciones glandulares de la piel; impurezas adquiridas, que pueden ser minerales, polvo, tierra y vegetales, e impurezas aplicadas, como baños, o aplicadas como las que se agregan contra las enfermedades y pinturas (Carpio, 1991).

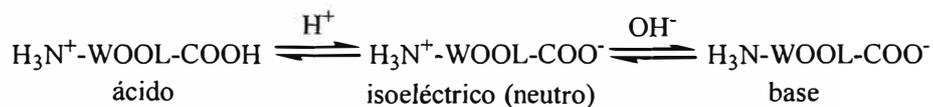
Tabla 5. Composición del vellón

	Lana Merino	Alpaca
Fibra (%)	49	75-82
Suciedad (%)	19	3-10
Agua (%)	10	12
Suint (%)	6	1
Grasa (%)	16	1-3

Fuente: Wang *et al.*, 2003

B. Acción de la acidez o la alcalinidad

La presencia de grupos carboxilo y aminos en las extremidades de las cadenas polipeptídicas y de ciertas cadenas laterales, confiere a la lana un carácter anfótero.



El punto de equilibrio interno de cargas, es decir el punto isoelectrico, en la lana se sitúa a pH 4.4. Es en este equilibrio que el hinchamiento de la fibra por el agua es mínimo y que la fibra resiste mejor ante cualquier causante de alteración (Bozzeto, 1997) ya que la concentración de las uniones salinas se encuentra en el máximo nivel (Lewis, 1992).

En el baño donde el pH está comprendido entre 4 y 9, la lana absorbe sólo cantidades despreciables de ácido o base.

A pH inferior a 4, absorbe progresivamente el ácido. Por ebullición de 2 horas en medio ácido, la lana se puede solubilizar por el rompimiento de las cadenas amínicas, los puentes de azufre cistínico no son afectados y la calidad de la lana no es sensiblemente alterada.

A pH 7, la ebullición durante 2 horas solubiliza alrededor del 1% de la sustancia, pero esta pérdida se refiere al nitrógeno y sobretudo al azufre. Esta reducción del azufre proviene de la pérdida parcial de uno de dos átomos de azufre de la unión disulfuro que se convierte en un enlace monosulfuro. Esta pérdida de azufre es rápida al principio y luego disminuye su velocidad hasta la estabilización después de 8 a 10 horas.

En medio alcalino, la lana se altera rápidamente en razón del aumento de la concentración del agente alcalino y de la temperatura. En frío, afecta primero a los puentes cistínicos. Transforman una parte de la cistina en lantionina por

pérdida de uno de dos átomos de azufre y otra parte en resto de ácido α -aminoacrílico por pérdida de la totalidad del azufre. Provocan al mismo tiempo una hidrólisis suficientemente importante de uniones peptídicas. Esta hidrólisis crece cuando la lana ha sufrido una acción previa que ha provocado la ruptura de los puentes cistínicos. Elevando la temperatura y la concentración, la fibra puede ser solubilizada enteramente (FMC, 197?).

C. Exposición a la Luz

La exposición a la luz del sol y al tiempo tiende a amarillear los textiles blancos o de color claro de las lanas. Los rayos ultravioletas separan los enlaces peptídicos y disulfuros, dando por resultado productos de degradación en la superficie de la fibra. Esto no sólo ocasiona que la superficie de la fibra absorba más luz, sino que también la luz incidente se disperse en mayor grado. El resultado es el aspecto amarillento. Además, la exposición prolongada a la luz del sol debilita las fibras de lana preferentemente en las puntas de las fibras, en comparación con las partes inferiores o cercanas a la raíz de las mismas, dando origen al “tippy dyeing” que consiste en una mayor coloración en las puntas de las fibras por la ausencia de la epicutícula, escamas y la hidrólisis de los enlaces de cistina (Fuertes).

2.1.5. IMPORTANCIA DE LA MORFOLÓGICA DE LA FIBRA EN LA TINTURA

La menor velocidad de tintura que presenta la lana en las etapas tempranas de tintura se debe a la existencia de la epicutícula y a la cutícula con alto contenido de enlaces transversales con la exocutícula. La epicutícula cubre cada célula de la cutícula individual. Entre cada célula existe el material intercelular (0.05%) de la superficie, por lo que el colorante se difunde a través de dicho material.

La difusión del colorante a través de toda la sección transversal es necesaria para obtener una sólida tintura. La difusión ocurre primero a través de las regiones intercuticulares y luego en las regiones no queratinosas de la endocutícula, el cemento intercelular y el cemento intermacrofibrilar. Después, el colorante continúa penetrando a través de la red no queratinosa y se va transfiriendo desde estas zonas a las zonas ricas en proteínas con azufre que son la exocutícula y la matriz que rodea a las microfibrillas que parecen tener una mayor afinidad por el colorante (Lewis, 1992).

Al final, las sustancias no queratinosas quedan libres de colorante. El equilibrio termodinámico se alcanza con la transferencia de todo el colorante a las regiones queratinosas.

Para controlar este mecanismo, el tiempo y la temperatura son importantes. Si el colorante permanece mucho tiempo en la zona no queratinosa, ocurre una rápida difusión hacia fuera de la fibra, obteniéndose pobres solidez húmedas (Millington, 2006).

Las características de las fibras que influyen en la velocidad de difusión son la finura, el porcentaje de puentes de cistina y el porcentaje de zona cristalina. La velocidad de tinte será mayor cuando la finura es menor, por poseer la fibra en este caso un área superficial mayor. Un mayor porcentaje de puentes de cistina disminuye la velocidad de difusión. Asimismo, un mayor porcentaje de zona cristalina disminuye también la velocidad de tinte (Vickertaff, 1954; Cegarra *et al*, 1980).

2.2. PREPARACIÓN A LA TINTURA

2.2.1. LAVADO DE LA FIBRA

Así como la fibra de lana, la fibra de Alpaca contiene gran cantidad de materias vegetales, sustancias insolubles en álcali, minerales, ceras de lana, suarda (grasa) y humedad. Por ello, el lavado de la fibra de Alpaca es necesario para los procesos posteriores.

Después del lavado se debe obtener fibras con las características de calidad requeridas en el porcentaje de grasas, sólidos, limpieza, olor, humedad, etc. Se debe lograr obtener una mayor limpieza por remoción de estos contaminantes pero con el menor daño a la fibra que ocasionaría una baja eficiencia en los procesos posteriores, especialmente en el cardado.

Hay dos sistemas de lavado, el acuoso y el no acuoso, con solventes orgánicos. Generalmente el solvente actúa para disolver la grasa, no para limpiar la lana. Los solventes orgánicos se trataron de utilizar para evitar el daño a la fibra que le causa el enfieltramiento, el pH y la temperatura, pero se necesita maquinaria especial y el reciclaje no es completo por lo que se ha buscado minimizar el costo de estos sistemas y reducir su impacto ambiental, lo cual no ha sido posible (Wang, 2003; Fuertes).

A. Apertura

Sirve para eliminar el polvo antes de pasar a la etapa de lavado. Una mejor eliminación del polvo permitirá un mejor desarrollo del proceso del lavado. Se realiza en la máquina sacudidora y se inicia con la alimentación de dos cargadores automáticos que regulan la apertura y alimentación de la lana sucia a

la tolva de la máquina, produciéndose luego por efecto de la máquina la apertura de la lana, dejando caer la tierra, guano o pajas por la rejilla inferior horizontal, pasando luego al cargador alimentador a las tinas (Prosur, 2006).

B. Lavado

B.1. Detergencia

La superficie de la lana es naturalmente hidrófoba, aun cuando absorbe humedad de hasta el 40 % de su propio peso sin mojarse. La primera función del medio es mojar la lana grasienta. La adición del agua fría es insuficiente para quitar la suciedad, principalmente por una humectación ineficaz y por las altas tensiones superficiales implicadas. Sin embargo, la adición de agua caliente por encima del punto de fusión de la cera lo hace flexible y permite el acceso a los surfactantes. En algunos sistemas esto se logra en una sección separada del lavado. Los surfactantes no iónicos generalmente son los mejores detergentes, principalmente debido a sus propiedades de dispersión y porque no son afectados considerablemente por el agua dura y la temperatura. Los reforzadores "builders" son aditivos empleados para aumentar la eficacia del detergente. Son sales por lo general inorgánicas como el sulfato de sodio o el carbonato de sodio. El carbonato de sodio ha demostrado ser el más eficaz. La suarda es también una fuente de iones inorgánicos y por lo tanto puede actuar como un reforzador; es soluble en agua caliente mayor a 30°C, y a pH mayor a 9 puede actuar como jabón. Los iones inorgánicos también pueden tener un efecto sobre la eficacia del surfactante.

B.2. Tipos de Contaminantes

Se clasifican en fáciles de remover y difíciles de remover.

- **Grasa fácil de remover:** La grasa inoxidada (la más pura en la base de la fibra, la mayor parte de la grasa oxidada (principalmente en la punta de fibra), la suarda fácilmente soluble y la suciedad orgánica, proteica y mineral débilmente ligados. Constituyen Aproximadamente el 90 %.

- **Grasa difícil de remover:** Una pequeña fracción de la grasa oxidada, suarda difícilmente soluble, la suciedad de mineral "submicra" y escamas proteicas que se adhieren a la lana.

La orina seca tenderá a ser removida en los mismos procesos que la suarda en cierta medida, aunque la presencia de mancha de orina permanente sea el único componente más grande de contaminación.

La sustancia principal de la grasa de lana es la cera de lana en estado sólido o semisólido con un punto de fusión alrededor de 43°C en una película estable alrededor de la fibra.

La grasa oxidada puede formar complejos con otros contaminantes, como la capa contaminante proteica (que consiste principalmente en péptidos solubles y escamas insolubles), los cuales pueden ocasionar problemas en el retiro de contaminantes y en el tratamiento de efluentes.

B.3. Tinas

Pueden realizar una de las tres funciones: desengrasado, lavado o enjuague.

Tina 1: El lavadero de desengrasado quita la mayor parte de los contaminantes solubles en agua, así como alguna suciedad. También contiene remanentes de detergente de las tinas contiguas por efecto de recirculación. En esta tina se concentra la mayor cantidad de sólidos y turbidez y es evacuada por las purgas y cambios totales de agua (como en el resto de las tinas de lavado). Luego pasa a través de los rodillos con presión para que sea exprimido, pasando a la segunda tina.

Tina 2 y Tina 3: Tinas de lavado, que contiene el detergente, quita contaminantes en parte, por las acciones de disolución y emulsificación.

Tina 4 y 5: Las tinas de enjuague eliminan los contaminantes, que han sido desplazados en las anteriores tinas. Se realiza con agua pura.

Para la fibra de alpaca en general se utiliza una menor temperatura y detergente más suave que para la lana (Véase Tabla 6).

Las fibras más finas, tienen una mayor área superficial, más cera, suciedad y mayor número de fibras por lo que necesitan más detergente.

B.4. Daño a la fibra

Hay tres fuentes de daño a la fibra: temperatura, pH y daño mecánico. En cuanto a la degradación térmica de la fibra, ocurre con la exposición prolongada. Esta degradación se manifiesta con la pérdida de resistencia y el amarilleo. En cuanto al pH, por tratarse de un medio alcalino, afecta la resistencia de la fibra. La naturaleza alcalina de la suarda es crítica, por lo que es necesario saber la cantidad de suarda que trae consigo la fibra para determinar las condiciones de lavado. Ya que la fibra de alpaca contiene más polvo que la lana, necesitaría más agitación, pero se tendría que diseñar otra máquina para las condiciones que la alpaca requiera. La alpaca en comparación de la lana tiene menos problemas de enredo y por tanto de enfieltramiento.

Tabla 6. Recetas de Lavado de alpaca y lana

	TINA	PRES. ROD. (LBS/PSI ²)	T(°C)	CARBONATO (*)		THEMPOS (**)		SAN. (***)	PROD. (KG/H)	VOL. TINA (L)
				INIC. (L)	DOSIF. (L/H)	INIC. (L)	DOSIF. (L/H)	INIC. (L)		
LANA	1	40	50	30	2			4	450-500	9000
	2	40-50	58-60	30	2			4		8000
	3	40-50	58-60					2		7000
	4	40	50							6000
	5	70-80	25							5000
ALPACA	1	40	40	30	2			2	250-300	9000
	2	40-50	45	30	2	30	2	2		8000
	3	40-50	50			30	2	1		7000
	4	40	40							6000
	5	70-80	25							5000

(*) Solución de Carbonato de Sodio

0.15%

(**) Solución de Thempos (buffer)

0.25%

(***) Sandozina MRN

ALPACA: 1.3%; LANA 0.8%

Fuente: Datos obtenidos en Planta.

C. Secado

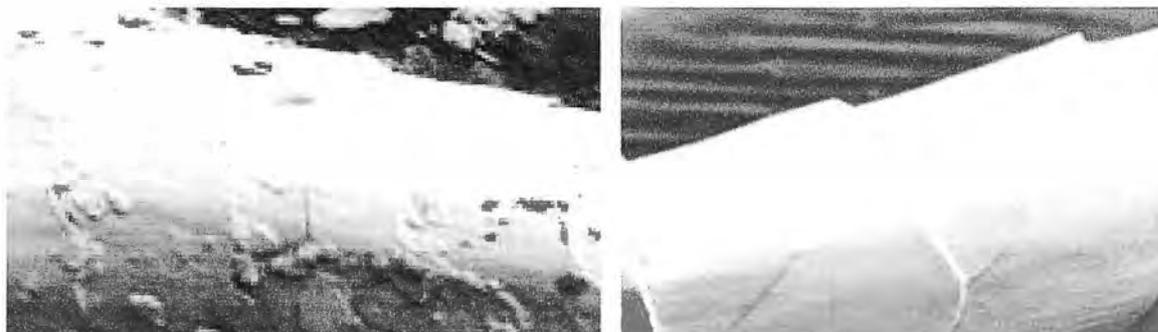
Comprende la evaporación del agua mediante aire caliente. La temperatura utilizada es de 90°C. El porcentaje de humedad de entrada es de 45% y a la salida se obtiene un 13%. (Prosur, 2006)

Tabla 7. Rendimientos aproximados para Alpaca y lana

CALIDAD	DE GRASIENTA A LAVADA	DE LAVADA A TOPS	DE GRASIENTA A TOPS
Alpaca Baby	87.6%	86.8%	76.1%
Alpaca Fleece	89.5%	88.7%	79.4%
Alpaca Huarizo	90.2%	90.7%	81.8%
Alpaca Inferior	90.6%	89.2%	80.8%
Lana A,B Coop (*)	76.3%	89.7%	68.4%

(*) Tipo de lana con los valores máximos de rendimiento

Fuente: Prosur 06



Fuente: Wang *et al.*, 2003

Figura 6. Sección microscópica SEM de Alpaca antes y después del lavado

D. Sacudido, Encimado y Prensado

El material que sale de la secadora es desmanchado y luego transportado a una sacudidora donde se separa el polvo y las materias vegetales. Luego se procede al encimado (Prosur, 2006). El material se coloca en una prensa donde se coloca formando fardos de un peso promedio de 300kg (Prosur, 2006).

2.2.2. TRATAMIENTO CON ENCIMAJES

La cantidad de estos productos dependerá de cuanta humedad tenga el material en el área de repeinado.

A. Cohesionantes

Utilizados para evitar las roturas de las fibras y desperdicios. Debe poseer un poder lubricante suficiente para poder otorgar a la fibra una adherencia óptima para lograr un peinado regular, propiedades antiestáticas para que no surjan problemas con su disolución en agua, suficiente grado de emulsionabilidad o solubilidad. Para que no surjan problemas en tintorería, es necesario que sea de fácil eliminación (Prosur, 2006). La lana, por cohesionar más rápido, necesita otra calidad de cohesionante que la alpaca.

B. Antiestáticos

Evitan la formación de carga eléctrica durante el proceso textil, la cual ocasiona principalmente la fijación de suciedad sobre las fibras, atracción sobre las partes metálicas. Esto lo realiza mediante una capa monomolecular que recubre las fibras, la cual principalmente imposibilita la transferencia de cargas por contacto en la superficie y disminuye el coeficiente de fricción. Los antiestáticos de carácter no iónico, no son tan eficaces como los aniónicos o catiónicos, pero a la vez no ocasionan problemas en los procesos posteriores (Prosur, 2006).

Tabla 8. Cálculo de la cantidad de Productos de encimaje

	Preparación		Post-peinado
	1er Pase en Intersecting Gill	2do pase en Intersecting Gill	
Veloc. Salida boquilla (*):	64.5ml/min	71ml/min	33ml/min
Veloc. Salida Cinta:	100m/min	100m/min	120-130m/min
Título de la cinta de salida:	20g/m	22g/m	21g/m
% Encimaje:	3.1% owf.	3.1% owf.	1.3% owf

(*) Se controla con la presión y el número de boquilla.

Fuente: Datos obtenidos en Planta

Tabla 9. Cantidad de Encimajes utilizados para lana y alpaca en preparación y postpeinado

	ALPACA	LANA	CANTIDAD (%)
Preparación	UNIFIOX	UNIFIOX	20
	IGRO 63	IGRO 63	10
	AGUA BLANDA	AGUA BLANDA	70
Post-peinado	INOXOL	UNIFIOX	20
	ETANOL PV-10	IGRO 63	10
	AGUA BLANDA	AGUA BLANDA	70

Fuente: Datos obtenidos en Planta

Tabla 10. Cantidad de Encimajes utilizados para lana y alpaca en preparación y postpeinado

Nombre Comercial	Función	Naturaleza Química	Carácter iónico
Unifiox P.A. (Autex S.r.l)	Cohesionante	Combinación de éster de ácido graso etoxilado con agentes antiestáticos derivados de éster de ácido fosfórico	No iónico
Igro G-3 Bio (Autex s.r.l.)	Antiestático	Mezcla de glicerol F.U. y otros componentes bioquímicos	
Inoxol spa (Lamberti spa)	Cohesionante	Aceite vegetal de alta viscosidad	No iónico
Etanol pV (Lamberti spa)	Antiestático	Mezcla de lubricantes, emulsificantes y aditivos especiales	No iónico/ aniónico

Fuente: Datos del proveedor

2.2.3. VAPORIZADO

En la hilatura, se realiza el vaporizado de las canillas y el cono para fijar la torsión. El tiempo y la temperatura dependen del título del hilo, y el número de cabos a procesar. A mayor torsión y menor título, se necesitará más temperatura. Asimismo, para las canillas se le asigna más tiempo de vaporizado que para conos porque los primeros están más compactos.

Tabla 11. Temperatura y tiempos de vaporizado en hilatura

Alpaca Baby 1/16 (canilla)	80°Cx30'
Alpaca baby 2/16 (cono)	70°Cx25'
Alpaca fleece 3/11 (cono)	80°Cx20'

Fuente: Obtenido en planta

Un vaporizado que no se realice uniformemente en toda la sección transversal de la canilla o el cono traerá consigo problemas en la tintura. Asimismo, algunos encimajes que no presentan resistencia a altas temperaturas pueden ocasionar manchas que darían como resultado una tintura desigual.

2.2.4. LAVADO EN MADEJAS

El lavado en madejas de la Alpaca se realiza para la humectación del material y para eliminar todas las impurezas obtenidas durante todo el proceso como el tratamiento enzimático.

El proceso típico de lavado realizado es como sigue:

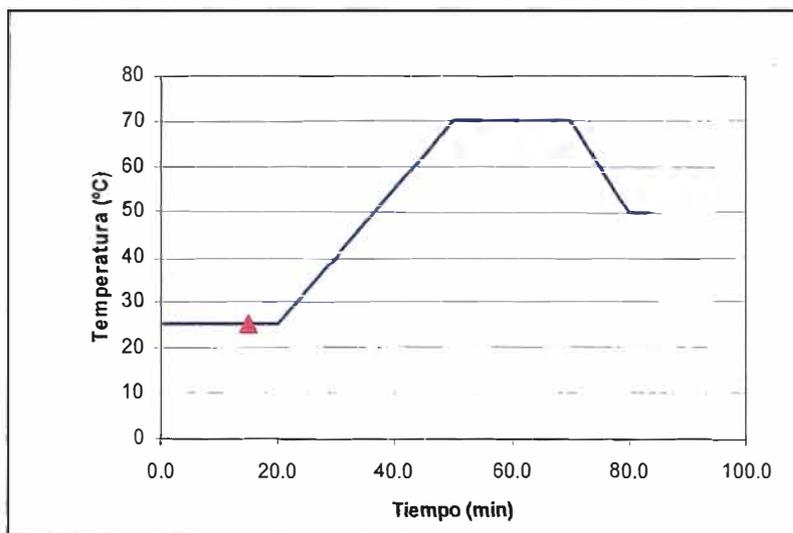
Tabla 12. Programa de Lavado

Máquina: Armario

Nº	PROCESO	Ti (°C)	Tf (°C)	Tiempo (min)	Tiempo Acum
	Inicio del proceso		25	-	0.0
1	Llenado de armario con Agua Fría	25	25	10.00	10.0
2	Circular baño.	25	25	5.00	15.0
3	Agregar detergente/humectante	25	25	5.00	20.0
4	Incremento de temperatura.	25	70	30.00	50.0
5	Mantener temperatura. Lavado 70°C x 20'	70	70	20.00	70.0
6	Enfriamiento directo por Enjuague por rebose	70	50	10.00	80.0
7	Drenaje del Baño	50	50	3.50	83.5

Ti, temperatura inicial, Tf, temperatura final

Fuente: Datos obtenidos en Planta



Fuente: Datos obtenidos en Planta

Figura 7. Programa de Lavado

Se suele utilizar un agente humectante/ detergente para remover la grasa remanente, como por ejemplo Sandoclean PC (poliglicol eter de alcohol. Proveedor: Clariant) al 0.5g/l de baja espuma.

Se puede optar por realizar un lavado intermedio antes de la tintura a 50°Cx20' para eliminar el detergente y la espuma remanente.

2.3. TINTURA DE ALPACA CON COLORANTES ÁCIDOS

2.3.1. CINÉTICA DE TINTURA

La tintura es un fenómeno o una sucesión de fenómenos que pueden ser puramente físicos o mecánicos, o también de orden fisicoquímicos o químicos, mediante los cuales se llega a conseguir que un sustrato textil en un baño acuoso de tintura atraiga y adsorba selectivamente una materia colorante en estado molecular o iónico y lo retenga en forma sólida o estable en su estructura a consecuencia de lo cual dicho sustrato textil adquiere un color o queda teñido (Fuentes).

La evaluación cinética del sistema colorante-fibra, suele ser establecida con la evolución del agotamiento relativo del colorante mediante modelos matemáticos provenientes de la 2da ley de Fick, cuyo parámetro definitorio es Dt/r^2 y

mediante modelos cinéticos semiempíricos, donde el parámetro a obtenerse es la constante cinética K .

A. Etapas del proceso de tintura

Existen varios autores que definen las etapas para el proceso de tintura como Vickerstaff (1954) y Eters (1995). Nosotros consideraremos las mencionadas por Cegarra (1980) que son las siguientes:

1. La difusión del colorante en estado molecular hacia la interfase sólido-líquido.
2. La adsorción del colorante en estado molecular a través de la interfase sólido-líquido en la superficie externa de la fibra.
3. La difusión (migración) del colorante siempre en estado molecular, desde la superficie externa de la fibra hasta alcanzar una máxima distribución en todos los sitios activos y accesibles en la estructura interna de la fibra. Esta etapa empieza cuando el sistema alcanza la energía de activación suficiente para que el colorante se difunda (Fuertes).
4. La formación de ciertos tipos de enlace colorante-fibra (en dichos sitios activos) que pueden ser de varios tipos

Se debe centralizar el estudio en la 3ra etapa de la tintura: la difusión desde la superficie se adsorción hacia el interior de la fibra por ser la que más influye en la velocidad a la cual el colorante es transferido debido a la tortuosidad de la fibra.

La primera ley de Fick toma en cuenta un flujo constante unidireccional, un gradiente constante y un medio homogéneo o isotrópico donde las propiedades de difusión son relativamente los mismos.

La segunda ley de Fick, la gradiente de concentración no se mantiene constante a lo largo del proceso sino que disminuye a medida que la concentración en la fibra aumenta, el flujo es variable y multidireccional y se considera un medio heterogéneo o anisotrópico. Es por tanto esta segunda ley la que se toma en cuenta para hallar el coeficiente de difusión en un sistema tintóreo.

Para una sola dirección, la ecuación se escribe de la siguiente manera:

$$\text{Ecuación 1 ... } \frac{dC}{dt} = D \frac{d^2C}{dx^2}$$

B. Modelos matemáticos

Estos modelos son soluciones aproximadas de la segunda ley de Fick. Los modelos que se consideran para la tintura de fibras, son aquellos que consideran como patrón placas paralelas o cilindros infinitos.

Crank (Cegarra *et al.*, 1980) propone la siguiente ecuación para cilindros infinitos en baño con agotamiento:

$$\text{Ecuación 2... } \frac{C_{ft}}{C_{f\infty}} = \frac{1+\alpha}{1+\frac{\alpha}{4}} \left[1 - e^{\left(4\left(1+\frac{\alpha}{4}\right)^2 \frac{Dt}{r^2\alpha^2}\right)} \operatorname{erfc}\left\{2\left(1+\frac{\alpha}{4}\right)\frac{1}{\alpha}\left(\frac{Dt}{r^2}\right)^{1/2}\right\} \right]$$

siendo

$$\alpha = (1-E)/E$$

donde E: Agotamiento en el equilibrio

erf: error función complementaria

Medley y Andrews (citados por Lewis, 1992) han sugerido el siguiente modelo teniendo en cuenta que la lana no puede ser considerada como un cilindro homogéneo y está basado en un plano semiinfinito de fibra separada del baño por una barrera de material no absorbente de espesor dado. Este modelo se cumple para baño infinito.

$$\text{Ecuación 3... } \frac{C_{ft}}{C_{f\infty}} = \alpha' \left[\frac{2t^{1/2}}{\pi^{1/2}\mu} + \frac{e^{\mu^2 t}}{\mu^2} \operatorname{erfc}(\mu t^{1/2}) - \frac{1}{\mu^2} \right]$$

siendo

$$\mu^2 = \frac{\alpha'^2}{D}$$

α' : factor admitancia de la barrera superficial

Vickerstaff (1954) menciona que la solución de estas ecuaciones que incluyen la función error complementaria pueden ser escritas mediante una serie infinita cuyas constantes fueron resueltas por Crank para cada caso en particular. Estas constantes para un plano infinito en medio infinito, cilindro infinito en medio

infinito y cilindro infinito para medio finito se encuentran publicados en el libro del autor citado. Esta serie infinita se describe como:

$$\text{Ecuación 4... } \frac{C_{ft}}{C_{f\infty}} = 1 - A \cdot e^{-B \cdot \frac{Dt}{r^2}} - C \cdot e^{-F \cdot \frac{Dt}{r^2}} \dots$$

Donde:

C_{ft} : Concentración del Colorante en la fibra en el tiempo t

$C_{f\infty}$: Concentración del colorante en el baño en el equilibrio

$\frac{C_{ft}}{C_{f\infty}}$: Agotamiento relativo en el equilibrio

A, B, C, F son constantes,

r: el radio de la fibra.

Esta ecuación ha sido utilizada ampliamente en numerosos artículos, entre los cuales destacan los de Cegarra (2001); Musnickas, Treigiené y colaboradores (2003 y 2004) y Song (1999).

C. Modelos cinéticos semiempíricos

En estos modelos, se considera que la velocidad de tintura es una función de la concentración del colorante en la fibra en el tiempo t:

$$\text{Ecuación 5... } \frac{dC_{ft}}{dt} = K \cdot f(C_{ft})$$

Donde

K: Constante cinética de velocidad

Las más sencillas son la ecuación parabólica (considerada de orden cero) y la ecuación de primer orden. Además se encuentran la Ecuación de Vickerstaff (de segundo orden), la ecuación de Cegarra-Puente, y sus posteriores modificaciones (Cegarra *et al.*, 1980). Además también aparece la ecuación de Chrastil para fibras de algodón (Lis, 2002).

Sin embargo, las ecuaciones más utilizadas y que se han adaptado bien a la tintura de lana con colorantes ácidos son la ecuación de Cegarra-Puente y Cegarra-Puente-Valldeperas.

La **Ecuación Cegarra-Puente** está basada en la reversibilidad del equilibrio tintóreo y se adapta bien a los baños infinitos que cumplen con la 2da ley de Fick.

$$\text{Ecuación 6... } E_r = \frac{C_{ft}}{C_{f\infty}} = \sqrt{1 - e^{-k \cdot t}}$$

Este modelo es utilizado en los artículos Cegarra y colaboradores (2001) para lana.

La **Ecuación Cegarra-Puente-Valdeperas** para baño finito, se introduce la constante a que depende del agotamiento. Esta fórmula puede aplicarse a múltiples sistemas aunque no cumplan con la ley de Fick:

$$\text{Ecuación 7... } E_r = \frac{C_{ft}}{C_{f\infty}} = \sqrt{1 - e^{-k^a \cdot t^a}}$$

Este modelo es utilizado por Musnickas y colaboradores (2004 y 2005).

D. Otros Modelos cinéticos

Existen otros modelos que se adaptan bien a los datos experimentales, pero que aparentemente no obedecen a ninguna ley. Cardamone y colaboradores (2006) utiliza el **modelo sigmoidal**:

$$\text{Ecuación 8... } E = \frac{C_{ft}}{C_0} = \frac{a}{1 + e^{\frac{-t+c}{b}}}$$

donde a, b y c son constantes. a representa el agotamiento final y c representa el tiempo medio de tintura. Este modelo se adapta bien para procesos con temperatura no constante.

La constante cinética aparente promedio se calcula con por la derivada de la función en el punto c (E'(c)).

2.3.2. CLASIFICACIÓN DE COLORANTES UTILIZADOS PARA LANA

La elección de los colorantes para la tintura de la lana y su elección depende de cómo se presente la materia prima, las necesidades a las cuales deben responder, los tonos y las solideces que deseamos obtener.

Los colorantes más utilizados para la tintura de lana son:

- 1) Colorantes ácidos
- 2) Colorantes mordentables, principalmente al cromo
- 3) Colorantes de complejo metálico.
- 4) Otros

(Fuertes; Bozzeto, 1997; FMC, 197?; Costa, 1990)

En el último grupo están incluidos los colorantes reactivos, utilizados para algunos tonos brillantes. Sin embargo su uso ha sido desplazado por los colorantes ácidos que también ofrecen tonos brillantes. También se incluyen los colorantes dispersos, tinas, sulfurosos, básicos, que ya no se utilizan con frecuencia por sus bajas solideces.

La elección de uno de estos tres grupos para la tintura en madejas y tops depende básicamente de los tonos a obtener, y tipo de material utilizado.

Tabla 13. Tipos de colorantes más utilizados en lana

	Colorantes mordentables	Colorantes de Complejo metálico	Colorantes ácidos De igualación
Tonos	Opacos	Opacos-brillantes	Brillantes
Material utilizado	Madejas (no cubren los kemps (*))	Tops (no cubren las kemps)	Tops-madejas (cubren los kemps)

(*) Ver definición en Cap 2.1.1.D.

Fuente: Obtenidos en planta; Elaboración: Propia

Los procesos que se utilizan para cada tipo de colorante dependen de los artículos a obtener, la naturaleza de los materiales que los constituyen y la maquinaria a utilizar.

Tabla 14. Nombres comerciales de colorantes de cada clase

Proveedor	Colorantes ácidos de igualación	Colorantes ácidos batanables	Colorantes complejo metálico 2:1	Colorantes al cromo	Colorantes reactivos
Clariant	Sandolan E Sandolan P Sandolan MF(*)	Sandolan Milling N	Lanasyn S-D Lanasan CF (**)	OmegaCromo (descontinuado)	Drimalan F
Ciba-Geige	Erionyl A		Erionyl Black lanacron/ Irgalan	Eriocromo	
	Lanaset				

(*) Actualmente Nylosan /Optilan. Presentan las mejores solideces de los colorantes ácidos de igualación del grupo Clariant.

(**) Presentan mejores solideces de los colorantes complejo metálico 2:1.

Fuente: Proveedores; Elaboración: Propia

En la tintura de Alpaca, es recomendable la utilización de colorantes ácidos de igualación con las mejores solideces, puesto que hasta el momento, sólo este tipo de colorantes es capaz de teñir los pelos muertos que posee en mayor cantidad que la lana.

2.3.3. PROPIEDADES Y CLASIFICACIÓN DE LOS COLORANTES ÁCIDOS

Según el “Colour Index”, los colorantes ácidos incluyen el grupo de colorantes complejo metálico, los mordentables y los ácidos propiamente dichos (no metalizados). Aquí se tratará los colorantes ácidos no metalizados.

Constituyen un grupo muy importante y numeroso puesto que ofrecen una diversa gama de colorantes que responden a distintas afinidades, se consiguen una gran variedad de colores y solideces de tinturas a exigencias diversas.

La carga negativa se debe a los grupos sulfónicos y grupos carboxílicos en algunos casos. Se le atribuye su nombre más a la forma de aplicación (medio ácido, aun cuando algunos se tiñen casi a pH neutro), y no a la constitución química, ya que hay grupos ácidos en la estructura molecular de otros colorantes (citado por Fuertes).

Se venden como sales sódicas de ácidos sulfónicos de un gran número de colorantes azoicos $-RSO_3Na$, puesto que como ácidos libres, son difíciles de aislarlos y son higroscópicos. En su mayoría son derivados de ácidos sulfónicos aromáticos (Fuertes).

Los cromógenos más utilizados son: azos, antraquinónicos, trifenilmetano, xanteno, azina, ác. nitrados, cetanimina, nitro ftalocianina, carbolán.

A. Propiedades

- Tienen una amplia gama de matices brillantes,
- Tienen niveles de solidez de pobres a excelentes,
- Muchos tienen buen poder de migración porque los enlaces colorante-fibra son fáciles de romper (desorción).

Las solidez en húmedo se mejoran disminuyendo el número de grupos solubilizantes en la molécula e incrementando los grupos hidrofóbicos, lo que equivale a un aumento en el peso molecular, y de esta manera la afinidad del colorante por la fibra. Cuando la afinidad se incrementa, la igualación o compensación tintórea disminuye. Con los colorantes Sandolan MF de igualación se logra obtener una buena igualación y solidez.

B. Clasificación

Se clasifican dependiendo de las propiedades de igualación y en algunos casos de las solidez.

1.- Con buen poder de igualación: Se caracterizan por su gran poder igualador por su montura lenta y regular sobre la fibra y por desplazarse fácilmente sobre la fibra por simple ebullición del baño de tintura. Esta última característica, permite igualar por ebullición suficientemente prolongada las partículas donde el colorante ha estado mal repartido al comienzo de la tintura. Tienen baja afinidad. Tiñen en baños ácidos fuertes, no tienen buenas solidez húmedas, aun cuando las solidez a la luz son buenas.

2.- Colorantes batanables: En este grupo se encuentran los colorantes que tienen una buena afinidad por la fibra en baño neutro. Se utilizan por lo general en baño muy ligeramente acidificado con ácido acético o en presencia de una sal neutra generadora de ácido en ebullición como el acetato o sulfato de amonio. Tienen buenas solidez húmedas, buena afinidad tiñen en medio ácido a casi neutro. No dan tinturas uniformes. Las solidez se debe a la formación de otros tipos de unión colorante fibra además de la iónica, como las de Van der Waals o no polares, puentes de Hidrógeno e hidrofóbicas.

3.- Con Propiedades tintóreas intermedias.

La sociedad de tintóreos y coloristas los divide en 4 grupos de colorantes dependiendo de la composición del baño de tintura que necesitan para su aplicación.

Tabla 15. Clasificación de colorantes ácidos según el pH de aplicación

Grupo	pH	Tipo de ácido
Fuertemente ácidos	2.5-3.0	Ác. Sulfúrico
Moderadamente ácidos	4.0	Ác. Fórmico
Débilmente ácidos	4.5-5.5	Ác. Acético
Muy débilmente ácidos	6-7.5	Sulfato de amonio

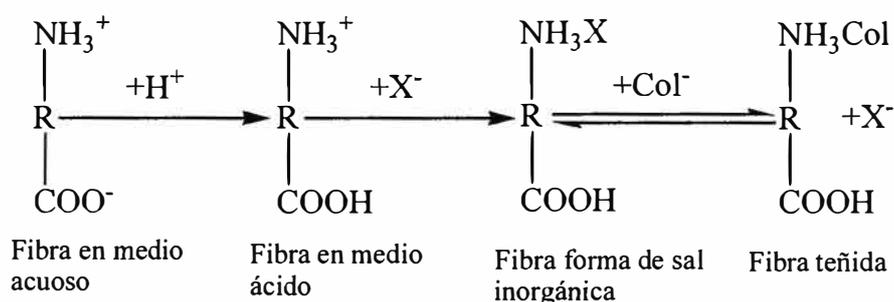
Fuente: Sociedad de tintóreos y coloristas citado por Fuertes.

2.3.4. MECANISMO DE TINTURA CON COLORANTES ÁCIDOS

La tintura con colorantes ácidos se realiza por debajo del punto isoelectrico, ya que los grupos amino están cargados positivamente y pueden unirse a los aniones colorantes.

El mecanismo se puede resumir de la siguiente manera: Cuando la fibra se introduce al baño ácido, los iones hidrógeno son absorbidos por los grupos carboxílicos de la fibra. Los iones inorgánicos del sulfato de sodio se difunden más rápido que los iones colorantes por ser de menor peso molecular. Posteriormente, los iones sulfato son desplazados por los iones colorante por su mayor afinidad atribuible a fuerzas de tipo no iónicas, además de las iónicas (Cegarra *et al.*, 1980).

Figura 8. Mecanismo de Tintura



La afinidad se puede medir mediante la Energía libre de Gibbs, la cual depende de la cantidad de colorante en el sistema, o mediante el potencial químico, independiente de la cantidad de colorante en el sistema (Fuertes; Vickerstaff, 1954).

La energía necesaria para la formación de los enlaces entre la fibra y el colorante está dada por el calor de tintura que es exotérmico. Esto implica que la disminución de la afinidad cuando la temperatura aumenta (Fuertes; Vickerstaff, 1954).

En la tintura de la lana, y la Alpaca por ser una fibra queratinosa, la unión colorante-fibra se lleva a cabo mediante la formación de enlaces iónicos, hidrofóbicos, fuerzas de Van Der Waals y puentes de hidrógeno (Zollinger citado por Fuertes; Costa, 1990; Bozzeto, 1997).

A. Enlaces iónicos

Estos se presentan principalmente cuando se utilizan colorantes que tiñen en medio ácido y es más importante cuanto mayor sea el número de auxóchromos solubilizantes. Se forman entre los grupos amino de la fibra y la carga negativa del colorante.

Los grupos amino de la cadena polipéptido se encuentran presentes en:

Los terminales (grupo amino-terminal o N-Terminal) que representan tan solo el 0.5% de los sitios activos (en caso de que sean accesibles).

Los residuos de aminoácidos, especialmente de los aminoácidos dibásicos. La arginina, licina, histidina (básicos) son los verdaderos sitios activos para los colorantes de naturaleza aniónica y para los colorantes reactivos vía enlace covalente.

B. Enlaces hidrofóbicos o Fuerza de van der Waals

Estos enlaces se dan entre las partes hidrofóbicas del colorante y la fibra.

Se dan en mayor cantidad para los colorantes de mayor peso molecular y que tiñen a pHs mayores a 6 (Costa, 1990). En estas condiciones existe una repulsión de cargas entre el cromógeno y el grupo carboxílico de la lana, lo que hace suponer que las fuerzas hidrofóbicas son mayores que las fuerzas iónicas.

Las fuerzas de Van Der Waals pueden ser:

- Fuerzas Dipolo-Dipolo: Que se da entre moléculas polares. Los grupos responsables de estas fuerzas en la queratina son: la serina, la theronina y la tyrosina.
- Fuerzas de Dispersión de London: Se da entre moléculas apolares. Estas fuerzas son más fuertes cuanto mayor es el área de contacto entre las moléculas.

2.3.5. PARÁMETROS DE TINTURA

A. Disolución de colorantes y productos químicos

A excepción de los colorantes a la tina, todos los colorantes son solubles en agua. Antes de ser introducidos al baño de tintura, deben ser disueltos en agua blanda.

El mejor método de disolución consiste en empastar el colorante con un poco de agua fría y luego verter con agitación agua hirviendo sobre la pasta obtenida. La mayor temperatura promueve la disgregación a estado casi monomolecular. La cantidad de agua necesaria para la disolución depende de la solubilidad del colorante (Véase Tabla 16).

La solución de colorante luego es vertida en el baño de tintura pasando a través de un tamiz muy fino. Las partículas que no atraviesan el tamiz son devueltas al agua hirviendo. Si las partículas de colorantes no se disolvieran, podrían fijarse sobre el material a teñir y causar manchas.

A mayor peso molecular, hay una tendencia mayor a la formación de agregados moleculares. En cambio a mayor cantidad de grupos sulfónicos, la dispersión es mayor. El estado de agregación del colorante se puede medir mediante la medición del coeficiente de difusión del colorante, la dispersión de la luz, el polarográfico, la ultrafiltración, propiedades coligativas y métodos espectrofotométricos (Fuentes; Vickerstaff, 1954).

La dilución de auxiliares y productos químicos es importante también porque contribuyen a la formación de agregados moleculares.

Tabla 16. Solubilidad de Colorantes ácidos y sales

Colorante	Solubilidad (g/l)
Amarillo Optilán MFRL	100 ^{98°}
Rojo Nylosan N-2RBL	80 ^{98°}
Azul Optilán MFGL	100 ^{98°}
Acetato de sodio NaC ₂ H ₃ O ₂	465 ^{20°} ; 1390 ^{60°} ; 1700 ^{100°}
Sulfato de sodio (Sal de Glauber) Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	194 ^{20°} ; 408 ^{30°}

Fuente: Datos brindados por el proveedor y Perry *et al.* (1999).

Tabla 17. Dilución de Auxiliares, productos químicos y colorantes

	Producto	Forma de dilución recomendado por el proveedor
Auxiliares	Sandoclean	En agua fría en cualquier proporción
	Cibaflow FFW	Se forma una pasta blanda con agua fría cuya cantidad es dos veces el volumen del auxiliar. Se diluye lentamente con agua fría y se agita enérgica y continuamente.
	Albegal SET	En agua fría
	Ultratex MES	En agua fría en cualquier proporción
Prod. Quím.	Ác. Acético	En agua fría
	Acetato de Sodio	En agua caliente
	Sulfato de Sodio	En agua caliente
	Colorantes	Empastar con agua fría de 1 a 2 veces el vol. Luego se diluye en agua caliente.

Fuente: Datos brindados por el proveedor, obtenidos en planta y deducidos de Perry *et al.*, (1999).

B. pH del baño

Es generalmente necesario acidificar el baño de tintura para montar el colorante sobre la fibra. Los ácidos rompen los enlaces electrostáticos por fijación del ión hidrógeno al grupo carboxílico y del anión ácido al grupo amino. En el transcurso de la tintura el anión coloreado substituye poco a poco al anión ácido, el cual equilibra los iones sodio en el baño. Es así que los ácidos provocan la fijación de los colorantes sobre la lana (Véase Figura 8).

La rapidez de la fijación del colorante ácido y el agotamiento de baño de tintura crecen con la acidez, definida por el pH.

El pH empleado depende de la afinidad del colorante por la fibra y de la intensidad de color. El valor de pH que se debe controlar es sobre el baño cargado del ácido después del equilibrio de repartición del ácido entre el baño y la fibra.

Dependencia entre el pH utilizado y la afinidad del colorante por la fibra

Los colorantes que poseen una pobre afinidad por la lana, son utilizados en un medio acidificado con ácido sulfúrico o bisulfato de sodio. Montan lentamente sobre la fibra y, en consecuencia, igualan más fácilmente. Según la afinidad de los colorantes por la fibra, se debe utilizar en orden creciente ácido sulfúrico a una dosificación leve, ácido fórmico, ácido acético y finalmente, para los más afines, una sal que suelta progresivamente una acidez pobre al transcurso de la ebullición, como el acetato de amonio (FMC, 197?). Si la débil acidez del baño

no permite el agotamiento, se puede añadir ácido en el transcurso de la tintura, pero antes se debe enfriar el baño (Fuertes; FMC, 197?).

Para el caso de los colorantes Sandolan MF sobre Alpaca, es recomendable la utilización de ácido acético.

Dependencia del pH utilizado y la intensidad de los tonos

La proporción de ácido a utilizar por la tintura crece con la intensidad de los tonos a obtener (FMC, 197?).

Agente Tampón

Para mantener el pH a lo largo de la tintura, es recomendable utilizar un agente tampón como el Acetato de Sodio.

Tabla 18. pH utilizado para teñir con Colorantes Sandolan MF

Producto	Aplicados en planta para Alpaca y lana
Ácido Acético 99%	Para todos los tonos se aplica un rango de pH 4.5-5
Acetato de Sodio	Para todos los tonos se aplica: 0.5g/l

Fuente: Datos obtenidos en Planta

C. Sal

La adición de sal provoca una disminución en la velocidad de tintura, ocasionando de esta manera la igualación de la tintura.

Tomando como ejemplo un colorantes disulfónico de diferentes pesos moleculares, en el baño se encuentran 50 aniones sulfato por cada anión colorante, los cuales compiten por el sitio positivamente cargado en la fibra. Estos aniones por ser de mayor número y por poseer mejor movilidad por su tamaño, ocupan primero estos sitios activos en una primera etapa. Luego, los colorantes, por poseer una mejor afinidad con la fibra, desalojarán los aniones-sulfato y ejercerán un efecto de nivelación, especialmente con aquellos colorantes de poca afinidad (Véase Figura 8).

Se suele preferir la sal de Glauber (sulfato de sodio) que el cloruro de sodio porque la afinidad del ión cloruro es mucho más baja.

Es importante la cantidad de sulfato de sodio puesto que si es mayor a un 20%owf, el agotamiento puede bajar mucho y la velocidad de tintura disminuir más de lo necesario.

Para colorantes con mayor afinidad a la fibra, la acción de la sal de Glauber es menos efectiva en su acción nivelante y más bien tiende a formar fácilmente agregados en el baño de tintura, disminuyendo la solubilidad de los mismos.

Dependencia de la cantidad de Sal utilizada y la intensidad de los tonos

La cantidad de sulfato de sodio debe ser menor para los colores oscuros que para los colores claros ya que son de igualación más delicada.

Además de la acción igualadora, en la fibra de Alpaca, el sulfato de sodio se utiliza como retardante para permitir que el colorante recubra mejor los kemps. Las fibras que posean mayor cantidad de pelos muertos requerirán más cantidad de sal. Es por esto que se suele aplicar la relación contraria: para colores más oscuros se utiliza mayor cantidad de sulfato de sodio para que todo el colorante pueda cubrir estos pelos muertos.

Tabla 19. Cantidad de Sulfato de Sodio utilizado para teñir con Colorantes Sandolan MF

Aplicado en planta para Alpaca
Claros: 5% owf
Medios: 8% owf
Oscuros: 10% owf

Fuente: Datos obtenidos en Planta

Para la tintura de lana, la tintura sin sal pero con igualante, ha dado buenos resultados ya que se consigue una buena igualación sólo con el uso del igualante.

D. Antiespumante

Este auxiliar se utiliza para eliminar el aire ocluido entre las fibras. Asimismo, evita la formación y/o elimina las espumas. Otra de sus propiedades es que ayuda a desagregar los colorantes.

Para probar la efectividad de estos productos, se puede realizar la prueba del corte de espuma. En el Anexo 1 se muestran los resultados obtenidos con ambos productos. De esta prueba se deduce que el Globodefoamer WR se puede utilizar en menores cantidades que el Cibaflo FFW para obtener los mismos resultados.

Tabla 20. Tipo y cantidad de Antiespumantes utilizado para teñir con Colorantes Sandolan MF

Nombre comercial	Naturaleza química	Aplicaciones recomendadas por los proveedores	Aplicados en planta para Alpaca y lana
Cibaflow FFW (Ciba- Geigy)	Alquilarilpoliglicoletersulfato conteniendo desairante y disolvente. Débilmente aniónico	0.1-0.5g/l	Claros: 0.2g/l Medios: 0.25g/l Oscuros: 0.3g/l
Globodefoamer WR (Global Chemicals)	Emulsión de bajo contenido silicónico. No iónico	0.02-0.3g/l	No probado en planta

Fuente: Datos obtenidos en Planta

E. Agentes igualantes

La uniformidad en la tintura depende principalmente del colorante y sus propiedades de solubilidad, sensibilidad al agua dura, grado de afinidad, propiedades de migración y difusión, etc., algunas de las cuales cambian con la temperatura, pH, el estado del material, la maquinaria y agentes de igualación.

Los auxiliares no-iónicos o ligeramente catiónicos suelen interactuar con el colorante aniónico para formar un complejo débil en solución, los cuales suelen tener poca movilidad. Las aminas etoxiladas son las que ejercen un mejor control sobre la velocidad de adsorción del colorante (Bozzeto, 1997; Fuertes).

Otros auxiliares (como los anión activo) actúan en base a la afinidad por la fibra, compitiendo con el colorante por los sitios activos de la fibra, así como los aniones inorgánicos del sulfato de sodio, reduciendo de esta manera la velocidad de adsorción. (Bozzeto, 1997; Fuertes). Químicamente, los igualantes para la tintura de la lana con colorantes ácidos son:

Tabla 21. Tipos de Igualantes

Derivados de:	Tipo	Actúan sobre:
Sales de ácido sulfónico	Anión activo	La fibra
Producto de condensación del ác. Sulfónico aromático	Anión activo	La fibra
Producto sulfonado de poliglicóeter	Anión activo	La fibra
Derivado anfotérico de poliglicoléter	Anfótero aniónico	La fibra y el colorante
Producto oxietilado	No iónico	El colorante
Polioxieter de amina grasa	Catión activo	El colorante

Fuente: Fuertes, A.

La cantidad de igualante requerido depende en la cantidad de colorantes, compatibilidad de los colorantes, agotamiento final del baño, y la acción retardante requerida al comienzo de la tintura (Ottner, 1996).

Con respecto a los igualantes utilizados para Alpaca y lana, los siguientes han tenido buenos resultados:

Tabla 22. Tipo y cantidad de Igualantes utilizados para teñir con Colorantes Sandolan MF

Nombre comercial	Tipo	Constitución química	Aplicaciones recomendadas por los proveedores	Aplicados en planta para Alpaca y lana
Albegal Set (Ciba-Geigy)	Anfotérico (afinidad por la fibra y el colorante)	alcohol-grasas etoxiladas	Utilizado para todos los tonos. 1% owf: RB de 8:1 a 25:1. 0.5% owf: RB < 8:1. 1.5% owf: RB > 25:1.	Claros: 1.2% owf Medios: 1% owf Oscuros: 0.5% owf
Liógeno MF (Clariant)	Catiónico-no iónico (afinidad por el colorante)	poliglicol eter	0.5-2% owf	Claros: 1.5% owf Medios: 1% owf Oscuros: 0.7% owf
Lanotan AR (Giovanni Bozzeto)	Aniónico-no iónico (afinidad a la fibra ya los colorantes)	Alquil-amino ésteres y derivados alquil-aril sulfónico	0.3-2% owf	Claros: 1.5% owf Medios: 1% owf Oscuros: 0.5% owf

Fuente: Datos obtenidos de proveedores y en planta

El igualante Albegal Set es más utilizado para los colorantes lanaset (complejo metálico 2:1 + reactivos), sin embargo han demostrado tener un buen funcionamiento con los colorantes ácidos Sandolan MF.

Estos tres promueven la migración, regulación del agotamiento y por lo tanto una buena igualación.

F. Otros auxiliares

Algunas veces se utilizan otros auxiliares para determinados tipos de tintura. Por ejemplo, se pueden utilizar dispersantes como Avolan IW (Bayer) utilizado también en mezclas con PAC o Celulosa. Esto se utiliza especialmente para colores oscuros. Asimismo, evita el depósito de los colorantes en las máquinas. Este producto también se suele utilizar en lavados posteriores para mejorar las solidez (Ver capítulo 2.3.7.).

Para procesos largos, principalmente en colores oscuros, o reproceso, es recomendable el uso de un protector de fibra. Lanasan PW ha demostrado tener buenos resultados en alpaca y lana. Este producto reacciona con la proteína y forma puentes estables entre las cadenas polipeptidas.

Tabla 23. Otros auxiliares utilizados para teñir con Colorantes Sandolan MF.

Producto	Tipo	Constitución química	Aplicaciones recomendadas por los proveedores	Aplicados en planta para Alpaca y lana
Avolan IW (Bayer)	No iónico	Éter alquilpoliglicólico	0.2-0.4g/l Ó RB=1/50: 1-2%owf	Medios-Oscuros: 0.15% owf Oscuros: 0.20%-0.25% owf
Lanasán PW (Clariant)	No iónico	Derivado nitrogenado, heterocíclico y éster de ácido graso en medio acuoso	RB>1/20 3-6%owf RB1/10-1/20 3%owf	Oscuros: 2-3% owf

Fuente: Proveedores y obtenidos en Planta.

G. Temperatura

La temperatura es importante fundamentalmente por tres aspectos: permite que la solución se encuentre en estado monomérico, permite el hinchamiento y la turgencia de la fibra y aumenta la fracción de moléculas capaces de tener una energía suficiente para alcanzar su Estado de Activación y de esta manera que el colorante pase del baño a la fibra (Fuertes).

La velocidad de tintura aumenta con la temperatura de baño. Sin embargo, al incrementar la temperatura, se produce la desorción porque la afinidad disminuye (Fuertes; Vickerstaff, 1954).

Se debe comenzar por una temperatura moderada (normalmente 40°C a 50°C). Esta temperatura inicial debe asegurar que la velocidad inicial de adsorción no sea tan lenta (tiempo muerto) ni tan rápida (poca igualación), (Ottner, 1996). Después se calienta lentamente el baño hasta ebullición con una gradiente de 1°C/min a 2°C/min, lo cual depende de la igualación del colorante, y se mantiene un tiempo conveniente para que penetre en la fibra y alcance el estado de equilibrio (Véase Cap. 2.1.5.), lo cual depende del color. Para controlar la igualación, se puede optar también por establecer un programa con gradiente escalonada (Ver Figura 8). Según Ottner (1996), el tiempo crítico de agotamiento abarca de 40 a 50°C por encima de la temperatura inicial. Después

de este rango crítico, el baño puede ser calentado rápidamente hasta la temperatura máxima.

H. Calidad del agua

Las aguas cargadas de materiales insolubles ensucian las máquinas de tintura y manchan los materiales a teñir. Las aguas duras provocan la precipitación de los mordientes y de algunos colorantes. Por ejemplo, el Amarillo Optilán MFRL es extremadamente sensible a la dureza del agua. Esto se puede notar claramente porque la dilución del color en agua blanda es translúcida y en agua dura es espesa y de otro color. La presencia de hierro empaña los matices especialmente aquellos obtenidos por ciertos colorantes al mordiente.

Las aguas duras son depuradas químicamente, con la ayuda de resinas de intercambio de iones. Se puede considerar que el agua es blanda cuando tiene menos de 50 ppm_{CaCO₃}, pero para fines de tintura es preferible que tenga menos de 10 ppm_{CaCO₃}. Un pH cercano a 8 estaría indicando la presencia de bicarbonatos.

Tabla 24. Receta con colorantes ácidos

	Ácidos de igualación	Ácidos de igualación/ buena solidez	Ácidos batanables
Acido	Ác. Sulfúrico	Ác. Acético	Sulfato de amonio o a acetato de amonio
pH	2.5-3	4.5-5.5	6-7.5
Sal	15-20%	10%	---
Igualante	Si	Si	Si
Temp. Inc.	60°C	50°C	60°C
Gradiente	1,2°/min	1°/min	0.8°/min
t agot.	45-60'	15-30'	30-40'

Fuente: Fuertes.

2.3.6. PROCESO DE TINTURA

En resumen, para obtener una tintura regular e igualada, el proceso general a seguir es el siguiente:

1. Cargar el baño con el antiespumante para eliminar las burbujas y la espuma remanente del lavado y circular por unos 5'.
2. Añadir el sulfato de sodio, ácido, acetato de sodio y el igualante y hacer circular el baño durante 10' a la temperatura inicial fijada, para equilibrar la repartición de los productos entre el baño y la fibra. Controlar el pH inicial.

3. Añadir los colorantes disueltos. Dejar en marcha unos minutos sin calentar tanto más cuanto más difíciles de igualar sean los colorantes y la materia prima sea penetrable con mayor dificultad (10-15’).
4. Después, elevar la temperatura hasta 98°C con la gradiente establecida.
5. Mantener a 98°C el tiempo necesario para el agotamiento, la buena fijación y la igualación de los colorantes. Este tiempo también dependerá del color a obtener. Para colores claros: 15’-30’, para colores medios: 30’-45’ y para colores oscuros: 45’-60’.

Nosotros nos centraremos en el proceso de tintura con ácidos de igualación de buena solidez (Sandolan MF)

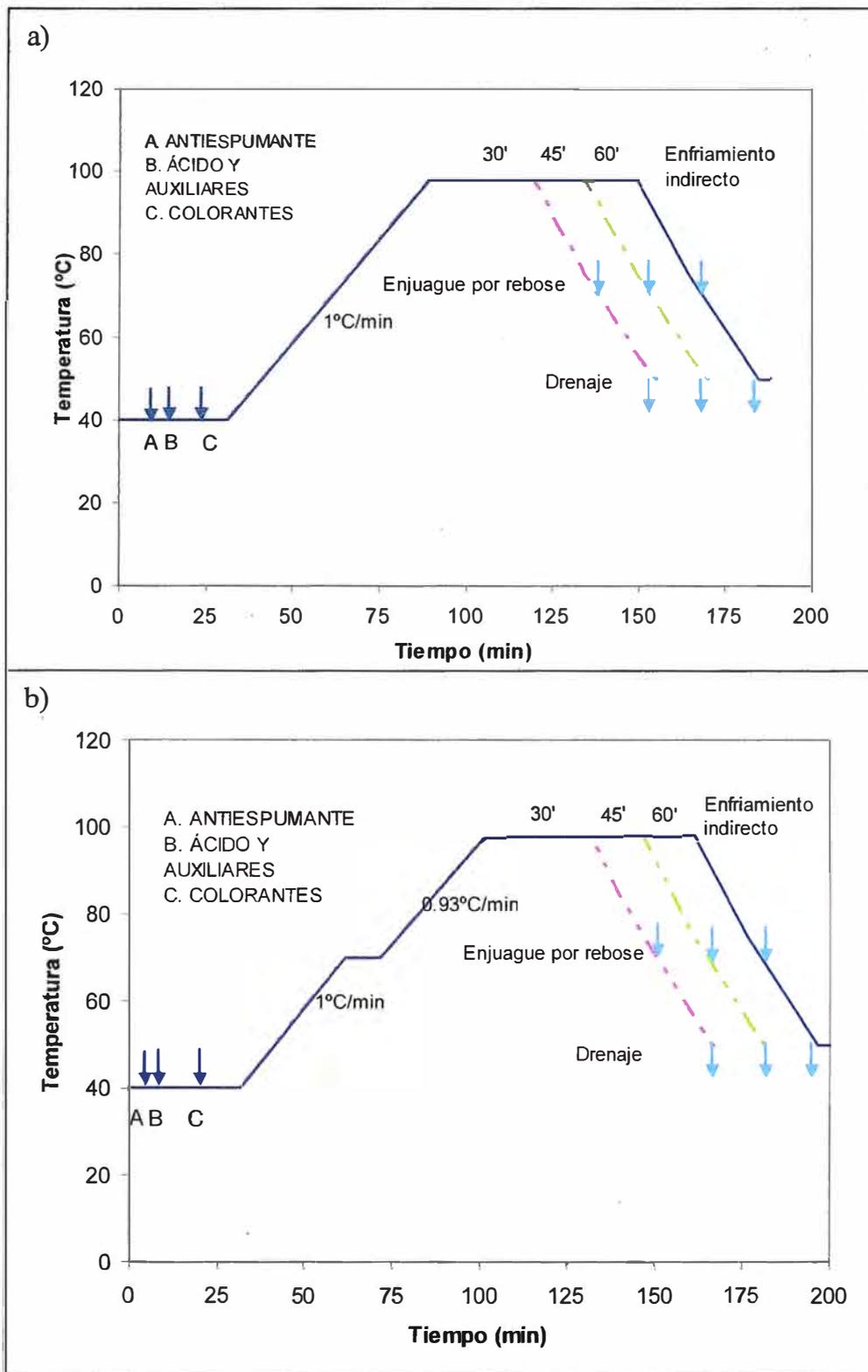
Ejemplo

Tabla 25. Receta con colorantes ácidos Sandolan MF

PESO (KG):	1.4
NºMAD:	4
RB:	1/62

CIBAFLOW FFW	0.3	g/l
ACIDO ACETICO - PH 4.5	2.5	%owf
ACETATO DE SODIO	0.5	g/l
SULFATO DE SODIO	8	%owf
ALBEGAL SET	1	%owf
AMARILLO ORO SANDOLAN MF-RL	0.0285	%owf
ROJO BTE SANDOLAN N3B-140%	0.06	%owf
AZUL SANDOLAN MF-GL	0.022	%owf

Este color utilizaría la curva de 98°Cx45’.



Fuentes: Datos tomados del proveedor y de Planta

Figura 9. Programa de Tintura colorantes ácidos Sandolan MF con a) una gradiente, b) dos gradientes

2.3.7. ENJUAGUE POSTERIOR

Este enjuague se realiza para colores medios y oscuros para mejorar las solideces. Para el proceso de tintura en tops, el enjuague suele ser más enérgico que para la tintura en madejas por los procesos posteriores a los cuales tiene que ser sometido, especialmente para los colores melange, donde intervienen tops de varios colores. No se suele realizar un enjuague posterior a la lana en madejas por presentar mejores solideces que la alpaca.

**Tabla 26. Receta de enjuague posterior después de la tintura con colorantes ácidos
Sandolan MF**

	Tops	Madejas
Alpaca	Medios: Ekalina 0.2-0.3 %owf 50°Cx20'-60°Cx20' Oscuros: Ekalina 0.3-0.35%owf 60°Cx20'-70°Cx20'	Con agua sola Medios: 50°Cx20' Oscuros: 50°Cx20'
Lana	Medios: Avolan IW 0.3%owf 50°Cx20'-60°Cx20' Oscuros: Avolan IW 0.4%owf 60°Cx20'-70°Cx20'	No se suele realizar

Fuentes: Datos tomados de Planta

2.3.8. SUAVIZADO

Se realiza para otorgar mejor tacto y suavidad al textil. Además de esto, mejora la resistencia a la tensión y abrasión, la elasticidad y la hidrofiliidad. Se realiza inmediatamente después de la tintura en madejas.

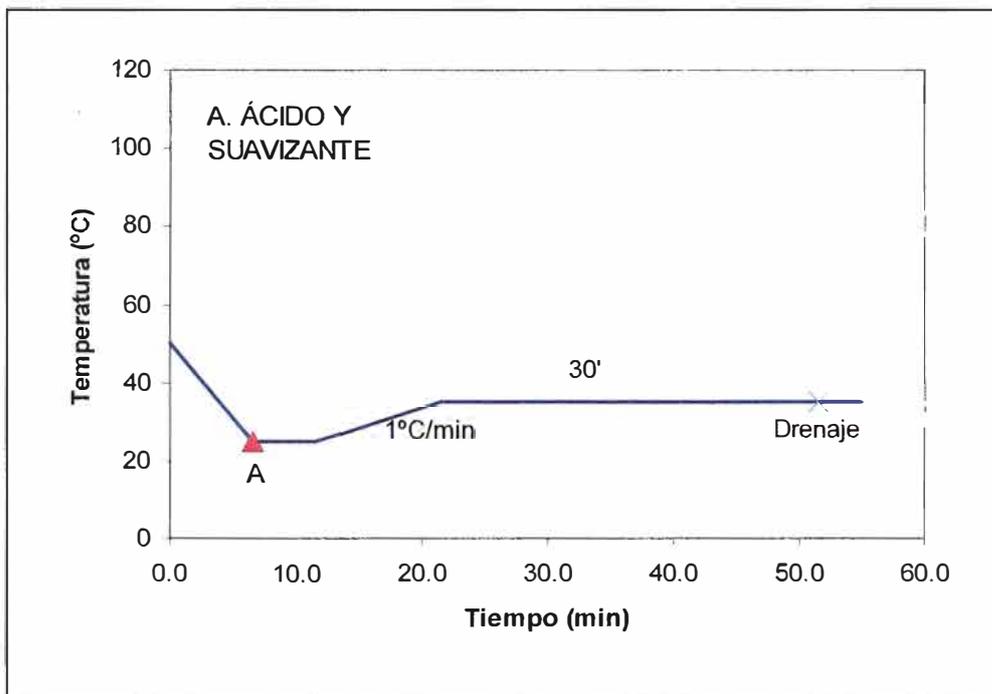
Existen varios suavizantes para la tintura, pero los más utilizados son a base de silicona. En general cuando se van a utilizar productos que contengan silicona se debe enjuagar a fondo el material antes de someterse a este proceso para remover todos los residuos químicos y evitar manchas de silicona. Ultratex MES ha demostrado tener buenos resultados en alpaca y lana. A su vez, también mejora las solideces al frote. Es esencial el control del pH, el cual debe estar entre 5 y 6. Fuera de este pH, se pueden presentar problemas de amarillamiento del material. Para lana, además del Ultratex MES, se añade Leomina AFK para el mercado de tejido de punto. Este producto al ser catiónico no es compatible con los productos aniónicos, por lo que producirá una leve reducción en las

solideces y en la resistencia del material. Es por ello que no se recomienda usarlo en Alpaca.

Tabla 27. Suavizantes

Producto	Tipo	Constitución química	Aplicaciones recomendadas por los proveedores	Aplicados en planta para Alpaca y lana
Ultratex MES (Ciba)		Microemulsión a base de polímero de silicona aminofuncional	5-20g/l	Alpaca: 2% owf lana: 1% owf (si lleva leonina) o 2% owf solo.
Leomina AFK (Hoescht)	catiónico	Producto de condensación de ácidos grasos	0.6-4%owf	No aplicado en Alpaca lana: 0.2% owf

Fuente: Datos tomados de Planta y de proveedores



Fuente: Datos tomados de Planta

Figura 10. Programa de Suavizado

III. MATERIALES Y MÉTODOS

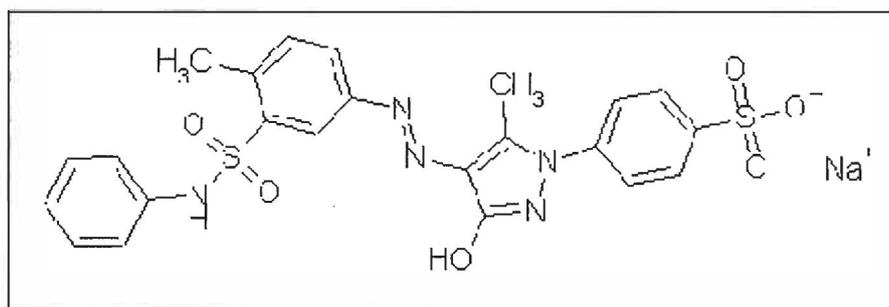
3.1. MATERIALES

3.1.1. COLORANTES

El proveedor de los colorantes utilizados es Clariant. La utilización de estos colorantes en tricromía es muy frecuente para la formulación de recetas.

Tabla 28. Constitución Química de Colorantes Sandolan MF

Producto	Peso Molecular	Nombre Colour Index	CI N°	Nombre químico
Amarillo Optilán MF-RL	549	Acid Orange 67	14172	4-[4,5-dihydro-3-oxo-4)-(4-methyl-3-phenylamino) sulfonyl(phenyl)-azo)-(5-methyl-1H-pyrazol-1-yl)-benzenesulfonic acid monosodium salt
Rojo Nylosan N-2RBL	500-600	No tiene	No tiene	Desconocido
Azul Optilán MFGL	450 - 650.	No tiene	No tiene	Mezcla con diferentes elementos



Fuente: Datos proporcionados por el proveedor

Figura 11. Estructura molecular del colorante Azo Acid Orange 67

3.1.2. PRODUCTOS QUÍMICOS Y AUXILIARES

Se utilizaron los productos de la Tabla 29. A cada producto se le realizó el control de calidad para evaluar su aspecto, pH, contenido seco y densidad y se encontró que todos estuvieron dentro del rango permisible. El procedimiento y los datos obtenidos de estas pruebas se encuentran en el Anexo 1.

Tabla 29. Productos químicos y auxiliares utilizados

Productos	Acción	Proveedor
Sandoclean PC	Humectante	Clariant (Suiza)
Cibaflow FFW	Antiespumante	Clariant (Suiza)
Lanotán AR	Igualante	Giovanni Bozzetto (Italia)
Ác. Acético	Ácido	Nacional
Acetato de sodio	Tampón	Nacional
Sulfato de sodio	Igualante	Nacional

Fuente: Datos proporcionados por proveedores.

Se utilizó agua blanda con un pH de 8.

3.1.3. SUSTRATO

Se utilizaron madejas de alpaca y lana lavadas previamente a 98°Cx 30' con Sandoclean PC, siguiendo el mismo procedimiento descrito en el capítulo 2.2.4. Las características del sustrato se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 30. Características de las fibras y del hilo de alpaca y lana

	Características del material	Alpaca Baby Huacayo	Lana Peruana (*)
Hilo	Título	2/28	2/25
Top	Diámetro (μ)	22	25
	Longitud (mm)	79	72
	Humedad (%)	15%	15%
	Kemps (N°kemps/100g)	>2000	135

(*) Mezcla de razas peruanas

3.1.4. MÁQUINAS E INSTRUMENTOS

Equipos para la preparación, tintura y secado

1. Máquina de tintura: Mathis polycolor Laboratory Beaker dyer type p. Programador: Mathis uniprogrammer M80; velocidad de rotación: 40RPM. Rotación 50" a cada lado. Tiempo de inercia: 5"; volumen de los vasos: 200ml
2. Balanza Analítica: Metler Toledo. Precisión: 0.001ml
3. Electronical digital pipette edp. Precisión: 0.1ml
4. Máquina de secado: Memmert ULP500BO (calentamiento de 30°C a +220°C)

Instrumentos de control

1. Medidor de pH: a) Thermo Orion model 420 pHmeter
b) pH 211. Microprocessor pHmeter Hanna instruments.
2. Medidor de conductividad: Ectestr high 0 a 19.9ms
3. Termómetro de metal Checktemp 1.

Equipos de evaluación

1. Baño maría: Memmert W350R-80129.
2. Espectrofotómetro para medir Absorbancia: Spectronic Genesys 6 UV-Vis. (Ver características en cap. 3.1.5.).
3. Espectrofotómetro para medir Reflexión: Spectraflash SF300® Datacolor. Specular Included Ready. Geometría d/8°.
4. Solideces al frote: Crockmeter
5. Solidez al lavado: Se realizó en la misma máquina de tintura.
6. Solidez a la luz: Suntest CPS+. Atlas.
7. Cámara de luces: Spectralight III. GretagMacbeth.

Materiales para evaluación

1. Escala de Grises para cambio de color (E.G.C.), migración (E.G.M) y Escala de Azules (E.A.) SDL ATLAS textile Testing Solutions.
2. Multifibra DW.

3.1.5. CARACTERÍSTICAS DE LA MEDICIÓN ESPECTRAL

Las curvas espectrales de los colorantes fueron halladas con el espectrofotómetro Spectronic Genesys 6 UV-Vis, cuyas especificaciones se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 31. Características del Espectrofotómetro Genesys 6

Rango de Longitud de Onda	190 a 1100nm *
Precisión de long. De onda	±1.0nm
Ancho de banda	1.8nm
Rango fotométrico	-0 a 3.0A
Monocromador	Grating-based (1200 líneas/mm)

Fuente: Datos obtenidos de proveedor

Se realizaron ensayos para determinar el intervalo de longitud de onda necesaria para la comparación de curvas espectrales según Skoog y colaboradores (2006). Se pudo observar que un paso de bando espectral de 5nm es suficiente por ser mínimo el error encontrado. (Ver Figura 12 y Tabla 32).

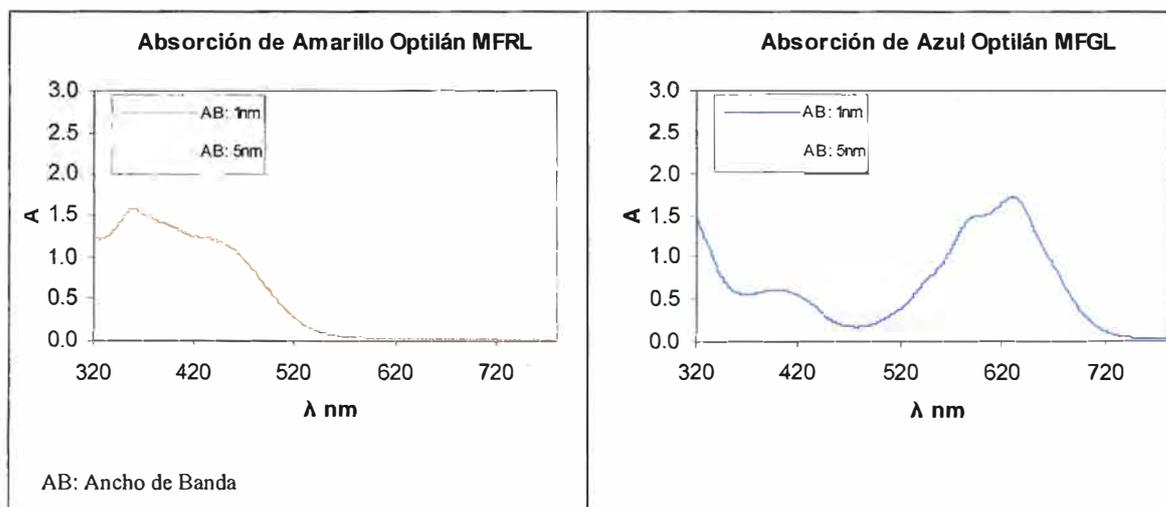


Figura 12. Comparación de las curvas espectrales a 1nm y a 5nm

Tabla 32. Comparación de las curvas espectrales a 1nm y a 5nm

		1nm	5nm	Error
Amarillo	$\lambda_{\text{máx}}$	359	360	+1nm
	$A_{360\text{nm}}$	1.572	1.55	1.4%
Azul	$\lambda_{\text{máx}}$	628	630	+2nm
	$A_{630\text{nm}}$	1.721	1.733	-0.7%

La celda utilizada fue de plástico de 1 ml. Antes de cada lectura, se efectúa una limpieza cuidadosa de las celdas para borrar las huellas dactilares y otros depósitos. Asimismo se evita tocar las ventanas de las celdas (Skoog *et al.*, 2006). La celda patrón contiene el disolvente, que en este caso es agua.

3.2. PROCEDIMIENTOS

3.2.1. PARÁMETROS QUE AFECTAN EN LA ABSORCIÓN DE LOS COLORANTES ÁCIDOS

Estas pruebas se hicieron con el fin de evaluar los parámetros que influyen en la absorción del colorante y encontrar un procedimiento para evitar las

desviaciones de las absorbancias de las muestras de concentración desconocida con respecto a las curvas de calibración.

Se determinaron las curvas espectrales de cada colorante de concentración 0.15g/l variando la conductividad con la cantidad de sulfato, pH, igualante y temperatura. Se evaluó el efecto de la variación de estos parámetros sobre la absorbancia y el desplazamiento de la longitud de onda máxima.

Las mezclas utilizadas fueron las siguientes:

Tabla 33. Mezclas para determinar los parámetros que afectan en la absorción

	Denominación del Parámetro	Colorante g/l	Cibaflow FFW g/l	Acetato g/l	Sulfato de Sodio g/l	Lanotán AR g/l	pH
1	Sin_Aux	0.15	0	0	0	0	8
2	Sulfato_1.25g/l	0.15	0	0	1.25	0	8
3	Sulfato_2.5g/l	0.15	0	0	2.5	0	8
4	Sulfato_5g/l	0.15	0	0	5	0	8
5	pH_4.5 (con ác. acético)	0.15	0	0	0	0	4.5
6	LanotánAR_0.5g/l	0.15	0	0	0	0.5	8
7	LanotánAR_0.25g/l	0.15	0	0	0	0.25	8
8	LanotánAR_0.125g/l	0.15	0	0	0	0.125	8
9	Todos_Aux	0.15	0.3	0.5	2	0.25	4.5

A partir de estos resultados se halló el factor pH, igualante y sulfato de las absorbancias mediante:

$$\text{Ecuación 9... } FA = \frac{A_l}{A_e}$$

Donde A_e es la Absorbancia del colorante con el parámetro (pH, igualante, sulfato) en la cantidad mostrada en el punto 9 de la tabla 33 (mezcla con todos los auxiliares) y A_l es la absorbancia del colorante con el parámetro en la cantidad a analizar.

Este factor nos servirá para evaluar si cada parámetro afecta significativamente en la absorción del colorante, ya que se puede presentar que las concentraciones iniciales de los auxiliares en el baño sea diferente a la mezcla del punto 9 de la tabla 33 (mezcla con todos los auxiliares) o que durante el proceso de tintura se experimente una variación en los valores de estos parámetros.

Asimismo se evaluó la precipitación de los colorantes con todos los parámetros mostrados en la Tabla 33 al cabo de 18 horas de reposo de muestras sometidas y no sometidas a calentamiento. Las lecturas se hicieron primero sin agitación del baño y luego con agitación 5 veces, tratando de disolver el colorante precipitado. Esto se hizo con el fin de saber si es factible realizar las lecturas después del tiempo indicado y conocer la susceptibilidad de los colorantes a formar agregados moleculares.

Una precipitación aproximada se calculó con la expresión:

$$\text{Ecuación 10... } \textit{Precipitación} = \left(\frac{A_0 - A_t}{A_0} \right) \times 100$$

Donde A_0 es la absorbancia inicial y A_t es la absorbancia después del tiempo t .

Para medir el efecto de la temperatura, se calentaron las muestras a $70^\circ\text{C} \times 30'$ en baño maría y las lecturas se efectuaron a $45^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$.

3.2.2. DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN DE LOS COLORANTES

Primero se determinaron las curvas espectrales de los colorantes Amarillo Optilán MFRL, Rojo Nylosan N-2RBL y Azul Optilán MFGL a las concentraciones 0.25, 0.2, 0.15, 0.1 y 0.05 g/l con auxiliares y sin ellos.

Luego se realizaron las curvas de calibración a las concentraciones de 0.3, 0.25, 0.2, 0.15, 0.1, 0.05, 0.025, 0.01, 0.005, 0.0025, 0.00125, 0.000625 g/l para cada colorante con todos los auxiliares del punto 9 de la Tabla 33 y sin auxiliares a $T 25^\circ\text{C}$. Las longitudes de onda utilizadas fueron de 380 nm para el Amarillo Optilán MF-RL, de 510 nm para el Rojo Nylosan N-2RBL y de 630 nm para el Azul Optilán MFGL. Estas longitudes de onda corresponden a las absorbancias máximas de los colorantes con los auxiliares.

Luego se obtuvieron las curvas de calibración de los colorantes sometidas a las temperaturas de $70^\circ\text{C} \times 30'$ (lectura a $45^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$), a $98^\circ\text{C} \times 30'$ (lectura a $55^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$) y $98^\circ\text{C} \times 1\text{h}$ (lectura a $65^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$). Este calentamiento se hizo con el fin de obtener una solución en estado molecular para que se pueda cumplir la ley de Beer.

Para determinar la curva de calibración, se utilizó la ley de Beer:

$$\text{Ecuación 11...} \quad A=abC$$

La longitud de la celda “b” utilizada fue de 1cm.

Correlacionando los valores de la absorbancia “A” con la concentración “C”, podemos encontrar la pendiente “a” llamada absortividad y con ella hallar la concentración a partir de la absorbancia. En un caso ideal, la absorción a una concentración de 0g/l es 0. Sin embargo, pueden existir errores por la absorbancia que pudieran tener las celdas o errores instrumentales.

3.2.3. MÉTODOS PARA HALLAR LA CONCENTRACIÓN DE COLORANTE EN TRICROMÍA

A. Método 1: Modelo Clásico (MC)

En el método clásico se asume que el espectro de una mezcla de especies en una solución es igual a la suma de espectros individuales. Es decir, no se toman en cuenta las posibles interacciones entre los colorantes. Este modelo fue modificado introduciendo la matriz de intercepción con el eje y.

$$\text{Ecuación 12...} \quad \begin{bmatrix} A_{380} \\ A_{510} \\ A_{630} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{1-380} & a_{2-380} & a_{3-380} \\ a_{1-510} & a_{2-510} & a_{3-510} \\ a_{1-630} & a_{2-630} & a_{3-630} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I_{380} \\ I_{510} \\ I_{630} \end{bmatrix}$$

$$\text{donde Ecuación 13...} \quad I_{\lambda} = I_{1-\lambda} + I_{2-\lambda} + I_{3-\lambda}$$

[A]: Vector Absorción. A_{λ} : Absorción a la longitud de onda indicada.

[C]: Vector concentración. C_i : Concentración del colorante Amarillo Optilán MFRL, Rojo Nylosan N-2RBL y Azul Optilán MFGL.

[I]: Vector Intercepto. $I_{i-\lambda}$: Intercepto con el eje “y” de las regresiones lineales de los colorantes respectivos a la longitud de onda indicada.

[a]: Matriz Absortividad. $a_{i-\lambda}$: Coeficientes de calibración obtenidos con las pendientes de las regresiones lineales de cada colorante individual en las longitudes de onda indicada.

Si se despeja C:

$$\text{Ecuación 14...} \quad [C]_i = [a]_{i-\lambda}^{-1} \cdot [[A]_{\lambda} - [I]_{\lambda}]$$

Obteniendo la matriz a y el vector I, se podrá hallar la concentración de cada colorante teniendo como datos la absorbancia de la solución en las tres longitudes de onda indicadas (Skoog *et al.*, 2006; Vickerstaff, 1954; Berkstresser, 199?).

B. Método 2: Modelo regresión lineal multivariable (MRLM)

En este método se aplica la Ecuación 12, pero la matriz de absortividad y el vector intercepto se hallan a partir de la regresión multivariable de la absorbancia de mezclas de colorantes con las concentraciones que son conocidas (Berkstresser, 199?; Beck *et al.*, 1991; Jasper, 1993).

Se prepararon mezclas de colorantes de concentraciones altas (concentradas) y bajas (diluidas) con todos los auxiliares.

Para las mezclas concentradas, se utilizaron mezclas de colorante de concentraciones 0.05, 0.1 y 0.15g/l y para las mezclas diluidas, se utilizaron concentraciones de 0.00125, 0.025 y 0.01g/l. Los auxiliares utilizados fueron los mismos: Cibaflow FFW 0.3g/l, Acetato de Sodio 0.5g/l, Sulfato de Sodio 2g/l, Lanotán AR 0.25g/l a pH4.5 alcanzado con ácido acético.

C. Análisis de los datos

Se calcularon las concentraciones a partir de los modelos descritos a partir de las matrices absortividad inversa, el vector intercepto y las absorbancias obtenidas por las mediciones. Se plotaron los valores calculados con los reales y se calculó el error con la siguiente fórmula utilizada por Jasper (1993):

$$\text{Ecuación 15...} \quad \%Error = \sqrt{\frac{(C_{1real} - C_{1calc})^2 + (C_{2rea} - C_{2calc})^2 + (C_{3real} - C_{3calc})^2}{C_{1real}^2 + C_{2real}^2 + C_{3real}^2}} \times 100$$

3.2.4. OBTENCIÓN DE LAS CURVAS DE AGOTAMIENTO DE ALPACA Y LANA

A. Preparación para la tintura

1. Se utilizaron 13 muestras de madeja de alpaca y 13 madejas de lana de 3gr c/u y se utilizaron 120 ml de baño para obtener un RB de 1/40, que en promedio se utiliza en planta en las máquinas armario.
2. Se prepararon los siguientes productos químicos y se añadieron en los vasos según la siguiente receta (color marrón de intensidad media)

Tabla 34. Receta para la tintura de Alpaca

Productos	Cantidad	Cantidad g/l	Concentración utilizada	Cantidad a pipetear
Amarillo Optilán MF-RL	0.4 % owf	0.1	1/1000	12 ml
Rojo Nylosan N-2RBL	0.4 % owf	0.1	1/1000	12 ml
Azul Optilán MFGL	0.4 % owf	0.1	1/1000	12 ml
Cibaflow FFW	0.3 g/l	0.3	1/20	0.72 ml
Acetato de Sodio	0.5 g/l	0.5	1/10	0.6 ml
Sulfato de sodio	8 % owf	2	1/10	2.4 ml
Lanotan AR	1 % owf	0.25	1/20	0.6 ml
Ácido Acético 98%	pH 4.5		1/10	0.6 ml

3. El programa de tintura utilizado fue el siguiente:

Mantener Temperatura (T)	40°C	15min
Subir T	98°C	1°C/min
Mantener T	98°C	60min
Enfriar	62°C	4°C/min

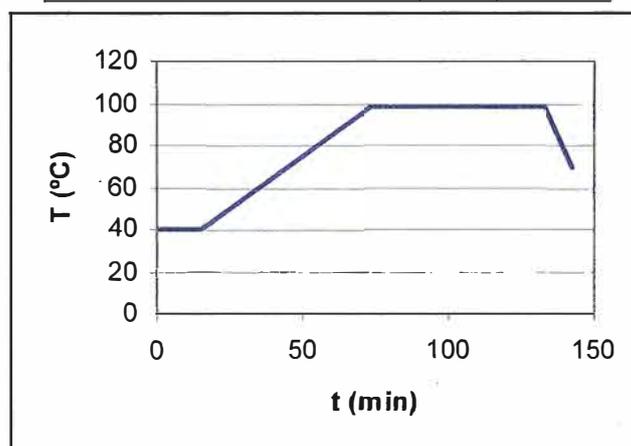


Figura 13. Programa de Tintura utilizado

4. Se sacaron las madejas y los baños en los siguientes intervalos de tiempo:

	Mantener			Subir					Mantener				Enfriar
Nº Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
t	5'	10'	15'	20'	30'	45'	60'	73'	88'	103'	118'	133'	142'
T	40°C	40°C	40°C	45°C	55°C	70°C	85°C	98°C	98°C	98°C	98°C	98°C	62°C
Notación	40°C x 5'	40°C x 10'	40°C x 15'	45°C	55°C	70°C	85°C	98°C x 0'	98°C x 15'	98°C x 30'	98°C x 45'	98°C x 60'	Enf

5. Las madejas fueron enjuagadas en agua fría para remover cualquier residuo de colorante no adsorbido y luego fueron secadas a 80°C x 30'.

6. Se han considerado 2 tipos de concentraciones iniciales de los baños:

Concentración inicial 0: Es la concentración del colorante en el baño inicial con todos los productos de la receta.

Concentración inicial 0': Es la concentración del colorante cuando se inicia el programa de tintura en la máquina. Se diferencia de la primera concentración porque el tiempo que se demora desde que se coloca la madeja en el vaso hasta que se coloca en la máquina y se inicia el programa, tarda en promedio 5', y en ese lapso, existe una pequeña adsorción dependiendo de la afinidad de la fibra por el colorante.

B. Determinación de la concentración de los colorantes en el baño y del agotamiento

Para llevar las soluciones del baño de tintura a estado molecular, se calentaron las muestras a 98°C x 1h y las lecturas se efectuaron a 65±5°C, tal como se elaboraron las curvas de calibración.

Las concentraciones de los colorantes en el baño fueron halladas midiendo la absorción y aplicando la ecuación de Beer para mezclas (ver Ecuación 12). Se consideraron la matriz absorbividad "A" y el vector intercepto "I" hallados con el método de regresión lineal multivariable por ser el que presentó menor porcentaje de error (Ver Anexo 7).

El agotamiento y el agotamiento relativo del baño se calcula mediante:

$$\text{Ecuación 16... } E = \frac{C_{fi}}{C_0} = \left(\frac{C_0 - C_t}{C_0} \right)$$

$$\text{Ecuación 17... } Er = \frac{C_{fi}}{C_{f\infty}} = \left(\frac{C_0 - C_t}{C_0 - C_\infty} \right)$$

donde C_0 y C_t son las concentraciones del colorante en el baño al inicio y en los tiempos t .

C. Comportamiento del Agotamiento del baño respecto al tiempo y Determinación de la Velocidad de Absorción

Los puntos experimentales se ajustaron a los siguientes modelos semiempíricos:

El modelo sigmoideal utilizado por Cardamone (Ecuación 8)

El modelo de Cegarra-Puente-Valldeperas (Ecuación 7)

D. Determinación de la Velocidad de Difusión

Se evaluó la difusión para cada punto experimental con el Modelo de Crank para cilindro infinito y baño finito (Ecuación 2) y luego se obtuvo un promedio de las difusiones a los 30', 60' y 142'.

Para optimizar las constantes de los modelos se utilizó el programa DataFit versión 7.1.44 Oakdale Engineering. Para hallar los coeficientes de difusión para cada tiempo del modelo de Crank, se utilizó Matlab 6.5.

E. Cálculo de la Afinidad

Se calculó la una afinidad aproximada con la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 18... } \Delta\mu^o = -RT \ln \frac{[C]_f}{[C]_s \times V}$$

donde

$\Delta\mu^o$: Afinidad estándar a 98°C

C_f : concentración del colorante en la fibra (mol/kg),

C_s : concentración del colorante en el baño (mol/l),

V : Volumen de la fase interna de la fibra. 0.31 mol/kg (Treigiené, 2003)

R : 8.317 J/mol

T : Temperatura de equilibrio en °K (371°K)

Se consideró PM de 550mol/g para los tres colorantes.

Este modelo fue citado por Vickerstaff (1954) y utilizado por Treigiené y colaboradores (2003) y Musnickas y contribuyentes (2003).

3.2.5. SOLIDECES EN ALPACA Y LANA

Se utilizaron normas ISO y AATCC:

Solidez al frote

Norma ISO105/X12 (en seco: 9N, 10'', 10 mov.; en húmedo: pick up: 100%) parcialmente equivalente a AATCC 8-05.

Solidez al lavado

Norma ISO105/C06/A15 (4g/l detergente ECE, 100ml agua destilada, 40°Cx30', 0.8g hilo) parcialmente equivalente a AATCC 61-03.

Solidez a la luz

Norma ISO105/B02 y AATCC 16 (23h=20Afu: AATCC Fading Units (Xenón))

Evaluación del color

El cambio de Color y migración se realizó de acuerdo al AATCC procedimiento 1 y 2 respectivamente.

3.2.6. DIFERENCIAS DE COLOR EN ALPACA Y LANA

Los parámetros del espectrofotómetro utilizados fueron los siguientes: especular incluida, área de medida: LAV, UV excluida. D65/10°, intervalos de longitud de onda: 10nm. Se hicieron 3 repeticiones para cada medida.

Los hilos se enrollaron en un cartón blanco rígido hasta su cubrimiento completo y de tal manera que estuvieran lo más paralelas posibles. (Véase cuidados en AATCC, 2006 procedimiento 6,2.5).

Se midió la reflectancia de las muestras teñidas y sin teñir con el Espectrómetro Datacolor. El rendimiento del color se cálculo de acuerdo a la ecuación de Kubelka Munk:

$$\text{Ecuación 19...} \quad \frac{K}{S} = \frac{(1 - R)^2}{2 \cdot R}$$

Donde:

K: absorbancia; S: Dispersión y R: Reflectancia

Se utilizó el cálculo tipo (SWL) K/S a una sola longitud de onda λ 420 nm (AATCC, 2006 evaluation procedure 6, 4.3.4.)

La diferencia de fuerza se calculó con la fórmula:

$$\text{Ecuación 20...} \quad \Delta F = \frac{K/S_2}{K/S_1}$$

donde

K/S_1 y K/S_2 : Son las fuerzas de color del estándar y lote respectivamente.

Las diferencias de color se hallaron con las siguientes fórmulas colorimétricas:

$$\text{Ecuación 21...} \quad \Delta E = \sqrt{(\Delta L)^*{}^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

$$\text{Ecuación 22...} \quad \Delta L^* = L^*_2 - L^*_1$$

$$\text{Ecuación 23...} \quad \Delta a^* = a^*_2 - a^*_1$$

$$\text{Ecuación 24...} \quad \Delta b^* = b^*_2 - b^*_1$$

$$\text{Ecuación 25...} \quad \Delta C^* = C^*_2 - C^*_1$$

$$\text{Ecuación 26...} \quad \Delta H = \sqrt{(\Delta L)^*{}^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2}$$

$$\text{Ecuación 27...} \quad C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

donde

L^*_1, a^*_1, b^*_1 : son los valores CIElab del estándar

L^*_2, a^*_2, b^*_2 : son los valores CIElab del lote

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PARÁMETROS QUE AFECTAN EN LA ABSORCIÓN DE LOS COLORANTES ÁCIDOS

Las curvas de absorción de los colorantes sin auxiliares se muestran en el siguiente gráfico: (Concentración de cada colorante: 0.15g/l a 25°C)

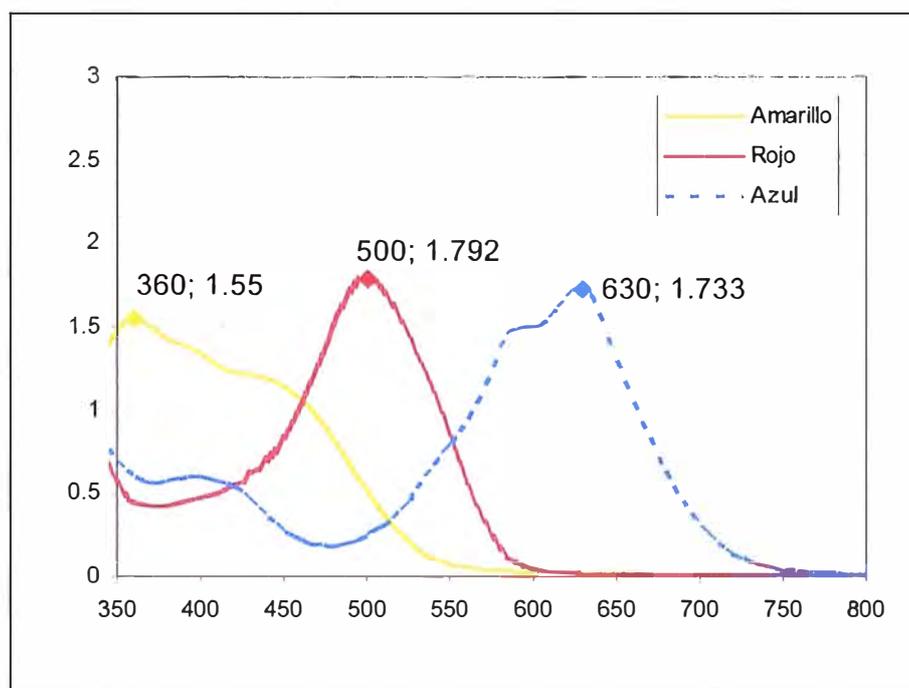


Figura 14. Curvas de Absorción de los colorantes con $\lambda_{máx}$ y $A_{máx}$.

El colorante Amarillo Optilán MFRL presenta un pico pronunciado a 360nm y una elevación a 430-440nm. El colorante Rojo Nylosan N-2RBL presenta sólo un pico a 500nm y el Azul Optilán MFGL presenta un pico a 630nm y dos elevaciones entre 510-610nm y a 400nm. Estos 3 picos hacen evidencia de que este último colorante está conformado por una mezcla de colorantes (Véase Tabla 28).

4.1.1. EFECTO DE LA SAL, EL IGUALANTE Y EL PH

Amarillo Optilán MFRL

La absorción disminuye con el sulfato de sodio, y con la disminución de pH. Con el igualante Lanotán AR, la absorción aumenta y la longitud de onda máxima se desplaza hacia longitudes más largas de 360nm a 380nm; tanto más

cuanto mayor es la cantidad de igualante. Con el igualante, además, el pico a 430-440nm es más pronunciado. La curva espectral de absorción del colorante con todos los auxiliares es similar a la del colorante sólo con Lanotán AR a 0.25g/l (Ver Anexo 2).

Se encontraron correlaciones no lineales de la absorción a 360nm con la conductividad eléctrica variando la cantidad de sulfato de sodio y con el igualante Lanotan AR (Ver Figura 15 y Figura 16).

La diferencia en absorción del colorante con el Lanotán AR y el desplazamiento de la longitud de onda se debe principalmente a la formación de un complejo por ser el auxiliar de carácter aniónico-no iónico. El complejo surge de las interacciones del grupo sulfonato del colorante con el grupo amino del auxiliar, modificando de esta manera el auxócromo (Neyra, 2007).

Rojo Nylosan N-2RBL

El sulfato de sodio disminuye la absorción del colorante Rojo. La disminución de pH también reduce la absorción del colorante, pero de manera más leve. 0.125g/l de LanotánAR es suficiente para disminuir drásticamente la absorción del colorante. Conforme se incrementa la cantidad de LanotánAR, se va desplazando la longitud de onda máxima de 500 a 505. Asimismo, la curva se vuelve más ancha. La mezcla del colorante con todos los auxiliares da como resultado una notoria disminución de la absorción del colorante, y un desplazamiento de la longitud de onda a 510. La curva se vuelve más ancha, así como la solución con el Lanotán AR solo, pero este efecto es más marcado. (Ver Anexo 2).

Se encontró una correlación no lineal de la absorción a 500nm con la conductividad eléctrica y (Ver Figura 15).

No se encontró una correlación significativa con la variación del pH.

La diferencia en absorción del colorante con el Lanotán AR y el desplazamiento de la longitud de onda se debe principalmente a la formación de un complejo al igual que el Amarillo Optilán MFRL. La variación aun más notoria de la absorción con todos los auxiliares significa que estos estarían contribuyendo a la formación del complejo u otro tipo de agregados.

Azul Optilán MFGL

La absorción disminuye con el sulfato de sodio. El pH y el auxiliar LanotánAR no tienen una influencia significativa en la Absorción. (Ver Anexo 2).

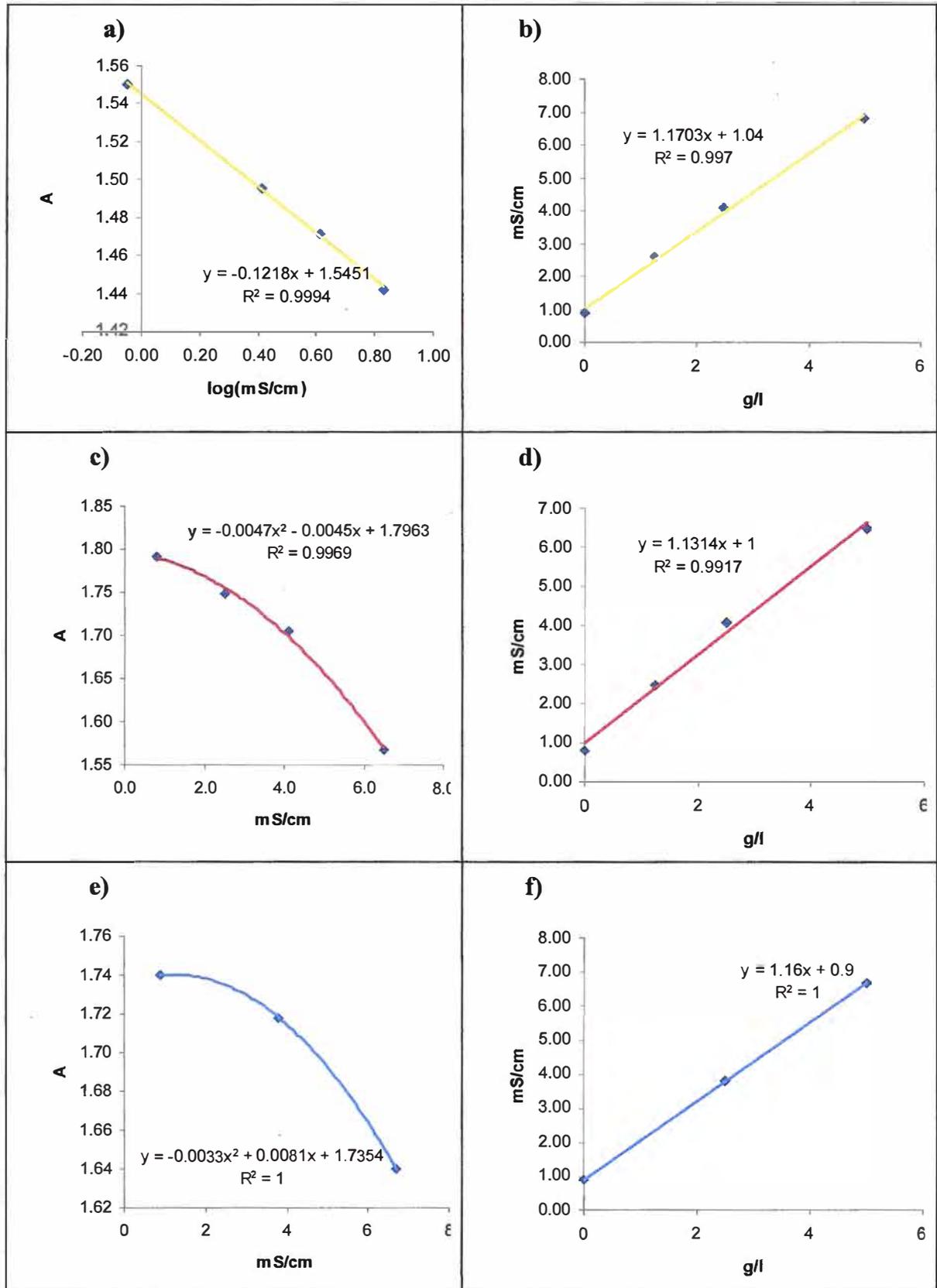


Figura 15. Variación de la absorción de AmO 360nm, RoN 500nm y AzO 630nm con la Conductividad (a,c,e) y dependencia de la conductividad con la cant. de Na₂SO₄ (b,d, f).

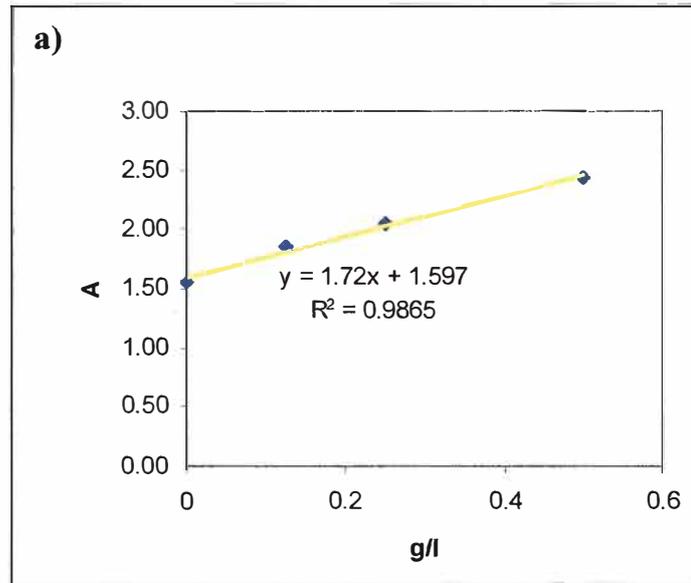


Figura 16. Variación de la absorción de a) AmO a 360nm con la cantidad de igualante Lanotán AR.

Los factores sulfato de sodio, pH e igualante se muestran en la Tabla 35. Los porcentajes de sulfato e igualante que se indican son los que más se utilizan para las recetas de planta. Los valores de pH que se muestran son los límites del posible rango de variación en el proceso tintóreo.

Se puede observar que el factor sulfato no es muy variable. Asimismo, la variación de la conductividad no es significativa durante el proceso tintóreo. La cantidad de igualante, en cambio, sí afecta significativamente el factor, por lo que se sugiere hallar nuevas curvas de calibración cuando este parámetro cambie. La variación de la cantidad de igualante en el proceso tintóreo es difícil de determinar, por lo que se asume que no varía (Prieto, 2007). El pH que se utiliza usualmente en planta es 4.5, por lo que la importancia del cálculo del factor pH es su variación en el proceso tintóreo. El factor pH nos indica que la variación de la absorbancia es mínima entre el pH 4.5 y 5.5; sin embargo es recomendable su control durante el proceso.

Tabla 35. Factor Sulfato, Factor igualante y Factor pH en las absorbancias

		Cant. Sulfato		Cond (*)(mS/cm)	A (*)	FA _s
		%owf	g/l (RB: 1/40)			
AmO (λ360nm)	Estándar	8	2	3.4	1.48	1.00
	Lote	5	1.25	2.5	1.50	1.01
		10	2.5	4.0	1.47	0.99
		12	3	4.6	1.46	0.99
RoN (λ500nm)	Estándar	8	2	3.3	1.77	1.00
	Lote	5	1.25	2.4	1.78	1.01
		10	2.5	3.8	1.76	0.99
		12	3	4.4	1.74	0.98
AzO (λ630nm)	Estándar	8	2	3.2	1.74	1.00
	Lote	5	1.25	2.4	1.74	1.00
		10	2.5	3.8	1.74	1.00
		12	3	4.4	1.73	1.00

(*) Determinado de la ecuación de la Figura 15.

		Cant. Lanotán AR		A (*)	FA _L
		%owf	g/l (RB: 1/40)		
AmO (λ360nm)	Estándar	1.0	0.25	2.03	1.00
	Lote	0.5	0.125	1.81	0.89
		1.5	0.375	2.24	1.11
RoN (λ500nm)	Estándar	1.0	0.25	1.43	1.00
	Lote	0.5	0.125	1.41	0.99
		1.5	0.375	nd	nd

AzO Variación no significativa

(*) Determinado de la ecuación de la Figura 16. para el Amarillo Optilán MFRL y directamente de resultados de Anexo 2 para el Rojo Nylosan N-2RBL

		pH		A (*)	FA _{pH}
		%owf			
RoO (λ500nm)	Estándar	4.5		1.758	1.00
	Lote	5.5		1.725	0.98

AzO Variación no significativa

AmO ND.

(*) Directamente de Resultados de Anexo 2

4.1.2. PRECIPITACIÓN DE LOS COLORANTES Y FORMACIÓN DE AGREGADOS Y COMPLEJOS

A. Análisis de las muestras no sometidas a calentamiento

Amarillo Optilán MFRL

El Colorante Amarillo Optilán MFRL sin auxiliares presenta poca precipitación. Sin embargo, es susceptible a precipitar y formar agregados con pH 4.5 hasta aprox. un 50%. Sin embargo, después de la agitación el porcentaje de precipitación y agregados se reduce a un 8% (Tabla 36). Este porcentaje ya no se podría reducir por la formación de complejos evidenciados por el desplazamiento de la longitud de onda máxima de 360 a 365nm.

La precipitación por el igualante alcanza valores de casi 30% del valor inicial. Conforme pasa el tiempo, la formación de un complejo se hace más evidente por el desplazamiento de la longitud de onda de 370 a 380nm y la absorción aumenta. Es por ello que la pérdida de absorción con igualantes a mayores concentraciones a las 18horas es menor que a menores concentraciones. La pérdida de la absorción es irreversible con la agitación por la formación de complejos.

El sulfato también ocasiona la precipitación del colorante. Sin embargo con la agitación se puede recuperar la absorción perdida. Esto indicaría que no se forman complejos.

El efecto conjunto de todos los auxiliares sobre la precipitación del colorante a las 18h es mínima. Esto probablemente se puede deber a que la formación de agregados moleculares inicialmente sea más rápida que con cada producto o auxiliar por separado, por lo que el reposo de 18h no tendría mucho efecto en la absorción (Ver Tabla 36).

Rojo Nylosan N-2RBL

El colorante individual no precipita a las 18horas. Con sulfato de sodio, el colorante precipita en cantidades notables especialmente a partir de 2.5 g/l. El colorante con pH ácido precipita a las 18h, pero en menor cantidad que con el sulfato de sodio, tanto más cuanto mayor es el pH. El Lanotán AR también causa la precipitación del colorante.

De manera general, a las 18H, aparte de tener una menor absorción debida a la precipitación del colorante, existe un desplazamiento de la longitud de onda máxima hacia las longitudes más largas de 505nm y 510nm, siendo mayor este

efecto cuanta mayor cantidad de sulfato de sodio o de Lanotán AR tenga la mezcla.

Como el efecto de la agregación molecular se hace más evidente al mezclar todos los auxiliares con el colorante, es más factible llegar a la misma absorción inicial a 25°C con una buena agitación de la mezcla de todos los auxiliares con el colorante después de 18h de reposo. Esto no es tan evidente si el colorante se mezcla solo con un auxiliar puesto que la agregación inicial no es tan pronunciada (Ver Tabla 36).

Azul Optilán MFGL

La formación de precipitados y agregados es menos evidente en el Azul Optilán MFGL a las 18 h. Esta pequeña formación de agregados se hace más evidente con el sulfato de sodio. Este efecto puede ser disminuido con la agitación antes de medir la muestra (Ver Tabla 36).

Como conclusión de esto se puede decir que con un porcentaje de error de 1 a 5% se podría tomar medidas de absorbancia al cabo de 18H para una mezcla de todos los auxiliares con previa agitación..

B. Análisis de las muestras sometidas a calentamiento

De manera general, el calentamiento de las muestras provoca una mayor precipitación y formación de agregados al cabo de 18 horas.

El colorante sin auxiliares y con sulfato presenta una mayor precipitación con calentamiento que sin él especialmente en Amarillo Optilán MFRL. Esta precipitación puede ser eliminada con agitación.

El colorante con Lanotán AR presenta una mayor precipitación con calentamiento en Amarillo Optilán MFRL y Rojo Nylosan N-2RBL.

El efecto del calentamiento y el tiempo de reposo en el Azul Optilán MFGL no son notorios (Ver Tabla 37; Anexo 3).

Con estos datos podemos sugerir no tomar medidas de absorbancia de muestras calentadas a estas temperaturas después de 18H ya que el error podría ser mayor al 11% con agitación.

Tabla 36. % Precipitación y formación de agregados de cada colorante después de 18h de muestras no sometidas a calentamiento

Parámetro	AmO λ 360		RoN λ 500		AzO λ 630	
	A las 18h	c/agit	A las 18h	c/agit	A las 18h	c/agit
Sin Aux	4.0	-1.5	-0.2	1.9	2.0	1.6
Sin Aux	2.8(*)	-1.2(*)	nd	nd	nd	nd
Sulfato 1.25g/l	6.6	-1.9	3.8	8.4	1.4	1.5
Sulfato 2.5g/l	21.3	-1.0	47.3	44.0	6.1	4.7
Sulfato 5g/l	7.7	-0.7	57.3	48.5	nd	nd
pH 7	nd	nd	8.3	11.0	nd	nd
pH 5.5	nd	nd	21.5	21.6	nd	nd
pH 4.5	47.7	8.0	35.3	32.5	3.7	4.0
LanotanAR 0.125g/l	26.2(*)	16.4(*)	12.2	3.1	nd	nd
LanotanAR 0.25g/l	26.8(*)	12.3(*)	19.0	9.4	2.3	1.4
LanotanAR 0.5g/l	8.8(*)	4.2(*)	16.5	13.8	nd	nd
Todos Aux	0.6	-2.2	26.3	-4.9	3.8	1.3

(*) Realizados en otro ensayo

Tabla 37. % Precipitación y formación de agregados de cada colorante después de 18h de muestras sometidas a calentamiento 70°Cx30'

Parámetro	AmO λ 360		RoN λ 500		AzO λ 630	
	A las 18h	c/agit	A las 18h	c/agit	A las 18h	c/agit
Sin Aux	59.7	-6.9	-4.5	-1.9	-2.4	-2.4
Sin Aux	60(*)	1.5(*)	nd	Nd	nd	nd
Sulfato 1.25g/l	70.9	-16.6	-1.3	-0.3	nd	nd
Sulfato 2.5g/l	73.7	1.9	10.6	12.4	1.3	1.3
Sulfato 5g/l	55.1	5.9	63.9	56.0	-1.2	-1.0
pH 7	nd	nd	-5.7	-1.5	nd	nd
pH 5.5	nd	nd	19.5	21.5	nd	nd
pH 4.5	69.4	20.6	43.0	42.4	-2.2	-2.6
LanotanAR 0.125g/l	36.1(*)	16.6(*)	50.1(*)	35.9(*)	nd	nd
LanotanAR 0.25g/l	35.2(*)	26(*)	37.1(*)	24.2(*)	0.4	-0.4
LanotanAR 0.5g/l	24.4(*)	19.6(*)	44.2(*)	36(*)	nd	nd
Todos Aux	11.3	3.7	31.5(*)	11.2(*)	1.0	2.1

(*) Realizados en otro ensayo

El detalle de los datos se muestra en el Anexo 3.

4.1.3. EFECTO DE LA TEMPERATURA

Las absorbancias que se indican son de las soluciones de los colorantes al 0.15g/l de concentración y con todos los auxiliares.

	T25°C	T70°Cx30'(1*)	T98°Cx30'(2*)	T98°Cx1h(2*)
AmO λ 360	2.186	2.800	2.965	>3
RoN λ 500	0.914	1.627	2.146	2.207
AzO λ 630	1.692	1.73	1.708	Nd

Datos obtenidos de Anexo 5.2

El parámetro de la temperatura es el que más afecta la absorbancia de la solución porque influye en el estado de agregación molecular del colorante.

Se puede observar de manera general que a mayor temperatura, la absorbancia es mayor. Estos resultados nos indican que con una temperatura elevada se pueden obtener soluciones en estado molecular. La temperatura necesaria para lograrlo dependerá de la linealidad del modelo de Beer, lo cual será tratado en el siguiente capítulo.

4.2. CURVAS DE CALIBRACIÓN

Los espectros visibles a diferentes concentraciones de colorante se muestran en el Anexo 4.

Los puntos experimentales de la absorbancia vs la concentración de los colorantes con los auxiliares a temperatura ambiente se ajustaron a un modelo lineal (ver Figura 17). Sin embargo, se observó que el coeficiente de determinación r^2 podía ser mejorado (ver Anexo 5). Se encontró más bien que las menores concentraciones podían ser tratadas separadas de las concentraciones más concentradas. De esta manera se hallaron dos regresiones lineales para concentraciones diluidas y concentradas obteniéndose buenas correlaciones.

Para explicar la formación de agregados o complejos con los auxiliares, se encontraron las curvas de calibración de los colorantes individuales y los puntos experimentales se dividieron de igual manera en concentraciones bajas y altas. Se encontraron dos regresiones lineales. De esta manera se pudo comparar las pendientes de las curvas de calibración de los colorantes sin auxiliares y con ellos.

El punto de intersección de estas rectas para el Amarillo Optilán MFRL significaría la concentración en la cual se empiezan a formar agregados moleculares. La pendiente de la regresión obtenida con las concentraciones diluidas del Amarillo Optilán MFRL con auxiliares resultó ser mayor que la del colorante sin auxiliares. Esto indicaría que la formación del complejo entre el auxiliar y el colorante ya se percibe a concentraciones diluidas.

En el caso del colorante Rojo Nylosan N-2RBL el complejo se estaría formando a partir del punto de intersección de las rectas, puesto que a concentraciones diluidas, la pendiente es casi la misma para el colorante con auxiliares y sin ellos.

Para el colorante Azul Optilán MFGL, el cambio de pendiente se realiza a una mayor concentración y este cambio no es muy notorio, lo que estaría indicando la formación de pocos agregados moleculares.

Los puntos experimentales cuyas muestras se sometieron a calentamiento, se ajustaron a una recta cuya pendiente es muy similar a las concentraciones diluidas, lo que podría indicar que para ambos casos las muestras se encuentran en estado molecular, y es donde se estaría cumpliendo la ley de Beer.

La poca diferencia que existe entre la pendiente de $98^{\circ}\text{C} \times 30'$ y de $98^{\circ}\text{C} \times 1\text{h}$ es evidencia de que la formación de agregados moleculares es instantánea y en ella intervienen solamente interacciones y no reacciones químicas.

4.3. MÉTODOS PARA HALLAR LA CONCENTRACIÓN DE COLORANTE EN TRICROMÍA

Se obtuvieron las matrices absortividad y las matrices intercepto de la ecuación 12 para concentraciones altas y bajas con:

- 1) las curvas de calibración de los tres colorantes a las tres longitudes de onda máxima de cada colorante. (Método 1: MC) (Véase Anexo 6) y
- 2) la regresión lineal multivariable, de las absorbancias a las tres longitud de onda máxima de los colorantes (variable dependiente) con las concentraciones conocidas de los tres colorantes (variables independientes) (Método 2: MRLM) (Véase Anexo 7).

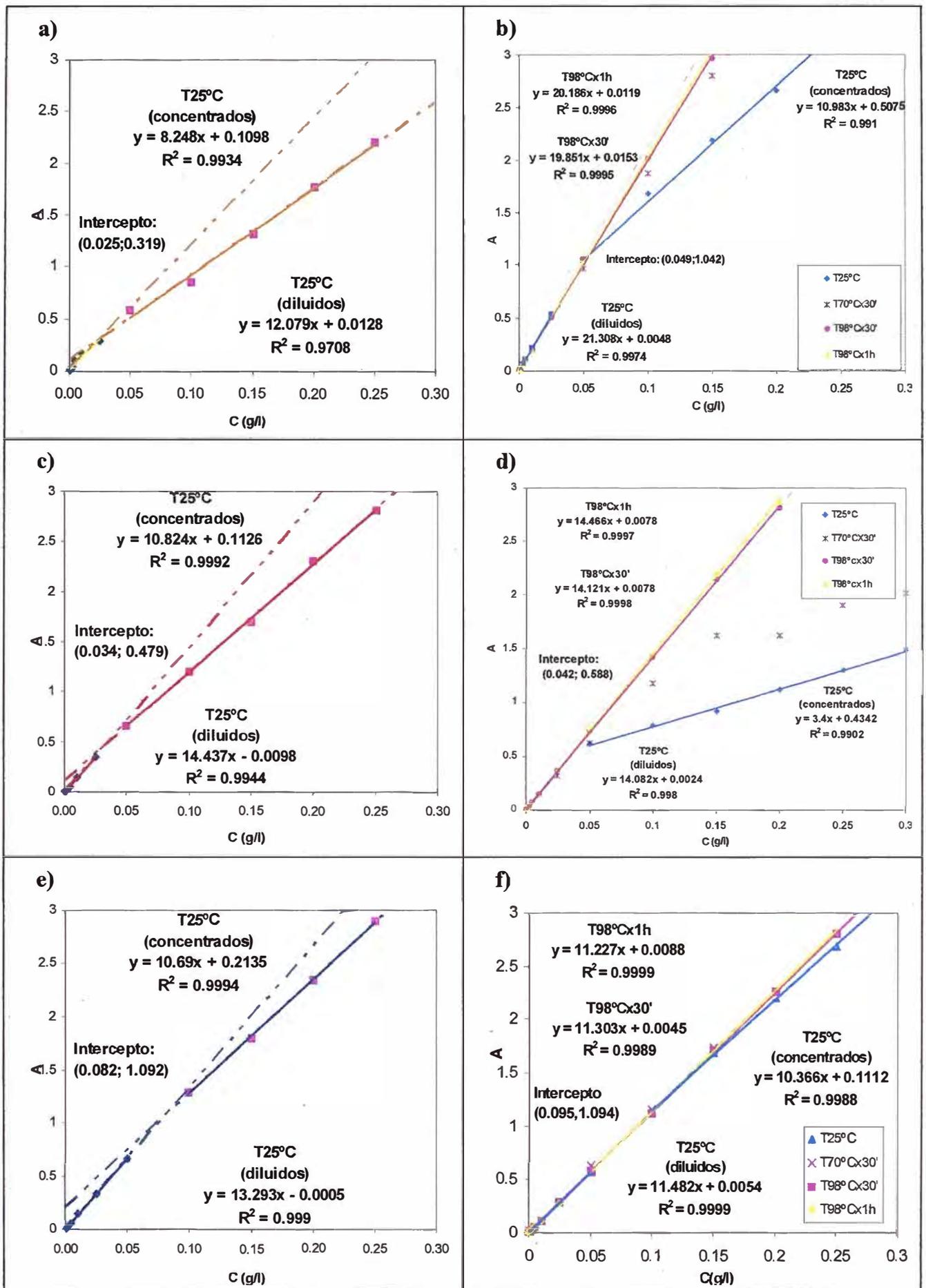


Figura 17. Curvas de calibración de AmO, RoN y AzO sin auxiliares (a, c, e) y con todos los auxiliares (b,d,f) sometidas y no a calentamiento.

Tabla 38. Matrices para hallar la concentración de colorante en tricromía

A. Matriz Intercepto I

		Mét. 1: MC				Mét.2: MRLM
		AmO	RoN	AzN	Σ	Σ
Diluidas	λ 380	0.007	0.004	-0.002	0.009	-0.002
	λ 510	0.001	0.002	0.002	0.005	0.011
	λ 630	0.004	0.003	0.005	0.012	0.004
Conc.	λ 380	0.508	0.024	0.035	0.567	0.229
	λ 510	0.072	0.426	0.015	0.513	0.057
	λ 630	-0.018	-0.095	0.111	-0.001	-0.080

B. Matriz Absortividad a

		Mét. 1: MC			Mét.2: MRLM		
		AmO	RoN	AzN	AmO	RoN	AzN
Diluidas	λ 380	21.181	3.585	4.149	20.212	2.265	3.638
	λ 510	5.207	14.629	2.184	4.116	12.660	2.167
	λ 630	0.325	0.284	11.482	0.276	-0.078	11.618
Conc.	λ 380	10.983	2.914	3.551	12.016	5.993	3.777
	λ 510	2.901	3.510	1.943	4.414	7.767	3.866
	λ 630	0.221	2.433	10.366	0.501	4.495	9.660

C. Matriz Absortividad Inversa a⁻¹

		Mét. 1: MC			Mét.2: MRLM		
		λ 380	λ 510	λ 630	λ 380	λ 510	λ 630
Diluidas	AmO	0.050	-0.012	-0.016	0.052	-0.009	-0.014
	RoN	-0.018	0.073	-0.007	-0.017	0.082	-0.010
	AzN	-0.001	-0.001	0.088	-0.001	0.001	0.086
Conc.	AmO	0.112	-0.076	-0.024	0.113	-0.080	-0.012
	RoN	-0.105	0.399	-0.039	-0.080	0.224	-0.058
	AzN	0.022	-0.092	0.106	0.031	-0.100	0.131

Con estas matrices se calcularon las concentraciones utilizando la ecuación 14. Los valores calculados y reales de las concentraciones se plotearon para evaluar el coeficiente de correlación (Figura 18 y Figura 19). Además, se evaluó el % Error para muestras diluidas y concentradas con la ecuación 15, cuyos resultados se muestran en el Anexo 7.

Se puede observar que tanto los coeficientes de correlación como el %error indican mejores resultados para las concentraciones diluidas y haciendo uso del Método 2 (MRLM).

Para hallar la concentración de muestras desconocidas, se calentaron las muestras a $98^{\circ}\text{C} \times 1\text{h}$ (lectura a $65^{\circ}\pm 5^{\circ}\text{C}$). Como la pendiente de la ecuación de la absorbancia vs la concentración de las muestras a esta temperatura es similar a la pendiente de esta ecuación de las muestras diluidas según el capítulo 4.2., se utilizaron sólo las matrices de concentraciones diluidas del método 2.

Jasper y colaboradores (1993) obtienen valores de error promedio de 51% aplicando el método 1 (MC). Este autor también utiliza 4 longitudes de onda como dato para hallar la concentración de 3 colorantes, obteniendo un porcentaje de error del 10%. Otros autores opinan que la utilización de longitudes de onda diferentes a la máxima aumenta el porcentaje de error (Skoog *et al.*, 2006; Prieto, 2007). Otro método para obtener la concentración de colorantes en baño es la aplicación de Redes Neuronales. Jasper obtiene un error del 3% utilizando este método. La utilización de este y otros métodos dan buenos resultados, pero lo más importante de todo es realizar una buena preparación de las muestras y tomar las precauciones necesarias para realizar una buena lectura de la absorbancia. Las matrices obtenidas por el método utilizado pueden irse alimentando con nueva información y de esta manera tener más puntos para una mejor correlación de datos.

La inclusión de la temperatura, el pH y la conductividad como variables del modelo requerirían la utilización de modelos no lineales puesto que ha sido demostrado en el capítulo 4.1. que su comportamiento es no lineal. Este aspecto es importante para considerarlo, sobre todo si se quieren obtener absorbancias online ya que, en principio, las muestras a diferentes tiempos no podrían ser llevadas al estado monomérico para su comparación con las curvas de calibración. Algunos autores están desarrollando sistemas para obtener una alícuota de baño cada cierto tiempo y llevarlo a la forma monomérica sometiéndolas a calentamiento, por lo que la inclusión de la temperatura, pH y conductividad en el modelo ya no sería necesaria. (Beck, 1991; Berckstresser, 1999; Prieto, 2007)

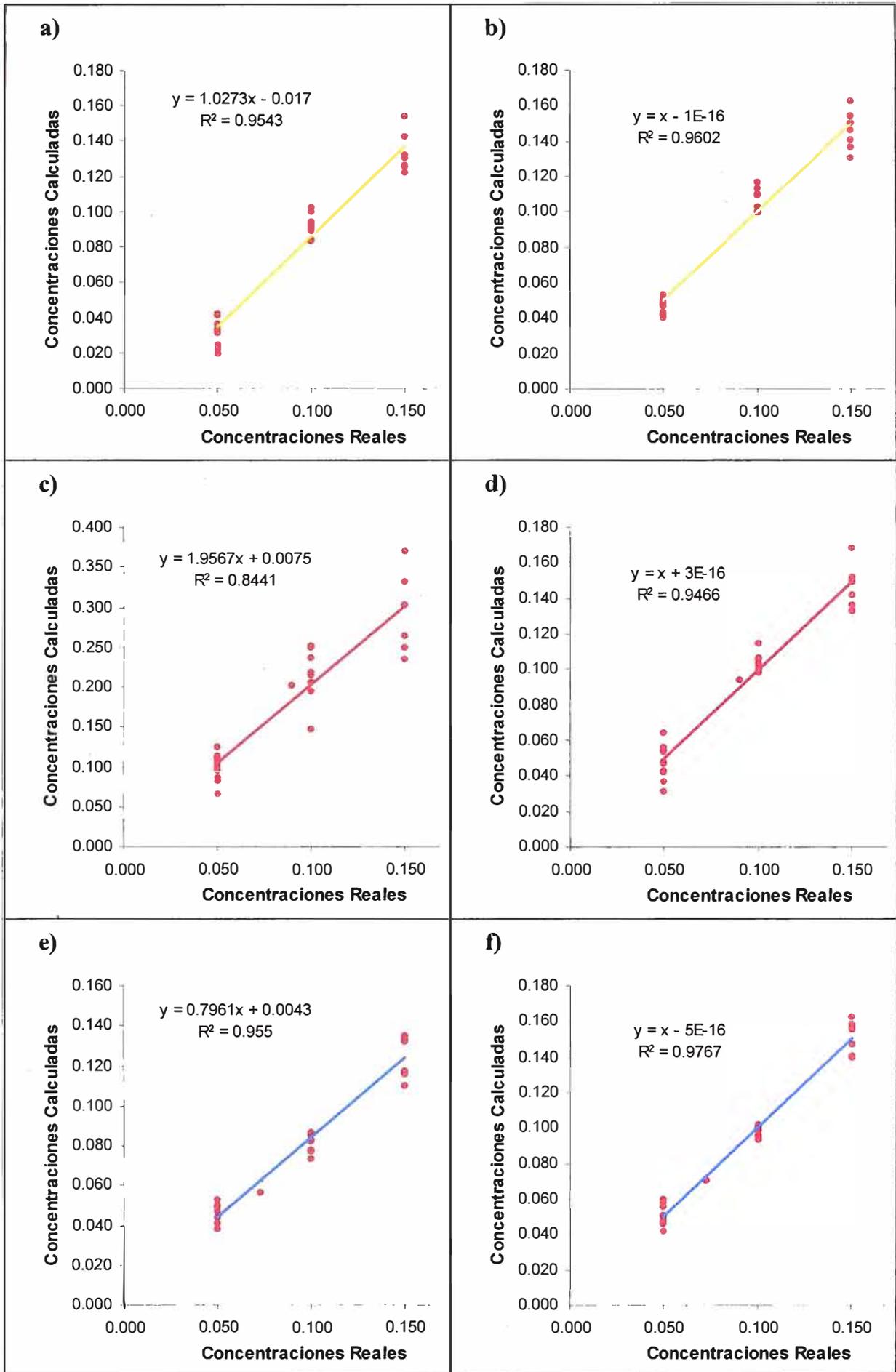


Figura 18. Relación entre las concentraciones reales y calculadas de los colorantes AmO, RoN y AzO utilizando el modelo 1 MC (a, c y e) y el modelo 2 MRLM (b, d, f) respectivamente para soluciones de concentración alta.

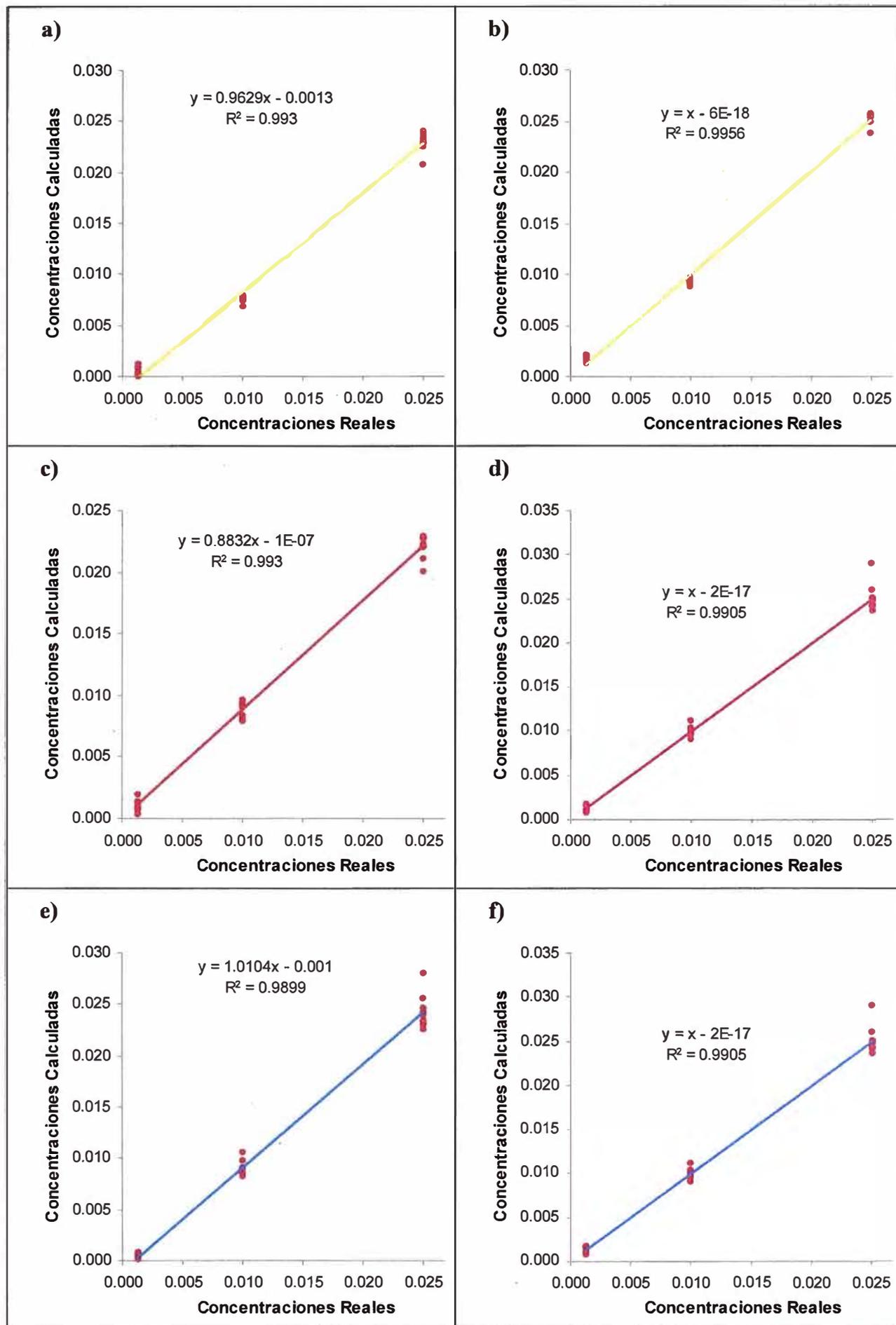


Figura 19. Relación entre las concentraciones reales y calculadas de los colorantes AmO, RoN y AzO utilizando el modelo 1 MC (a, c y e) y el modelo 2 MRLM (b, d, f) respectivamente para soluciones de concentración baja

4.4. OBTENCIÓN DE LAS CURVAS DE AGOTAMIENTO Y VELOCIDAD DE TINTURA

4.4.1. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE ADSORCIÓN

En el Anexo 8 se muestran las concentraciones de los tres colorantes calculadas a partir de las matrices de las concentraciones diluidas del método MRLM (Ver Tabla 38). A partir de estos datos se calculó el agotamiento total y el agotamiento relativo de cada colorante. Estos resultados luego se ajustaron a los modelos que se describen a continuación. Los agotamientos calculados a partir de estos modelos también se pueden observar en el Anexo 8, así como el porcentaje de error calculado con la Ecuación 15.

A. El modelo sigmoidal

Este modelo fue utilizado por Cardamone (2006) para describir el agotamiento con colorantes ácidos en la tintura de lana a temperatura variable. En los primeros minutos existe una fase de retardo seguido de un aumento logarítmico antes de aproximarse gradualmente a una asíntota horizontal. Este comportamiento se ajustó a una función sigmoidal Ecuación 8.

Este modelo fue el que presentó mejores valores de RSS (cuadrado de suma residual) y r^2 , después de los modelos polinomiales mayores al quinto orden. La constante “a” hallada representa el agotamiento, la constante “c” representa el tiempo medio de tintura.

Tabla 39. Constantes del Modelo Sigmoidal

Var	Lana			Alpaca		
	AmO	RoN	AzO	AmO	RoN	AzO
a	0.94	0.97	0.98	0.94	0.96	0.98
b	10.67	10.09	12.37	12.85	14.30	16.85
c (min)	25.17	27.41	39.72	23.53	27.49	41.92
r^2	0.994	0.994	0.996	0.982	0.991	0.993

Se obtiene valores similares de agotamiento para lana y Alpaca. Se puede observar en general que los tres colorantes presentan agotamientos similares, siendo levemente mejores los valores de los colorante Rojo Nylosan N-2RBL y Azul Optilán MFGL.

La velocidad de subida del colorante se calculó con la pendiente de la curva de subida en el tiempo medio de teñido (constante c). La tangente de la curva se halló derivando la Ecuación 8:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{d}{dt} \frac{a}{e^{\frac{c-t}{b}} + 1} = \frac{ae^{\frac{t-c}{b}}}{b(e^{\frac{t-c}{b}} + e^{\frac{c-t}{b}})^2}$$

Tabla 40. Agotamiento y pendiente del agotamiento en el tiempo medio de tintura

		AmO	RoN	AzO
Lana	f(c)	0.472	0.484	0.490
	f'(c)	0.022	0.024	0.020
Alpaca	f(c)	0.469	0.482	0.490
	f'(c)	0.018	0.017	0.015

F(c): agotamiento del baño en $t_{1/2}$

F'(c): pendiente que indica la constante K (min^{-1}) de velocidad de subida en el tiempo $t_{1/2}$. (min^{-1})

Se puede apreciar que la velocidad de subida del colorante en el tiempo medio es mayor para la lana que para la alpaca. Esto estaría comprobando la teoría de que a mayores grupos de cistina, la fibra presenta una mayor resistencia a la difusión del colorante en la fibra. Asimismo, un mayor número de kempes ocasionaría una velocidad de tintura media menor para la Alpaca.

Los tres colorantes presentan semejantes velocidades medias de tintura. Sin embargo el colorante Azul Optilán MFGL presenta ligeramente una menor velocidad media de tintura probablemente influenciada por el mayor tiempo inicial de retraso (Ver capítulo 4.4.3).

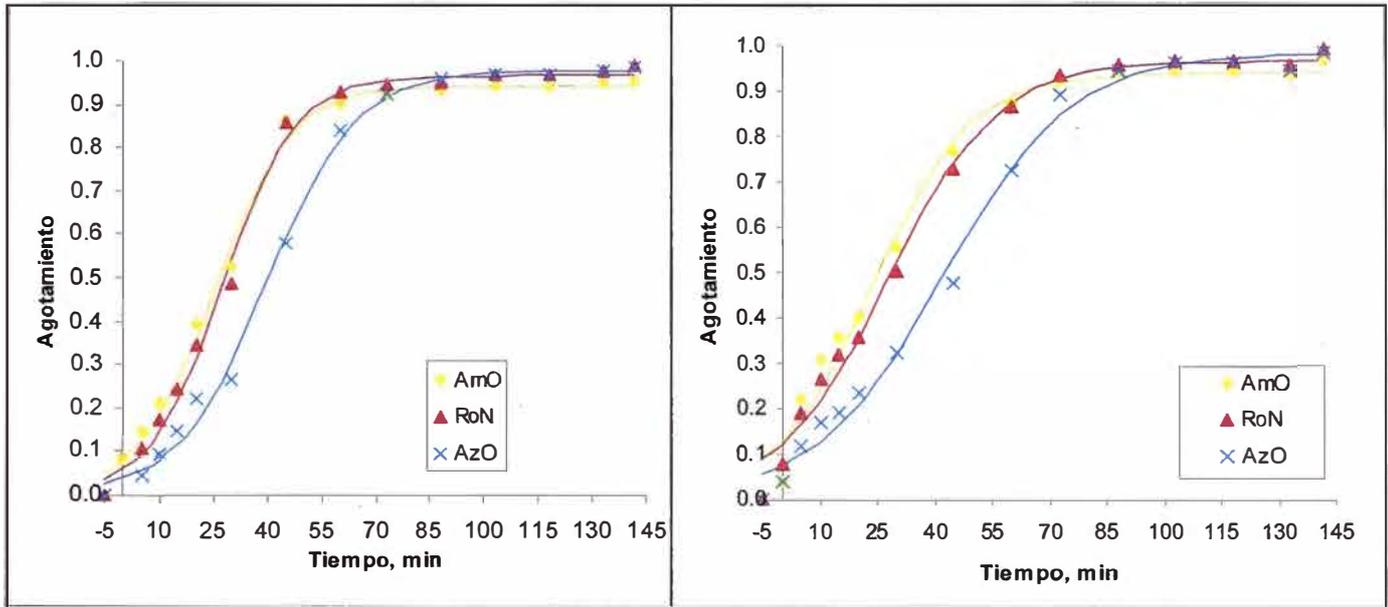


Figura 20. Curvas de agotamiento de los colorantes en a) lana y b) alpaca

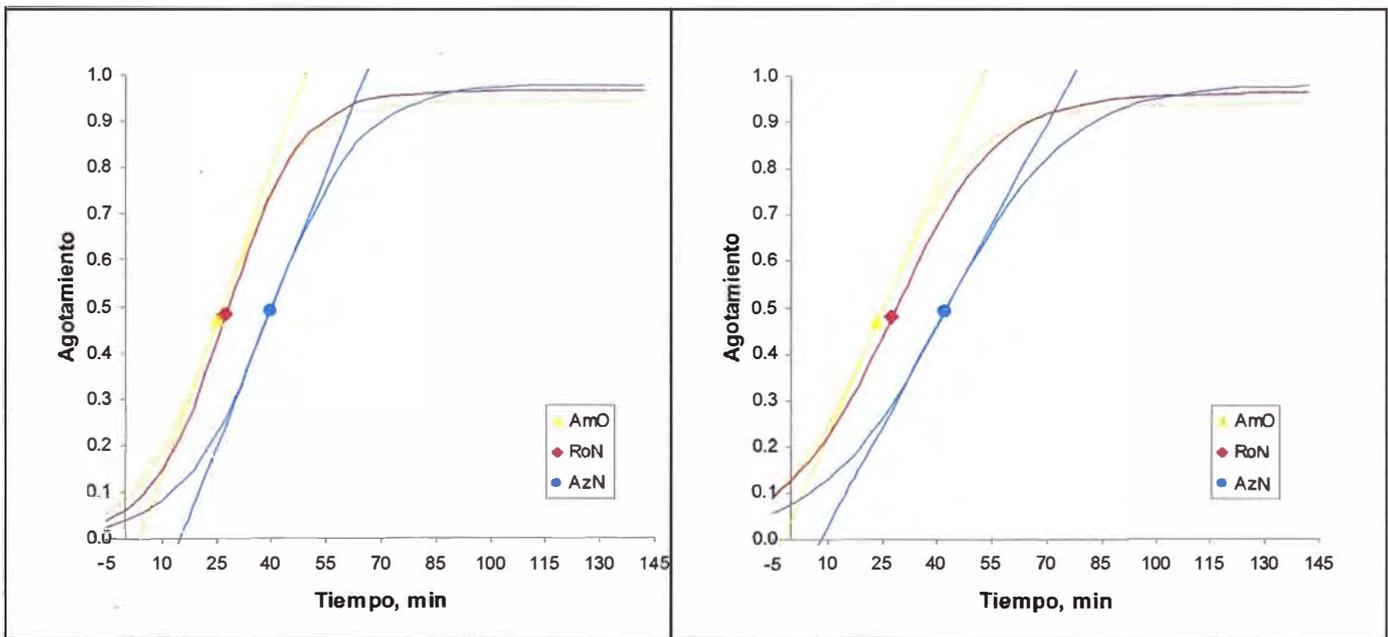


Figura 21. Tangentes de las Curvas de agotamiento en el tiempo $t_{1/2}$ de los colorantes en a) lana y b) alpaca

B. El modelo de Cegarra-Puente-Valdeperas

Para nuestros datos experimentales se utilizó la ecuación de Cegarra-Puente-Valdeperas (Ecuación 7) por poseer un agotamiento elevado. Se determinó que este modelo daba mejores resultados de correlación que el modelo de Cegarra-Puente para baño infinito.

Tabla 41. Constantes del Modelo Cegarra-Puente-Valdeperas

	Lana			Alpaca		
	AmO	RoN	AzO	AmO	RoN	AzO
K (min⁻¹)	0.024	0.022	0.017	0.021	0.019	0.015
a	2.324	2.518	3.141	1.597	1.746	2.406
r²	0.991	0.993	0.995	0.992	0.992	0.987

Los valores de K son muy cercanos a los obtenidos con el primer método. Sin embargo, esta constante es más representativa que la obtenida en el modelo anterior por obtenerse a partir de todos los tiempos de tintura.

Considerando que K varía con la temperatura según la ecuación de Arrhenius:

$$\text{Ecuación 28...} \quad K_T = K_0 \cdot e^{\frac{-EA}{RT}}$$

Insertando esta ecuación en el modelo de Cegarra-Puente-Valdeperas, se obtiene un modelo con el cual se puede hallar la constante cinética K a las diferentes temperaturas (tabla 42):

Tabla 42. Constantes del modelo Cegarra-Puente modificado

	Lana			Alpaca		
	AmO	RoN	AzO	AmO	RoN	AzO
K₀ (min⁻¹)	0.027	0.025	0.019	0.024	0.021	0.017
EA/R (°K⁻¹)	39.949	40.859	40.251	39.693	39.876	39.527
a	2.303	2.493	3.099	1.583	1.728	2.377

T °K	K_Tx10⁻³ (min⁻¹)					
	Lana			Alpaca		
	AmO	RoN	AzO	AmO	RoN	AzO
313	23.7	22.1	16.9	21.1	18.8	14.8
318	23.7	22.2	16.9	21.1	18.9	14.8
328	23.8	22.2	17.0	21.2	19.0	14.9
343	23.9	22.4	17.1	21.3	19.1	15.0
358	24.1	22.5	17.2	21.4	19.1	15.0
371	24.2	22.6	17.2	21.5	19.2	15.1
335	23.9	22.3	17.0	21.2	19.0	14.9
promK_T	23.9	22.3	17.0	21.2	19.0	14.9

En esta tabla podemos ver cómo la constante de velocidad se incrementa con la temperatura. La velocidad de adsorción en la lana es mayor que en la alpaca en ambos modelos. Se obtiene un valor similar de K promedio en ambos modelos, considerando y no considerando la temperatura como segunda variable. Los valores K obtenidos son similares a los que obtiene Cegarra y colaboradores (2001) para la lana a 95°C. Los datos experimentales y calculados a partir del modelo se pueden observar en la Figura 22 y en el Anexo 8.

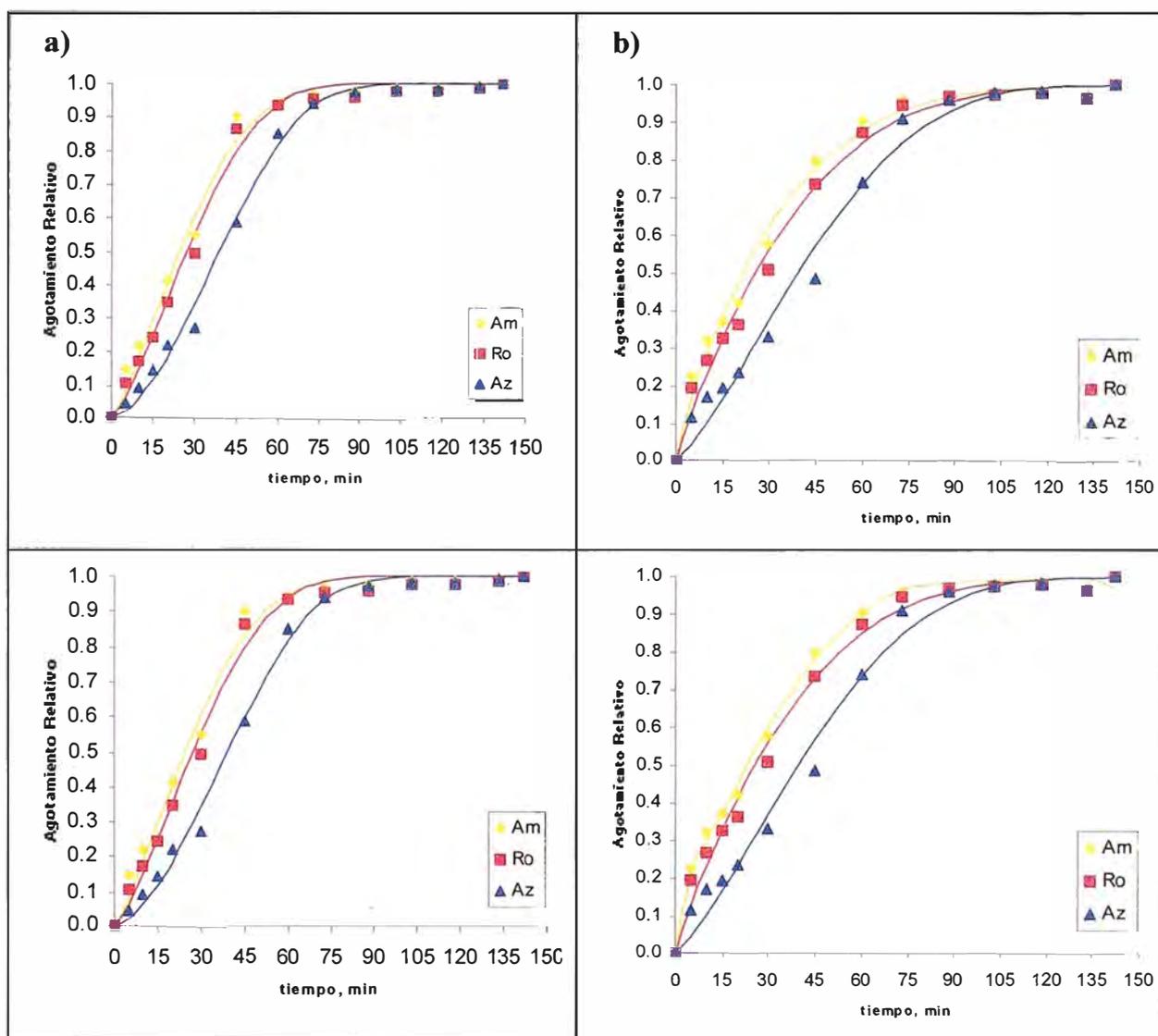


Figura 22. Agotamiento relativo calculado a partir de Cegarra-Puente sin considerar y considerando la temperatura en lana (a y c) y Alpaca (b y d)

4.4.2. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE DIFUSIÓN

(Modelo de Crank de cilindros infinitos y baño finito)

Se hallaron las constantes de Dt/r^2 para cada tiempo de la Ecuación 2 con el programa Matlab 6.5. Luego se despejó la constante de difusión para cada tiempo. Con estos datos se calculó un promedio de la constante de difusión de los tiempos de 5' a 15', de 15' a 133' y de 5' a 133'. (Ver Tabla 43).

Con estos resultados podemos observar que el promedio de la difusión de 5' a 20' de los 3 colorantes en la alpaca es mayor que en la lana (hasta 4 veces mayor). Esto supondría una mayor hidrofobicidad de la superficie de la lana que la de la alpaca. El promedio de las constantes de difusión de 20' a 133' es mayor en lana que en alpaca para los tres colorantes (hasta 2 veces mayor), lo que estaría en concordancia con las velocidades de tinción halladas con los anteriores modelos. El promedio de la difusión desde los 5' hasta 133' es mayor en la lana que en alpaca (hasta 2 veces mayor).

Cabe mencionar que el cálculo de la difusión en alpaca presentaría más error que para la lana, puesto que se trata de una fibra medulada, ocupando dicha médula aprox. el 35% del área transversal de la alpaca utilizada (Figura 4.d).

Tabla 43. Constantes del Modelo de Crank para cilindros infinitos y baño finito

<i>Lana</i>							
T (°K)	t (min)	Dt/r ² (*)			D (m ² /min)		
		AmO	RoN	AzN	AmO	RoN	AzN
313	0	0	0	0	---	---	---
313	5	1.1E-05	1.5E-07	6.5E-08	3.5E-16	4.7E-18	2.0E-18
313	10	2.8E-05	4.6E-07	3.2E-07	4.3E-16	7.3E-18	5.0E-18
313	15	3.7E-05	1.1E-06	8.1E-07	3.8E-16	1.1E-17	8.5E-18
318	20	1.4E-04	2.6E-06	2.2E-06	1.1E-15	2.1E-17	1.7E-17
328	30	3.8E-04	8.0E-06	3.6E-06	2.0E-15	4.1E-17	1.9E-17
343	45	9.8E-03	2.1E-04	4.1E-05	3.4E-14	7.5E-16	1.4E-16
358	60	2.1E-02	9.3E-04	4.6E-04	5.4E-14	2.4E-15	1.2E-15
371	73	3.8E-02	1.7E-03	2.4E-03	8.0E-14	3.6E-15	5.2E-15
371	88	5.2E-02	2.1E-03	8.5E-03	9.3E-14	3.7E-15	1.5E-14
371	103	7.9E-02	5.6E-03	1.6E-02	1.2E-13	8.4E-15	2.4E-14
371	118	8.2E-02	5.0E-03	1.7E-02	1.1E-13	6.6E-15	2.3E-14
371	133	1.1E-01	1.1E-02	3.1E-02	1.3E-13	1.3E-14	3.6E-14
335	142	1.5E-01	2.4E-02	4.2E-02	1.7E-13	2.6E-14	4.7E-14
<i>Promedio de t5' a t20'</i>		<i>5.5E-05</i>	<i>1.1E-06</i>	<i>8.5E-07</i>	<i>5.7E-16</i>	<i>1.1E-17</i>	<i>8.1E-18</i>
<i>Promedio de t20' a t133'</i>		<i>4.4E-02</i>	<i>2.9E-03</i>	<i>8.4E-03</i>	<i>7.0E-14</i>	<i>4.2E-15</i>	<i>1.2E-14</i>
<i>Promedio de t5' a t133'</i>		<i>3.3E-02</i>	<i>2.2E-03</i>	<i>6.3E-03</i>	<i>5.2E-14</i>	<i>3.2E-15</i>	<i>8.7E-15</i>

Alpaca

T (°K)	t (min)	Dt/r ² (*)			D (m ² /min)		
		AmO	RoN	AzN	AmO	RoN	AzN
313	0	0	0	0	0	0	0
313	5	2.1E-05	1.0E-06	1.2E-06	5.0E-16	2.5E-17	3.0E-17
313	10	4.9E-05	2.3E-06	2.9E-06	6.0E-16	2.8E-17	3.6E-17
313	15	7.5E-05	3.9E-06	3.9E-06	6.1E-16	3.1E-17	3.1E-17
318	20	1.1E-04	5.4E-06	6.2E-06	6.5E-16	3.3E-17	3.8E-17
328	30	3.3E-04	1.6E-05	1.5E-05	1.3E-15	6.4E-17	6.0E-17
343	45	2.0E-03	9.1E-05	4.9E-05	5.3E-15	2.4E-16	1.3E-16
358	60	7.6E-03	4.3E-04	3.3E-04	1.5E-14	8.7E-16	6.7E-16
371	73	2.4E-02	2.1E-03	2.7E-03	4.0E-14	3.4E-15	4.5E-15
371	88	3.9E-02	4.9E-03	1.1E-02	5.3E-14	6.7E-15	1.5E-14
371	103	6.0E-02	7.3E-03	2.3E-02	7.0E-14	8.6E-15	2.7E-14
371	118	5.3E-02	8.6E-03	2.7E-02	5.4E-14	8.8E-15	2.8E-14
371	133	3.8E-02	4.4E-03	1.2E-02	3.4E-14	4.0E-15	1.1E-14
335	142	1.5E-01	3.3E-02	6.8E-02	1.3E-13	2.8E-14	5.8E-14
<i>Promedio de t5' a t20'</i>		<i>6.3E-05</i>	<i>3.2E-06</i>	<i>3.6E-06</i>	<i>5.9E-16</i>	<i>2.9E-17</i>	<i>3.4E-17</i>
<i>Promedio de t20' a t133'</i>		<i>2.5E-02</i>	<i>3.1E-03</i>	<i>8.4E-03</i>	<i>3.1E-14</i>	<i>3.6E-15</i>	<i>9.5E-15</i>
<i>Promedio de t5' a t133'</i>		<i>1.9E-02</i>	<i>2.3E-03</i>	<i>6.3E-03</i>	<i>2.3E-14</i>	<i>2.7E-15</i>	<i>7.1E-15</i>

(*)Ver diámetros en Tabla 30

4.4.3. TIEMPO DE TINTURA MEDIA, TIEMPO DE AGOTAMIENTO, Y TIEMPO INICIAL DE RETRASO

En la Tabla 44 se muestran los tiempos de agotamiento y de tintura media de cada colorante hallados a partir del modelo sigmoideal. Los agotamientos considerados fueron de 94%, 96% y 98% para los colorantes Amarillo Optilán MFRL, Rojo Nylosan N-2RBL y Azul Optilán MFGL respectivamente. También se muestra el tiempo al 90% de agotamiento.

El tiempo inicial de retraso fue calculado como la intersección de la tangente en el tiempo de tintura media con el eje x. (Ver Tabla 45 y Figura 21).

El tiempo de tintura media en general es parecido entre la alpaca y la lana, pero el tiempo de agotamiento es mayor en alpaca que en lana. Considerando un agotamiento del 97.5% para el Azul Optilán MFGL, la diferencia del tiempo de agotamiento entre alpaca y lana es aprox. 23 minutos.

El agotamiento del colorante azul fue ligeramente mayor que el rojo y este mayor que el amarillo. Los colorantes con mayor tiempo de agotamiento fueron en orden decreciente, el Azul Optilán MFGL, el Rojo Nylosan N-2RBL y el Amarillo Optilán MFRL.

El tiempo de retraso para la lana fue mayor que para la alpaca. Esto estaría indicando la presencia de la barrera hidrofóbica que existe en la lana, que es mayor que la que presenta la alpaca.

Para el colorante Azul Optilán MFGL también se encontró un mayor tiempo de retraso. Esta observación puede sugerir que necesitaría más temperatura inicial para comenzar la adsorción y la difusión junto con los otros dos colorantes, para las concentraciones de colorante utilizado.

Tabla 44. Tiempos de tintura media y de agotamiento

E	Tiempos de agotamiento en lana (min)			Tiempos de agotamiento en alpaca (min)			Diferencia del tiempo de agotamiento (min)		
	AmO	RoN	AzO	AmO	RoN	AzO	AmO	RoN	AzO
0.975	--	--	106.1	--	--	129.1	--	--	22.9
0.96	--	76.9	87.9	106.7	106.5	106.7	--	29.6	18.8
0.94	69.7	59.9	76.0	69.7	74.9	91.0	0.0	15.0	15.0
0.9	57.3	53.6	69.7	61.5	65.3	82.6	4.2	11.7	12.9
0.485	25.9	27.6	39.6	30.8	27.8	41.7	5.0	0.3	2.1
0.48	25.5	27.3	39.2	30.5	27.4	41.2	4.9	0.1	2.0
0.47	24.8	26.6	38.5	29.7	26.5	40.2	4.9	-0.1	1.7

Tabla 45. Tiempo Inicial de retraso (min)

Lana			Alpaca		
AmO	RoN	AzO	AmO	RoN	AzO
3.8	7.2	15.0	-2.2	-1.1	8.2

4.4.4. RESUMEN DE LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DE TINTURA

En las Tabla 46 se muestra un resumen de los parámetros cinéticos encontrados en los capítulos previos. Los valores mostrados son el promedio de los valores obtenidos para los tres colorantes utilizados.

La constante cinética obtenida por el modelo de Cegarra-Puente-Valldeperas es más representativa que la del modelo sigmoideal por representar a todos los tiempos de tintura. Tomando en consideración dicha premisa, podemos concluir que la velocidad de tintura de la alpaca es aprox. 13% menor que la de la lana.

La constante de difusión a partir del modelo de Crank en las etapas tempranas de tintura es mayor en la alpaca que en la lana en aprox. 10%. Para las etapas más largas de tintura, la constante de difusión es menor en la alpaca en aprox. 49%.

El tiempo inicial de retraso obtenido con el modelo sigmoideal es mayor en la lana que en la alpaca con una diferencia de aprox. 7 minutos.

Para obtener la diferencia en el tiempo total de tintura, se consideró el colorante Azul Optilán MFGL por ser el que presenta mayor tiempo de agotamiento. Considerando un agotamiento del 97.5% de dicho colorante en alpaca y lana, la alpaca presenta un tiempo de agotamiento aprox. 23 minutos mayor que la lana.

Tabla 46. Comparación de los parámetros cinéticos promedio entre alpaca y lana

Modelo	Parámetro	Lana	Alpaca	Diferencia (*)
Sigmoideal	K (min ⁻¹) a t _{1/2}	0.0220	0.0167	24.24% menor
Ceg.-Puente-Valldeperas	K (min ⁻¹)	0.0210	0.0183	12.70% menor
Ceg.-Puente-Valldeperas c/Temp.	\overline{KT} (min ⁻¹) de t ₀ a t ₁₄₂	0.0211	0.0184	12.82% menor
Crank	\overline{D} (m ² /min ⁻¹) de t ₅ a t ₂₀	2.0E-16	2.2E-16	9.69% mayor
Crank	\overline{D} (m ² /min ⁻¹) de t ₂₀ a t ₁₃₃	2.9E-14	1.5E-14	49.05% menor
Crank	\overline{D} (m ² /min ⁻¹) de t ₅ a t ₁₃₃	2.1E-14	1.1E-14	48.88% menor
Sigmoideal	t _{mic ret} (min)	8.67	1.63	7.03 min menor
Sigmoideal	t (min) a E _{97.5%} (*)	106.1	129.1	22.9 min mayor

(**)De alpaca con respecto a la lana

(*)Del color más lento: Azul Optilán MFGL

4.4.5. CÁLCULO DE LA AFINIDAD

Los siguientes resultados se obtuvieron con la Ecuación 18, suponiendo que el equilibrio se alcanza en el tiempo 133' a 98°C.

Tabla 47. Afinidad de los colorantes por lana y Alpaca

	Afinidad (KJ/mol)					
	Lana			Alpaca		
	AmO	RoN	AzO	AmO	RoN	AzO
Valores experimentales	-24.1	-26.7	-26.7	-23.3	-24.4	-23.8
Valores calculados del modelo sigmoideal	-23.8	-25.8	-27.1	-23.6	-25.6	-26.5

Valores calculados a partir de la concentración a 133', 98°C.

El agotamiento y la afinidad de los colorantes es similar para la alpaca y la lana. Se tendrían que realizar estudios para mayores tiempos de tintura y con procesos isotérmicos para obtener una conclusión al respecto. Los valores obtenidos son similares a los obtenidos en el artículo de Musnickas y colaboradores (2003) quien utiliza colorante ácido para lana.

4.5. SOLIDECES EN ALPACA Y LANA

A. Solidez al Frote

Tabla 48. Solidez al frote en lana y Alpaca a partir de 98°Cx30'

Tiempos	Alpaca 2/28		Lana 2/25	
	En Seco	En húmedo	En Seco	En húmedo
98°Cx30'	4-5	4	5	4-5
98°Cx45'	4-5	4	5	4-5
98°Cx60'	4-5	4	5	4-5
62°C Enf	5	4	5	4-5

B. Solidez al Lavado

Tabla 49. Solidez al lavado en lana y alpaca a partir de 98°Cx30'

Cambio de Color

Tiempos	Alpaca 2/28	Lana 2/25
98°Cx30'	3-4	3-4
98°Cx45'	3-4	4
98°Cx60'	3-4	4
62°C Enf	3-4	4

Manchado

Tiempos	M	Alpaca 2/28	Lana 2/25
98°Cx30'	1	4	4
	2	4-5	4-5
	3	4-5	5
	4	3-4	4
	5	4	4-5
	6	4-5	4-5
98°Cx45'	1	4-5	4-5
	2	4-5	4-5
	3	4-5	5
	4	4	4
	5	4-5	4-5
	6	4-5	4-5
98°Cx60'	1	4-5	4-5
	2	4-5	4-5
	3	4-5	4-5

DW	
M	Fibra
1	Lana
2	Acrílico
3	Poliéster
4	Poliamida
5	Algodón Blanqueado
6	Diacetato

	4	4	4
	5	4-5	4-5
	6	4-5	4-5
62°C Enf	1	5	5
	2	5	5
	3	4-5	5
	4	4	4
	5	4-5	4-5
	6	4-5	4-5

C. Solidez a la luz

Tabla 50. Solidez a la luz en lana y alpaca a partir de 98°Cx30'

Escala	Tiempos	Alpaca 2/28	Lana 2/25
Grisés	98°Cx30'	5	5
	98°Cx45'	5	5
	98°Cx60'	5	5
	62°C Enf	5	5
Azules	98°Cx30'	8	8
	98°Cx45'	8	8
	98°Cx60'	8	8
	62°C Enf	8	8

Exposición a 20AFU

D. Comparación de las solideces entre Alpaca y lana

Se puede observar que la tricromía utilizada da buenos resultados tanto para lana como para alpaca. Sin embargo, en general para la lana presenta mejores solideces que la alpaca. La presencia de médula en la alpaca, ocasiona que la fibra tenga menor área transversal para la retención del colorante, por lo que las solideces serían menores. Las solideces también estarían relacionadas con los porcentajes de exocutícula, y porcentajes de zonas queratinosas, que son donde finalmente quedaría el colorante retenido (ver capítulo 2.1.5.).

La prueba de solidez al frote en seco dio mejores resultados que en húmedo. Asimismo, en la prueba de solidez al lavado, la poliamida presentó el mayor manchado.

La solidez a la luz presenta resultados excelentes tanto para la alpaca como para la lana.

E. Comparación de las solidez para los tiempos de tintura a partir de 98°C, 30'

En la solidez al frote, se presentaron similares solidez entre los tiempos 98°Cx30'y 98°Cx60'.

En la solidez al lavado, la evaluación de cambio de color dio como resultado mejores solidez entre los tiempos de 98°Cx45'y 98°Cx60' y en la evaluación de manchado, comparando la poliamida, se observó que se obtiene mejores solidez a partir de 98°Cx45'.

En el tiempo final, cuando se enfría la muestra a 62°, las solidez al frote y al lavado son mejores que si no se enfriase la muestra. Es decir, un aumento en la afinidad debido al enfriamiento, aumenta también la solidez.

4.6. DIFERENCIAS DE COLOR

A. Comparación de las variaciones de color entre Alpaca y lana

De las siguientes figuras, cuyas datos se encuentran en el Anexo 9 se puede resaltar que la lana absorbe más rápido el rojo y el amarillo hasta los 45' que la Alpaca. También se puede destacar que las diferencias de intensidad de color son más notorias a partir de los 30'. Esto concuerda con los valores obtenidos en las curvas de agotamiento.

La alpaca después de la tintura es 27% menos intensa que la lana. Como la variación del color inicial es menor en gran medida que la variación del color final, se puede deducir que la diferencia final del color entre alpaca y lana no depende principalmente de los valores CIElab iniciales de ambos sustratos y como no hay diferencias significativas de los valores a y b después de la tintura, la luminosidad estaría causando dicha diferencia de color.

El menor rendimiento tintóreo en la alpaca estaría relacionado con el espacio ocupado por la médula y con la mayor cantidad de kemp que presenta la fibra. Asimismo, influirían los porcentajes de zona queratinosa y zonas no queratinosas y los porcentajes de zona cristalina y zona amorfa en la fibra.

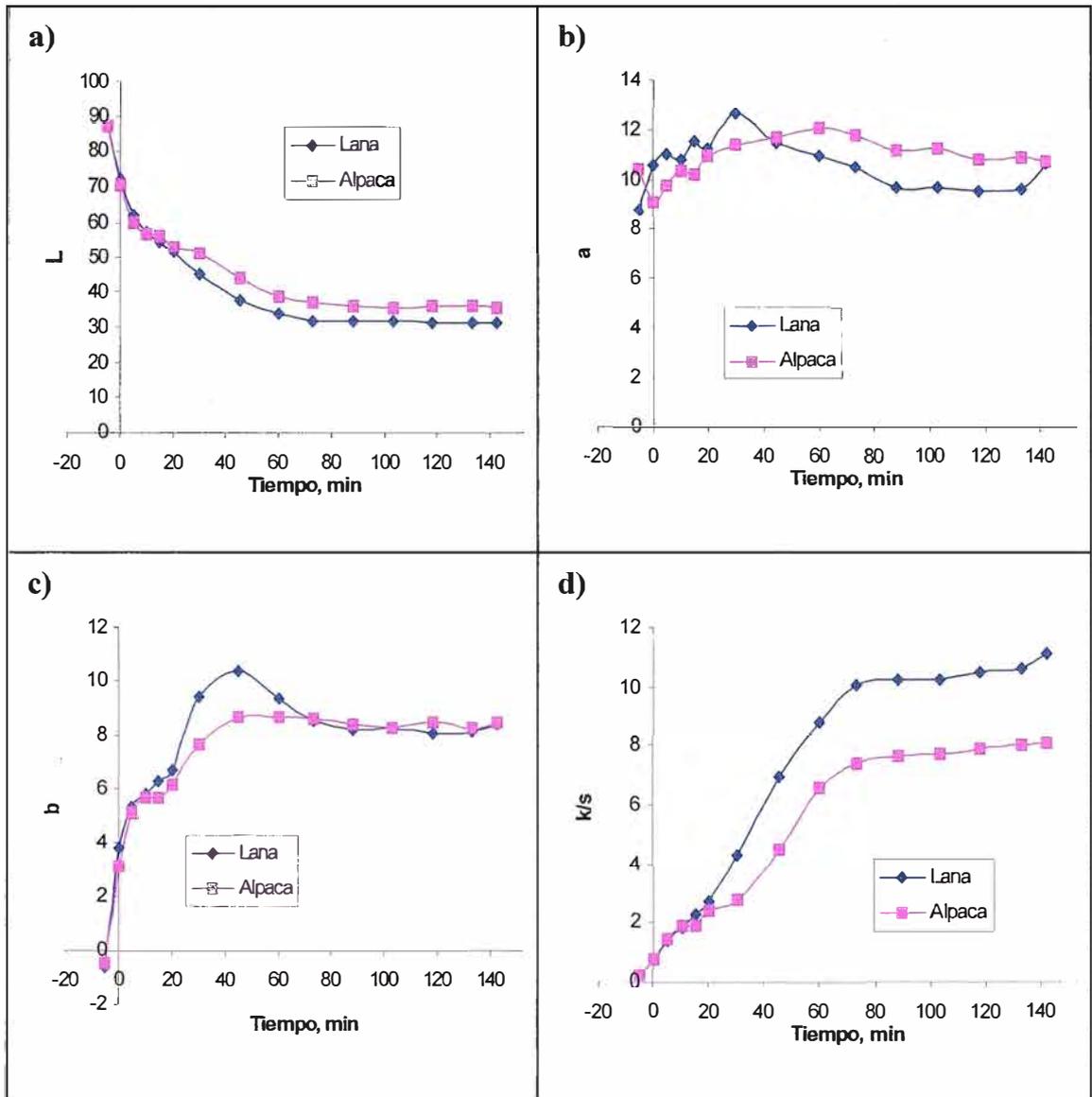


Figura 23. Evolución de los Valores CIELab y K/S en Alpaca y lana durante la Tintura a) L, b) a, c) b y d) K/S a $\lambda 420$

Tabla 51. Diferencias de color entre lana y Alpaca antes y después de teñido

	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	Δh	ΔC^*	ΔE^*	ΔF
Sustrato	0.05	0.15	1.68	-0.03	1.67	1.69	0.96
Color final	4.25	0.05	0.09	0.00	0.10	4.26	0.73

Estándar: lana, Lote: Alpaca. D65

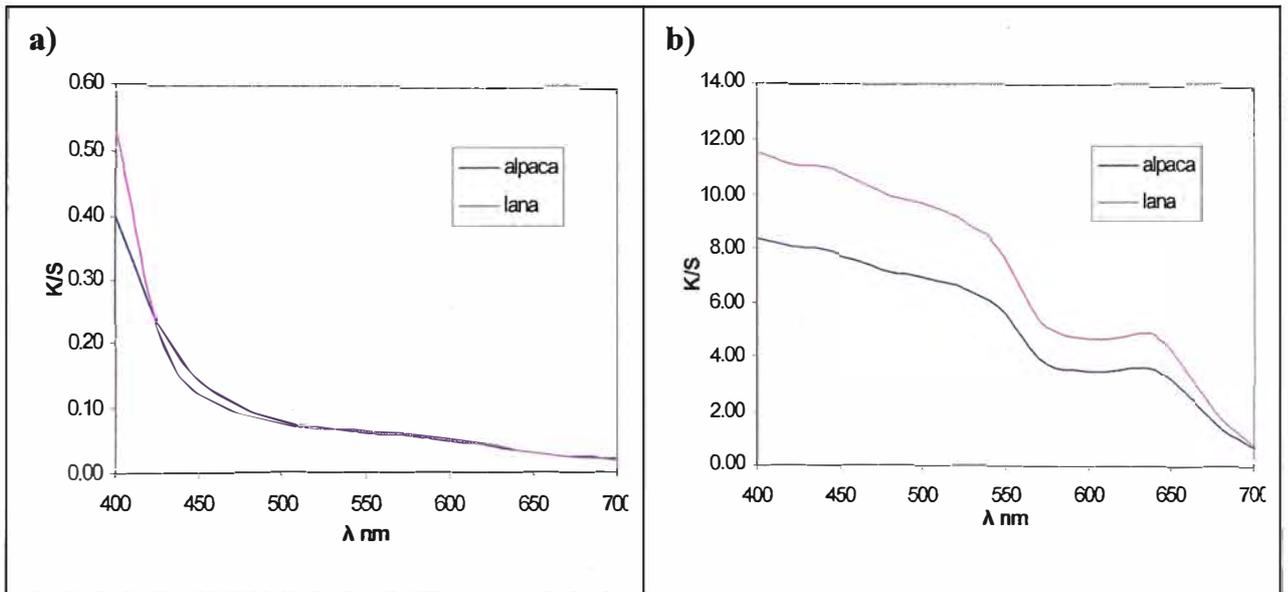


Figura 24. K/S vs λ en Alpaca y lana a) Antes de la Tintura, b) Después de la tintura

B. Comparación de las variaciones de color para los tiempos de tintura a partir de 98°C, 15'

Tabla 52. Variaciones de color entre los tiempos de tintura a partir de 98°Cx15'

	Estándar	Lote	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*	$\Delta K/S_{\lambda_{\text{máx}}}$
Lana 2/25	62° Enf	98°Cx60'	-0.07	-0.29	-1.07	1.11	0.95
	98°Cx60'	98°Cx45'	0.45	-0.06	0.00	0.46	0.99
	98°Cx60'	98°Cx30'	0.74	0.04	0.12	0.75	0.96
	98°Cx60'	98°Cx15'	0.53	0.13	0.11	0.56	0.97
Alpaca 2/28	62° Enf	98°Cx60'	0.41	-0.20	0.16	0.49	0.99
	98°Cx60'	98°Cx45'	0.32	0.19	-0.11	0.38	0.98
	98°Cx60'	98°Cx30'	-0.22	-0.05	0.31	0.38	0.96
	98°Cx60'	98°Cx15'	0.45	0.14	0.27	0.54	0.95

Las diferencias de color disminuyen y se vuelven levemente notorias a partir de 98°Cx30'. Esta leve diferencia es aportada por la claridad más que por el croma.

V. COSTOS DE TINTURA

5.1. DATOS DE PRODUCCIÓN

Volumen de la Tina	2970 L
Peso de material por batch	100 KgMat
Producción Mensual	100000 KgMat

5.2. COSTOS VARIABLES DE TINTURA

Se han considerado los costos variables (que varían con el volumen de producción) del proceso de tintura que incluye a su vez los procesos de lavado, tintura y suavizado en máquinas armario para teñir madejas y que están asociados directamente con el comportamiento cinético del colorante: los insumos, la energía eléctrica, el agua y el gas.

1. Costos de Insumos: Colorantes, Productos Químicos y Auxiliares (Receta para un Color medio)

Colorantes y PQ y auxiliares	Costo (*)\$/kilo	Cantidad	U	Cantidad Kg	Costo \$/batch
Costo de Sandoclean PC	2.9	0.5	g/L ovb	1.49	4.3
Costo de Cibaflo FFW	5	0.3	g/L ovb	0.89	4.5
Costo de ácido acético	1	1	g/L ovb	2.97	3.0
Costo de Acetato de sodio	1.2	0.5	g/L ovb	1.49	1.8
Costo de Sulfato de Sodio	1.2	8	% owf	8.00	9.6
Costo de Lanotán AR	3.5	1	% owf	1.00	3.5
Costo de Ultratex Mes	5.6	2	% owf	2.00	11.2
Costo de Amarillo Optilán MFRL	34.32(**)	0.4	% owf	0.40	13.7
Costo de Rojo Nylosan N-2RBL	35.64(**)	0.4	% owf	0.40	14.3
Costo de Azul Optilán MFGL	38.04(**)	0.4	% owf	0.40	15.2
Costo total de productos, US\$/batch					81.0
Costo total de productos, US\$/kgMat					0.81
Costo total de productos, US\$/Mes					81013.5

(*) Incluyen impuestos. (**) Precios de Importación directa.

2. Costos de la Energía Eléctrica

Costo energía eléctrica	Costo \$/KwH	Cantidad kw	H	Consumo KWH/carga	Consumo KWH/kg	Costo \$/carga	Costo \$/kgMat
Tintura (2Lavados+Tintura+Suavizado)(*)	0.04	12	6.4	77.0	0.77	3.40	0.034
<i>Consumo de Energía por KWH/Mes</i>							<i>77000.0</i>
<i>Costo Energía Activa, US\$/KgMat</i>							<i>0.0340</i>
<i>Costo Máx. Demanda, US\$/KgMat</i>							<i>0.0177</i>
<i>Costo Energía Reactiva, US\$/KgMat</i>							<i>0.0012</i>
<i>Costo total de Energía, US\$/KgMat</i>							<i>0.0529</i>
<i>Costo total de Energía, US\$/Mes</i>							<i>5291.4</i>

(*)2 enjuagues por rebose. Se considera Vol. enjuague=Vol. Tina

(*)Se considera T_{inic.}=25°C; tintura con 2 gradientes escalonadas hasta 98°Cx45'

3. Costo del Agua Blanda

Costo de Agua	Costo \$/m3	Cantidad m3/batch	Cantidad m3/kgMat	Costo \$/carga	Costo \$/kgMat
Tintura (2Lavados+Tintura+Suavizado)(*)	0.93	17.82	0.18	16.527	0.165
(*A)Sistema Ablandamiento	0.13	17.82	0.18	2.283	0.023
<i>Costo total de Agua Blanda, US\$/KgMat</i>					<i>0.188</i>
<i>Costo total de Agua Blanda, US\$/Mes</i>					<i>18809.6</i>

(*)2 enjuagues por rebose. Se considera Vol. enjuague=Vol. tina

(**) Incluye Tributo de Aguas subterráneas y alcantarillado

(*A) Sistema de Ablandamiento	Costo \$/kg	Cantidad kg/m3	Costo \$/m3	
Costo de Sal	0.055	1.47	0.080	
	Costo \$/KWH	Cantidad KWH/m3	Costo \$/m3	
Costo de Energía Eléctrica Activa	0.04	0.000547	2.2E-05	
Costo de Energía Eléctrica Total			3.4E-05	
	Costo \$/persona	Nº personas	Costo \$/Mes	Costo \$/m3
Operario	283.9	3	851.74	0.0478
<i>Costo de Sal, US\$/m3</i>				<i>0.080</i>
<i>Costo de Energía, US\$/m3</i>				<i>3.4E-05</i>
<i>Costo de Mano de Obra, US\$/m3</i>				<i>0.0478</i>
<i>Costo del Sistema de Ablandamiento, US\$/m3</i>				<i>0.128</i>

4. Costo del Gas

Costo Gas	Costo \$/sm3	Cantidad sm3/carga	Cantidad sm3/kgMat	Costo \$/carga	Costo \$/kgMat
Tintura (2Lavados+Tintura+Suavizado)	0.2	133.7	1.34	1.34	0.274
<i>Costo total de Gas, US\$/KgMat</i>					<i>0.274</i>
<i>Costo total de Gas, US\$/Mes</i>					<i>27449</i>

5. Resumen

Tabla 53 Costos variables de tintura

	COSTOS DE TINTURA	Costo \$/kgMat	Costo \$/Mensual	%
1	<i>Costo total de Insumos Químicos</i>	0.74	74053.5	60.4
2	<i>Costo total de Energía Eléctrica</i>	0.05	5291.4	4.3
3	<i>Costo total de Agua Blanda</i>	0.16	15816.6	12.9
4	<i>Costo total de Gas</i>	0.27	27448.9	22.4
	Costo de Tintura	1.23	122610.3	100.0

De los datos mostrados se puede concluir que el costo de los insumos químicos es el que mayor influencia tiene sobre el costo total del proceso. Los costos más influyentes en el proceso tintóreo en orden decreciente después de los insumos son: el costo del gas, el costo del agua y el costo de la energía eléctrica.

Esto nos lleva a pensar que para la optimización de los costos en el proceso de tintura, serán de mayor importancia, en orden descendente, los siguientes puntos:

- 1.- Reducir los costos por cantidad de colorante, optimizando el rendimiento tintóreo (afinidad del colorante por la fibra) o reduciendo las relaciones de baño.
- 2.- Reducir el costo del gas con procesos a temperaturas menores y optimizando los tiempos de proceso.
- 3.- Reducir la cantidad de agua utilizada.
- 4.- Reducir los costos de energía eléctrica optimizando los tiempos de proceso

Es necesario el conocimiento de la velocidad de tintura y la afinidad para optimizar los costos relacionados principalmente con las cantidades de insumos químicos, gas y energía eléctrica.

La optimización de costos tiene que ir acompañada con la calidad del producto que exige el cliente y tomando en consideración también el impacto ambiental.

5.3. RELACIÓN DE LOS COSTOS DE TINTORERÍA CON LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN

Se han considerado dentro de los costos de tintorería los costos variables, costos fijos, mano de obra directa y depreciación. Los costos variables comprenden los costos variables de tintura, que fueron representados en la Tabla 53 y los costos variables de secado, centrifugado, mantenimiento, control de calidad y otros gastos administrativos.

Tabla 54. Costos de tintorería

COSTOS DE TINTORERÍA	Costo \$/kgMat	%
Costos variables de tintura	1.2	37
Otros costos variables	0.6	19
Costos Fijos	0.6	19
Depreciación	0.2	5
Mano de obra directa	0.6	19
COSTO TOTAL DE TINTORERÍA	3.3	100

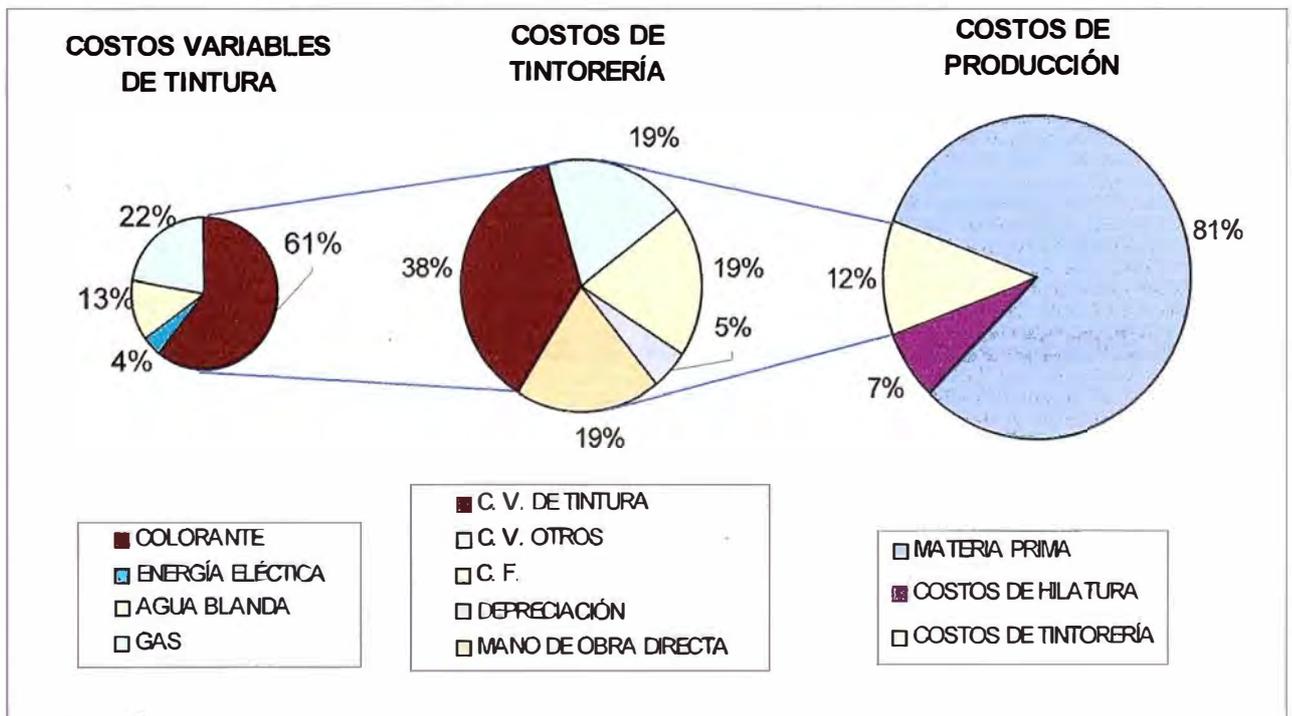
Con respecto a los costos de producción de hilado de alpaca teñido, se ha considerado el costo de la materia prima, el costo de hilatura y el costo de tintorería. El costo de tintorería representa un 12% del costo total de producción.

Tabla 55. Costos de Producción

COSTOS DE PRODUCCIÓN	Costo \$/kgMat	%
Materia prima	22.9	81
Costos de hilatura (*)	1.9	7
Costos de tintorería	3.3	12
COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN	28.1	100

(*) Se incluyen las áreas de devanado y madejado

Figura 25. Costos variables de tintura en relación con los costos de producción



VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Las curvas de agotamiento y las constantes de cinética obtenidas con el modelo sigmoideal y el modelo de Cegarra-Puente-Valldeperas, indican que la velocidad de adsorción de colorantes ácidos es menor en la alpaca que en la lana, en un promedio de 13%. El modelo de Crank indica que la velocidad de difusión del colorante en la alpaca es en promedio 49% menor que en la lana. Esto se debería principalmente a que la alpaca tiene una mayor proporción de puentes de cistina, por lo que presenta una mayor resistencia a la adsorción y difusión. Lo expuesto indica que se necesita un tiempo de tintura mayor en alpaca que en la lana de aproximadamente 20 minutos.
- La alpaca presenta un promedio de tiempo de retraso 7 minutos menor que la lana y una constante promedio de difusión 10% mayor en las etapas tempranas de tintura. Esto se debe a que la lana posee una mayor barrera hidrofóbica que la alpaca.
- Para colores medios, tanto la alpaca como la lana presentan excelentes solideces a la luz (E.G.C. 5, E.A. 8), buenas solideces al frote (E.G.C. 4-5) y buenas solideces al lavado en la evaluación de migración (E.G.M. 4-5). La evaluación de cambio de color en la prueba de solidez al lavado dio claramente mejores resultados en lana (E.G.C. 4) que en alpaca (E.G.C. 3.5). Asimismo la prueba de solidez al frote en seco dio mejores resultados en lana (E.G.C. 4.5) que en alpaca (E.G.C. 4).
- La alpaca presenta un rendimiento tintóreo 27% menor que la lana.
- El agotamiento mejora marcadamente con el enfriamiento final. Esto se evidencia en el rendimiento del color, el cual se incrementa en la alpaca y la lana en el último tiempo. Al mismo tiempo, las solideces al lavado y al frote de colores medios en alpaca y lana mejoran con el enfriamiento final.
- A una temperatura inicial de 40°C, el colorante Azul Optilán MFGL presenta un tiempo de retraso y un tiempo de tintura media mayores que los colorantes Rojo Nylosan N-2RBL y Amarillo Optilán MFRL. La pendiente del modelo sigmoideal que representa la velocidad de adsorción en el tiempo medio muestra valores similares para los tres colorantes. Esto indica que la compatibilidad podría ser mejorada variando ciertos parámetros como la temperatura inicial de tintura.

- Las solideces al lavado, al frote y a la luz, de colores medios en alpaca y lana presentan similares valores a partir de 45 minutos después de ebullición.
- El auxiliar Lanotan AR aumenta significativamente la absorbancia de Amarillo Optilán MFRL y la disminuye en Rojo Nylosan N-2RBL. La adición de sulfato de sodio y la disminución de pH reducen en menor magnitud la absorbancia de los colorantes Amarillo Optilán MFRL y Rojo Nylosan N-2RBL. La absorbancia del colorante Azul Optilán MFGL no se ve afectada significativamente por estos parámetros.
- La diferencia de pendientes entre las curvas de calibración a temperatura ambiental de las soluciones diluidas y concentradas para los colorantes Amarillo Optilán MFRL, Rojo Nylosan N-2RBL y Azul Optilán MFGL indica la presencia de agregados moleculares.
- La pendiente similar entre las curvas de calibración de concentraciones claras y las muestras sometidas a la temperatura de 98°C indicaría la ausencia de agregados moleculares para concentraciones diluidas y para soluciones a temperaturas de 98°C. Con estas curvas se puede obtener la concentración de colorantes individuales en el baño de tintura.
- Se obtuvieron las matrices de absorptividad para concentraciones diluidas y concentradas con el método clásico y el método de regresión lineal multivariable, dando mejores resultados el segundo método a concentraciones diluidas. Con esta matriz se puede obtener la concentración de los tres colorantes utilizados en el baño de tintura con un promedio de 6% de error.

6.2. RECOMENDACIONES

- Orientar las futuras investigaciones a un mayor estudio de las características de la fibra de alpaca que influyen en el proceso de tintura como son el porcentaje de zona cristalina y zona amorfa, porcentaje de cutícula, porcentaje de kemps, % medulación y encontrar una relación cuantitativa de estos parámetros con la cinética de tintura y la afinidad.
- Llevar un control adecuado de los procesos previos que afectan la tintura, como son el lavado, el vaporizado, el tipo y concentración de encimajes utilizado.
- Continuar las investigaciones para optimizar la velocidad de tintura, la igualación y la compatibilidad con los parámetros de tintura, que son en orden

de prioridad: la cantidad de sulfato de sodio, la cantidad y tipo de igualante, la gradiente de subida y la temperatura inicial del proceso.

- Optimizar la afinidad del colorante por la fibra y, asimismo, el rendimiento tintóreo, mediante un adecuado control de pH, temperatura de teñido y la utilización de relaciones de baño más bajas.
- Obtener el punto de equilibrio de tintura mediante medidas de potencial químico y a partir de este obtener la afinidad para varias isothermas de tintura y diferentes concentraciones de colorante y de esta manera optimizar la temperatura de teñido.
- Optimizar las solideces al frote y al lavado en el proceso de tintura (mediante la afinidad) y el proceso posterior (mediante fijadores) dependiendo del artículo a obtener.

VII. BIBLIOGRAFÍA

7.1. REFERENCIAS CITADAS

A) Libros y tesis

1. **AATCC. (2006).** Technical Manual of the American Association of textile chemists and colorists. (USA) 81.
2. **Antonini, M., Pierdominici, F., Frank, E., Catalano, S., Gonzales, M., Hick, M. y Castrignanò, F. (2001a).** Frecuencia de escamas cuticulares en diferentes tipos de vellones de camélidos sudamericanos. En: Renieri, C., Frank, E. y Toro, O. (2006). Camélidos sudamericanos domésticos. Investigaciones recientes. Desco. Lima. (Perú). 355pp.
3. **Antonini, M., Gonzales, M., Cristofanelli, S., Pierdominici, E. y Valbonesi, A. (2001b).** Estructura cuticular de la fibra en tres tipos de camélidos domésticos peruanos. En: Renieri, C., Frank, E. y Toro, O. (2006). Camélidos sudamericanos domésticos. Investigaciones recientes. Desco. Lima. (Perú). 355pp.
4. **Atner, S. (1986).** Diámetro, Longitud, Contenido de grasa y rendimiento de la fibra de Alpaca Huacaya en empresas Asociativas y Comunidades Campesinas de Puno. Universidad Nacional Agraria la Molina. Facultad de Zootecnia. Lima (Perú).
5. **Ayala, J. (1999).** Variabilidad del diámetro de fibra en Alpaca Huacaya usando los métodos de micro proyección y análisis óptico del diámetro de fibra. OFDA. Facultad de Zootecnia. Tesis de Grado para el título de Zootecnista. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima (Perú).
6. **Carpio, M. (1991).** V. La fibra de Camélidos. Universidad Nacional Agraria la Molina. Departamento de Producción animal. Facultad de Zootecnia. Lima (Perú). 297-359.
7. **Cegarra, J., Puente, P. y Valleperas, J. (1980).** Fundamentos Científicos aplicados de la tintura de materiales textiles. Universidad politécnica. Barcelona (España). 756pp.
8. **Costa, M. (1990).** Química Textil. Vol. II: Las fibras Textiles y su tintura. CONCYTEC. Lima (Perú).

9. **Française des Matières colorantes S.A. (197?).** La teinture de la laine. Manuels d'applications des Matières et Produits Spéciaux pur la teinture et l'impression. Francolor. Paris (Francia). 487pp.
10. **Fuertes, A.** Apuntes de Ciencias de las Fibras. Universidad Nacional de Ingeniería. <s.e.> Lima (Perú).
11. **Giovanni Bozzetto S.p.A. (1997).** Tintura della lana. Servizio Informazioni Tecniche n°. 62. Bergamo (Italia).
12. **Giovanni Bozzetto S.p.A. (1996).** Il candeggio della lana. Servizio Informazioni Tecniche. N°61. Bergamo. (Italia). 89pp.
13. **Lewis, D. (1992).** Wool Dyeing. Society of Dyers and Colourists. Bradford (UK). 372pp.
14. **Lis, M. (2002).** Comportamiento cinético de fibras Tencell con colorantes directos. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería textil y Papelera. Universidad Politécnica de Cataluña. Cataluña (España). 261pp.
15. **Marín, R. (1999).** Estudio Técnico-Económico para el Clasificado y Lavado de la lana de Alpaca. Tesis de Grado para el título de Ingeniero Textil. Facultad Ingeniería Química y Textil- Universidad Nacional de Ingeniería. Lima (Perú). 126pp.
16. **Perry, R. y Green, D. (1999).** Perry's Chemical Engineers' Handbook. Vol 2: Physical and Chemical Data. McGraw-Hill. 374pp.
17. **Productos del Sur S.A. (2006).** Desarrollo del Programa de Inducción. Dpto. de Producción. Arequipa (Perú). 124pp.
18. **Rippon, J. A. et al, (2003).** Wool, in Encyclopedia of Polymer Science and Technology. Interscience Publishers. New York. (USA). 12: 546-586.
19. **Sosa, A. (2001).** Seguimiento y control de la producción de hilados de lana, Alpaca y acrílico. Informe de Ingeniería para el título de Ingeniero Textil. Facultad Ingeniería Química y Textil- Universidad Nacional de Ingeniería. Lima (Perú). 74pp.
20. **Skoog, D., West, D., Holler, J. y Crouch, S. (2005).** Fundamentos de Química Analítica. Ed. International Thomson Editores S.A. (México). 1034pp.
21. **Vickerstaff, T. (1954).** The physical chemistry of dyeing. Imperial Chemical Industries Limited. London (UK). 18-163, 378-438.

22. **Villarroel, J. (1991).** Las fibras. En: Fernández-Baca, S. (Ed). Avances y perspectivas del conocimiento de los camélidos sudamericanos. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago (Chile). 363-386.

B) Artículos

23. **Baltuario, O. Rojas, J., Aching, J., Rojas, D. Comina, G., Diaz, J., Rojas, A., Cifuentes, E., Cunya, E., Gago, J., Solís, J. y Rodríguez, J. (2005).** Prototipo de Fibrómetro Digital computarizado para la Medición Automática del Espesor de la Fibra de Alpaca. Informe Científico Tecnológico. Instituto Peruano de Energía Nuclear. Lima (Perú). 15: 119-129.

24. **Beck, K., Madera, T. y Smith, B. (1991).** Appendix B. Real Time Acquisition of Spectrophotometric in batch Dyeing. AATCC. (USA). 23(6): 23-27. Web: <www.p2pays.org/ref/12/11965.pdf>

25. **Berkstresser, G. (199?).** Dyebath Monitoring. Recent Developments in dye process Monitoring and Control <s.e.> Raleigh (USA). 52pp. Web: <www.p2pays.org/ref/12/11972.pdf>

26. **Bustinza, V. (1994).** Originalidad y diversidad de colores de la fibra de Alpaca. Revista de la Universidad de Altiplano. Puno (Perú).

27. **Cardamone, J. y Damert, W. (2006).** Low-temperature Dyeing of Wool Processed for Shrinkage Control. Textile Research Journal. (USA). 76(1): 78–85. Web: <<http://trj.sagepub.com/cgi/reprint/76/1/78.pdf>>

28. **Cegarra, J., Puente, P., Riva, A., Pepió y Prieto, R. (2001).** Aspectos cinéticos de la tintura a baja temperatura. Boletín Intexter (U.P.C.). Catalunya (España). 119: 29-36. Web: <<https://e-revistas.upc.edu/bitstream/2099/1721/1/TREBALL3.pdf>>

29. **Davison, IAN. (2007).** Crying Over Spilt Onions? Ideal Alpaca. International School of Fibres, NSW. (USA). [en línea] Web: <<http://www.ideal-Alpaca.com/article/Alpacas-fiber-157.htm>>

30. **Etters, J. N. (1994).** Flow Rate, Affinity and Levelness in Exhaust Dyeing: An Analysis Based on System Kinetics. The University of Georgia. (USA). 26: 13-16. Web: <www.p2pays.org/ref/39/38429.pdf>

31. **Etters, J. N. (1995).** Kinetics of Dye Sorption: Effect of Dyebath Flow on Dyeing Uniformity. The University of Georgia. (USA). 3: 38-43. Web: <www.p2pays.org/ref/02/01707.pdf>

32. **Forward, H. (2006).** The Chemical & Physical Structure of Merino Wool. CSIRO Textile & Fibre Technology. (Australia). Web: <<http://www.csiro.au/resources/pfk1.html>>
33. **Jasper, W., Kovacs, E. y Berkstresser, G. (1993).** Appendix F. Using Neural Networks to Predict Dye Concentrations in Multiple Dye-Mixtures Textile Research Journal. New Jersey (USA). 63(9): 545-551. Web: <www.p2pays.org/ref/12/11962.pdf>
34. **Johnson, N., Wood, E., Ingham, E., McNeil, S. y Mefarlane, I. (2003).** Wool as a Technical Fibre. J. Text. Inst. Machester (UK). 94(3): 26-41. Web: <www.csiro.au/files/files/pa3q.pdf>
35. **McColl, A., Lupton, C. y Stobart, B. (2004).** Fiber Characteristics of U.S. Huacaya Alpacas. Alpaca Magazine. Texas (USA). 186-196. Web: <www.Alpacaresearchfoundation.org/papers_reports/fiber%20study.pdf>
36. **Millington, K. (2006).** The colouration of wool. CSIRO Textile & Fibre Technology. (Australia). Web: <<http://www.csiro.au/resources/pfkt.html>>
37. **Musnickas, J., Kantautas, A., Rupainytė, V., y Treigienė R. (2004).** Influence of Morphological Heterogeneity of Wool Fiber on Acid Dye Sorption. Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology. Medžiagotyra. 10 (4): 359-362 Web: <www.ktu.lt/lt/apie_struktura/fakultetai/chem/orgtech_kat/str.asp>
38. **Musnickas, J., Rupainytė, V., Treigienė, R. y Ragelienė, L. (2005).** Dye Migration Influences on Colour Characteristics of Wool Fabric Dyed with Acid Dye. Fibres & Textiles in Eastern Europe. Łódź (Polonia). 13 (6): 65 – 69. Web: <www.fibtex.lodz.pl/54_19_65.pdf>
39. **Ottner, S. y Hoffmann, F. (1996).** Computer-controlled Optimization of yarn dyeing -principle and practical experiences ITB Dyeing/Printing/Finishing. 1: 22-26. Web: <www.p2pays.org/ref/33/32131.pdf>
40. **Shim, S. (2003).** Analytical Techniques for Differentiating Huacaya and Suri. Alpaca Fibers. Dissertation. Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Doctor. The Ohio State University. (USA). 118 pp. Web: <<http://www.ohiolink.edu/etd/view.cgi?osu1064202091>>
41. **Song, Y., Srinivasarao, M., Tonelli, A. y Mcgregor, R. (1999).** Laser Scanning Confocal Microscopy Study of Dye Diffusion In Fibers. National Textile Center Annual Report. (USA). 1-11. Web: <<http://www.ntcresearch.org/pdf-rpts/AnRp02/C99-NS04-A2.pdf>>

42. **Treigiené, R. y Musnickas, J. (2003).** Influence of non-ionic surfactance on wool fiber dyeing thermodynamics and kinetics parameters. *Chemija*. Vilnius (Lituania). 14(3): 145-150
43. **Wang, H., Liu, X. y Wang, X. (2005).** Internal Structure and Pigment Granules in Colored Alpaca Fibers. *Fibers and Polvrners*. 제5권2호 (Korea). 6(3): 263-268.
44. **Wang, X., Wang, L. y Liu, X. (2003).** The Quality and Processing Performance of Alpaca Fibres. RIRDC Project No UD-2^a. Barton (Australia). 132pp. Web: <www.rirc.gov.au/reports/RNF/03-128.pdf>

C) Comunicación Personal

45. **Frank, E.** “Alpaca Fiber” [en línea]. Mon, 30 Abril 2007 08:36:39 -0300, Comunicación personal.
46. **Neyra, E.** “Interacciones Colorante-Auxiliar”. Mayo 2007. Comunicación personal.
47. **Prieto, R.** “Cinética de tintura” [en línea]. Mon, 19 Marzo 2007 17:54:57 +0100. Comunicación personal.

7.2. OTRAS REFERENCIAS

48. **Beck, K. (199?).** Real Time Acquisition of Spectrophotometric Data in batch Dyeing Processes: Un Update. Recent Developments in dye process Monitoring And Control <.s.e.> Raleigh (USA). 14pp. Web: <www.p2pays.org/ref/12/11954.pdf>
49. **Chi-wai, K., Kwong Ch., y Chun-Wah, M. (2004).** The Possibility of Low-Temperature Plasma Treated Wool Fabric for Industrial Use. *Autex Research Journal*. Leeds (UK). 4: 37-44. Web: <<http://www.autexrj.org/No1-2004/PDF/0067.pdf>>
50. **Knox, I. y Lamb, P. (2002).** Grower adoption of clip preparation standars for Australian Alpaca fibre. RiRDC Project No GIT-1A. Barton (Australia). 53pp. Web: <<http://www.rirc.gov.au/reports/RNF/02-016.pdf>>

51. **Koike, S. (1996).** Low-Temperature Dyeing Additive For Protein Fiber Products And Dyeing Method Using The Same. United States Patent. 5,571,291. (USA). Web: <www.freepatentsonline.com/CCL-8-614.html>
52. **Liu, X., Hurrer, C., Wang, L. y Wang, X. (2004).** Effects of Bleaching and Dyeing on the Quality of Alpaca Tops and Yarns. *Fibers and Polymers*. 제5권2호 (Korea). 5(2): 128-133. Web: <<http://img.kisti.re.kr/view.jsp?db=JAKO&cn=JAKO200411922378474>>
53. **Musnickas, J.** "Absorbance" [en línea]. Sat, 3 Aug 2002 13:21:49 +0300. Comunicación personal.
54. **Petrova, O. V., Burinskaya, A. A., y Kotetskii V. V. (2004).** Sorption Kinetics of Acid and Reactive Dyes on Wool Fiber in the Presence of Redox Systems. *Russian Journal of Applied Chemistry*. (Russia). 77: 861-862. Web: <<http://www.springerlink.com/content/n832gh0622488505/>>
55. **Petrova, O. V., Grebennikov, S. F. y Burinskaya, A. A. (2005).** Changes in the Structure of Wool Fiber in Dyeing in a Redox Medium. *Russian Journal of Applied Chemistry*. (Russia). 78 (4): 609-612. Web: <<<http://www.springerlink.com/content/w15l283071w1u2u4/>>
56. **Rippon, J. A. (1998).** Process for dyeing wool and other keratin fibres. United States Patent. 5,795,354. (USA). Web: <www.freepatentsonline.com/5795354.html>
57. **Rippon, J. A., Y Harrigan, F. J. (1996).** Dyeing Process For Keratin Materials, With Improved Exhaustion Of Bath Constituents. United States Patent. 5,496,379. (USA). Web: <www.freepatentsonline.com/5496379.html>
58. **Schmid, S. (2006).** The value chain of Alpaca fiber in Peru, an economic analysis. Master thesis. Institut für Agrarwirtschaft, ETH Zürich. Zürich (Suiza). 126pp. Web: <www.iaw.agrl.ethz.ch/research/publikationen/DiplArbeiten/Sarah_Schmid_Dipl_omarbeit_Endfassung.pdf>
59. **Stapleton, I. y Holt, C. (1993).** A survey of Alpaca Fleece characteristics. A report to the AAA. <.s.e.>. (USA). 30pp. Web: <www.cameronholt.com/CPDFs/Huacaya.pdf>

VIII. ANEXOS

Anexo 1. PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD PARA LOS PRODUCTOS QUÍMICOS Y AUXILIARES

A1.1. PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD FRECUENTES: RANGOS ACEPTADOS

Pruebas	Método
Aspecto	Visual
pH	Medidor de pH Kossodo electrodo de vidrio
Contenido Seco (1)	Microondas 10'. Peso Inic.. muestra: 0.1g. N°muestras: 5
Contenido Seco (2)	Refractómetro: Colocar una gota en el lente refractómetro
Contenido Seco (3)	Horno Automat. Denver Instrument IR-50. Peso Inic. muestra: 2g.
Densidad	Densímetro

Prod. químicos	Aspecto		pH	Densidad (kg/l) (20-25°c)		
	Viscosidad	Color	1%	5%	10%	
Acetato de sodio	Granulado	Blanco-transp.	9.3	1.02	1.05	
Sulfato de sodio	Polvo	Blanco	7.7	1.04	1.09	
Ác. Acético	Fluido	Transparente		1.01	1.025	

Productos	Aspecto		pH			Contenido seco			Densidad (kg/l) (25°c)
	Viscosidad	Color	10%	5%	1%	1 (%)	2 (%)	3 (%)	
Sandoclean	Fluido	Incoloro	6.5-8	7-8			30-33		0.98-1
Cibaflow FFW	Fluido emulsión viscoso	Blanco			5-8		15-18		1±0.1
Albegal Set	Fluido liquido-viscoso liquido	Café-amar		4-6.5			48.5-51.5		1±0.1
Lanotán AR	Fluido liquido-viscoso liquido	Ocre		7.5-8.5					1.03
Ultratex mes	Fluido liq-viscoso transp.	Incoloro a amarillento		5-7			22-27	19-27	1±0.1

A1.2. PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD FRECUENTES: RESULTADOS

pH del agua Blanda: 6.9

Prod. químicos	Aspecto		Ph			Contenido seco				Dens. (kg/l)
	Viscosidad	Color	10%	5%	1%	1 (%)	2 (%)	3 (%)	3 (t)	
Sandoclean	Fluido	Incoloro	6.94			32.4	31.5	30.8	30'	0.98
Cibaflow FFW	Fluido	Blanco			6.6		13	18.92	53'	1.028
Albegal SET	Viscoso	Café-amar		6.65			44.5	49.75	37'	1.076
Lanotán AR	Viscoso	Café-amar		8				22.84		1.005
Ultratex mes	Fluido	Amarillento		6.04			19.5	32.97	62'	1.002

	Aspecto		Ph	Densidad (kg/l)		
	Viscosidad	Color		1%	5%	10%
Acetato de sodio	Granulado	Blanco-transp.	9.3	1.021	1.039	
Sulfato de sodio	Polvo	Blanco	7.7	1.0507		
Ác. Acético	Fluido	Transparente	3			

A1.3. PRUEBA DE CORTE DE ESPUMA

1.- Generación de espuma con detergente

Potencia: mínima
 Tiempo Agitación 1: 30"
 Tiempo Estabilización: 3'
 Detergente: Sandoclean PC 0.5g/l

2.- Generación de Espuma con antiéspumante

h: en cm.

Potencia: mínima inestable: Con burbujas grandes
 Tiempo Agitación 1: 30" Semiestables: Con pocas burbujas grandes y burbujas diminutas
 Tiempo Estabilización: 3' Estable: Con burbujas diminutas
 Antiespumante: Cibaflow FFW x g/l Reduciéndose: Se reducen las espumas rápidamente

	Conc. Antiesp. g/l	n	Generación espuma 1		Generación espuma 2		Aspecto Espuma
			h 30''	h 3'	h 30''	h 3'	
Cibaflow FFW	0	1	2.4	2.4	3.2	3.3	inestable
	0.3	1	2.6	2	3.4	3	inestable
	0.5	1	2.5	2	4	2.3	inestable
	1	2	2.55	2.55	4.35	1.75	semiestable
	2	2	2.35	2.35	5.5	0.9	estable
Globodefoamer WR	0.05	1	2.3	2.3	2.5	1.6	semiestable
	0.075	1	2.2	2.2	2.4	0.1	reduciéndose
	0.08	1	2.5	2.3	2.6	0	
	0.1	1	2.5	2.5	2.5	0	

Comparación de propiedades

	Viscosidad	Color	pH 1%	pH 1g/l	Cont. Seco (*)	Densidad (kg/l)
Cibaflow FFW	FLUIDO	BLANCO	6.6		18.92	1.028
Globodefoamer WR	FLUIDO	BLANCO más concentrado		6.82	16	1.002

(*) Con Estufa

Anexo 2. EFECTO DEL SULFATO, EL PH E IGUALANTE EN LA ABSORCIÓN

A. Amarillo Optilán MF-RL

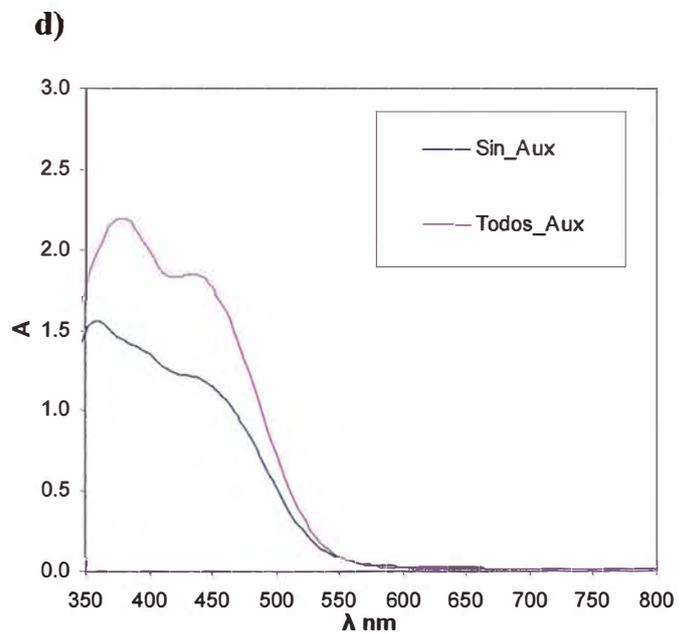
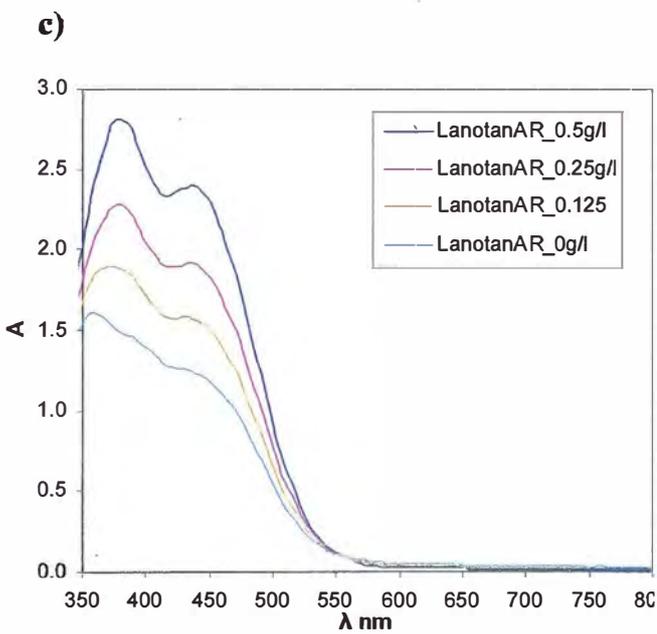
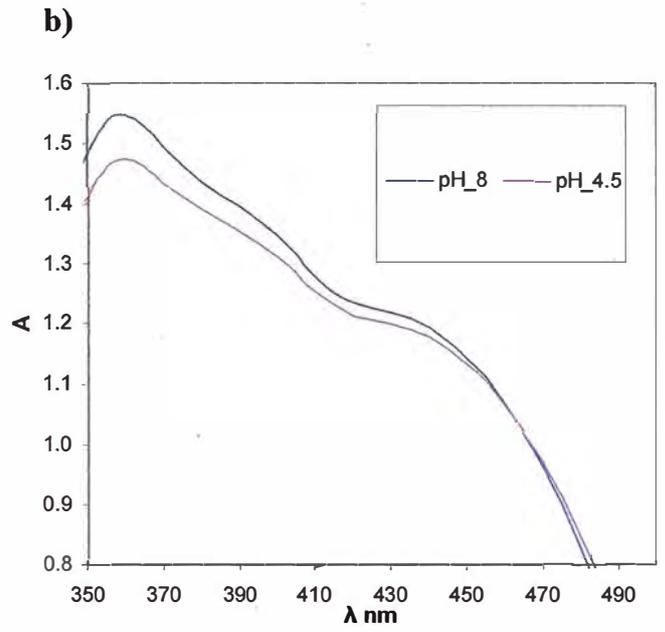
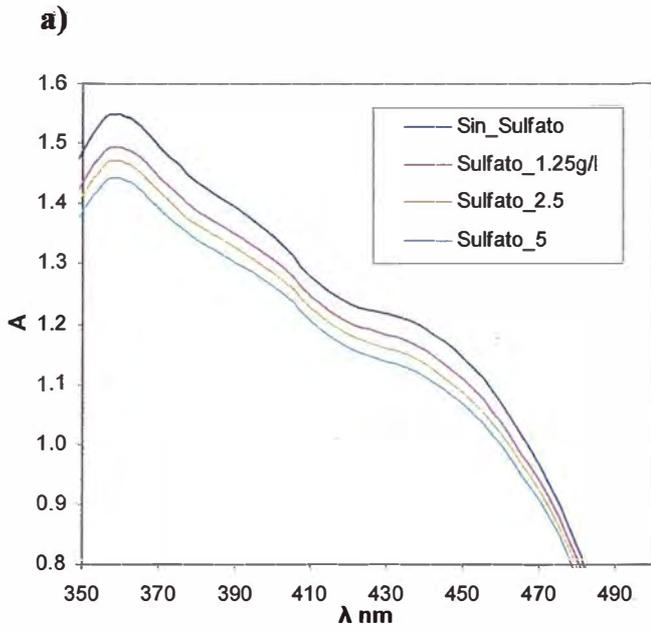
Parámetro	A ₃₆₀			A ₃₇₀			A ₃₇₅			A ₃₈₀			$\lambda_{m\acute{a}x}$
	1	2	\bar{X}										
Sin_Aux	1.536	1.564	1.550	1.480	1.509	1.495	1.448	1.479	1.464	1.422	1.452	1.437	360
Sulfato_1.25g/l	1.500	1.491	1.496	1.447	1.439	1.443	1.417	1.410	1.414	1.393	1.386	1.390	360
Sulfato_2.5	1.493	1.450	1.472	1.441	1.396	1.419	1.411	1.367	1.389	1.387	1.344	1.366	360
Sulfato_5	1.442	1.443	1.443	1.391	1.391	1.391	1.361	1.362	1.362	1.339	1.339	1.339	360
pH_4.5	1.513	1.435	1.474	1.469	1.401	1.435	1.443	1.380	1.412	1.419	1.362	1.391	360
LanotanAR_0.125	1.858	1.828	1.843	1.916	1.880	1.898	1.916	1.879	1.898	1.902	1.865	1.884	370-375
LanotanAR_0.25g/l	2.052	2.109	2.081	2.211	2.277	2.244	2.238	2.310	2.258	2.241	2.309	2.275	380
LanotanAR_0.5g/l	2.433	2.421	2.427	2.722	2.716	2.719	2.797	2.794	2.757	2.815	2.809	2.812	380
Todos_Aux	2.020	2.029	2.025	2.171	2.161	2.166	2.194	2.188	2.191	2.194	2.177	2.186	375

B. Rojo Nylosan N-2RBL

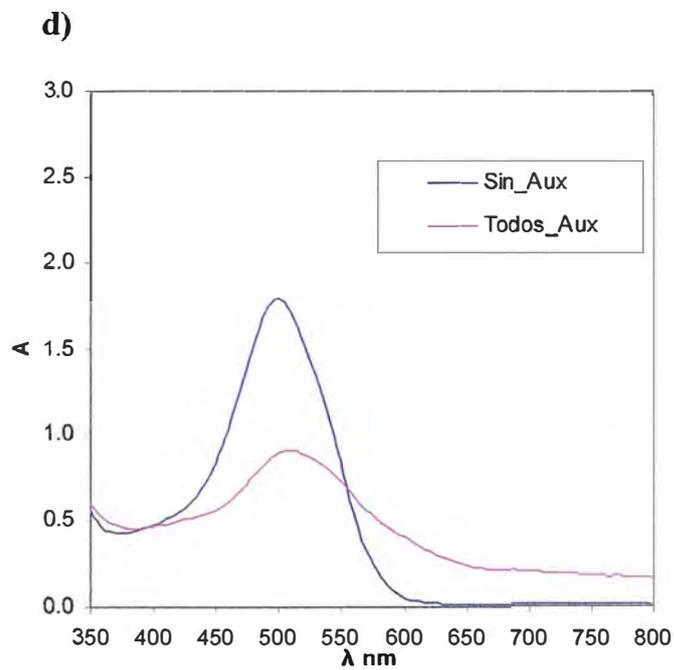
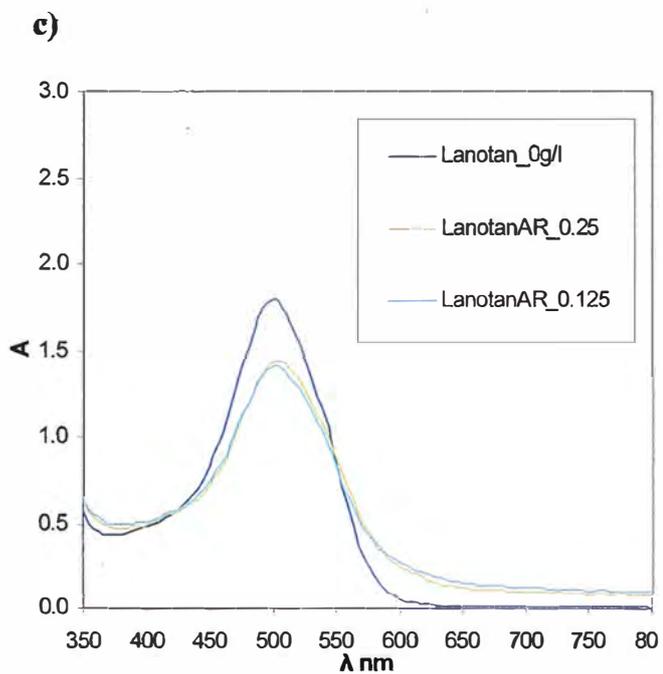
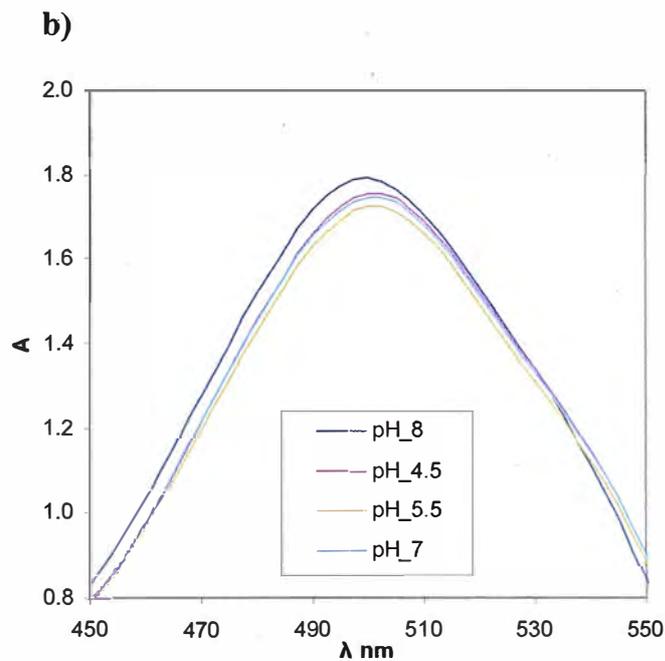
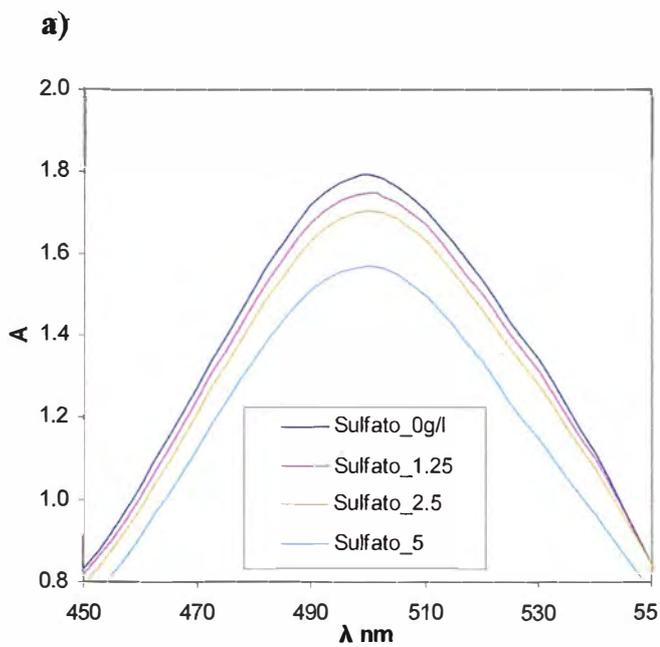
C. Azul Optilán MFGL

Parámetro	A ₅₀₀			A ₅₀₅			A ₅₁₀			$\lambda_{m\acute{a}x}$	A ₆₃₀		
	1	2	\bar{X}	1	2	\bar{X}	1	2	\bar{X}		1	2	\bar{X}
Sin_Aux	1.789	1.795	1.792	1.762	1.768	1.765	1.703	1.709	1.706	500	1.74	1.726	1.733
Sulfato_1.25	1.744	1.754	1.749	1.720	1.730	1.725	1.665	1.674	1.670	500	ND	ND	ND
Sulfato_2.5	1.724	1.686	1.705	1.704	1.664	1.684	1.648	1.613	1.631	500	1.718	1.701	1.71
Sulfato_5	1.578	1.558	1.568	1.559	1.538	1.549	1.507	1.487	1.497	500	1.64	1.711	1.676
pH_4.5	1.711	1.804	1.758	1.699	1.790	1.745	1.650	1.739	1.695	500	1.718	1.762	1.74
pH_5.5	1.722	1.728	1.725	1.710	1.716	1.713	1.660	1.667	1.664	500	ND	ND	ND
pH_7	ND	1.748	1.748	ND	1.735	1.717	ND	1.683	1.683	500	ND	ND	ND
LanotanAR_0.125	1.440	1.373	1.407	1.434	1.370	1.402	1.405	1.345	1.375	500	ND	ND	ND
LanotanAR_0.25g/l	1.523	1.343	1.433	1.527	1.352	1.440	1.504	1.337	1.421	505	1.729	1.733	1.731
LanotanAR_0.5g/l	1.732	1.719	1.726	1.754	1.742	1.748	1.737	1.724	1.731	505	ND	ND	ND
Todos_Aux	0.913	0.878	0.896	0.929	0.893	0.911	0.931	0.897	0.914	510	1.702	1.721	1.712

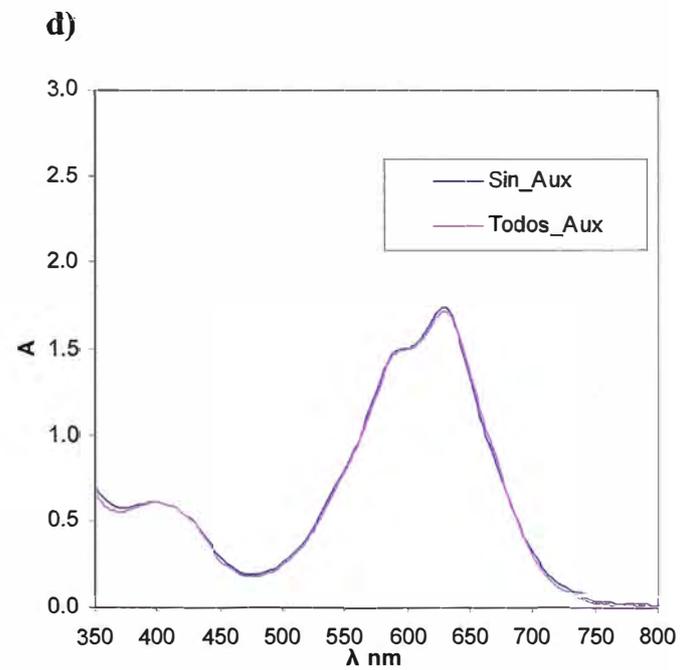
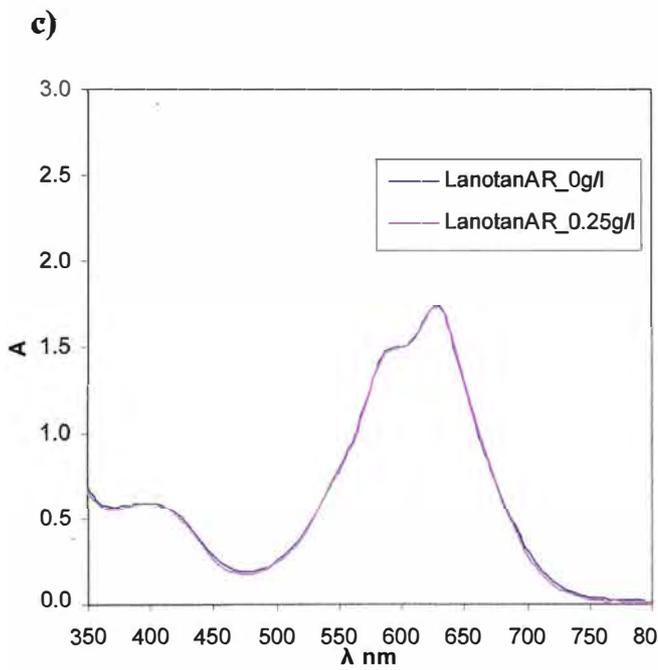
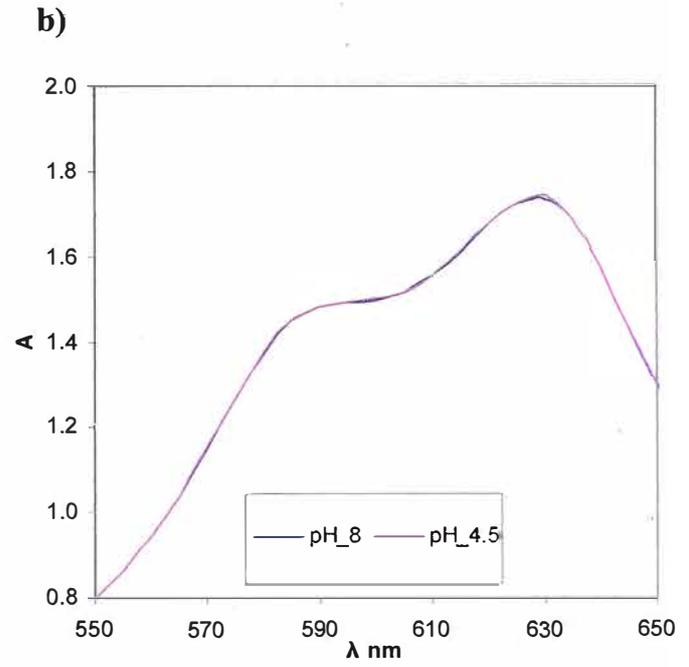
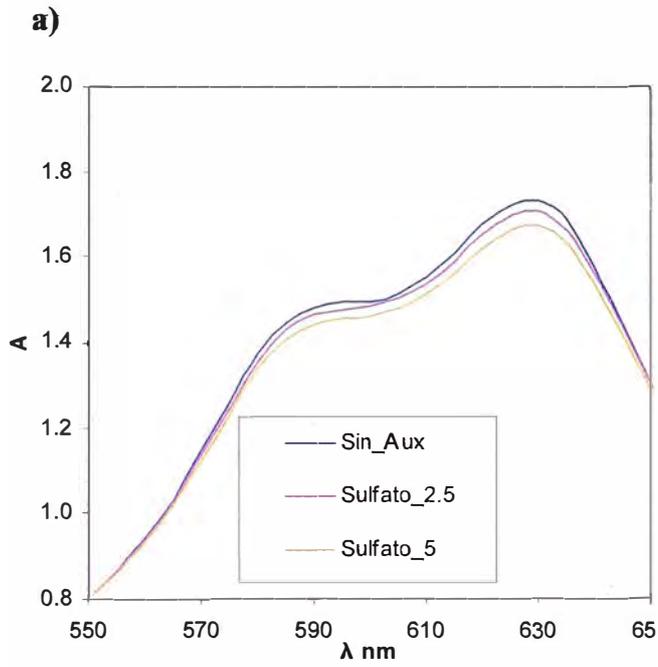
Obs.: Los números en negrita representa la mayor absorbancia obtenida en el espectro visible



Efecto del a) Sulfato de sodio, b) pH, c) igualante y d) todos los auxiliares en la absorción de Amarillo Optilán MFRL



Efecto del a) Sulfato de sodio, b) pH, c) igualante y d) todos los auxiliares en la absorción de Rojo Nylosan N-2RBL



Efecto del a) Sulfato de sodio, b) pH, c) igualante y d) todos los auxiliares en la absorción de Azul Optilán MFGL

Anexo 3. EFECTO DEL TIEMPO DE REPOSO EN LA CONCENTRACIÓN

A3.1. MUESTRAS NO SOMETIDAS A CALENTAMIENTO

A. Amarillo Optilán MFRL

Parámetro	A ₃₆₀			A ₃₇₀			A ₃₈₀			λ _{máx}		
	T 25°C	A las 18h	A las 18h c/agit.	T 25°C	A las 18h	A las 18h c/agit.	T 25°C	A las 18h	A las 18h c/agit.	T 25°C	A las 18h	A las 18h c/agit.
Sin Aux	1.564	1.502	1.588	1.509	1.450	1.531	1.452	1.398	1.473	360	360	360
Sin Aux (*)	1.614	1.568	1.633	1.551	1.533	1.591	1.492	1.471	1.517	360	360	360
Sulfato 1.25g/l	1.491	1.393	1.520	1.439	1.348	1.468	1.386	1.304	1.414	360	360	360
Sulfato 2.5g/l	1.450	1.141	1.465	1.396	1.105	1.417	1.344	1.068	1.369	360	360	360
Sulfato 5g/l	1.443	1.332	1.453	1.391	1.289	1.405	1.339	1.246	1.356	360	360	360
pH 4.5	1.435	0.751	1.320	1.401	0.754	1.315	1.362	0.744	1.298	360	365	365
LanotanAR 0.125g/l(*)	1.828	1.350	1.528	1.880	1.457	1.632	1.865	1.490	1.661	370	380	380
LanotanAR 0.25g/l(*)	2.109	1.543	1.849	2.277	1.742	2.032	2.309	1.823	2.101	375	380	380
LanotanAR 0.5g/l(*)	2.421	2.208	2.319	2.716	2.505	2.602	2.809	2.631	2.700	380	380	380
Todos Aux	2.020	2.008	2.065	2.171	2.180	2.225	2.194	2.215	2.255	375(80)	380	375(80)

(*)Se realizó en otro ensayo

Obs.: Los números en negrita representa la mayor absorbancia obtenida en el espectro visible

B. Rojo Nylosan N-2RBL

Parámetro	A ₅₀₀			A ₅₀₅			A ₅₁₀			λ _{máx}		
	T 25°C	A las 18h	A las 18h c/agit.	T 25°C	A las 18h	A las 18h c/agit.	T 25°C	A las 18h	A las 18h c/agit.	T 25°C	A las 18h	A las 18h c/agit.
Sin Aux	1.795	1.798	1.761	1.768	1.792	1.756	1.709	1.749	1.712	500	500	500
Sulfato 1.25	1.754	1.688	1.607	1.730	1.687	1.606	1.674	1.652	1.572	500	500	500
Sulfato 2.5	1.686	0.889	0.945	1.664	0.898	0.956	1.613	0.894	0.953	500	505	505
Sulfato 5	1.558	0.666	0.803	1.538	0.675	0.814	1.487	0.676	0.814	500	510	505-510
pH 7	1.748	1.603	1.555	1.735	1.611	1.564	1.683	1.582	1.535	500	505	505
pH 5.5	1.728	1.356	1.354	1.716	1.366	1.365	1.667	1.347	1.346	500	505	505
pH 4.5	1.804	1.167	1.218	1.790	1.180	1.232	1.739	1.172	1.225	500	505	505
LanotanAr 0.125	1.373	1.205	1.330	1.370	1.213	1.340	1.345	1.200	1.328	500	505	505
LanotanAr 0.25	1.343	1.088	1.217	1.352	1.104	1.234	1.337	1.101	1.232	505	505	505
LanotanAr 0.5	1.719	1.435	1.481	1.742	1.469	1.517	1.724	1.474	1.525	505	510	510
TodosAux	0.878	0.647	0.921	0.893	0.666	0.940	0.897	0.674	0.949	510	510	510

C. Azul Optilán MFGL

Parámetro	A ₆₂₅			A ₆₃₀			λ _{máx}		
	25°C	A las 18h	A las 18h c/agit.	25°C	A las 18h	A las 18h c/agit.	T 25°C	A las 18h	A las 18h c/agit.
Sin Aux	1.716	1.704	1.637	1.726	1.692	1.699	630	625	625
Sulfato 2.5	1.693	1.688	1.701	1.701	1.677	1.676	630	625	625
Sulfato 5	1.701	1.613	1.738	1.711	1.606	1.630	630	625	625
pH 4.5	1.747	1.713	1.618	1.762	1.696	1.691	630	625	625
LanotanAR 0.25g/l	1.727	1.707	1.719	1.733	1.693	1.708	630	625	625
Todos Aux	1.702	1.658	1.695	1.721	1.655	1.698	630	625	630

A3.2. MUESTRAS SOMETIDAS A CALENTAMIENTO

A. Amarillo Optilán MFRL

	A ₃₆₀				A ₃₈₀				λ _{máx}			
	T_25°C	T_70°Cx30'	A las 18h	A las 18h c/agit.	T_25°C	T_70°Cx30'	A las 18h	A las 18h c/agit.	T_25°C	T_70°Cx30'	A las 18h	A las 18h c/agit.
Sin Aux	1.536	2.56	0.619	1.642	1.422	2.699	0.616	1.533	360	370	365(70)	360
Sin Aux (*)	1.603	2.492	0.641	1.579	1.490	2.619	0.647	1.513	360	370	370	360
Sulfato 1.25g/l	1.5	2.574	0.437	1.749	1.393	2.742	0.446	1.606	360	375	75	360
Sulfato 2.5g/l	1.493	2.526	0.392	1.464	1.387	2.693	0.403	1.383	360	370	375(80)	360
Sulfato 5g/l	1.442	2.503	0.648	1.357	1.339	2.65	0.637	1.298	360	375	365	360
pH 4.5	1.513	2.361	0.463	1.201	1.419	2.483	0.467	1.191	360	370	370	360(65)
LanotanAR 0.125g/l(*)	1.858	2.503	1.188	1.55	1.902	2.727	1.354	1.714	370(75)	375	380	380
LanotanAR 0.25g/l(*)	2.052	2.515	1.33	1.518	2.241	2.778	1.569	1.746	380	380	380	380
LanotanAR 0.5g/l(*)	2.433	2.33	1.84	1.957	2.815	2.645	2.185	2.307	380	380	380	380
Todos Aux	2.029	2.532	1.8	1.953	2.177	2.8	1.998	2.131	375	375	380	375

(*)Se elaboró el día siguiente

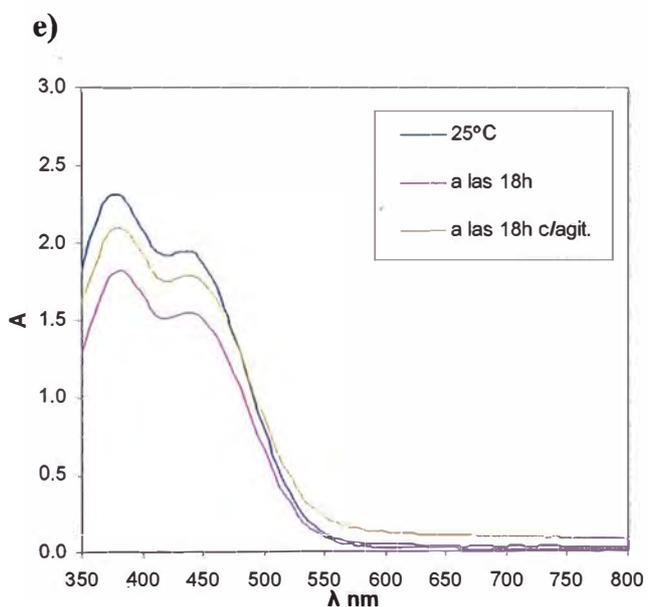
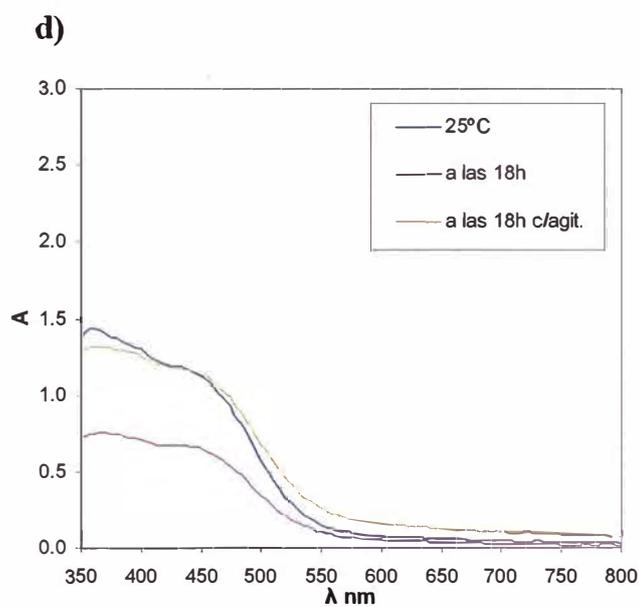
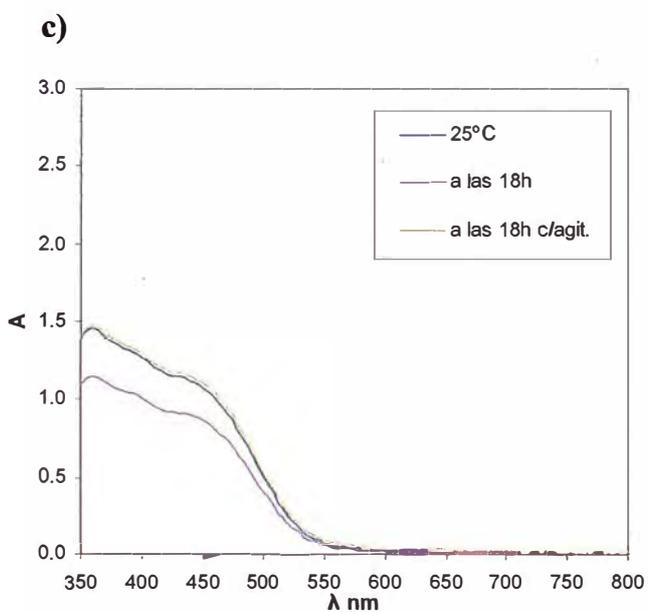
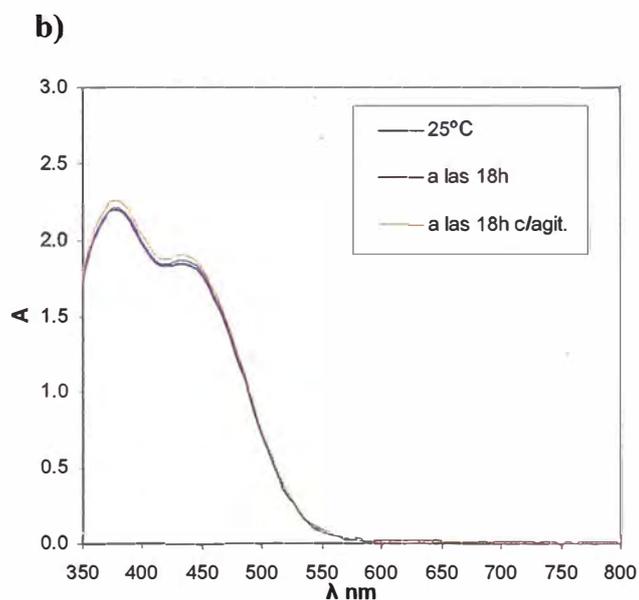
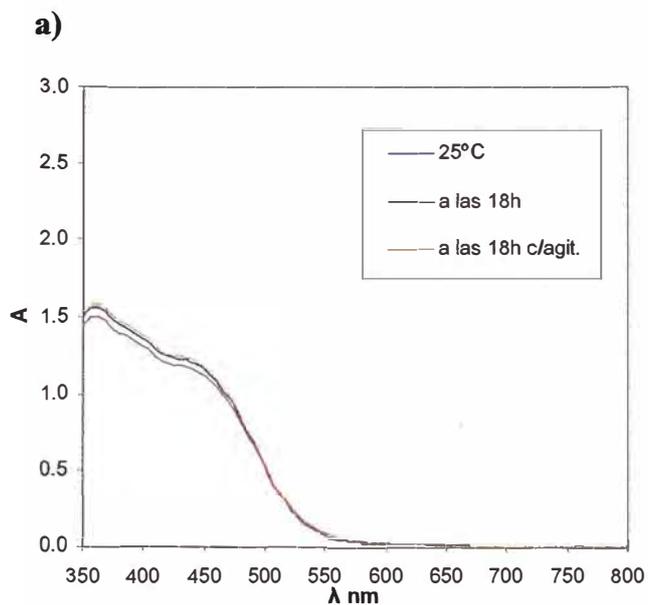
B. Rojo Nylosan N-2RBL

	A ₅₀₀				A ₅₁₀				λ _{máx}			
	T_25°C	T_70°Cx30'	A las 18h	A las 18h c/agit.	T_25°C	T_70°Cx30'	A las 18h	A las 18h c/agit.	T_25°C	T_70°Cx30'	A las 18h	A las 18h c/agit.
Sin Aux	1.789	2.036	1.869	1.823	1.703	1.970	1.805	1.760	500	500	500	500
Sin Aux (*)	1.745	ND	ND	ND	1.698	ND	ND	ND	500	ND	ND	ND
Sulfato 1.25	1.744	1.982	1.766	1.749	1.665	1.915	1.708	1.694	500	500	500	500
Sulfato 2.5 (*)	1.725	1.892	1.543	1.511	1.688	1.863	1.482	1.453	505	500	500	500
Sulfato 5	1.578	ND	0.570	0.695	1.507	ND	0.583	0.710	500	ND	510	510
pH7	1.711	ND	1.809	1.737	1.650	ND	1.763	1.691	500	ND	500	500
pH5.5	1.722	ND	1.387	1.351	1.660	ND	1.378	1.344	500	ND	505	505
pH4.5	1.711	ND	0.975	0.985	1.650	ND	0.981	0.993	500	ND	505	505
Lanotan 0.125g/l (*)	1.358	1.951	0.677	0.870	1.351	1.920	0.668	0.862	505	505	505	505
Lanotan 0.25g/l(*)	1.416	1.985	0.891	1.074	1.428	1.965	0.891	1.074	505	505	505	505
Lanotan 0.5g/l(*)	1.610	1.841	0.899	1.031	1.648	1.840	0.913	1.045	510	505	505	505
Todos Aux(*)	0.966	1.688	0.662	0.858	0.994	1.732	0.681	0.877	510	510	510	510

(*)Se elaboró el día siguiente

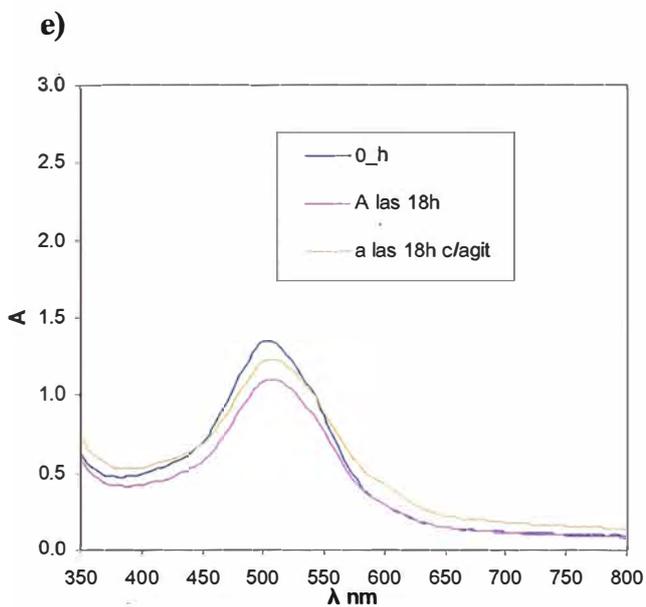
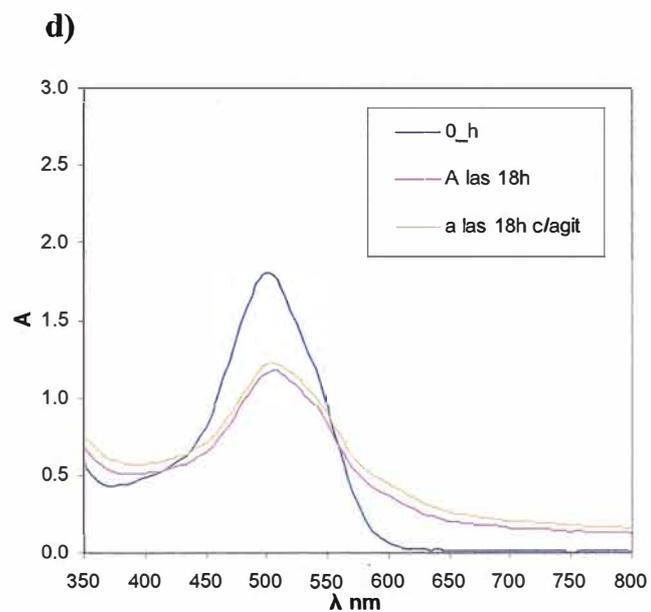
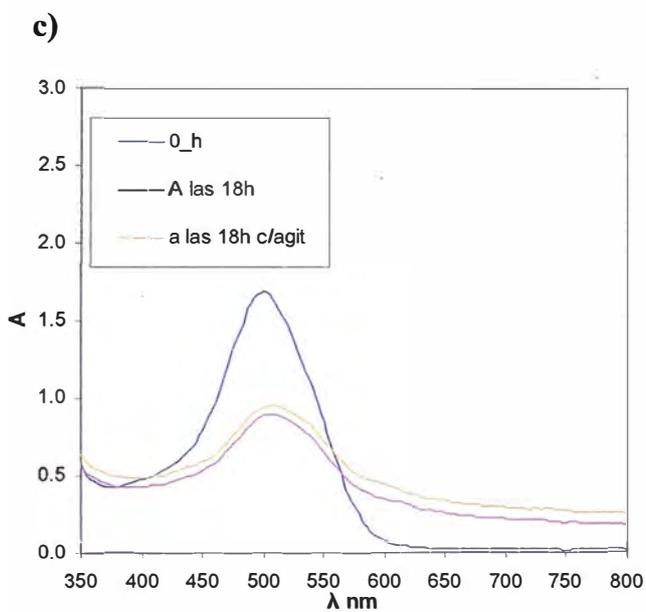
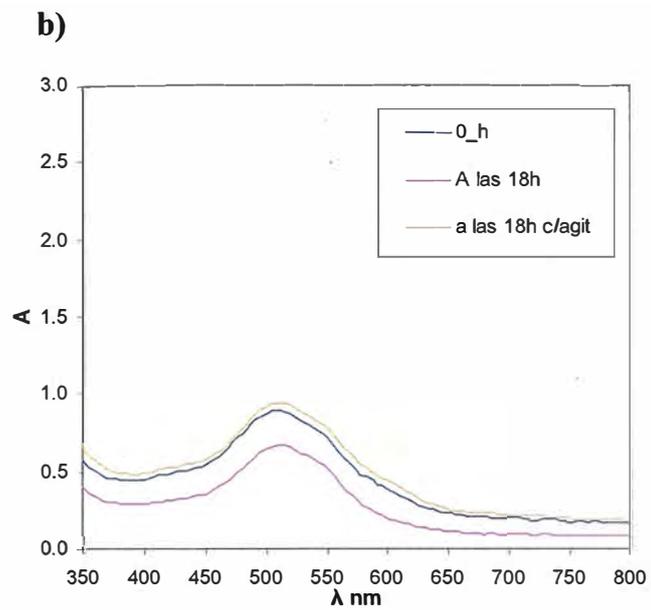
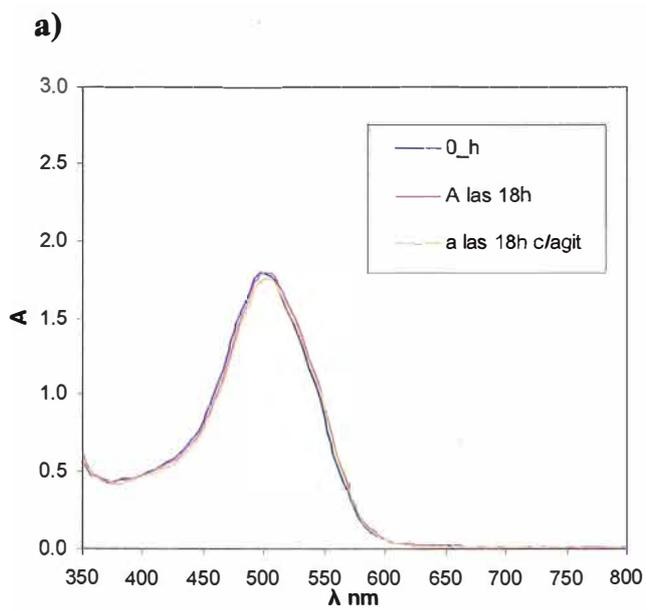
C. Azul Optilán MFGL

	A ₆₂₅				A ₆₃₀				λ _{máx}			
	T_25°C	T_70°Cx30'	A las 18h	A las 18h c/agit.	T_25°C	T_70°Cx30'	A las 18h	A las 18h c/agit.	T_25°C	T_70°Cx30'	A las 18h	A las 18h c/agit.
Sin Aux	1.730	1.821	1.771	1.772	1.740	1.817	1.754	1.746	630	625	625	625
Sulfato 2.5	1.707	1.755	1.685	1.684	1.718	1.766	1.674	1.676	630	630	625	625
Sulfato 5	1.629	1.754	1.649	1.646	1.640	1.754	1.633	1.634	630	625	625	625
pH 4.5	1.703	1.794	1.741	1.748	1.718	1.793	1.730	1.731	630	625	625	625
LanotanAR 0.25g/l	1.716	1.704	1.709	1.723	1.729	1.707	1.691	1.704	630	630	625	625
Todos Aux	1.693	1.697	1.676	1.658	1.702	1.708	1.669	1.655	630	630	625	625



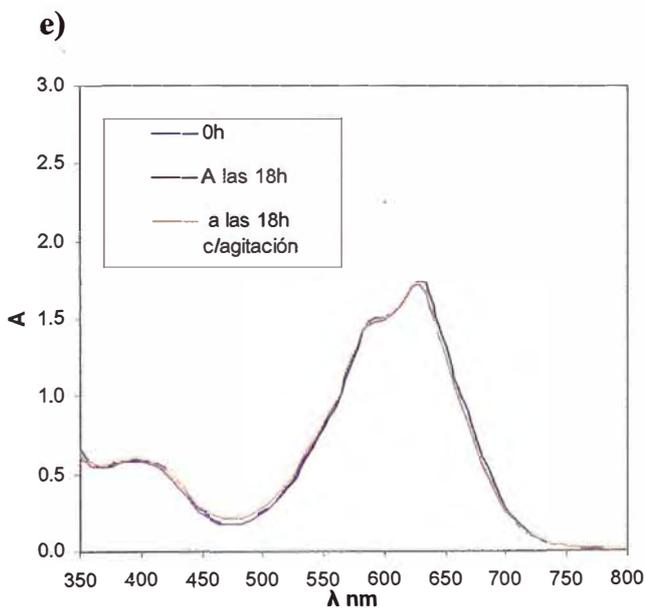
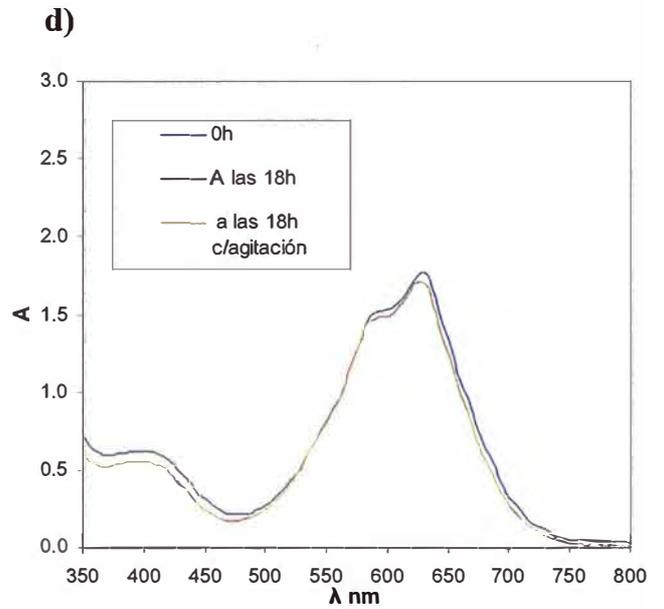
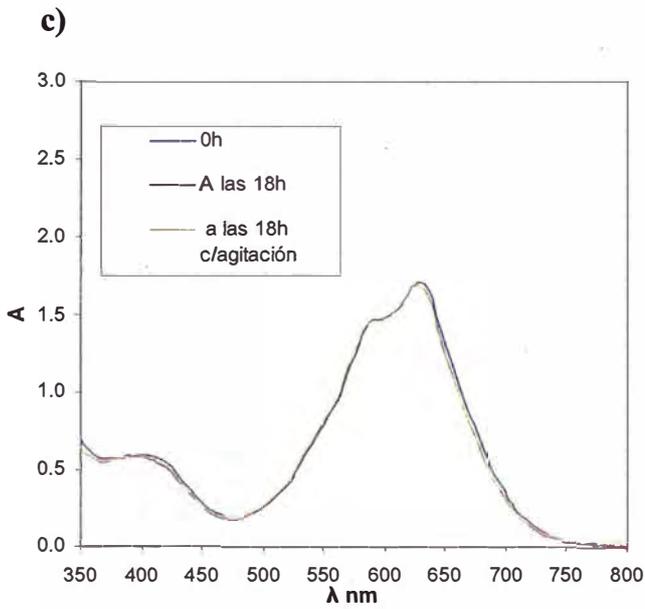
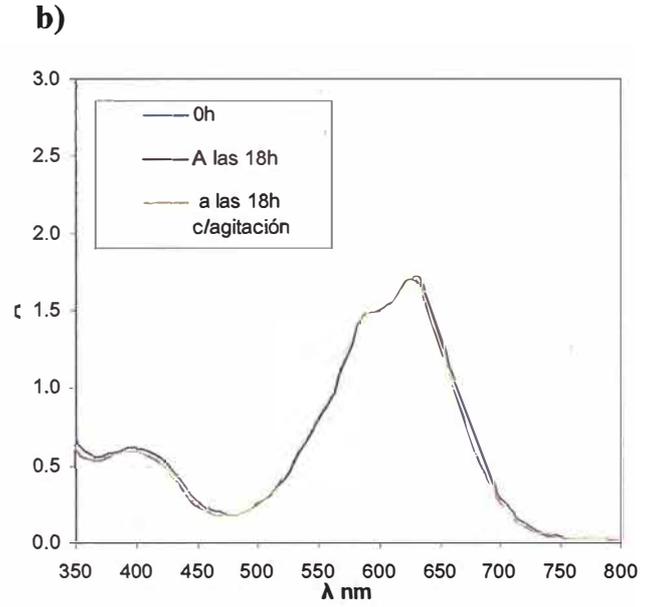
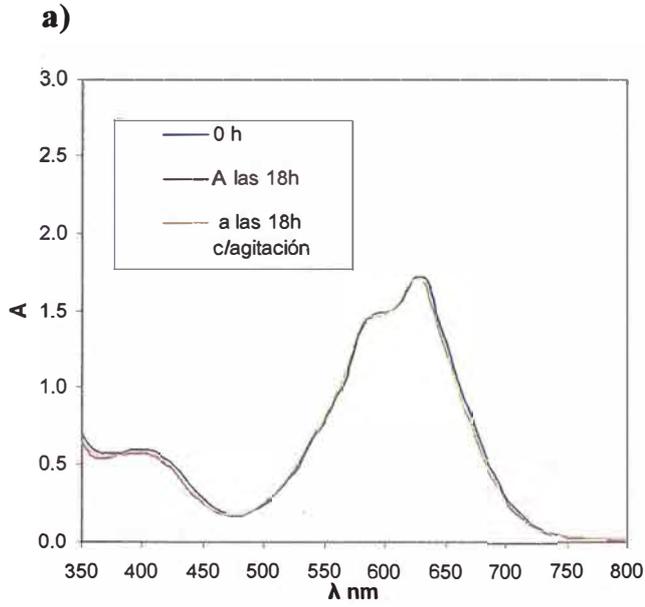
Efecto del tiempo de reposo y de la agitación en la absorción de Amarillo Oro Optilán MFRL (0.15g/l). Muestras no sometidas a calentamiento.

- a) Colorante sin Auxiliares
- b) Con todos los Auxiliares
- c) Con Sulfato de Sodio 2.5g/l
- d) Con pH 4.5
- e) Con Lanotán Ar_0.25g/l



Efecto del tiempo de reposo y de la agitación en la absorción de Rojo Nylosan N-2RBL (0.15g/l) Muestras no Sometidas a calentamiento.

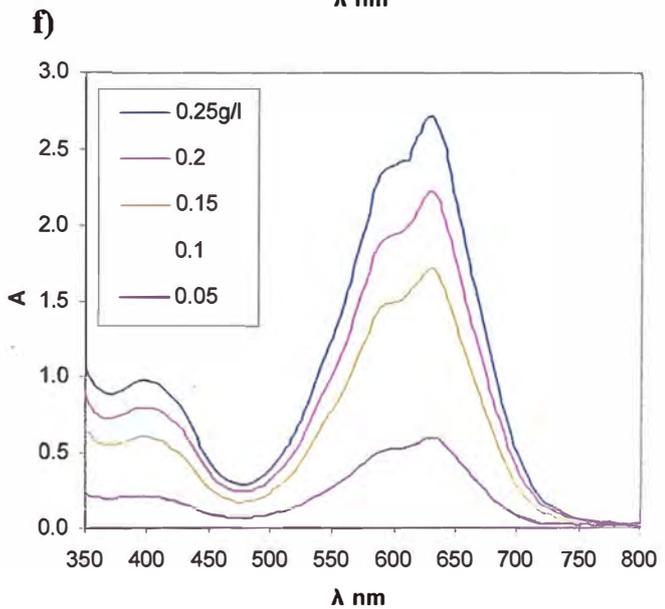
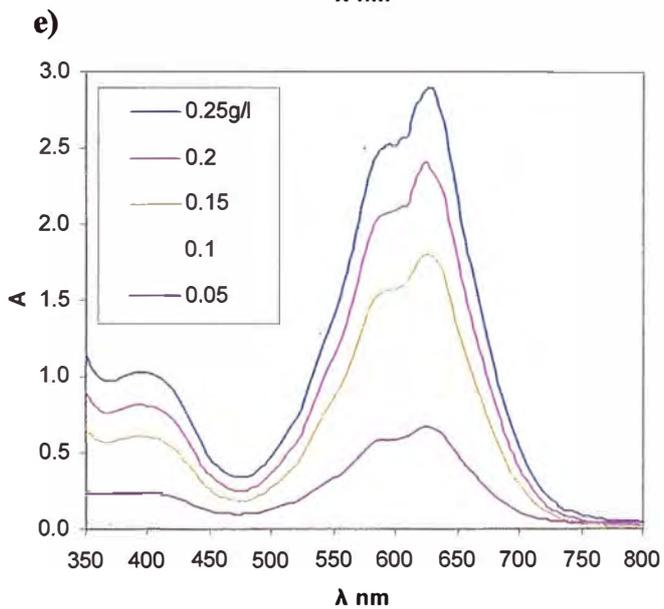
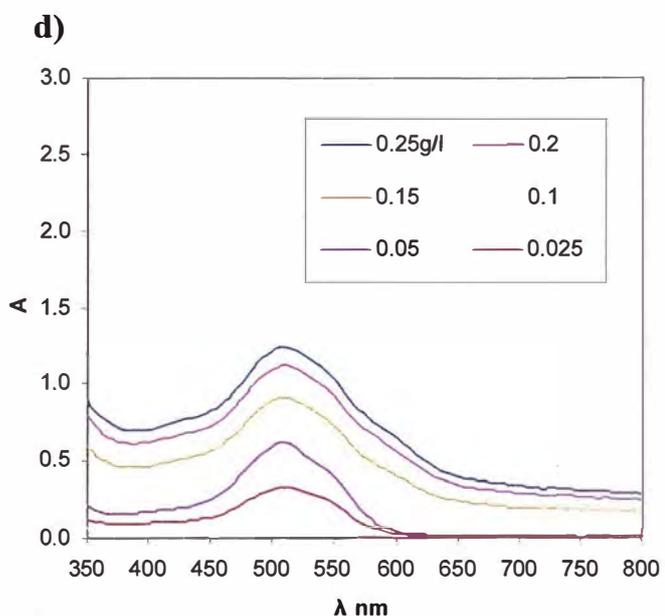
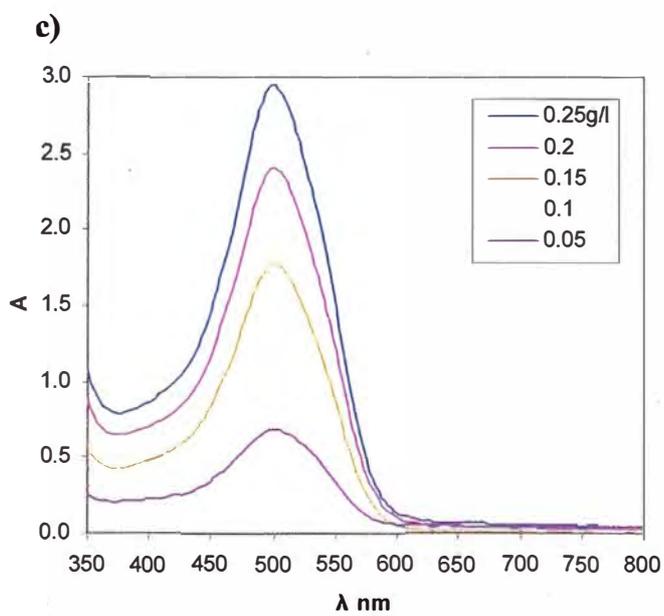
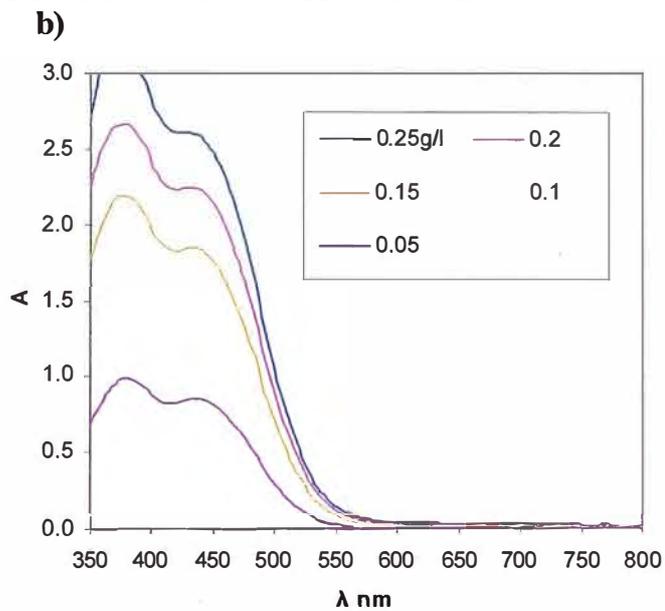
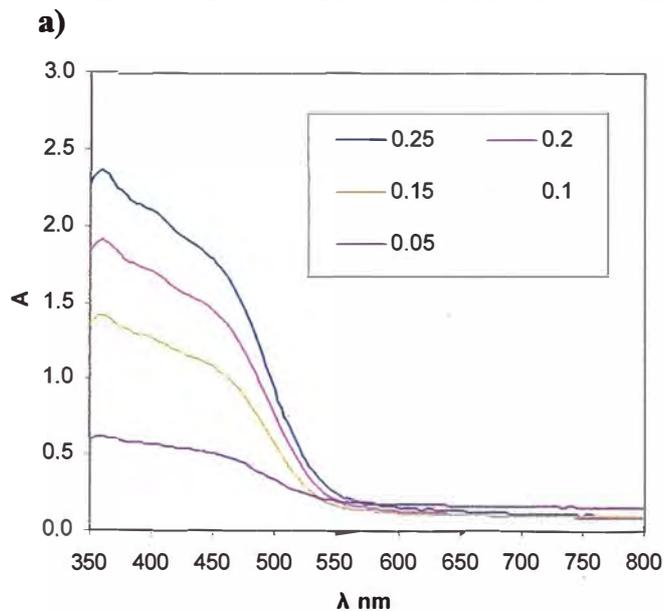
- a) Colorante sin Auxiliares**
- b) Con todos los Auxiliares**
- c) Con Sulfato de Sodio 2.5g/l**
- d) Con pH 4.5**
- e) Con Lanotán Ar_0.25g/l**



Efecto del tiempo de reposo y de la agitación en la absorción de Azul Optilán MFGL (0.15g/l) Muestras no sometidas a calentamiento.

- a) Colorante sin Auxiliares
- f) Con todos los Auxiliares
- g) Con Sulfato de Sodio 2.5g/l
- h) Con pH 4.5
- i) Con Lanotán Ar_0.25g/l

Anexo 4. ESPECTROS VISIBLES A DIFERENTES CONCENTRACIONES



Anexo 5. CURVAS DE CALIBRACIÓN

A5.1. CURVAS DE CALIBRACIÓN SIN COLORANTES

	C (g/l)	A ₃₈₀ de AmO	A ₅₁₀ de RoN	A ₆₃₀ de AzO	A ₆₃₀ de AzO (*)	
Conc.	0.25	2.192	2.81	2.896	2.896	Conc.
	0.2	1.777	2.309	2.348	2.348	
	0.150	1.317	1.702	1.794	1.794	
	0.100	0.861	1.203	1.299	1.299	
	0.050	0.588	0.657	0.661	0.661	
diluidas	0.025	0.301	0.351	0.334	0.334	Diluidas
	0.01	0.164	0.143	0.148	0.148	
	0.005	0.092	0.043	0.057	0.057	
	0.0025	0.030	0.029	0.031	0.031	
	0.00125	0.018	0.015	0.013	0.013	
	0.00063	0.008	0.001	0.007	0.007	

Conc.	i	0.110	0.113	0.144	0.214	Conc.
	a	8.248	10.824	11.038	10.690	
	se	0.389	0.176	0.229	0.191	
	r ²	0.993	0.999	0.999	0.999	
diluidas	i	0.013	-0.010	-0.002	-0.001	diluidas
	a	12.079	14.437	13.604	13.293	
	se	1.048	0.541	0.416	0.188	
	r ²	0.971	0.994	0.996	0.999	
Todos	i	0.047	0.026	0.029	0.029	Todos
	a	8.598	11.303	11.663	11.663	
	se	0.176	0.143	0.164	0.164	
	r ²	0.996	0.999	0.998	0.998	

i: Intercepto con el eje y

a: Absortividad

se: Error estándar para el coeficiente a

r²: Coeficiente de determinación

Interceptos de las curvas de calibración de concentraciones diluidas y concentradas:

	A ₃₈₀ de AmO	A ₅₁₀ de RoN	A ₆₃₀ de AzO	A ₆₃₀ de AzO
A _λ	0.319	0.479	0.773	1.092
C _i	0.025	0.034	0.057 (*)	0.082

(*) El Intercepto de las curvas de calibración de las concentraciones diluidas (menores a 0.025g/l) y concentradas (mayores a 0.05g/l) para el colorante Azul Optilán MFGl no se encontró entre estos 2 valores, por lo que se consideraron soluciones concentradas a partir de 0.1g/l.

A5.2. CURVAS DE CALIBRACIÓN DE COLORANTES CON AUXILIARES

A. Amarillo Optilán MFRL

	C (g/l)	T25°C	T70°Cx30'(1*)	T98°Cx30'(2*)	T98°Cx1h(3*)
Conc.	0.3	>3	>3	>3	>3
	0.25	>3	>3	>3	>3
	0.2	2.657	>3	>3	>3
	0.15	2.186	2.800	2.965	>3
	0.1	1.686	1.874	2.017	2.016
	0.05	0.993	0.961	1.063	1.053
diluidos	0.025	0.534	ND	0.509	ND
	0.01	0.222	ND	0.203	0.199
	0.005	0.118	ND	0.108	0.114
	0.0025	0.075	ND	0.062	0.063
	0.00125	0.024	ND	0.034	0.052
	0.000625	0.016	ND	0.012	0.022
	0	-0.008	ND	0.011	0.011

Conc.	i	0.508	0.039	0.113	0.090
	a	10.983	18.390	19.020	19.260
	se	0.739	0.075	0.035	0.000
	r²	0.991	1.000	1.000	1.000
diluidos	i	0.005	ND	0.007	0.017
	a	21.308	ND	20.031	18.530
	se	0.491	ND	0.231	0.952
	r²	0.997	ND	0.999	0.990
Todos	i	0.090	0.039	0.014	0.015
	a	13.789	18.390	19.860	20.152
	se	0.617	0.075	0.155	0.173
	r²	0.982	1.000	1.000	1.000

(1*) Lectura a 45 ±5°C; (2*) Lectura a 55°C±5°C; (3*) Lectura a 65°C±5°C

i: Intercepto con el eje y

a: Absortividad

se: Error estándar para el coeficiente a

r²: Coeficiente de determinación

B. Rojo Nylosan N-2RBL

	C (g/l)	T25°C	T70°CX30'(1*)	T98°Cx30'(2*)	T98°Cx1h(3*)
Conc.	0.3	1.496	2.02	>3	>3
	0.25	1.040	1.908	>3	>3
	0.2	1.120	1.627	2.808	2.875
	0.15	0.914	1.627	2.146	2.207
	0.1	0.789	1.178	1.426	1.448
	0.05	0.618	0.627	0.738	0.764
diluidos	0.025	0.352	0.32	0.366	0.366
	0.01	0.147	ND	0.144	0.138
	0.005	0.078	ND	0.070	0.080
	0.0025	0.044	ND	0.032	0.037
	0.00125	0.020	ND	0.018	0.021
	0.000625	0.011	ND	0.014	0.013
	0	-0.008	ND	0.011	0.011

Conc.	i	0.461	0.582	0.047	0.051
	a	3.057	5.231	13.860	14.184
	se	0.539	0.887	0.152	0.240
	r²	0.889	0.897	1.000	0.999
diluidos	i	0.002	ND	0.002	0.004
	a	14.082	ND	14.466	14.332
	se	0.281	ND	0.262	0.272
	r²	0.998	ND	0.998	0.998
Todos	i	0.117	0.403	0.008	0.008
	a	4.651	6.033	14.121	14.466
	se	0.409	0.853	0.066	0.082
	r²	0.921	0.909	1.000	1.000

(1*) Lectura a 45 ±5°C; (2*) Lectura a 55°C±5°C; (3*) Lectura a 65°C±5°C

C. Azul Optilán MFGL

	C (g/l)	T25°C	T70°Cx30'(1*)	T98°Cx30'(2*)	T98°Cx1h(3*)
Conc.	0.25	2.685	2.797	2.799	ND
	0.2	2.199	2.26	2.262	ND
	0.15	1.692	1.73	1.708	ND
	0.1	1.126	1.161	1.127	ND
Diluidos	0.05	0.580	0.629	0.587	ND
	0.025	0.289	0.298	0.289	0.285
	0.01	0.119	ND	0.116	0.120
	0.005	0.064	ND	0.06	0.066
	0.0025	0.036	ND	0.037	0.035
	0.00125	0.018	ND	0.018	0.018
	0.00063	0.012	ND	0.014	0.007
	0	0.007	ND	0.007	0.002

Conc.	i	0.111	0.084	0.025	ND
	a	10.366	10.876	11.140	ND
	se	0.258	0.120	0.140	ND
	r²	0.999	1.000	1.000	ND
Diluidos	i	0.005	ND	0.004	0.004
	a	11.482	ND	11.587	11.303
	se	0.036	ND	0.082	0.169
	r²	1.000	ND	1.000	0.999
Total	i	0.016	0.054	0.009	0.004
	a	10.865	11.031	11.227	11.303
	se	0.083	0.122	0.033	0.169
	r²	0.999	1.000	1.000	0.999

(1*) Lectura a 45 ±5°C; (2*) Lectura a 55°C±5°C; (3*) Lectura a 65°C±5°C

Interceptos de las curvas de calibración de concentraciones diluidas y concentradas a T25°C:

	A₃₈₀ de AmO	A₅₁₀ de RoN	A₆₃₀ de AzO
A_λ	1.042	0.588	1.094
C_i	0.049	0.042	0.095

Anexo 6. CURVAS DE CALIBRACIÓN PARA DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN EN TRICOMÍAS

A. Amarillo Optilán MFRL

	C (g/l)	A ₃₈₀		A ₅₁₀		A ₆₃₀	
		1	2	1	2	1	2
Conc.	0.2	2.696	2.618	0.654	0.637	0.027	0.03
	0.15	2.177	2.194	0.521	0.500	0.023	0.005
	0.1	1.687	1.685	0.386	0.368	0.005	-0.003
	0.05	1.007	0.979	0.219	0.194	0.000	-0.008
Diluidos	0.025	0.520	0.547	0.124	0.138	0.008	0.017
	0.01	0.215	0.228	0.050	0.056	0.002	0.007
	0.005	0.119	0.117	0.031	0.029	0.007	0.006
	0.0025	0.073	0.076	0.021	0.020	0.008	0.005
	0.00125	0.024	0.038	0.002	0.002	0.002	0.001
	0.000625	0.023	0.008	-0.001	0.008	0.002	0.009
	0	-0.008	0.000	0.000	0.002	0.000	0.007

Concentrados

C (g/l)	A ₃₈₀	A ₅₁₀	A ₆₃₀
0.2	2.657	0.646	0.029
0.15	2.186	0.511	0.014
0.1	1.686	0.377	0.001
0.05	0.993	0.207	-0.004

i	0.508	0.072	-0.018
a	10.983	2.901	0.221
se	0.739	0.125	0.031
r²	0.991	0.996	0.961

Diluidos

C (g/l)	A ₃₈₀	A ₅₁₀	A ₆₃₀
0.025	0.534	0.131	0.013
0.01	0.222	0.053	0.005
0.005	0.118	0.030	0.007
0.0025	0.075	0.021	0.007
0.00125	0.031	0.002	0.002
0.000625	0.016	0.004	0.006
0	-0.004	0.001	0.004

i	0.007	0.001	0.004
a	21.181	5.207	0.325
se	0.411	0.184	0.094
r²	0.998	0.994	0.704

B. Rojo Nylosan N-2RBL

	C (g/l)	A ₃₈₀		A ₅₁₀		A ₆₃₀	
		1	2	1	2	1	2
Concentrados	0.3	0.879	0.892	1.492	1.499	0.612	0.641
	0.25	0.759	nd	1.304	nd	0.512	nd
	0.2	0.623	0.61	1.133	1.106	0.406	0.397
	0.15	0.472	0.448	0.931	0.897	0.289	0.273
	0.1	0.333	0.32	0.812	0.765	0.145	0.154
	0.05	0.151	0.162	0.613	0.622	0.013	0.02
Diluidos	0.025	0.092	0.09	0.367	0.366	0.01	0.008
	0.01	0.05	0.036	0.151	0.143	0.009	0.007
	0.005	0.033	0.022	0.082	0.073	0.009	0.000
	0.0025	0.016	0.021	0.041	0.046	0.005	0.008
	0.00125	0.008	nd	0.020	nd	0.002	nd
	0.000625	0.007	0.001	0.012	0.009	0.005	0.000
	0	0.000	-0.008	-0.010	0.000	0.002	0.000

Concentrados

C (g/l)	A ₃₈₀	A ₅₁₀	A ₆₃₀
0.3	0.886	1.496	0.627
0.25	0.759	1.304	0.512
0.2	0.617	1.120	0.402
0.15	0.460	0.914	0.281
0.1	0.327	0.789	0.150
0.05	0.157	0.618	0.017

i	0.0241	0.426	-0.095
a	2.9137143	3.510	2.433
se	0.0583718	0.112	0.048
r²	0.9983972	0.996	0.998

Diluidos

C (g/l)	A ₃₈₀	A ₅₁₀	A ₆₃₀
0.025	0.091	0.367	0.009
0.010	0.043	0.147	0.008
0.005	0.028	0.078	0.005
0.003	0.019	0.044	0.007
0.001	0.008	0.020	0.002
0.001	0.004	0.011	0.003
0.000	-0.004	-0.005	0.001

i	0.004	0.002	0.003
a	3.585	14.629	0.284
se	0.249	0.184	0.091
r²	0.976	0.999	0.658

C. Azul Optilán MFGL

	C (g/l)	A ₃₈₀		A ₅₁₀		A ₆₃₀	
		1	2	1	2	1	2
Diluidos	0.25	0.915	0.919	0.497	0.496	2.669	2.700
	0.2	0.751	0.753	0.411	0.41	2.227	2.171
	0.15	0.564	0.578	0.303	0.312	1.702	1.681
	0.1	0.392	0.379	0.211	0.203	1.154	1.098
Concentrados	0.05	0.207	0.210	0.111	0.112	0.598	0.562
	0.025	0.102	0.093	0.06	0.053	0.289	0.294
	0.01	0.031	0.035	0.017	0.028	0.116	0.122
	0.005	0.023	0.021	0.013	0.015	0.065	0.063
	0.0025	0.015	0.016	0.008	0.013	0.035	0.037
	0.00125	0.001	0.005	0.004	0.004	0.018	0.017
	0.000625	-0.005	0.007	0.002	0.004	0.011	0.012
	0	-0.007	0.000	0.000	0.002	0.007	0.007

Concentrados

C (g/l)	A ₃₈₀	A ₅₁₀	A ₆₃₀
0.25	0.917	0.497	2.685
0.2	0.752	0.411	2.199
0.15	0.571	0.308	1.692
0.1	0.386	0.207	1.126

i	0.035	0.015	0.111
a	3.551	1.943	10.366
se	0.067	0.054	0.258
r²	0.999	0.998	0.999

Diluidos

C (g/l)	A ₃₈₀	A ₅₁₀	A ₆₃₀
0.05	0.209	0.112	0.580
0.025	0.098	0.057	0.292
0.01	0.033	0.023	0.119
0.005	0.022	0.014	0.064
0.0025	0.016	0.011	0.036
0.00125	0.003	0.004	0.018
0.000625	0.001	0.003	0.012
0	-0.004	0.001	0.007

i	-0.002	0.002	0.005
a	4.149	2.184	11.482
se	0.102	0.033	0.036
r²	0.996	0.999	1.000

Anexo 7. CONCENTRACIONES REALES Y PREDICHAS CON EL MÉTODO CLÁSICO Y EL MÉTODO DE REGRESIÓN LINEAL MULTIVARIABLE

A7.1. MUESTRAS CONCENTRADAS

	Absorbancias			Conc. Reales (g/l)			Conc. Pred. (g/l) (Método1)			Error	Conc. Pred. (g/l) (Método 2)			Error
	A ₃₈₀	A ₅₁₀	A ₆₃₀	C_AmO	C_RoN	C_AzN	CP_AmO	CP_RoN	CP_AzO	%	CP_AmO	CP_RoN	CP_AzO	%
1	1.517	1.079	1.109	0.05	0.05	0.1	0.04	0.08	0.09	31.03	0.049	0.057	0.094	7.38
2	1.681	1.221	1.65	0.05	0.05	0.15	0.03	0.10	0.13	34.29	0.050	0.044	0.156	5.19
3	1.939	1.102	0.662	0.1	0.05	0.05	0.09	0.07	0.05	14.26	0.101	0.054	0.046	4.71
4	2.226	1.275	1.126	0.1	0.05	0.1	0.10	0.09	0.09	25.88	0.114	0.043	0.099	10.23
5	2.283	1.409	1.67	0.1	0.05	0.15	0.08	0.11	0.13	35.80	0.103	0.037	0.159	8.60
6	2.37	1.321	0.737	0.15	0.05	0.05	0.12	0.10	0.04	37.20	0.131	0.065	0.048	14.54
7	2.654	1.462	1.184	0.15	0.05	0.1	0.13	0.11	0.08	36.33	0.146	0.047	0.101	2.47
8	2.836	1.59	1.705	0.15	0.05	0.15	0.13	0.13	0.13	36.73	0.150	0.031	0.162	10.41
9	1.635	1.246	0.878	0.05	0.1	0.05	0.04	0.15	0.05	38.23	0.052	0.098	0.051	2.23
10	1.79	1.455	1.341	0.05	0.1	0.1	0.03	0.20	0.08	65.56	0.047	0.106	0.095	5.23
11	1.953	1.679	1.815	0.05	0.1	0.15	0.02	0.25	0.12	83.03	0.042	0.115	0.140	10.55
12	2.421	1.686	1.402	0.1	0.1	0.1	0.08	0.22	0.08	70.10	0.099	0.104	0.100	2.06
13	2.693	1.883	1.845	0.1	0.1	0.15	0.09	0.25	0.12	75.59	0.109	0.100	0.147	4.57
14	2.698	1.68	0.949	0.15	0.1	0.05	0.13	0.21	0.04	57.91	0.137	0.107	0.050	7.92
15	2.911	1.859	1.406	0.15	0.1	0.1	0.13	0.24	0.08	68.20	0.141	0.103	0.099	4.69
16	1.895	1.561	1.129	0.05	0.15	0.05	0.04	0.23	0.05	51.45	0.053	0.133	0.060	11.86
17	2.087	1.826	1.601	0.05	0.15	0.1	0.03	0.30	0.08	82.38	0.048	0.150	0.102	1.46
18	2.252	2.085	2.049	0.05	0.15	0.15	0.02	0.37	0.11	103.80	0.040	0.169	0.140	10.73
19	2.499	1.794	1.151	0.1	0.15	0.05	0.09	0.26	0.05	61.01	0.103	0.136	0.059	8.84
20	2.827	2.094	1.587	0.1	0.15	0.1	0.09	0.33	0.07	89.31	0.110	0.152	0.096	5.39
21	1.631	1.225	1.661	0.05	0.05	0.15	0.02	0.11	0.13	39.14	0.044	0.048	0.156	5.14
22	2.672	1.367	0.657	0.15	0.05	0.05	0.15	0.09	0.04	28.00	0.162	0.055	0.042	9.50
23	2.591	1.714	1.346	0.1	0.1	0.1	0.10	0.21	0.08	67.47	0.117	0.099	0.095	10.22
24	1.857	1.585	1.122	0.05	0.15	0.05	0.04	0.25	0.05	60.12	0.047	0.142	0.056	6.05
25	2.921	1.747	1.106	0.15	0.09	0.073	0.14	0.20	0.06	60.20	0.155	0.095	0.071	3.63
	error promedio									54.12	error promedio			6.94

A7.2. MUESTRAS DILUIDAS

	Absorbancias			Conc. Reales (g/l)			Con c. Pred. (g/l) (Método1)			Error	Conc. Pred. (g/l) (Método 2)			Error
	A ₃₈₀	A ₅₁₀	A ₆₃₀	C AmO	C RoN	C AzN	CP AmO	CP RoN	CP AzO	%	CP AmO	CP RoN	CP AzO	%
1	0.660	0.468	0.290	0.025	0.025	0.025	0.0228	0.0201	0.0231	13.2	0.0257	0.0236	0.0242	4.1
2	0.578	0.434	0.023	0.025	0.025	0.00125	0.0233	0.0211	-0.0002	12.8	0.0257	0.0249	0.0012	2.0
3	0.329	0.415	0.279	0.01	0.025	0.025	0.0069	0.0222	0.0225	13.2	0.0093	0.0249	0.0236	4.2
4	0.281	0.388	0.116	0.01	0.025	0.01	0.0074	0.0223	0.0083	14.3	0.0095	0.0251	0.0096	2.4
5	0.247	0.367	0.018	0.01	0.025	0.00125	0.0075	0.0221	-0.0002	15.2	0.0093	0.0249	0.0012	2.6
6	0.182	0.388	0.283	0.00125	0.025	0.025	-0.0002	0.0228	0.0230	9.3	0.0019	0.0250	0.0241	3.1
7	0.131	0.357	0.116	0.00125	0.025	0.01	0.0002	0.0227	0.0085	10.9	0.0020	0.0250	0.0098	3.0
8	0.101	0.343	0.023	0.00125	0.025	0.00125	0.0004	0.0229	0.0004	9.7	0.0019	0.0253	0.0018	3.7
9	0.614	0.296	0.290	0.025	0.01	0.025	0.0225	0.0084	0.0234	9.2	0.0250	0.0103	0.0241	2.6
10	0.559	0.260	0.116	0.025	0.01	0.01	0.0230	0.0080	0.0082	11.7	0.0250	0.0100	0.0091	3.1
11	0.537	0.243	0.020	0.025	0.01	0.00125	0.0236	0.0079	-0.0002	10.8	0.0254	0.0100	0.0008	2.1
12	0.305	0.235	0.295	0.01	0.01	0.025	0.0076	0.0094	0.0242	9.0	0.0095	0.0104	0.0249	2.1
13	0.248	0.199	0.121	0.01	0.01	0.01	0.0080	0.0091	0.0090	14.1	0.0094	0.0101	0.0099	3.3
14	0.212	0.181	0.024	0.01	0.01	0.00125	0.0079	0.0091	0.0006	16.7	0.0092	0.0102	0.0016	6.6
15	0.144	0.195	0.291	0.00125	0.01	0.025	0.0001	0.0094	0.0241	6.1	0.0017	0.0098	0.0247	2.0
16	0.085	0.166	0.117	0.00125	0.01	0.01	0.0002	0.0096	0.0089	11.1	0.0014	0.0101	0.0098	2.2
17	0.057	0.150	0.023	0.00125	0.01	0.00125	0.0005	0.0096	0.0007	10.0	0.0015	0.0103	0.0017	5.3
18	0.607	0.185	0.294	0.025	0.00125	0.025	0.0235	0.0004	0.0239	5.9	0.0256	0.0013	0.0244	2.5
19	0.560	0.164	0.132	0.025	0.00125	0.01	0.0239	0.0009	0.0097	4.3	0.0257	0.0020	0.0104	4.1
20	0.520	0.129	0.021	0.025	0.00125	0.00125	0.0241	-0.0001	0.0001	8.0	0.0256	0.0009	0.0009	3.1
21	0.293	0.131	0.309	0.01	0.00125	0.025	0.0080	0.0019	0.0256	8.0	0.0097	0.0019	0.0260	4.7
22	0.220	0.079	0.119	0.01	0.00125	0.01	0.0080	0.0008	0.0091	15.7	0.0091	0.0008	0.0097	7.2
23	0.182	0.057	0.018	0.01	0.00125	0.00125	0.0080	0.0007	0.0003	22.8	0.0088	0.0006	0.0010	13.2
24	0.120	0.077	0.295	0.00125	0.00125	0.025	0.0002	0.0012	0.0246	4.5	0.0015	0.0005	0.0250	3.2
25	0.085	0.062	0.134	0.00125	0.00125	0.01	0.0012	0.0019	0.0105	8.3	0.0021	0.0015	0.0112	14.4
26	0.644	0.496	0.347	0.025	0.025	0.025	0.0207	0.0220	0.0280	13.9	0.0238	0.0256	0.0291	10.0
27	0.246	0.202	0.122	0.01	0.01	0.01	0.0078	0.0093	0.0091	14.2	0.0093	0.0104	0.0100	4.6
28	0.036	0.031	0.022	0.00125	0.00125	0.00125	0.0009	0.0013	0.0008	27.4	0.0015	0.0009	0.0015	24.8
error promedio										11.8	error promedio			5.2

Anexo 8. AGOTAMIENTO REAL Y CALCULADO CON LOS MODELOS DE CINÉTICA DE TINTURA

A 8.1. MODELO SIGMOIDAL

Lana

t min	Absorbancia			Conc. en el baño (g/l)			E (*)			E calc. (M1) (**)			%Error
	A ₃₈₀	A ₅₁₀	A ₆₃₀	AmO	RoN	AzN	AmO	RoN	AzN	AmO	RoN	AzN	
-5	2.344	1.755	0.991	0.091	0.094	0.083	0	0	0	0.053	0.037	0.026	--
0	2.198	1.738	0.998	0.083	0.095	0.084	0.083	-0.01	-0.009	0.081	0.060	0.038	100.2
5	2.043	1.568	0.945	0.077	0.084	0.08	0.145	0.105	0.045	0.124	0.095	0.056	14.0
10	1.889	1.452	0.895	0.071	0.078	0.076	0.213	0.174	0.095	0.183	0.146	0.081	14.7
15	1.811	1.35	0.847	0.069	0.071	0.071	0.239	0.243	0.144	0.263	0.219	0.117	11.7
20	1.485	1.159	0.771	0.055	0.062	0.065	0.393	0.344	0.219	0.360	0.314	0.165	12.4
30	1.198	0.929	0.722	0.043	0.048	0.061	0.525	0.489	0.268	0.577	0.545	0.307	11.2
45	0.406	0.309	0.414	0.012	0.014	0.035	0.863	0.856	0.579	0.817	0.823	0.593	4.3
60	0.242	0.162	0.161	0.009	0.007	0.013	0.902	0.928	0.84	0.910	0.930	0.820	1.4
73	0.172	0.117	0.077	0.007	0.005	0.006	0.923	0.946	0.926	0.934	0.957	0.917	1.1
88	0.143	0.101	0.045	0.006	0.005	0.003	0.933	0.952	0.959	0.942	0.965	0.960	0.9
103	0.117	0.074	0.035	0.005	0.003	0.003	0.944	0.969	0.969	0.944	0.967	0.974	0.3
118	0.116	0.076	0.034	0.005	0.003	0.002	0.944	0.968	0.97	0.944	0.967	0.978	0.5
133	0.099	0.06	0.027	0.004	0.002	0.002	0.951	0.978	0.978	0.944	0.967	0.979	0.8
142	0.084	0.039	0.017	0.004	0.001	0.001	0.956	0.992	0.988	0.944	0.967	0.979	1.7
<i>Prom. %error</i>												<i>12.5</i>	

Alpaca

	Absorbancia			Conc. en el baño (g/l)			E			E calc. (M1)			%Error
	A ₃₈₀	A ₅₁₀	A ₆₃₀	AmO	RoN	AzN	AmO	RoN	AzN	AmO	RoN	AzN	
-5	2.307	1.731	1.002	0.089	0.093	0.084	0.000	0.000	0.000	0.092	0.090	0.057	--
0	2.207	1.619	0.962	0.085	0.085	0.081	0.040	0.077	0.040	0.130	0.123	0.075	111.6
5	1.836	1.404	0.884	0.069	0.075	0.075	0.220	0.192	0.116	0.179	0.166	0.099	16.4
10	1.644	1.277	0.829	0.061	0.068	0.070	0.310	0.264	0.171	0.243	0.219	0.128	20.7
15	1.536	1.187	0.808	0.057	0.063	0.068	0.360	0.322	0.191	0.319	0.284	0.165	11.9
20	1.433	1.116	0.766	0.053	0.059	0.065	0.405	0.362	0.233	0.405	0.358	0.210	4.0
30	1.104	0.877	0.674	0.039	0.046	0.057	0.557	0.505	0.324	0.585	0.524	0.324	4.1
45	0.627	0.507	0.519	0.020	0.025	0.044	0.770	0.730	0.479	0.790	0.745	0.535	5.2
60	0.339	0.267	0.275	0.011	0.013	0.023	0.873	0.864	0.726	0.886	0.874	0.731	1.2
73	0.182	0.135	0.112	0.007	0.006	0.009	0.924	0.935	0.891	0.919	0.925	0.847	2.9
88	0.137	0.095	0.062	0.006	0.004	0.005	0.937	0.957	0.942	0.932	0.950	0.921	1.4
103	0.112	0.080	0.045	0.005	0.003	0.003	0.948	0.964	0.959	0.936	0.959	0.955	0.8
118	0.116	0.077	0.043	0.005	0.003	0.003	0.945	0.967	0.962	0.938	0.962	0.970	0.7
133	0.138	0.098	0.060	0.006	0.004	0.005	0.937	0.955	0.945	0.938	0.963	0.976	2.0
142	0.072	0.040	0.024	0.003	0.001	0.002	0.963	0.990	0.981	0.938	0.963	0.978	2.2
<i>Prom. %error</i>												<i>13.2</i>	

MI: Modelo sigmoidal (*) Agotamiento; (**) Agotamiento calculado por el método indicado

Obs.:

1. Para este modelo se consideró el tiempo -5 como la absorbancia inicial) y el tiempo 0 como la absorbancia a la cual empieza el programa en la máquina.
2. No se consideró el tiempo 142' para la regresión.

A8.2. MODELO CEGARRA-PUENTE-VALLDEPERAS

Lana

T°C	t min	Absorbancia			Conc. en el baño (g/l)			E r (*)			Er calc.(**) (M2)			%Error	Er calc. (M3)			%Error	
		A ₃₈₀	A ₅₁₀	A ₆₃₀	AmO	RoN	AzN	AmO	RoN	AzN	AmO	RoN	AzN		AmO	RoN	AzN		
313	0	2.344	1.755	0.991	0.091	0.094	0.083	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	
313	5	2.043	1.568	0.945	0.077	0.084	0.080	0.152	0.106	0.045	0.084	0.063	0.021	43.6	0.086	0.064	0.022	42.8	
313	10	1.889	1.452	0.895	0.071	0.078	0.076	0.223	0.175	0.096	0.188	0.151	0.063	18.0	0.189	0.152	0.063	17.6	
313	15	1.811	1.350	0.847	0.069	0.071	0.071	0.250	0.245	0.146	0.296	0.249	0.118	14.3	0.297	0.249	0.119	14.3	
318	20	1.485	1.159	0.771	0.055	0.062	0.065	0.411	0.347	0.222	0.405	0.352	0.185	6.6	0.405	0.351	0.185	6.5	
328	30	1.198	0.929	0.722	0.043	0.048	0.061	0.549	0.493	0.271	0.607	0.554	0.342	14.0	0.608	0.553	0.341	13.9	
343	45	0.406	0.309	0.414	0.012	0.014	0.035	0.903	0.863	0.587	0.833	0.799	0.599	6.9	0.834	0.799	0.598	6.9	
358	60	0.242	0.162	0.161	0.009	0.007	0.013	0.943	0.935	0.851	0.949	0.937	0.816	2.2	0.950	0.937	0.816	2.3	
371	73	0.172	0.117	0.077	0.007	0.005	0.006	0.966	0.953	0.938	0.987	0.984	0.932	2.3	0.987	0.984	0.932	2.3	
371	88	0.143	0.101	0.045	0.006	0.005	0.003	0.976	0.959	0.971	0.998	0.998	0.987	2.8	0.998	0.998	0.987	2.8	
371	103	0.117	0.074	0.035	0.005	0.003	0.003	0.987	0.977	0.981	1.000	1.000	0.999	1.9	1.000	1.000	0.999	1.9	
371	118	0.116	0.076	0.034	0.005	0.003	0.002	0.988	0.975	0.982	1.000	1.000	1.000	1.9	1.000	1.000	1.000	1.9	
371	133	0.099	0.060	0.027	0.004	0.002	0.002	0.995	0.985	0.990	1.000	1.000	1.000	1.1	1.000	1.000	1.000	1.1	
335	142	0.084	0.039	0.017	0.004	0.001	0.001	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.0	1.000	1.000	1.000	0.0	
														Prom.%error	8.3	Prom.%error			8.2

M2: Modelo Gegarra-Puente-Valldeperas

M3: Modelo Cegarra-Puente-Valldeperas con Temperatura

(*) Agotamiento relativo; (**) Agotamiento relativo calculado por el método indicado.

Alpaca

T°C	t min	Absorbancia			Conc. en el baño (g/l)			E r			Er calc. (M2)			%Error	Er calc. (M3)			%Error
		A ₃₈₀	A ₅₁₀	A ₆₃₀	AmO	RoN	AzN	AmO	RoN	AzN	AmO	RoN	AzN		AmO	RoN	AzN	
313	0	2.307	1.731	1.002	0.089	0.093	0.084	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0
313	5	1.836	1.404	0.884	0.069	0.075	0.075	0.229	0.194	0.119	0.211	0.194	0.064	17.8	0.167	0.129	0.045	35.8
313	10	1.644	1.277	0.829	0.061	0.068	0.070	0.322	0.267	0.174	0.302	0.267	0.118	13.1	0.285	0.233	0.103	19.1
313	15	1.536	1.187	0.808	0.057	0.063	0.068	0.373	0.326	0.195	0.371	0.326	0.168	5.0	0.386	0.326	0.166	5.9
318	20	1.433	1.116	0.766	0.053	0.059	0.065	0.421	0.366	0.238	0.451	0.366	0.228	5.3	0.475	0.412	0.233	11.7
328	30	1.104	0.877	0.674	0.039	0.046	0.057	0.578	0.510	0.331	0.598	0.510	0.357	3.9	0.621	0.560	0.370	9.2
343	45	0.627	0.507	0.519	0.020	0.025	0.044	0.799	0.737	0.488	0.780	0.737	0.561	6.3	0.779	0.732	0.569	7.0
358	60	0.339	0.267	0.275	0.011	0.013	0.023	0.906	0.873	0.740	0.905	0.873	0.750	0.7	0.879	0.848	0.737	2.5
371	73	0.182	0.135	0.112	0.007	0.006	0.009	0.959	0.944	0.909	0.964	0.944	0.876	2.0	0.933	0.913	0.847	4.6
371	88	0.137	0.095	0.062	0.006	0.004	0.005	0.973	0.967	0.961	0.980	0.967	0.932	1.7	0.967	0.957	0.927	2.1
371	103	0.112	0.080	0.045	0.005	0.003	0.003	0.984	0.974	0.978	0.989	0.974	0.965	0.8	0.985	0.981	0.971	0.6
371	118	0.116	0.077	0.043	0.005	0.003	0.003	0.981	0.977	0.981	0.994	0.977	0.984	0.8	0.994	0.992	0.990	1.3
371	133	0.138	0.098	0.060	0.006	0.004	0.005	0.972	0.964	0.963	0.997	0.964	0.993	2.3	0.997	0.997	0.997	3.2
335	142	0.072	0.040	0.024	0.003	0.001	0.002	1.000	1.000	1.000	0.967	1.000	0.957	3.1	0.998	0.998	0.999	0.2
Prom.%error													4.5	Prom.%error			7.4	

M2: Modelo Gegarra-Puente-Valldeperas

M3: Modelo Cegarra-Puente-Valldeperas con Temperatura

Obs.:

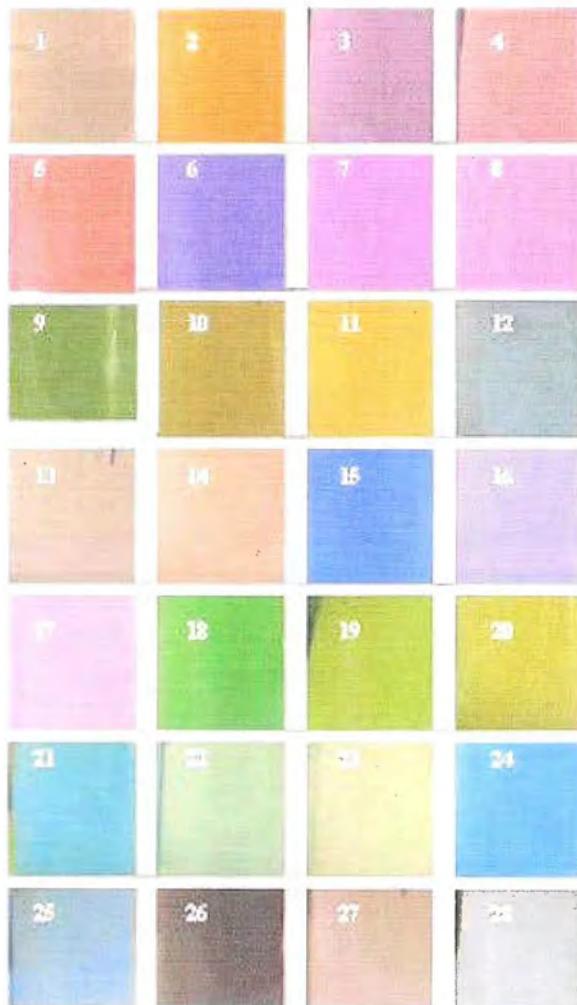
1. Para estos modelos se consideró el tiempo 0 como la absorbancia inicial y con el cual empieza el programa en la máquina.
2. No se consideró el tiempo 142' para la regresión.

Anexo 9. DIFERENCIAS DE COLOR EN ALPACA Y LANA

	$L_{\text{ lana}}$	$L_{\text{ alp}}$	ΔL	$a_{\text{ lana}}$	$a_{\text{ alp}}$	Δa	$b_{\text{ lana}}$	$b_{\text{ alp}}$	Δb	ΔE	$K/S_{420\text{ lana}}$	$K/S_{420\text{ alp}}$	ΔF
sustrato	87.01	87.07	0.05	-0.61	-0.47	0.15	8.73	10.42	1.68	1.69	0.28	0.27	0.96
0	72.04	70.54	-1.50	3.81	3.12	-0.69	10.62	9.10	-1.52	2.25	0.76	0.74	0.98
5	61.84	59.98	-1.86	5.33	5.09	-0.24	11.01	9.79	-1.22	2.24	1.41	1.47	1.05
10	57.41	56.51	-0.89	5.81	5.62	-0.19	10.85	10.35	-0.50	1.04	1.84	1.88	1.02
15	54.48	55.90	1.42	6.23	5.63	-0.60	11.59	10.19	-1.40	2.08	2.27	1.92	0.85
20	51.45	53.13	1.68	6.68	6.14	-0.54	11.27	10.98	-0.29	1.79	2.70	2.38	0.88
30	45.02	50.79	5.77	9.40	7.65	-1.75	12.66	11.40	-1.27	6.16	4.28	2.77	0.65
45	37.22	43.70	6.48	10.39	8.64	-1.75	11.46	11.70	0.24	6.72	6.92	4.49	0.65
60	33.88	38.51	4.63	9.36	8.63	-0.73	10.97	12.05	1.07	4.81	8.75	6.56	0.75
73	31.43	36.85	5.41	8.51	8.57	0.06	10.54	11.80	1.26	5.56	10.04	7.39	0.74
88	31.56	36.02	4.46	8.17	8.40	0.24	9.71	11.19	1.48	4.70	10.21	7.65	0.75
103	31.36	35.35	3.99	8.25	8.22	-0.04	9.70	11.23	1.52	4.27	10.25	7.69	0.75
118	31.28	35.88	4.60	8.06	8.45	0.39	9.59	10.81	1.22	4.78	10.48	7.88	0.75
133	30.83	35.57	4.74	8.12	8.26	0.14	9.59	10.92	1.33	4.93	10.60	8.05	0.76
142	30.90	35.15	4.25	8.41	8.46	0.05	10.67	10.76	0.09	4.26	11.13	8.10	0.73

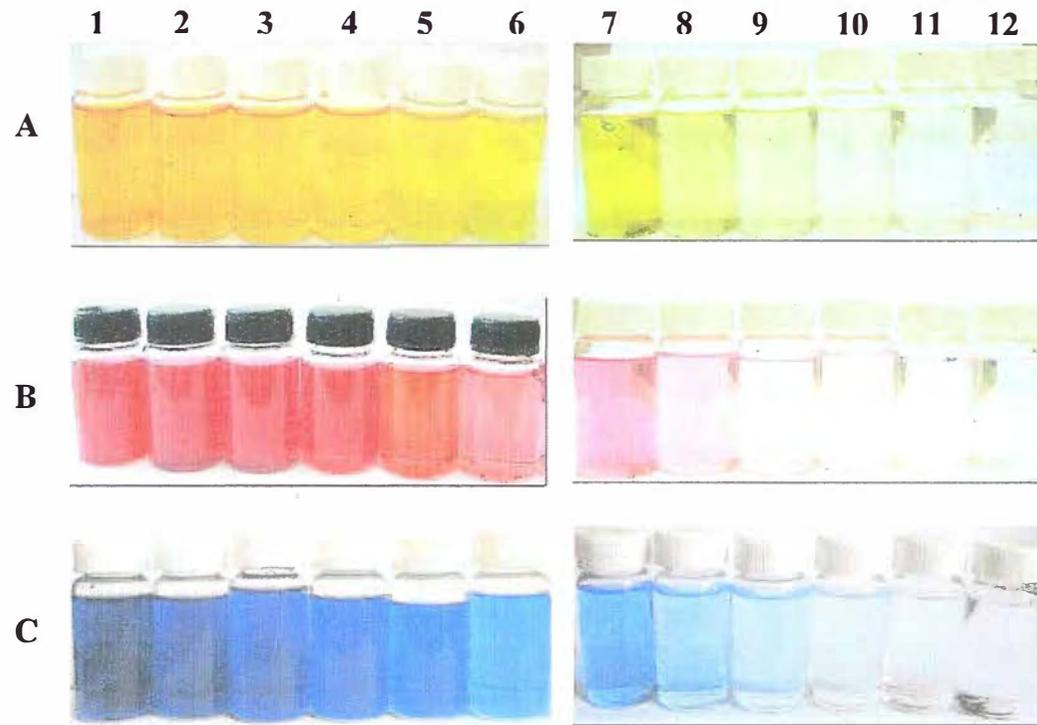
Anexo 10. FOTOS

A10.1. MEZCLAS DE COLORANTES DILUIDAS



Ver concentraciones en Anexo 7.2.

A10.2. SOLUCIONES DE COLORANTES CON TODOS LOS AUXILIARES A DIFERENTES CONCENTRACIONES



Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
C (g/l)	0.3	0.25	0.2	0.15	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0025	0.00125	0.000625

Ver concentraciones de Auxiliares en Tabla 33.9

- A. Amarillo Optilán MFRL
- B. Rojo Nylosan N-2RBL
- C. Azul Optilán MFGL

A10.3. BAÑOS DE AGOTAMIENTO DURANTE EL PROCESO TINTÓREO

LANA



ALPACA



A10.4. MUESTRAS DE ALPACA Y LANA DURANTE EL PROCESO TINTÓREO

	5' 40°C	10' 40°C	15' 40°C	20' 45°C	30' 55°C	45' 70°C	60' 85°C	73' 98°C	88' 98°C	103' 98°C	118' 98°C	133' 98°C
ALPACA												
LANA												

	SUSTRA- TO	0' 40°C	142' 62°C
ALPACA			
LANA			